

Kultur- und Technikgeschichte des Gerätetauchens in der Frühen Neuzeit

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Philosophie

an der Philosophischen Fakultät

der Universität des Saarlandes

vorgelegt von

Michael Walter Jung

Saarbrücken, 2023

Dekanin: Univ.-Prof. Dr. Stefanie Haberzettl

Erstgutachter: Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Behringer

Zweitgutachterin: Univ.-Prof. Dr. Barbara Krug-Richter

Tag der letzten Prüfungsleistung: 20. Juni 2023

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	8
1 Einleitung	9
1.1 Gewässer als dreidimensionale Räume	9
1.1.1 Beneath the waves	9
1.1.2 Soziokulturelle Rahmenbedingungen.....	13
1.1.3 Wissenschaftliches Tauchen.....	18
1.2 Forschungsstand und Quellenlage	20
1.2.1 Forschungsstand	20
1.2.2 Quellenlage.....	24
1.2.2.1 Zeitgenössische Fachliteratur	24
1.2.2.2 Erfinderprivilegien und Patentrecht	28
1.2.2.3 Archive, Museen und Rekonstruktionen	35
1.3 Thesen und Aufbau der Arbeit	38
2 Die Renaissance der Tauchgeräte (1400-1600).....	44
2.1 Einfache Hilfsmittel und Anwendungen	44
2.2 Kriegstechnische Bilderhandschriften und Traktate des 15. Jahrhunderts.....	52
2.3 Italien als Entstehungsort von Tauchtechnologie.....	64
2.3.1 Tauchgänge im Nemisee	64
2.3.2 Venedig und Tauchtechnologie.....	73
2.3.3 Der Einfluss von Niccolò Tartaglia auf die Verbreitung von Tauchtechnologie	89
2.4 Italienische Wissenschaft und Tauchtechnik in der Renaissance.....	94
2.5 Zwischenfazit: Wiederentdeckung und weitere Anwendungsformen.....	96
3 Die Iberischen Weltreiche auf Tauchstation (1550-1650).....	100
3.1 Spaniens frühe Sub-Atlantic History.....	100
3.2 Das Kerzenexperiment in Toledo und seine Folgen.....	113
3.3 Spanische Privilegien für Tauchgeräte	124
3.4 Exemplarische Untersuchungen	132
3.4.1 Giuseppe Bono	132
3.4.2 Jerónimo de Ayanz y Beaumont.....	135
3.4.3 Pedro de Ledesma und Francisco Nunez Melian	139
3.5 Spanische Wissenschaft und Tauchtechnologie im Siglo de Oro	144
3.6 Zwischenfazit: Stagnation - Tauchtechnik als Enigma	149

4 Tauchtechnologie in der Wissenschaftsrevolution (1650-1700)	152
4.1 Tauchtechnische Entwicklungen in der Republik der Sieben Vereinigten Provinzen	152
4.2 Hans Albrecht von Treileben und seine Bergungsarbeiten	161
4.3 Robert Boyles Grundlagenforschung zu den Gasgesetzen und der Hydrostatik.....	170
4.4 Tauchexperimente der Royal Society 1661-1663	190
4.5 Robert Hookes Tauchgerätekonzpte 1663-1689	200
4.6 Bewertung der Tauchexperimente der Royal Society 1661-1686.....	211
4.6.1 Autonome Atemluftversorgung für „lockout diving“	211
4.6.2 Sehen unter Wasser mit einer Brille.....	213
4.6.3 Luftversorgung durch eine „Chain of Buckets“	214
4.6.4 Tabelle für die Volumenbestimmung.....	216
4.7 George Sinclair: Die Taucherglocke als Ort der Wissensproduktion.....	219
4.7.1 Sinclairs „Diving Ark“	219
4.7.2 Kontroverse zu Sinclairs „Diving Ark“	228
4.8 Wissenschaftliche Rezeptionen.....	233
4.9 Denis Papins „instrumentis ad flammam sub aqua“.....	239
4.10 Luftversorgung durch Blasebalg oder Pumpe	244
4.11 Zwischenfazit: Die experimentelle Methode befördert die Tauchtechnologie.....	248
5 Popularisierung der Taucherglocken (1680-1780)	252
5.1 Englische Tauchgeräteprivilegien im „Projecting Age“ 1687-1720	252
5.2 Semi-atmosphärische Tauchgeräte	258
5.2.1 Allgemeine Grundlagen	258
5.2.2 Semi-atmosphärische, oberflächenversorgte Panzeranzugtaucher	261
5.2.3 Semi-atmosphärische, autonome Fasstaucher	264
5.3 Edmond Halleys Tauchkonzepte 1689-1696.....	268
5.4 Edmond Halleys Publikationen 1716-1721 und ihre Wirkung	285
5.4.1 Halleys „Art of Living under Water“ 1716 und 1721	285
5.4.2 Diskussion des Lockout-Konzeptes	290
5.5 Popularisierung der Tauchtechnologie im 18. Jahrhundert	294
5.5.1 Öffentliche Vorträge mit Modell-Taucherglocken.....	294
5.5.2 Multiplikatoren und internationale Verbreitung.....	303
5.5.3 Tauchtechnologie in der Enzyklopädie des Jacob Leupold.....	311
5.6 Zwischenfazit: Die Taucherglockentechnologie verbreitet sich in der Öffentlichkeit.....	314
6 Kommerzialisierung im Zeitalter der Aufklärung (1730-1815)	317
6.1 Erfolgreiche Anwendungen in der Praxis.....	317
6.1.1 Marten Triewalds Bergungsgesellschaft in Schweden.....	317
6.1.1.1 Technologietransfer von England nach Schweden.....	317
6.1.1.2 Schwedens Bergerecht und seine Entwicklung	324

6.1.1.3 Tauchvorführungen und Einsätze.....	327
6.1.1.4 Transfer nach Russland und Bergung in Riga.....	332
6.1.2 Die „Konsten at lefwa under watn“.....	334
6.1.3 Charles Spaldings Taucherglocke, sein Unfalltod und die Folgen.....	348
6.2 Atemgasforschung und ihre Bedeutung für die Tauchtechnologie.....	357
6.3 Serienreife Entwicklung der Taucherglockentechnik.....	366
6.3.1 England als die führende Produktionsstätte.....	366
6.3.2 Ausblick: Internationaler Transfer englischer Tauchtechnologie.....	379
6.4 Zwischenfazit: Rechtliche Verankerung und Vermarktung.....	383
7 Fazit.....	385
7.1 Tauchtechnologie in der Frühen Neuzeit.....	385
7.2 Wissensgenerierung durch Taucher.....	408
7.3 Kulturhistorische Entwicklungen in einer extremen Umwelt.....	412
Anhang.....	419
Quellenverzeichnis.....	419
1. Archivalische Quellen.....	419
2. Gedruckte Quellen bis 1815.....	425
2.1 Zeitungen und Zeitschriften.....	425
2.2 Monographien und Nachschlagewerke.....	428
3. Literatur nach 1815.....	441
Zeittafel mit wesentlichen Ereignissen (1424-1815).....	474
Personenregister.....	476

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Fußabwärts tauchender griechischer Schwammtaucher mit Ballaststein und Sammelkorb.	45
Abb. 2: Kopfabwärts tauchender griechischer Schwammtaucher mit Ballaststein, Sichelmesser und Sammelnetz.	45
Abb. 3: Chinesischer Perlentaucher im Tien Kung Khai Wu (1637).	48
Abb. 4: Schwimmgürtel und zwei Tauchgeräte skizziert von Konrad Gruter von Werden um 1420.	56
Abb. 5: Taccolas Unterwasserlampe mit Kerze nach dem Prinzip der Taucherglocke (um 1433).	60
Abb. 6: Gesichtsmaske mit zwei Schläuchen von Leonardo Da Vinci (ca. 1507-1508).	63
Abb. 7: Rekonstruktion des offenen Taucherhelms von Francesco De Marchi (1535) aus 1905.	69
Abb. 8: Taucherhelm ohne Sichtfenster von Stanislaw Sarnicki (um 1577).	72
Abb. 9: Gläserner Taucherhelm mit Seilwinde von Niccolò Tartaglia (1551).	82
Abb. 10: Eckige Taucherglocke von Buonaiuto Lorini (1597).	88
Abb. 11: Vergleich der Wasserstände verschiedener Formen: Vase, Zylinder, Kegelstumpf (Glocke) bei gleicher Tiefe.	88
Abb. 12: Rekonstruktion des Kerzenexperiments mit einer hölzernen Taucherglocke in Toledo (1538).	115
Abb. 13: Taucherglocke von Giuseppe Bono (1583).	134
Abb. 14: Vierbeinige Taucherglocke mit Blasebalg von Jerónimo de Ayanz y Beaumont (1606).	138
Abb. 15: Die erste Luftpumpe von Robert Boyle und Robert Hooke (1660).	179
Abb. 16: Vergleichende Darstellung des „Boyleschen Gesetzes“ bei einer Taucherglocke in 10 m und 30 m Wassertiefe.	183
Abb. 17: Mathematische Darstellung des „Boyleschen Gesetzes“ von Isaac Newton, 1687.	184

Abb. 18:	Hydrostatisches Experiment von Blaise Pascal, das von einem Taucher ausgeführt werden sollte.	185
Abb. 19:	Laborexperiment von Robert Boyle zu Darstellung des Auftriebs in Abhängigkeit des Volumens.	187
Abb. 20:	Schauexperiment mit kartesischen Tauchern von Martin Triewald (1736).	187
Abb. 21:	Tabelle der Royal Society of London zur Bestimmung des Luftvolumens in Abhängigkeit von der Wassertiefe (1671).	217
Abb. 22:	Taucherglocke „Diving Ark“ von Georg Sinclair (1672).	224
Abb. 23:	Skizze eines Glasmodells einer Taucherglocke mit Figur von Johann Christoph Sturm.	235
Abb. 24:	Glastaucherglocke (Höhe 14 cm) mit Zinnfigur aus der Sammlung der Universität Academia Ernestina in Rinteln (Niedersachsen). Vermutlich hielt die Figur im Experiment eine kleine brennende Kerze in der rechten Hand.	235
Abb. 25:	Denis Papins Konzept zur Luftversorgung einer Kerze unter Wasser, rechts mit einem zieharmonikaartigen Blasebalg.	241
Abb. 26:	Handschriftliche Skizze mit Text von Edmond Halley (30. September 1691). (A = Glocke; B = Blasebalg; C = Luftschlauch; D = externer Taucher („homo libero“) mit nach unten offenem Taucherhelm; E = Fass zur Luftversorgung mit Ein- und Auslassöffnungen H und K; G = Glasfenster; F = Luftablassventil; L = Glasgefäß zur Versorgung einer Kerzen mit Luft).	278
Abb. 27:	Handschriftliche Skizze des externen Tauchers von Edmond Halley (6. April 1692).	279
Abb. 28:	Die erste publizierte bildhafte Darstellung von Halleys Taucherglocke mit Luftversorgung. (A = Glocke; B = Ventil zum Luftablassen; C = Fass mit Frischluft; D = runde Glasscheibe; E = externer Taucher mit offenem Taucherhelm).	287
Abb. 29:	Die Taucherglocke (links) ist eine „natürliche Luftpumpe“ im Vergleich zu einer Luftpumpe mit Glasreceiver (rechts). (P = Druckraum; H = Hydrostatischer Druck; M = Mechanischer Druck).	295
Abb. 30:	Skizze einer Glastaucherglocke mit Figur und Luftspritze von John Joseph Griffin.	305
Abb. 31:	Glasmodell einer Taucherglocke mit Tierkäfig.	306

Abb. 32:	Porträt von Martin Triewald mit Luftpumpenreceiver (um 1740).	319
Abb. 33:	Taucherglocke von Martin Triewald mit innenliegendem Atem- und Kühlrohr.	340
Abb. 34:	Destilliergerät mit Kühlschlange von Athanasius Kircher (1665).	340
Abb. 35:	Taucherglocken als „Water Bellows“ von Martin Triewald (1736).	347
Abb. 36:	Taucherglocke von Charles Spalding (1776).	350
Abb. 37:	Verschiedene Experimente mit Glasglocken.	361
Abb. 38:	Taucherglocke von John Smeaton für die Arbeiten in Ramsgate (1788).	370
Abb. 39:	Verteilung von Tauchgeräte-Privilegien in Spanien, England und den Generalstaaten von 1500 bis 1802.	404
Abb. 40:	Zeitgenössische Darstellung der „Conquêtes de l‘homme“ von 1868.	414

Abkürzungsverzeichnis

AGI = Archivo General de Indias Sevilla

AGS = Archivo General de Simancas

ASV = Archivio di Stato di Venezia

MNM = Museo Naval Madrid

NAN = Nationaal Archief van Nederland

NAL = The National Archives in London

ANP = Archives Nationales Paris

„And then came up Diving-Engines of various make,
some like a bell, others like a tubb, Some like a compleat
suit of armour of copper, and leather between the joynts,
and pipes to convey wind, and a Polyphemus eye in the
forehead to give light.”¹

1 Einleitung

1.1 Gewässer als dreidimensionale Räume

1.1.1 Beneath the waves

Die Meere waren in der Geschichtswissenschaft lange „the mostly unexplored nautical space in between“², und vieles davon ist noch heute unerforscht. Menschen und Gesellschaften schreiben den Meeren unterschiedliche Rollen zu, wie etwa als Ressource für den Lebensunterhalt, als Transportmedium, als Kriegsschauplatz, sowie als Sehnsuchts- oder Erinnerungsort.³ In der Geschichtswissenschaft werden Meere und Binnengewässer häufig als Schauplätze von Schlachten, als Arbeitsstätte von Seefahrern und als Verbindungs- und Handelsrouten, über die es bestmöglich zu navigieren gilt, untersucht.⁴ Historische Untersuchungen über damit zusammenhängende, technische Entwicklungen fokussieren auf den Schiff- und Hafenbau sowie Navigationsinstrumente.⁵

Seit Mitte des 20. Jahrhunderts kommen weitere Aspekte hinzu. Die „Atlantic History“⁶ betrachtet beispielsweise die atlantische Welt mit den Kontinenten, die an den Atlantischen Ozean grenzen - Amerika, Europa und Afrika - als gemeinsamer Raum des wirtschaftlichen

¹ Anonymus, *Angliae Tutamen. An Account of the Banks, Lotteries, Mines, Diving, Draining, Metallic, Salt, Linen, Lifting, and sundry other Engines, and many Pernicious Projects now on foot, tending to the Destruction of Trade and Commerce, and the Impoverishing of this Realm*, London 1695, 20.

² Michael S. Reidy / Helen M. Rozwadowski, *The Spaces In Between: Science, Ocean, Empire*, in: *Isis* 105 (2014) 338-351, 339.

³ Michael North, *Zwischen Hafen und Horizont. Weltgeschichte der Meere*, München 2016, 12.

⁴ Siehe beispielsweise Helmut Penschel, *Weltgeschichte der Seefahrt*, 5 Bd., Hamburg 2000-2004; Michael S. Reidy, *Tides of History. Ocean Science and Her Majesty's Navy*, Chicago 2008; Robert Bohn, *Geschichte der Seefahrt*, München 2011; Marcus Rediker, *Outlaws of the Atlantic. Sailors, Pirates, and Motley Crews in the Age of Sail*, Boston, MA 2014; Jürgen Elvert / Lutz Feldt / Ingo Löppenberg / Jens Ruppenthal (Hg.), *Das maritime Europa. Werte - Wissen - Wirtschaft*, Stuttgart 2016; Claire Jowitt / Craig Lambert / Steve Mentz (Hg.), *The Routledge Companion to Marine and Maritime Worlds 1400-1800*, London / New York 2020.

⁵ Siehe beispielsweise David Sobel, *Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time*, Fulham 2005; Willem F. J. Mörzer Bruyns, *Research in the history of navigation, its role in maritime history*, in: *International Journal of Maritime History* 21 (2009) 261-286; Margaret E. Schotte, *Sailing School. Navigating Science and Skill, 1550-1800*, Baltimore 2019.

⁶ Siehe Jack P. Greene / Philip D. Morgan (Hg.), *Atlantic History. A critical appraisal*, Oxford 2009.

und kulturellen Austauschs, der als Ganzes untersucht werden kann: Dies umfasst ein breites Spektrum sozialer, wirtschaftlicher, politischer, rechtlicher, militärischer, intellektueller und religiöser Themen.⁷

Inspiziert wurde die Atlantic History unter anderem von Fernand Braudels (1902-1985) Konzept der Geschichte des Mittelmeerraumes.⁸ Um sie zu beschreiben, bezog er angrenzende Kontinente mit ein. Braudel untersuchte einen erweiterten Mittelmeerraum unter Einschluss von Flandern, der Hanse, sowie den Atlantik, die Sahara und den Indischen Ozean, und die wirtschaftlichen und kulturellen Beziehungen untereinander.⁹ Damit bettete er das Untersuchungsthema in ein künstliches Gesamtsystem ein.

Kritiker an dem Konzept der Atlantic History bemängeln unter anderem eine unklare Abgrenzung und Zusammensetzung der betrachteten Region, und dass es kaum Berücksichtigung der wichtigen Interaktionen mit anderen, ebenfalls als relevant angesehenen Regionen wie Asien und Latein-Amerika gäbe. Auch würden die transnationalen Beziehungen innerhalb der Küstenzonen überbetont.¹⁰

Im Vergleich zu den Kontinenten wurde die maritime Globalgeschichte lange Zeit als eine vernachlässigte und wenig beachtete Thematik behandelt. Diese Leerstelle der Globalgeschichtsforschung in Bezug auf die Geschichte der Ozeane wird auch als „Blue Hole“¹¹ bezeichnet, woraus eine „deutliche kulturwissenschaftliche Erweiterung der meereswissenschaftlichen Forschung“, die „insbesondere die historische Meeresforschung“¹² betrifft, abgeleitet werden kann.

Der Sammelband *Weltmeere* (2014) zeigt, dass die Auseinandersetzung mit den Weltmeeren aus historischer Sicht spannende Fragestellungen zur Wissenschafts- und Kulturgeschichte der Meere bereithält.¹³ Dieser Band verdeutlicht, ebenso wie darauf folgende, teilweise

⁷ William O'Reilly, Genealogies of Atlantic History, in: *Atlantic Studies* 1 (2004) 66-84; Alison Games, Atlantic History. Definitions, Challenges, Opportunities, in: *American History Review* 111 (2006), 741-757.

⁸ Fernand Braudel, *Das Mittelmeer und die mediterrane Welt in der Epoche Philipps II.*, 3 Bd., Übers. Grete Osterwald / Günter Seib, [EA Paris 1949], Frankfurt a. M. 1990.

⁹ Peter Burke, *Die Geschichte der „Annales“*. Die Entstehung der neuen Geschichtsschreibung, 2. Auflage, Berlin 2004, 152.

¹⁰ Philip D. Morgan / Jack P. Greene, Introduction. The present State of Atlantic History, in: Jack P. Greene / Philip D. Morgan (Hg.), *Atlantic History. A critical appraisal*, Oxford 2009, 3-33, 5-6.

¹¹ Ingo Heidbrink, Closing the „Blue Hole“. Maritime History as a Core Element of Historical Research, in: *International Journal of Maritime History* 2 (2017) 325-332.

¹² Rudolf Holbach / Dietmar von Reeken, Das Meer als Geschichtsraum, oder: Warum eine historische Erweiterung der Meeresforschung unabdingbar ist, in: Rudolf Holbach / Dietmar von Reeken (Hg.), „Das ungeheure Wellen-Reich“. Bedeutungen, Wahrnehmungen und Projektionen des Meeres in der Geschichte, Oldenburg 2014, 7-22, 9.

¹³ Siehe Alexander Kraus / Martina Winkler (Hg.), *Weltmeere. Wissen und Wahrnehmung im langen 19. Jahrhundert*, Göttingen 2014.

mehrbändige Studien¹⁴, dass dieser Themenbereich zahlreiche neue Forschungsfelder bietet, die einen Erkenntnisgewinn versprechen. Diese Publikationen bezeugen „ein deutlich wachsendes wissenschaftliches Interesse am maritimen historischen Raum“¹⁵, dem „Entstehen einer neuen historischen Meereswissenschaft“¹⁶ und einer neuen „Aufgabe und Herausforderung für den Historiker“¹⁷.

In den beiden letzten Jahrzehnten erfolgte in der maritimen Geschichte zwar eine „explosionsartige Ausweitung des Wissens“¹⁸, die Forscher klammern aber erstaunlicherweise durchweg die Eroberung und Erforschung der dritten Dimension durch Gerätetauchen aus. Die meisten historischen Studien behandeln, abgesehen von einzelnen Bezügen zu Schiffswracks¹⁹, kaum die submarine Geschichte der Ozeane. Die Weltmeere als dreidimensionale Räume, die es durch Einsatz von adäquater Tauchtechnik zu erforschen gilt, wurde in der Geschichtswissenschaft bislang vergleichsweise wenig betrachtet.²⁰

„Technik“ bezeichnet sowohl Artefakte als auch menschliche Handlungen²¹ und ist damit in Anlehnung an den Technikphilosophen Günter Ropohl (1939-2017) als „sachbezogener Technikbegriff“²² zu verstehen. In diesem Sinne bezeichnet Tauchtechnik sowohl die verwendeten Geräte als auch die eingesetzte Methode.

¹⁴ Siehe beispielsweise Michael North, *Zwischen Hafen und Horizont. Weltgeschichte der Meere*, München 2016; Stephen K. Stein (Hg.), *The Sea in World History. Exploration, Travel, and Trade*, Santa Barbara CA 2017; Christian Buchet (Hg.), *The Sea in History - La Mer dans l'Historie*, 4 Bd., Woodbridge 2017; David Armitage / Alison Bashford / Sujit Sivasundaram (Hg.), *Cambridge Oceanic Histories*, Cambridge 2018; Margaret Cohen (Hg.), *A Cultural History of the Sea*, 6 Bd., London 2021; David Abulafia, *Das unendliche Meer. Die große Weltgeschichte der Ozeane*, [Engl. EA London 2019], Frankfurt a. M. 2021.

¹⁵ Alexander Kraus / Martina Winkler, *Weltmeere. Für eine Pluralisierung der kulturellen Meeresforschung*, in: Alexander Kraus / Martina Winkler (Hg.), *Weltmeere. Wissen und Wahrnehmung im langen 19. Jahrhundert*, Göttingen 2014, 9-24, 10.

¹⁶ North, *Zwischen Hafen und Horizont*, 12.

¹⁷ North, *Zwischen Hafen und Horizont*, 11.

¹⁸ Abulafia, *Das unendliche Meer*, 1007.

¹⁹ Siehe beispielsweise Steward Gordon, *A History of the World in Sixteen Shipwrecks*, Oxford 2015.

²⁰ Siehe beispielsweise Bernhard Klein / Gesa Mackenthun (Hg.), *Sea Changes: Historicizing the Ocean*, New York 2004; Jerry H. Bentley / Renate Bridenthal / Kären Wigen (Hg.), *Seascapes. Maritime Histories, Littoral Cultures, and Transoceanic Exchanges*, Honolulu 2007; John Mack, *The Sea. A Cultural History*, London 2011; Peter N. Miller (Hg.), *The Sea. Thalassography and Historiography*, Ann Arbor 2013; siehe hierzu Kapitel 1.2.1.

²¹ Wilfried Seibicke, *Technik - Versuch einer Geschichte der Wortfamilie um τέχνη in Deutschland vom 16. Jahrhundert bis etwa 1830*, Düsseldorf 1968, 276-277.

²² Günter Ropohl, *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*, 3., überarbeitete Auflage [EA München 1979], Karlsruhe 2009, 31.

Einzelaspekte wie der historische Umgang mit dem Wasser als Ressource und Umweltmedium²³, die Meereswahrnehmung²⁴ und die Entwicklung der Meereswissenschaft²⁵ oder die Beziehung zwischen Globalisierung und dem Wachstum von Wissen in Bezug auf den Ozean²⁶ werden untersucht, allerdings hat sich die historische Forschung bisher kaum mit der Frage befasst, wie der Mensch diesen Raum, in den er aus physiologischen Gründen ohne technische Hilfsmittel zeitlich und räumlich nur mit starken Einschränkungen und unter Gefahr eindringen kann, durch die Erfindung neuer Geräte zugänglich gemacht und mit wissenschaftlichen Methoden erkundet hat. Dies erscheint aber durchaus lohnenswert, denn „unter technik-, wissenschafts- und umwelthistorischen Fragestellungen erwies sich die Maritime History zuletzt als ein besonders fruchtbares Forschungsfeld, da der Umgang mit den naturalen Kräften der Meere die Menschen immer wieder zu innovativen Leistungen anregte, um ungenutzte Meeresregionen und Meerestiefen zu erschließen“²⁷. Die Maritime History beschäftigt sich mit der Erforschung der Geschichte der vielfältigen menschlichen Interaktionen mit dem Meer.²⁸

Den Betrachtungen mangelt es bislang aber an einem bedeutenden Faktor, denn „obwohl Historiker und Historikerinnen sich seit geraumer Zeit mit Ozeanen beschäftigen, bleiben sie doch meist, in einem ganz wörtlich aufgefassten Sinn, an der Oberfläche“²⁹. Folgt man der Historikerin Franziska Torma (geb. 1975), lässt sich sagen, dass diese Forschungslücke deutlich macht, „dass die jüngste historiographische Herausforderung der Einbezug der dritten Dimension des Planeten ist“³⁰.

„From the viewpoint of undersea historians, as with recent histories of mountainous and elevated zones, the vertical axis should be reinserted rather than dismissed and the surface of the sea should be seen as spatially changeable and rugged even as undersea currents and

²³ Siehe beispielsweise Christian Kehrt / Franziska Torma, Einführung: Lebensraum Meer. Globales Umweltwissen und Ressourcenfragen in den 1960er und 1970er Jahren, in: *Geschichte und Gesellschaft* 40 (2014) 313-322.

²⁴ Siehe beispielsweise Natascha Adamowsky, *Ozeanische Wunder. Entdeckung und Eroberung des Meeres in der Moderne*, Paderborn 2017.

²⁵ Siehe beispielsweise Helen M. Rozwadowski, *Vast Expanses. The History of the Oceans*, London 2018.

²⁶ Siehe beispielsweise Karel Davids, *Global Ocean of Knowledge, 1660-1860. Globalization and Maritime Knowledge in the Atlantic World*, London 2020.

²⁷ Eike-Christian Heine / Christian Zumbrägel, Technikgeschichte, Version: 1.0, in: *Docupedia-Zeitgeschichte*, 20.12.2018, <http://dx.doi.org/10.14765/zzf.dok-1319>, Letzter Zugriff 18.07.2022; siehe auch Maria Fusaro / Amelia Polonia (Hg.), *Maritime History as global History*, St. John's CAN 2010.

²⁸ Siehe Lincoln Paine, *The sea and civilization: a maritime history of the world*, New York 2013.

²⁹ Kraus / Winkler, *Weltmeere. Für eine Pluralisierung der kulturellen Meeresforschung*, 21.

³⁰ Franziska Torma, *Jenseits des „Blue Hole“: Zur Konsolidierung der Meere in der Geschichtswissenschaft*, in: *NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin*, 28 (2020) 91-103, 100.

turbulences are brought to view“³¹, plädieren auch Sivasundaram, Bashford und Armitage im Auftaktband der *Cambridge Ocean Histories* (2018) Buchreihe. Die historische Forschung solle eine neue Perspektive einnehmen: „Oceanic histories of the submarine and subaquatic realm are thus a new way to write a history ‘from below’“³².

Der Historiker David Armitage (geb. 1965) konkretisiert diesen Forschungsbedarf und forderte dazu auf, die eingangs erwähnte Atlantic History mit einer „Sub-Atlantic History“³³ zu ergänzen, konkret mit „histories of activities beneath the ocean“³⁴. Er sieht die Ozeane als „inner space awaiting scientific exploration, but also ripe for historical investigation as well“³⁵.

Die vorliegende Studie blickt deshalb, wie auch die Historikerin Kären Wigen (geb. 1958) fordert, „beneath the waves“³⁶ und bietet einen neuen Einblick, der Gewässer nicht als zeitlich oder geografisch strukturierte und historische, abstrakte Räume, sondern als materielle, dreidimensionale Räume versteht.³⁷

Um die Leistungsfähigkeit des Menschen unter Wasser zu verbessern und in diese Räume eindringen zu können, mussten neben gesellschaftlichen und kulturellen Wandlungsprozessen neue technische Hilfsmittel erfunden und bis dahin unbekannte naturwissenschaftliche Prinzipien entdeckt und angewendet werden. Taucher können in diesem Sinn durchaus als die ersten „Raumfahrer“ angesehen werden, auch wenn diese Bezeichnung heute vor allem für die interstellare Betätigung verwendet wird.

1.1.2 Soziokulturelle Rahmenbedingungen

Tauchen als eine Betätigung des Menschen unter Wasser lässt sich bereits seit vorchristlicher Zeit nachweisen.³⁸ War in der Antike der Anlass für Tauchgänge noch vorwiegend die Suche nach Nahrung und Schmuckstücken, kamen in der Frühen Neuzeit Aufgaben wie die Bergung versunkener Gegenstände und die Fundamentlegung an Molen und Brücken als Antrieb

³¹ Sujit Sivasundaram / Alison Bashford / David Armitage, Introduction, *Writing World Ocean Histories*, in: David Armitage / Alison Bashford / Sujit Sivasundaram (Hg.), *Cambridge Oceanic Histories*, Cambridge 2018, 1-27, 18.

³² Sivasundaram / Bashford / Armitage, Introduction, 19.

³³ David Armitage, *The Atlantic Ocean*, in: David Armitage / Alison Bashford / Sujit Sivasundaram (Hg.), *Cambridge Oceanic Histories*, Cambridge 2018, 85-110, 102-105; siehe hierzu Kapitel 3.1.

³⁴ Armitage, *The Atlantic Ocean*, 103.

³⁵ Armitage, *The Atlantic Ocean*, 104.

³⁶ Kären Wigen, Introduction, In: *The American Historical Review* 111 (2006) 717–721, 721.

³⁷ Siehe Götz Rohwer, *Soziale Räume und materielle Kultur. Überlegungen zu Begriffsbildungen*, Bochum 2007, 1.

³⁸ Christy Emilio Ioannidou, *Diving in Ancient Greece During the Late Archaic and Classical Period (6th-4th century BC)*, in: *Archaeology and Science* 10 (2014) 111-119.

menschlichen Handelns hinzu. Tauchabstiege waren aber nicht immer zweckgebunden, sondern ihre Phantasie und Neugierde auf die unbekannte Welt unter Wasser trieben Menschen ebenso an.³⁹

Die Frühe Neuzeit, deren Periodisierung unterschiedlich definiert wird, und hier als der Zeitraum um die Mitte des 15. Jahrhunderts bis um 1800 verstanden werden soll⁴⁰, stellt sich als eine für die Entwicklung des Gerätetauchens besonders spannende und richtungsweisende Epoche dar. Die Unterwasserwelten scheinen in diesem Zeitraum neue, multiple Horizonte zu öffnen, sie werden beschrieben als „spaces where matters of skill, free and unfree labour, capital, maritime militarism, natural philosophy, technology, empire, and aesthetic imagination came together in ways that multiply, as well as literally expand, the dimensions of our sense of oceanic modernity in the West“⁴¹.

Mit den neuen Einsatzbereichen stieg auch der Bedarf an adäquaten technischen Hilfsmitteln, um die physischen Grenzen, die dem Menschen natürlicherweise hinsichtlich Tauchdauer und -tiefe gesetzt sind, zu erweitern, weshalb die „Geschichte des Tauchens auch als eine Geschichte der Technik verstanden werden kann“⁴².

Die Geschichtswissenschaft benennt eine grundlegende Unterscheidung zwischen den Begriffen „Technikgeschichte“ und der „Geschichte der Technik“: „Die Geschichte der Technik definiert sich von ihrem Gegenstand her, ‚der Technik‘, während in der Technikgeschichte der Schwerpunkt auf der methodischen Perspektive liegt, also ‚der Geschichte“⁴³. Während in der Geschichte der Technik „eine funktionale Rationalität“⁴⁴, also die Frage nach dem Wie im Vordergrund steht, konzentriert sich die Technikgeschichte auf die „humane Perspektive“⁴⁵ und das Warum. Technikgeschichte ist „keine Geschichte von Erfindern oder von Artefakten, und auch keine Geschichte der Rekonstruktion technischer Entwicklungen. Vielmehr beschreibt und analysiert sie die Entstehung, Verbreitung und Nutzung von Technik, kurz technischer Wandel und dessen Wechselwirkung mit der Gesellschaft“⁴⁶.

In Anlehnung an diese Unterschiedsbildung soll der Fokus des hier zu bearbeitenden Gegenstandsbereichs der Technikgeschichte des Gerätetauchens in der Frühen Neuzeit nicht nur

³⁹ Siehe Adamowsky, Ozeanische Wunder, 54.

⁴⁰ Siehe Karl Vocelka, Frühe Neuzeit 1500-1800, 3., aktualisierte Auflage, München 2020, 12.

⁴¹ Killian Quigley, Fouling, Concreting, Artmaking: Three Habits of an Encrusting Ocean, [presented at the inaugural Postdoctoral Fellowship Lecture on December 1 2020 at the University of Sydney], Sydney 2020, 6.

⁴² Beate Otto, Unterwasser-Literatur. Von Wasserfrauen und Wassermännern, Würzburg 2001, 159.

⁴³ Rolf-Jürgen Gleitsmann-Topp / Rolf-Ulrich Kunze / Günther Oetzel, Technikgeschichte, Konstanz 2009, 24.

⁴⁴ Gleitsmann-Topp / Kunze / Oetzel, Technikgeschichte, 24.

⁴⁵ Gleitsmann-Topp / Kunze / Oetzel, Technikgeschichte, 24.

⁴⁶ Martina Heßler, Kulturgeschichte der Technik, Frankfurt a. M. 2012, 8.

auf der reinen Betrachtung und Beurteilung technischer Artefakte und Funktionalitäten sowie ihrer Entwicklung liegen, sondern auch auf dem soziokulturellen Kontext.

Die Erfindung und Herstellung von technischen Artefakten, sowie die daraus resultierende Wissensgenerierung können als spezifische „culture of technology“⁴⁷ beurteilt werden. Technikgeschichtsschreibung liefert daher einen wesentlichen Beitrag zum Verständnis menschlicher Kultur.⁴⁸ Der Technikphilosoph und Historiker Alfred Nordmann (geb. 1956) weist darauf hin, die Geschichtsschreibung habe zu berücksichtigen, dass sich „historische Entwicklungen unter technischen Bedingungen“⁴⁹ vollziehen und Technik ein unabdingbarer Teil unserer Lebenswelt sei.

Diese Arbeit impliziert neben dem erwähnten soziokulturellen Aspekt auch innovationshistorische⁵⁰ Fragestellungen.⁵¹ Erfindung und Herstellung technischer Artefakte lassen sich als Anfangspunkte eines technischen Wandels beschreiben. Technischer Wandel ist die stufenweise Modifikation von Artefakten, Methoden oder Handlungen.⁵² Ohne die Verbreitung und Übernahme im Sinne der Nutzung einer technischen Invention kann technischer Wandel aber nicht stattfinden, denn um wirksam angewendet zu werden, muss eine Innovation nicht nur erdacht, sondern auch in die Praxis umgesetzt, in den Markt eingeführt und kommuniziert werden. Dies ist einer der Hauptgründe, weshalb der Begriff der „Erfindung“ in der Technikgeschichte seinen zentralen Stellenwert verloren hat und in den Begriff der „Innovation“ aufgegangen ist.⁵³ Innovation ist demnach ein mehrstufiger Prozess und kein Einzelereignis.

⁴⁷ Siehe Helga Nowotny, Introduction. The Quest for Innovation and Cultures of Technology, in: Helga Nowotny (Hg.), Cultures of Technology and the Quest for Innovation, New York 2006, 1-24, 1.

⁴⁸ Siehe Heßler, Kulturgeschichte, 7.

⁴⁹ Alfred Nordmann, Technikphilosophie. Zur Einführung, Hamburg 2008, 15.

⁵⁰ Birgit Blättel-Mink / Raphael Menez, Kompendium der Innovationsforschung, 2. Auflage [EA Wiesbaden 2006], Wiesbaden 2015, 35; Siehe Frank R. Pfetsch, Innovationsforschung in historischer Perspektive. Ein Überblick, in: Technikgeschichte 45 (1978) 118-133.

⁵¹ Siehe beispielsweise zur Innovation in der Technikgeschichte: Joseph A. Schumpeter, Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process. Abridged, with an introduction, by Rendigs Fels, New York/Toronto/London 1939; Frank R. Pfetsch, Innovationsforschung als multidisziplinäre Aufgabe: Beiträge zur Theorie und Wirklichkeit von Innovationen im 19. Jahrhundert, Göttingen 1975; Gerhard Mensch, Das technologische Patt. Innovationen überwinden die Depression, Frankfurt a. M. 1975; Themenheft Technikgeschichte 45 (1978), Heft 2 „Innovation im 15./16. und im 19. Jahrhundert als technikgeschichtliches Problem“; Andrew Jamison, Technology's Theorists: Conceptions of Innovation in Relation to Science and Technology Policy, in: Technology and Culture 30 (1989) 505-533; Holger Braun-Thürmann, Innovation (Einsichten), Bielefeld 2005; Jan Fagerberg / David C. Mowery / Richard R. Nelson (Hg.), The Oxford Handbook of Innovation, Oxford 2005, Birgit Blättel-Mink / Raphael Menez, Kompendium der Innovationsforschung, 2. Auflage [EA Wiesbaden 2006], Wiesbaden 2015.

⁵² Siehe Ulrich Troitzsch, Technischer Wandel in Staat und Gesellschaft zwischen 1600 und 1750, in: Wolfgang König (Hg.), Propyläen Technikgeschichte, Dritter Band: Mechanisierung und Maschinisierung 1600-1840, Berlin 1997, 11-270, 19.

⁵³ Siehe Wolfgang König, Technikgeschichte. Eine Einführung in ihre Konzepte und Forschungsergebnisse (Grundzüge der modernen Wirtschaftsgeschichte, Band 7), Stuttgart 2009, 60.

Der Wirtschaftswissenschaftler Joseph Schumpeter (1883-1950) grenzte die Innovation klar von der Invention ab, welche alleine keinen ökonomisch relevanten Effekt hervorbringe.⁵⁴ In Innovationen sah er dagegen den „fundamentale(n) Antrieb, der die kapitalistische Maschine in Bewegung setzt und hält“⁵⁵.

Schumpeter untersuchte in den 1930er Jahren die Entstehung, Übernahme und Nutzung von Innovationen. Ihm zufolge wird das Wirtschaftswachstum durch zyklische Veränderungen angetrieben, bei denen eine neue Innovation eine alte nach einer Übergangszeit ablöst. Nach Schumpeter liegt der Schlüssel zur Innovation in dem Prozess, durch den eine Erfindung zu einer Innovation wird. Einige Erfindungen werden zu Innovationen, andere nicht. Erfindungen können mitunter sehr lange ungenutzt verharren, und werden erst dann genutzt, wenn die Bedingungen und Aussichten stimmen und ein Bedarf und eine Gelegenheit besteht, sie vorteilhaft zu nutzen.⁵⁶

Der Soziologe Everett M. Rogers (1931-2004) untersucht in seinem Werk *Diffusion of Innovations* (1962) den Prozess der Verbreitung von Erfindungen, die sich zu Innovationen entwickelt haben. Nach der Definition von Rogers muss eine Innovation nicht neu sein, sondern nur als neu wahrgenommen werden.⁵⁷ Nach Rogers verbreiten sich Innovationen über Kommunikationskanäle oder Netzwerke von einer Person zur anderen innerhalb eines sozialen Systems. Gleichgesinnte mit ähnlichen Interessen sind oft an denselben Dingen interessiert. Innovationen verbreiten sich am effektivsten innerhalb eines engen Netzwerks eines solchen sozialen Systems oder einer Gemeinschaft. Die Aufnahme und Akzeptanz von Innovationen setzt Vertrauen voraus, weshalb persönliche Kontakte und Autorität eine Schlüsselrolle spielen. Der Prozess der Verbreitung einer Innovation beinhaltet auch ihre Akzeptanz und wirtschaftliche Nutzung.⁵⁸

Oftmals werden Erfindung in der Phase der Markteinführung optimiert und weiterentwickelt, in dem sie eine nützliche und leicht herstellbare Form erhalten. Nach Ansicht des Wirtschaftshistorikers Joel Mokyr (geb. 1946) kommt die Innovation in dieser Phase der Entwicklung am besten zum Ausdruck: „During the implementation stages, inventions were usually improved, debugged, and modified in ways that qualify the smaller changes themselves

⁵⁴ Schumpeter, *Business Cycles*, 80.

⁵⁵ Schumpeter, *Kapitalismus*, 137.

⁵⁶ Schumpeter, *Business Cycles*, 82-83.

⁵⁷ Everett M. Rogers, *Diffusion of Innovations*, 5th edition [EA New York 1968], New York 2003, 18.

⁵⁸ Rogers, *Diffusion of Innovations*, 35-38.

as inventions. The diffusion of innovations [...] often required adaption of local conditions [...]“⁵⁹.

Mokyr sieht wirtschaftliches Wachstum durch Innovationen „in large part dependent on a direct link between culture and technology, through attitudes toward nature and the beliefs regarding relations between humans and their physical environment“⁶⁰.

Für die Betrachtung, was unter Innovation zu verstehen ist, gibt es, je nach Wissenschaftsdisziplin, verschiedene Ansätze mit Überschneidungen und Unterschieden.⁶¹ In der Regel ist mit Innovation eine Entwicklung im Sinne von Fortschritt verknüpft. Sowohl eine Neuheit oder aber eine (Er-)Neuerung kann eine Innovation sein. Dies bildet sich in den beiden Begriffen Basis- und Verbesserungsinnovation ab.⁶²

Der soziale Prozess der Entstehung und Nutzung einer Innovation kann durch eine Reihe von Hindernissen gehemmt werden, beispielsweise durch gesellschaftliches Festhalten an traditionellen Verhaltensmustern, institutionelle Verkrustungen, oder durch Mangel an Ressourcen, die für die Umsetzung von Innovationen erforderlich sind.⁶³

Die Abfolge der Umsetzung des technischen Fortschrittes verläuft in den wenigsten Fällen linear, sondern es gibt Rückschläge und Wechselwirkungen.⁶⁴ Die letzte Umsetzungsphase des technischen Fortschrittes, und zwar die Imitation durch Nachfolger, wird in der Forschung weiter spezifiziert in die beiden Aspekte Diffusion und Transfer. Diffusion wird in der Forschungsliteratur für eine Verbreitung der technischen Neuerungen innerhalb des Mutterlandes, und Transfer für die Übertragung in andere Länder verwendet.⁶⁵

Als Diffusion wird heute in der Innovationsforschung derjenige Prozess bezeichnet, „by which an innovation is communicated through certain channels over time among the members of a social system“⁶⁶. Ohne ein adäquates Diffusionssystem, das diese Faktoren ausreichend berücksichtigt, kann keine Verbreitung einer Innovation erfolgen. Ebenso ist die

⁵⁹ Joel Mokyr, *The Lever of Riches. Technological Creativity and Economic Progress*, Oxford 1990, 10.

⁶⁰ Joel Mokyr, *A Culture of Growth. The Origins of the Modern Economy*, Princeton 2017, 17.

⁶¹ Siehe Blättel-Mink / Menez, *Kompendium der Innovationsforschung*, 35-48.

⁶² Werner Rammert, *Technik und Innovation*, in: Andrea Maurer (Hg.), *Handbuch der Wirtschaftssoziologie*, Wiesbaden 2008, 291-319, 303.

⁶³ Carlo M. Cipolla, *The Diffusion of Innovations in Early Modern Europe*, in: *Comparative Studies in Society and History* 14 (1972) 46-52, 46.

⁶⁴ Siehe Schumpeter, *Business Cycles*, 83; Helmut Braun, *Korreferat zu Mark Spoerer*, in: Rolf Walter (Hg.), *Innovationsgeschichte*, [Erträge der 21. Arbeitstagung der Gesellschaft für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte 30. März bis 2. April 2005 in Regensburg], Stuttgart 2007, 61-68, 62.

⁶⁵ Siehe Akos Paulinyi, *Die Umwälzung der Technik in der industriellen Revolution zwischen 1750 und 1840*, in: Wolfgang König (Hg.), *Propyläen Technikgeschichte*, Dritter Band: *Mechanisierung und Maschinisierung 1600-1840*, Berlin 1997, 271-495, 462.

⁶⁶ Rogers, *Diffusion of Innovations*, 5.

Kommunikation und Geschwindigkeit der Informationsweitergabe ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Diffusion von Innovationen.⁶⁷

Generell sind Innovationen „im engen Zusammenhang mit den sie umgebenden Gesellschaften und den in diesen vorhandenen Möglichkeitsstrukturen zu verstehen“⁶⁸. Dies wird stark vereinfacht auch mit Begriffen wie „innovationsförderliches Klima“ oder „Innovationskultur“ umschrieben.⁶⁹

Eine herausgehobene Bedeutung hat also das soziokulturelle Umfeld, denn „the social structure of the system affects the innovation’s diffusion in several ways“⁷⁰. Innovationen „are more likely to succeed if they increase fitness of the unit under selection in a particular environment“⁷¹.

Im Rahmen einer Hypothese soll die Bedeutung des soziokulturellen Umfeldes für die Entwicklung des Gerätetauchens in dieser Arbeit untersucht werden.⁷²

1.1.3 Wissenschaftliches Tauchen

Erfinder ersannen nicht nur leistungsfähige Apparate, mit denen neue Aufgabenstellungen angegangen und Wissen über die Tauchtechnik generiert wurden, Tauchen ermöglichte die Erforschung des Unterwasserraumes und ließ Wissenschaftler der unterschiedlichsten Disziplinen neue Erkenntnisse über Flora, Fauna und Geologie der Wasserwelt sowie über den menschlichen Körper in einer extremen Umwelt ziehen. Diese wissenschaftliche Erkenntnisse haben eine Bedeutung weit über den Bereich des Tauchens hinaus und fließen beispielsweise in Entwicklungen der Luft- und Raumfahrttechnik mit ein. Augenscheinlich wird dies unter anderem an der Entwicklung des Druckanzuges für Piloten und Astronauten im 20. Jahrhundert, der auf der Technologie des geschlossenen Helmtauchgerätes des 19. Jahrhunderts basiert.⁷³

⁶⁷ Nathan Rosenberg, Factors affecting the diffusion of technology, in: Explorations in economic history 10 (1972) 3-34, 6.

⁶⁸ Blättel-Mink / Menez, Innovationsforschung, 23.

⁶⁹ Oliver Gassmann / Martin A. Bader, Patentmanagement. Innovationen erfolgreich nutzen und schützen, 4. Auflage, Heidelberg 2017, 150; siehe Thomas Wieland, Innovationskultur. Theoretische und empirische Annäherung an einen Begriff, in: Reinhold Reith / Rupert Pichler / Christian Dirninger (Hg.), Innovationskultur in historischer und ökonomischer Perspektive. Modelle, Indikatoren und regionale Entwicklungslinien, Innsbruck 2006, 21-38.

⁷⁰ Rogers, Diffusion of Innovations, 24.

⁷¹ Mokyr, A Culture of Growth, 163.

⁷² Siehe hierzu Kapitel 1.3, Hypothese 1.

⁷³ Mehr zu den gemeinsamen physiologischen Herausforderungen von Tauchern und Astronauten findet sich in Michael Jung, Unterwassertrainingsprogramme für Astronauten, in: Divemaster 79 (2014) 75-60; Siehe auch Torrance R. Parker, 20.000 Jobs Under the Sea: A History of Diving and Underwater Engineering, Palos Verdes

Der Begriff der Technologie erfuhr über die Jahrhunderte einen Bedeutungswandel.⁷⁴ Die Beschreibung des frühen Technikhistorikers Johann Beckmann (1739-1811) in seiner *Anleitung zur Technologie* (1777) lässt darauf schließen, dass darunter vorwiegend eine praktische, nutzbringende Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse verstanden wurde.⁷⁵ Folgt man Günter Ropohl, lässt sich sagen, dass unter „Technologie“ die Wissenschaft von der Technik verstanden werden kann. Während Technik den „Bereich der konkreten Erfahrungswirklichkeit bezeichnet, meint Technologie die Menge wissenschaftlich systematisierter Aussagen über jenen Wirklichkeitsbereich“⁷⁶. Tauchtechnologie ist demzufolge die Wissenschaft von der Tauchtechnik.

Gerätetauchen erfüllt eine Vielzahl unterschiedlicher Zwecke, die von Bergungsaufgaben über Unterwasserbauarbeiten bis hin zu reinen Forschungstauchgängen zur Generierung neuen Wissens reichen. Vor allem in der marinen Biologie spielt Tauchen für einen wissenschaftlichen Zweck eine „essential role“⁷⁷, öffnet „unexpected horizons in science“⁷⁸, und leitete so einen grundlegenden und nachhaltigen Wandel ein:

„The direct access to underwater habitats determined a scientific revolution, by allowing a considerable advancement of the marine world’s knowledge and constituting an approach that no surface-operated instrument can ever match. Scientific diving assumed an importance comparable to that of the electron microscope in cell biology“⁷⁹.

Die Wissensgenerierung durch tauchende Wissenschaftler wird heute international mit „Scientific Diving“⁸⁰ bezeichnet, und ist in vielen Ländern als Berufsausbildung etabliert.⁸¹ Der

Peninsula CA 1997, 299-302; Alexander von Lünen, *Under the waves, above the clouds. A history of the pressure suit*. Dissertation, Fachbereich Gesellschafts- und Geschichtswissenschaften der Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt 2010.

⁷⁴ Siehe beispielsweise Eric Schatzberg, *Technology. Critical History of a Concept*, Chicago / London 2018; Graeme Gooday, „Vague and Artificial“: The Historically Elusive Distinction between Pure and Applied Science, in: *Isis* 103 (2012) 546-554; Schatzberg, *Technology*; David F. Channell, *The Rise of Engineering Science. How Technology Became Scientific*, Cham 2019, 189; Ursula Klein, *Technoscience in History: Prussia, 1750-1850*, London 2020, 227-241.

⁷⁵ Johann Beckmann, *Anleitung zur Technologie, oder zur Kenntniß der Handwerke, Fabriken und Manufacturen*, Göttingen 1777, Vorrede.

⁷⁶ Ropohl, *Allgemeine Technologie*, 31.

⁷⁷ Riccardo Cattaneo-Vietti / Angelo Mojetta, The essential role of diving in Marine Biology, in: *Bulletin of Environmental and Life Sciences* 3 (2021) 1-44, 1.

⁷⁸ Cattaneo-Vietti / Mojetta, The essential role, 4.

⁷⁹ Cattaneo-Vietti / Mojetta, The essential role, 1.

⁸⁰ Eric Barham, *Scientific Diving*, in: *Science* 176 (1972) 663-664.

⁸¹ Siehe beispielsweise Richard Stanulla / Steffen Hein / Thomas Pohl, *Methoden und Einsatzgebiete Wissenschaftlicher Taucher*, in: *Wasserwirtschaft* 110 (2020) 59-62; Alexandros Tourtas / Kimon Papadimitriou / Elpida Karadimou / Ralph O. Schill, *Diving as a Scientist: Training, Recognition, Occupation - The „ScienceDIVER“ Project*, in: Sérgio António Neves Lousada / Rafael Camacho (Hg.), *Underwater Work*, London 2020, 17-35, 18.

tiefgreifendste Beitrag des Tauchens zur Unterwasserforschung sind die sonst nicht erlangbaren Erkenntnisse, die nur durch direkte Beobachtung in situ gewonnen werden können.

Die Geschichte der Meeresforschung liefert zahlreiche Beispiele für Rätsel, die möglicherweise ungelöst geblieben wären, und für Erkenntnisse, die ohne die direkte Beobachtung beim Tauchen höchstwahrscheinlich falsch interpretiert worden wären.⁸² Eine Frage, die bislang nicht im Vordergrund der historischen Forschung stand, lautet, wann und in welchem Kontext das wissenschaftliche Tauchen einsetzte, Menschen also nicht nur für den Nahrungserwerb oder Bergungstätigkeiten tauchen, sondern dies rein aus wissenschaftlichem Antrieb taten. Ihr soll in dieser Arbeit ebenfalls vor dem Hintergrund einer Hypothese nachgegangen werden.⁸³

1.2 Forschungsstand und Quellenlage

1.2.1 Forschungsstand

Wie vorhergehend ausgeführt wurde, wird der Kultur- und Technikgeschichte des Gerätetauchens bislang kaum Beachtung geschenkt. Sie kann auch im Vergleich zur Geschichte des Fliegens als deutlich weniger erforscht eingestuft werden.⁸⁴ Dabei sind Gerätetauchen und Fliegen, zumindest in den Anfangsjahren, eng miteinander verwandt. Eine Ballonfahrt kann durchaus mit einer Taucherglockenfahrt über den Meeresgrund verglichen werden.⁸⁵ Schon in der Alexandererzählung gehörte Fliegen und Tauchen zu einem gemeinsamen Handlungsstrang.⁸⁶ Das Heldenepos erfuhr über die Jahrhunderte hinweg vielerlei Bearbeitungen und Akzentuierungen, immer aber waren Alexanders Greifenflug und sein Abstieg auf den Meeresgrund die beiden Höhepunkte.⁸⁷ Auch die Körpererfahrungen „des unter

⁸² Siehe beispielsweise Jon D. Witman / Paul K. Dayton / Suzanne N. Arnold / Robert S. Steneck / Charles Birkeland, *Scuba Revolutionizes Marine Science*, in: Michael A. Lang / Roberta L. Marinelli / Susan J. Roberts (Hg.), *Research and Discoveries. The Revolution of Science through Scuba*, Washington 2013, 3-11, 3.

⁸³ Siehe hierzu Kapitel 1.3, Hypothese 2.

⁸⁴ Siehe beispielsweise Wolfgang Behringer / Constance Ott-Koptschalijski, *Der Traum vom Fliegen. Zwischen Mythos und Technik*, Frankfurt a. M. 1991; Jessika Wichner, *Technische Innovation und literarische Repräsentation: Der Traum vom Fliegen von der Antike bis zu den Ballonaufstiegen im Großbritannien des ausgehenden 18. Jahrhunderts. Eine wissenschaftsgeschichtliche Studie*, Göttingen 2010.

⁸⁵ Siehe beispielsweise Erasmus Darwin, *The Botanic Garden. A Poem with philosophical notes*, Part 1, 4th edition, London 1799, 200; Anonymus, *Die Taucherglocke*, in: *Das Pfennig Magazin der Gesellschaft zur Verbreitung gemeinnütziger Kenntnisse* 1 (1833) 3-4, 4, siehe Adamowsky, *Ozeanische Wunder*, 106.

⁸⁶ Oskar Ebermann, *Sagen der Technik. Von Fliegern und Schiffern, Brücken und Bauten, Uhren, Glocken, Zauberspiegeln und andern Dingen*, 2. Auflage, Leipzig 1943, 52-53; Herbert Walz, *Alexanders Tauchfahrt. Technikgeschichtliche Beobachtungen an deutschen mittelalterlichen Erzählvarianten*, in: Rudolf Hoberg (Hg.), *Technik in Sprache und Literatur*, Darmstadt 1994, 43-58, 57.

⁸⁷ Behringer / Ott-Koptschalijski, *Der Traum vom Fliegen*, 180.

Wasser fliegen Dürfens“⁸⁸ in der Schwerelosigkeit sind zwischen Tauchen und Fliegen durchaus vergleichbar.

Für den Technikhistoriker Kurt Möser (geb. 1955) gehört Tauchgeschichte zu den „Grauzonen der Technikgeschichte“⁸⁹. Auch die Innovation, d. h. die Verbreitung und der Transfer von neuem Wissen und neuer Tauchtechnologie während der Frühen Neuzeit, ist kaum erforscht.

Ein Überblick über den Bestand an wissenschaftlicher Literatur, die sich mit der Kultur- und Technikgeschichte des Tauchens beschäftigt, fällt mangels Masse sehr knapp aus. Das Werk *Kulturgeschichte der Technik* des Technikhistorikers Franz Maria Feldhaus (1874-1957), in dem er unter anderem auf die Geschichte des Tauchens eingeht, liegt schon fast ein Jahrhundert zurück, und ist in überwiegenden Teilen aufgrund neuer Erkenntnisse überholt.⁹⁰

Die heute, nach mehr als einem halben Jahrhundert, immer noch als Standardwerke zur Tauchtechnik angesehenen Bücher *Tauchertechnik* von dem deutschen Ingenieur und Erfinder Hermann Stelzner⁹¹ (1884-1942) und *Deep Diving and Submarine Operations* von seinem englischen Gegenpart Robert H. Davis⁹² (1870-1965), inhaltlich letztmalig mit der 6. Auflage 1955 bearbeitet, widmen sich dem damaligen Stand der Tauchtechnik und decken das Gebiet der Geschichte des Tauchens nur rudimentär ab.

Die internationalen Autoritäten Ian McNeil (geb. 1933) und Maurice Daumas (1910-1984) beschäftigen sich in ihren Standardwerken zur Geschichte der Technologie nicht oder nur in einem kurzen Absatz mit der Entwicklung des Gerätetauchens.⁹³

Der Schweizer Technikhistoriker Hermann Heberlein (1912-1999) fasste 1972 in einem Vortrag beim Zweiten Internationalen Kongress für die Geschichte der Ozeanografie den bisherigen Wissensstand zur Tauchgeschichte stichwortartig zusammen.⁹⁴ Sie basierte auf einer

⁸⁸ Gunter Schöbel, Frühe taucharchäologische Untersuchungen im Verband der Deutschen Sporttaucher. Ein Rückblick auf die 1950er Jahre, in: *Skyllis*, Zeitschrift für Unterwasserarchäologie 14 (2014) 180-191, 182.

⁸⁹ Kurt Möser, Grauzonen der Technikgeschichte, in: *Technikdiskurse*, Karlsruher Studien zur Technikgeschichte 6 (2011) 57-64.

⁹⁰ Franz Maria Feldhaus, *Kulturgeschichte der Technik*, Berlin 1928.

⁹¹ Hermann Stelzner, *Tauchertechnik*. Handbuch für Taucher über den Bau und die Anwendung von Tauchergeräten aller Art, 2. Auflage [EA Lübeck 1931], Lübeck 1943.

⁹² Robert H. Davis, *Deep diving and submarine operations: a manual for deep sea divers and compressed air workers*, 8th edition, [Diving scientifically and practically considered. Being a diving manual and Handbook of submarine appliances, EA London 1909], Gwent 1981.

⁹³ Ian McNeil, *An Encyclopaedia of the history of technology*, London 2002, 553; Maurice Daumas, *Histoire générale des techniques*, 5 Bd., Paris 1962-1979.

⁹⁴ Siehe Hermann Heberlein, Historical development of diving and its contribution to marine science and research, in: William Herbert Rutherford (Hg.), *Second International Congress on the History of Oceanography. Challenger Expedition Centenary*, Edinburgh, 12 to 20 September 1972, (Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, Edinburgh 1972), 283-296.

Literaturrecherche. Wichtige Quellen, wie beispielsweise frühe Privilegien, waren ihm damals noch nicht zugänglich und blieben unberücksichtigt.

Als die weltweit erste Abhandlung, die sich ausschließlich mit dem Gebiet der Tauchgeschichte befasst, gilt das 1987 erschienene Buch *Historia del Buceo* von Tomás Rodríguez Cuevas (geb. 1923) und Juan Ivars Perelló⁹⁵, welches allerdings hauptsächlich die Entwicklung in Spanien, und hier innerhalb der spanischen Marine im 19. und 20. Jahrhundert, im Fokus hat. Mit wissenschaftlichem Anspruch untersuchte John Bevan (1943-2020) 1996 die Entstehungsgeschichte des Helmtauchanzuges in England in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, und die damit verbundene Rolle von John und Charles Deane.⁹⁶ Auf die Vorgänge in der Frühen Neuzeit geht Bevan nicht ein.

Ein Jahr nach Bevan publizierte der Berufstaucher Torrance R. Parker (geb. 1928) eine Übersicht über die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten für Taucher und darin auch eine überblicksartige Zusammenfassung der Geschichte des Tauchens.⁹⁷ Der Schwerpunkt liegt auf den Bauarbeiten der Häfen von Los Angeles und Long Beach im 19. Jahrhundert, die Entwicklung der Tauchindustrie für Offshore-Ölbohrinseln und die Bergungsaufgaben nach dem 2. Weltkrieg. Das Werk Parkers besitzt dementsprechend in Bezug auf das Thema dieser Arbeit ebenfalls keine Relevanz.

Das vor mehr als zwei Jahrzehnten publizierte *Handbuch zur Tauchgeschichte* fokussierte auf die Entwicklung des Schwimmtauchens ab der Mitte des 19. Jahrhunderts.⁹⁸ Die von Vianney Mascret an der Universität in Lyon publizierte Dissertation *L'aventure sous-marine* befasst sich ausschließlich mit der Entwicklung in Frankreich im 19. und 20. Jahrhundert.⁹⁹ Werke, wie das Buch *Helmets of the Deep* von Leon Lyons¹⁰⁰ wurden für Sammler verfasst, ohne Anspruch auf historische Vollständigkeit und wissenschaftliche Akkuratheit.

2018 erschien das Werk *Diving and Underwater Technology 1405-1830* von Nigel Phillips.¹⁰¹ Es führt bibliografische Angaben über die wichtigsten Entwicklungsschritte und Begebenheiten in diesem Zeitraum auf, verbleibt aber im aufzählenden Schemata, ohne die

⁹⁵ Tomás Rodríguez Cuevas / Juan Ivars Perelló, *Historia del buceo su desarrollo en España*, Murcia 1987.

⁹⁶ John Bevan, *The infernal diver. The Lives of John and Charles Deane, their Invention of the Diving Helmet and its first application*, Gosport 1996.

⁹⁷ Torrance R. Parker, *20.000 Jobs Under the Sea: A History of Diving and Underwater Engineering*, Palos Verdes Peninsula CA 1997.

⁹⁸ Michael Jung, *Das Handbuch zur Tauchgeschichte. Techniken. Geräte. Berufe. Erfindungen*, Stuttgart 1999.

⁹⁹ Vianney Mascret, *L'aventure sous-marine: Histoire de la plongée sous-marine de loisir en scaphandre autonome en France (1865-1985)*, Dissertation, Fakultät Education - Psychologie - Information et Communication, Université de Lyon 2010.

¹⁰⁰ Leon Lyons, *Helmets of the Deep*, Saint Augustine 1988.

¹⁰¹ Nigel Phillips, *Diving and Underwater Technology 1405-1830. A narrative Bibliography*, Chilbolton 2018.

kulturhistorischen und naturwissenschaftlichen Wechselwirkungen einzubeziehen. Phillips wertete vorwiegend Quellen in England aus, und ließ andere Quellen, wie etwa im Archivio di Stato in Venedig, dem Archivo General de Indias in Sevilla oder dem Österreichischen Staatsarchiv in Wien unberücksichtigt. Gerade hier lagert noch weitgehend ungesichtetes Quellenmaterial in Form von Privilegien. Phillips Zusammenstellungen wurden bewusst so einfach wie möglich gehalten und richten sich nicht an den professionellen Bibliographen, sondern an den Amateur.¹⁰² Es handelt sich um eine kommentierte Bibliografie, geht aber insofern darüber hinaus, als dass Phillips erstmals einige lateinische Texte mit Bezug zu frühen Tauchgeräten in Englisch übersetzt, und damit der breiten Öffentlichkeit zugänglich macht.

Hier anzuführende, neuere Aufsätze über Entwicklungen in der Frühen Neuzeit fokussieren auf die Entwicklung des Bergungstauchens¹⁰³ oder des Unterseebootes¹⁰⁴, und haben einen engen Betrachtungszeitraum¹⁰⁵ sowie regionalen Bezug¹⁰⁶. Die Tauchgeräteentwicklung wird nicht oder nur am Rande vor dem Hintergrund der Entwicklung der Naturwissenschaften gesehen.¹⁰⁷

Aufsätze in den Fachmagazinen *Historical Diving Times* (London, seit 1991) und *Historical Diver* (Los Angeles, seit 1993) haben, mit wenigen Ausnahmen, populärwissenschaftlichen Charakter. Seit 2005 erscheint jährlich in London das *International Journal of Diving History* mit wissenschaftlichem Anspruch. Es befasst sich mit einzelnen Themenbereichen aus der Geschichte des Tauchens.

Wie aus der Darstellung des Forschungsstandes zu erkennen ist, weisen sowohl die Kultur- als auch die Technikgeschichte zahlreiche Forschungslücken zu dem für die Arbeit gewählten Thema auf, was in erster Linie darauf zurückzuführen ist, dass sich die Forschung bislang noch nicht ausreichend mit dieser Thematik beschäftigt hat. Die Einflüsse der neuen experimentellen Methode¹⁰⁸ auf das Gerätetauchen hat bisher weder in der Technik- noch in der

¹⁰² Phillips, *Diving and Underwater Technology*, 11.

¹⁰³ John E. Ratcliffe, *Bells, Barrels and Bullion: Diving and Salvage in the Atlantic World, 1500 to 1800*, in: *Nautical Research Journal* 56 (2011) 34-56.

¹⁰⁴ Rebekka von Mallinckrodt, *Taucherglocken, U-Boote und Aquanauten - Die Erschließung der Meere im 17. Jahrhundert zwischen Utopie und Experiment*, in: Karin Friedrich (Hg.): *Die Erschließung des Raumes. Konstruktion, Imagination und Darstellung von Räumen und Grenzen im Barockzeitalter*, Wiesbaden 2014, S. 337-354.

¹⁰⁵ Rebekka von Mallinckrodt, *Exploring Underwater Worlds. Diving in the Late Seventeenth-/ Early Eighteenth-Century British Empire*, in: Daniela Hacke/ Paul P. Musselwhite (Hgg.): *Empire of Senses. Sensory Practices of Colonialism in Early America*, Leiden: Brill 2017, S. 300-322.

¹⁰⁶ Philippa Hellawell, *Diving engines, submarine knowledge and the 'wealth fetch'd out of the sea*, in: *Renaissance Studies* 34 (2019) 78-94.

¹⁰⁷ Siehe hierzu Kapitel 1.3, Forschungsfrage 2 und 3.

¹⁰⁸ Zur Entwicklung der experimentellen Methode siehe beispielsweise Alfred Rupert Hall, *Scientific method and the progress of techniques*, in: Edwin Ernest Rich / Charles Henry Wilson (Hg.), *The economy of expanding Europe in the sixteenth and seventeenth centuries*, New York 1967, 96-154; Barry Gower, *Scientific Method: A*

Geschichtswissenschaft hinreichende Beachtung gefunden, so dass die vorliegende Arbeit dazu beitragen soll, diese Forschungslücke zu schließen.

1.2.2 Quellenlage

1.2.2.1 Zeitgenössische Fachliteratur

Technische Literatur ist neben der Akten- und Urkundenüberlieferung, zu der Privilegien und Patente zählen, die wichtigste Quellengruppe der Technikgeschichte. Ihr Umfang wuchs seit dem 15. Jahrhundert beständig an.¹⁰⁹

Bereits früh enthielten gedruckte Publikationen auch detaillierte Technikbilder. Besonders deutlich ist dies beispielsweise an dem Bergbaubuch *De re metallica libri XII* (1556) von Georgius Agricolas (1494-1555) ersichtlich, einem der wichtigsten chemisch-technischen Werke der Frühen Neuzeit.¹¹⁰ Es enthält 292 Holzschnitte, die teilweise von dem Autor selbst entworfen wurden. Sie haben den Charakter von technischen Zeichnungen, denn die Geräte und Handlungsabläufe ergänzen die Texte.¹¹¹

Ab dem 16. Jahrhundert entwickelte sich, von England ausgehend, eine nautische Fachliteratur.¹¹² Anfangs erschienen Werke zur Navigationskunst, später kamen Texte über die Schiffbautechnik hinzu. Der Gehalt der nautischen Fachliteratur auf Themen und Beschreibungen zur zeitgenössischen Tauchtechnik soll untersucht werden.

Das 18. Jahrhundert verzeichnet etwa das dreifache an Publikationen zur Technik und Technikgeschichte als das vorhergehende, was das steigende Interesse an dieser Thematik dokumentiert. Unter der Wirkung der Aufklärung und eines technologiefördernden

Historical and Philosophical Introduction. London 1996, 21-39; Charles Van Doren, Geschichte des Wissens, München 2000, 184-212; Fritz Krafft, Aufbruch ins Neue: Die Naturwissenschaften der Frühen Neuzeit, in: Monumenta Guericiana 13 (2005) 3-12, 4-5; David Wootton, The Invention of Science: A New History of the Scientific Revolution. London 2015, 310-360; Bernd Roeck, Der Morgen der Welt. Geschichte der Renaissance. München 2017, 978.

¹⁰⁹ Ulrich Troitzsch, Die Technik der Frühen Neuzeit in der neueren deutschen Technikgeschichte, in: Wolfgang König / Helmut Schneider (Hg.), Die technikhistorische Forschung in Deutschland von 1800 bis zur Gegenwart, Kassel 2007, 227-256, 242.

¹¹⁰ Georgius Agricola (Georg Bauer), *De re metallica libri XII*, Basel 1556.

¹¹¹ Katrin Cura, Bilder und Texte - von der Dokumentation zum Protokoll in der Chemie, in: Johann Anselm Steiger / Sandra Richter / Marc Föcking, Innovation durch Wissenstransfer in der Frühen Neuzeit, Kultur- und geistesgeschichtliche Studien zu Austauschprozessen in Mitteleuropa, Leiden 2010, 279-307.

¹¹² Siehe Thomas R. Adams, The beginnings of maritime publishing in England, 1528-1640, in: The Library, sixth series, 14 (1992) 207-220; Thomas R. Adams / David D. Waters, English maritime books printed before 1801. Relating to ships, their construction and operation at sea, Providence RI / Greenwich 1995.

Kameralismus¹¹³, durch den die deutschen Territorialstaaten ihren Entwicklungsstand heben wollten, sowie der aufkeimenden Industriellen Revolution¹¹⁴ richtet sich das Augenmerk über die aktuelle Technik hinaus auf ihre Geschichte, um ihr einen Erfahrungsschatz abzugewinnen und für neue Entwicklungen zu nutzen.¹¹⁵

Mit dem 19. Jahrhundert begann eine kritisch-vergleichende Analyse der Ausführungen über Technik in den unterschiedlichen historischen Quellen sowie deren quellenkritische Würdigung.¹¹⁶ Ein Beispiel dafür findet sich in der Person von Johann Beckmann und sein „universales, lebendiges Interesse am jeweiligen Gegenstand, [und die] ehrliche und kritische Auseinandersetzung mit der älteren Literatur“¹¹⁷. Darüber hinaus war sein besonderer Augenmerk bereits darauf gerichtet, den technischen Wandel im gesellschaftlichen Kontext zu erfassen und interdisziplinär darzustellen.

Nur vereinzelt haben frühe Erfinder wie etwa Franz Kessler¹¹⁸ (1580-1650) oder Karl-Heinrich Klingert¹¹⁹ (1760-1828), die in dieser Arbeit als Quellen dienen, Monographien zu ihren Tauchgeräte-Erfindungen publiziert. Deshalb sind neben Privilegien zeitgenössische Erfinderbücher¹²⁰ heranzuziehen, die eine Sammlung von Vorschlägen für neue Erfindungen enthalten. Neben diesen Erfinderbüchern sind mehrbändige Enzyklopädien und Überblickswerke als mögliche Fundstellen zur Geschichte des Tauchens von Bedeutung.¹²¹ Exemplarisch sei dafür auf die folgenden Werke verwiesen.

Die *Technica curiosa, sive mirabilia artis* des Jesuiten Caspar Schott (1608-1666) wird als eines der „Schlüsselwerke für die Technikgeschichte“¹²² eingestuft.¹²³ Es war ein frühes

¹¹³ Friedrich-Wilhelm Henning, Handbuch der Wirtschafts- und Sozialgeschichte Deutschlands. Band 1, Paderborn 1991, 757.

¹¹⁴ Siehe zu dem Begriff der „Industriellen Revolution“ Paulinyi, Die Umwälzung der Technik, 271.

¹¹⁵ Gleitsmann-Topp / Kunze / Oetzel, Technikgeschichte, 119.

¹¹⁶ Ulrich Troitzsch, Zu den Anfängen der deutschen Technikgeschichtsschreibung um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert, in: Technikgeschichte 40 (1973) 33-57, 50.

¹¹⁷ Christian Hünemörder, Johann Beckmanns Verdienste um die beschreibende und angewandte Naturgeschichte, in: Hans-Peter Müller (Hg.), Technologie zwischen Fortschritt und Tradition, (Beiträge zum Internationalen Johann-Beckmann-Symposium Göttingen 1989), Frankfurt a. M. 1992, 63-79, 79.

¹¹⁸ Siehe Franz Kessler, *Secreta oder verborgene geheime Künste*, Oppenheim 1616.

¹¹⁹ Siehe Karl Heinrich Klingert, Beschreibung einer in allen Flüssen brauchbaren Tauchermaschine, Breslau 1797.

¹²⁰ Werner Sombart, *Der moderne Kapitalismus. Historisch-systematische Darstellung des gesamteuropäischen Wirtschaftslebens von seinen Anfängen bis zur Gegenwart*. Erster Band, zweite Hälfte, Die vorkapitalistische Wirtschaft, [EA 1902], 6. Auflage, Leipzig 1924, 465.

¹²¹ Günter Bayerl, Technik in Mittelalter und Früher Neuzeit, Stuttgart 2013, 165-166.

¹²² Pinl, Kessler, 24; Siehe auch Dietrich Unverzagt, *Philosophia, Historia, Technica*. Caspar Schotts *Magia universalis*. Dissertation, Fachbereich Kommunikations- und Geschichtswissenschaften, Technische Universität Berlin 2000.

¹²³ Caspar Schott, *Technica curiosa, sive mirabilia artis*, Nürnberg 1664.

Kompendium wissenschaftlicher und medizinischer Technologien und als Folge der *Physica Curiosa* Teil eines zweibändigen Werkes.¹²⁴

Der Londoner Geistliche John Harris (1666-1719) veröffentlichte 1704 *das Lexicon technicum, or an Universal English dictionary of arts and sciences*. Es hat einen deutlichen Schwerpunkt im Bereich der Technik. 1710 erschien ein zweiter Band.¹²⁵

Mit seinem neunbändigen Maschinenbuch *Theatrum Machinarum* des Instrumentenbauers und Enzyklopädisten Jacob Leupold (1674-1727)¹²⁶ geht es Leupold um die praxisnahe Darstellung des Standes der Technik, und damit der Hebung des Wohlstands im Lande.¹²⁷ Leupold führte 1724 den Begriff „Technik“ ins Deutsche ein.¹²⁸

Das 64-bändige *Große vollständige Universal-Lexikon aller Wissenschaften und Künste* (1731-1754) des Johann Heinrich Zedler (1706-1751) entwickelte sich „zur umfassendsten deutschsprachigen Enzyklopädie des 18. Jahrhunderts“¹²⁹.

Die *Beytraege zur Geschichte der Erfindungen* (5 Bände, 1786-1805) von Johann Beckmann¹³⁰ sowie der *Versuch eines Handbuchs der Erfindungen* (8 Bände, 1790-1798) von Gabriel Christoph Benjamin Busch¹³¹ (1759-1823) enthalten eine Fülle von Informationen, jedoch keine Illustrationen, die ein tieferes Verständnis für die Funktionsweise ermöglichen würden.¹³²

Ab 1665 bis heute erscheinen in London die *Philosophical Transactions of the Royal Society*, eine wissenschaftliche Fachzeitschrift, die von der Royal Society of London for Improving Natural Knowledge (im Weiteren als Royal Society of London bezeichnet) herausgegeben wird. Sie enthält Tagungsberichte, Buchrezensionen und Fachaufsätze. Im gleichen Jahr erschien in Paris das französische *Journal des sçavans*. Auch es gibt einen guten Einblick in den Stand von Technik und Wissenschaft, zumindest bis zur Französischen Revolution. Danach änderte sich der Schwerpunkt des Journals von der Wissenschaft zur Literatur. Als erste wissenschaftliche Zeitschrift im deutschsprachigen Raum gilt die ab 1670

¹²⁴ Caspar Schott, *Physica curiosa, sive mirabilia naturae et artis* libris XII, Nürnberg 1662.

¹²⁵ John Harris, *Lexicon technicum: or an Universal English dictionary of arts and sciences*, 2 Bd., London 1704/1710.

¹²⁶ Jacob Leupold, *Theatrum Machinarum*, 9 Bd., Leipzig 1724-1767.

¹²⁷ Siehe Ulrich Troitzsch, *Zum Stande der Forschung über Jacob Leupold (1674-1727)*, in: *Technikgeschichte* 42 (1975) 263-286.

¹²⁸ Seibicke, *Technik*, 89, 92-93.

¹²⁹ Siehe Ulrich Johannes Schneider, *Das 'Universal-Lexikon' von Johann Heinrich Zedler oder: Die 'Wikipedia' des 18. Jahrhunderts*, in: *Gegenworte* 19 (2008) 58-61.

¹³⁰ Johann Beckmann, *Beytraege zur Geschichte der Erfindungen*, 5 Bd., Leipzig 1786-1805.

¹³¹ Gabriel Christoph Benjamin Busch, *Versuch eines Handbuchs der Erfindungen*, 8 Bd., Eisenach 1790-1798.

¹³² Gleitsmann-Topp / Kunze / Oetzel, *Technikgeschichte*, 114.

erschienene *Miscellanea curiosa medico-physica*. Sie war in erster Linie für den Informationsaustausch unter den Mitgliedern der 1652 in Schweinfurt gegründeten Academia Leopoldina gedacht.¹³³

Eine wichtige Rolle als früher Wissenschaftsorganisator im 17. Jahrhundert hat der Herausgeber der *Philosophical Transactions of the Royal Society* und Sekretär der Royal Society, Henry Oldenburg (1618-1677). Über ihn lief die Korrespondenz mit Wissenschaftlern, Gutachtern und Institutionen.¹³⁴ Aus diesem Grund ist sein Schriftwechsel bedeutsam für diese Arbeit. *The Correspondence of Henry Oldenburg* wurde in den Jahren 1965 bis 1986 in 13 Bänden publiziert.¹³⁵ Wichtige Briefpartner waren unter anderem Edmond Halley (1656-1742) und Robert Boyle (1627-1691). In diesem Zusammenhang ist auch die Korrespondenz von Robert Boyle von besonderem Interesse, die 2001 in 6 Bänden erschienen ist.¹³⁶ 1744 publizierte Thomas Birch (1705-1766) *The Works of the Honourable Robert Boyle* in 5 Bänden, die Neuauflage erschien 1772 in 6 Bänden.¹³⁷ Es enthält Boyles wichtigste Schriften, transkribiert von seinen Originalmanuskripten.

Viele der hier aufgeführten frühen Zeitschriften und Bücher sind inzwischen digitalisiert und online recherchierbar, etwa über die Portale VD16 und VD17 (Verzeichnis der Drucke 16. bzw. 17. Jahrhundert).

Da sich wesentliche Begebenheiten in der Geschichte der Tauchens der Frühen Neuzeit in England abspielten, wurden die Datenbasen von *Early English Books Online* (EEEB), *Eighteenth Century Collection Online* (ECCO), und die *Seventeenth and Eighteenth Century Burney Newspapers Collection* (BBCN), die 1.270 Titel aus dem 17. und 18. Jahrhundert enthält, nach Schlüsselbegriffen (Diving, Diver, Bell, Wreck, Submarine, Urinator) für den Zeitraum von 1600 bis 1799 online durchsucht.

¹³³ Siehe David Kronick, *A History of Scientific and Technical Periodicals: The Origins and Development of the Scientific and Technological Press, 1665-1790*, Metuchen NJ 1962.

¹³⁴ Siehe Jordan Avramov, *Letters and questionnaires. The correspondence of Henry Oldenburg and the early Royal Society of London's Inquiries for Natural History*, in: Paula Findlen (Hg.), *Empires of knowledge. Scientific networks in the early modern world*, London 2019, 161-180.

¹³⁵ Henry Oldenburg, *The Correspondence of Henry Oldenburg*, Hg. Alfred Rupert Hall / Marie Boas Hall, 13 Bd., Madison 1965-1983.

¹³⁶ Robert Boyle, *The Correspondence of Robert Boyle*, Hg. Michael Hunter / Lawrence M. Principe / Antonio Clericuzio, 6 Bd., London 2001.

¹³⁷ Robert Boyle, *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition*, Hg. Thomas Birch, 6 Bd., [EA in 5 Bd. 1744], London 1772.

1.2.2.2 Erfinderprivilegien und Patentrecht

Privilegien auf Erfindungen gehören zu den ältesten Quellen technischen Schrifttums.¹³⁸ Gleichzeitig zählen sie als Primärquellen zu den wichtigsten Basisdokumenten für ein technikhistorisches Forschungsprojekt.¹³⁹ Die Analyse des Patentwesens beziehungsweise die empirisch-ökonomische Auswertung von Patentdaten wurde „als eine zentrale Quelle innovationsgeschichtlicher Forschung identifiziert“¹⁴⁰. Erfindungen dürfen jedoch nicht gleichgesetzt werden mit Innovationen.

Die Wurzeln des Privilegienwesens für Erfindungen lassen sich bis in die griechische Antike zurückverfolgen.¹⁴¹ Ab dem 15. Jahrhundert sind Privilegien häufiger nachweisbar.

Privilegien stellten zwar formal einen speziellen Schutzbereich dar, aber da in der Frühen Neuzeit die Herrscher einen umfassenden Schutz noch nicht umsetzen konnten, blieben, um Nachahmer zu verhindern, technische Details der Erfindung in der Regel geheim.¹⁴²

Aufgrund der Geheimhaltung ist die inhaltliche Aussagekraft der frühen Privilegien begrenzt. Sie bieten jedoch Ansatzpunkte für eine breitere Forschung.¹⁴³ Bis auf die Perspektive der Rechtsgeschichte¹⁴⁴ sind sie allerdings bis auf punktuelle technikhistorische Untersuchungen¹⁴⁵ bislang kaum systematisch erforscht worden.

Wenig betrachtet wurde bislang, insbesondere in Bezug auf das Gerätetauchen, der kultur- und innovationshistorische Aspekt von Privilegien.¹⁴⁶ Darunter lassen sich beispielsweise Fragen verstehen, was die hauptsächlichen Themen waren, mit denen sich die Erfinder

¹³⁸ Josef Stummvoll, *Technikgeschichte und Schrifttum. Einführung in die Probleme der Technikgeschichte und bibliographische Dokumentation*, Düsseldorf 1975, 30.

¹³⁹ Marcus Popplow, *Protection and Promotion. Privileges for Inventions and Books of Machines in the Early Modern Period*, in: *History of Technology* 20 (1998) 103-124, 103.

¹⁴⁰ Braun, *Korreferat zu Mark Spoerer*, 66.

¹⁴¹ Richard Lutter, *Erfindungsschutz in Griechenland*, in: *Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht* 5 (1922) 112.

¹⁴² Marcus Popplow, *Neu, nützlich und erfindungsreich: Die Idealisierung von Technik in der frühen Neuzeit*, Münster 1998, 72; Leonhard Christoph Sturm, *Vollständige Mühlen Baukunst*, Augsburg 1718, Vorrede.

¹⁴³ Marcus Popplow, *Erfindungsschutz und Maschinenbücher. Etappen der Institutionalisierung technischen Wandels in der Frühen Neuzeit*, in: *Technikgeschichte* 63 (1996) 21-46, 22.

¹⁴⁴ Siehe beispielsweise Marcel Silberstein, *Erfindungsschutz und merkantilistische Gewerbeprivilegien*, Winterthur 1961; Helmut Öhlschlegel, *Zur Geschichte des gewerblichen Rechtsschutzes*, in: *Mitteilungen der deutschen Patentanwälte* 11 (1978) 201-204; Michael Hutter, *Die Produktion von Recht: eine selbstreferentielle Theorie der Wirtschaft*, Tübingen 1989; Peter Kurz, *Weltgeschichte des Erfindungsschutzes. Erfinder und Patente im Spiegel der Zeiten*, Köln 2000; Rebekka Übler, *Die Schutzwürdigkeit von Erfindungen: Fortschritt und Erfindungshöhe in der Geschichte des Patent- und Gebrauchsmusterrechts*, Tübingen 2014.

¹⁴⁵ Siehe beispielsweise Hansjörg Pohlmann, *Neue Materialien zur Frühentwicklung des deutschen Erfinderschutzes im 16. Jahrhundert*, in: *Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht* 62 (1960) 272-283; Jochen Streb / Jörg Baten, *Ursachen und Folgen erfolgreicher Patentaktivitäten im Deutschen Kaiserreich: Ein Forschungsbericht*, in: Rolf Walter (Hg.), *Innovationsgeschichte*, [Erträge der 21. Arbeitstagung der Gesellschaft für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte 30. März bis 2. April 2005 in Regensburg], Stuttgart 2007, 249-275.

¹⁴⁶ Siehe Marcus Popplow, *Die Idealisierung von Technik in der frühen Neuzeit*, Münster 1998, 47-64.

befassten, und in welchen Gewerben sich durch sie Entwicklungslinien nachzeichnen lassen. Von wissenschaftlichem Interesse kann auch die Frage sein, was Anlässe für die Verbesserungen gewesen sein könnten. Eine Häufung von Privilegien, die die „Wassernot“ genannte Überschwemmung der Bergwerke durch Grundwasser beseitigen, könnte auf eine rege Bergbautätigkeit schließen lassen, Privilegien zur „Holzsparkunst“ - Holz war damals nicht nur Bau- sondern auch Brennmaterial in Schmelzhütten - könnte beispielsweise auf eine aktuelle Klimakrise und Verknappung von Holz hindeuten. Eine Häufung von Privilegien zu Kriegsgeräten wird eher in unruhigen Zeiten zu verorten sein, und eine Häufung von Privilegien zur „Arzneykunst“ auf Zeiträume mit großen Krankheiten. Häufungen von Privilegien zu Tauchgeräten könnten analog auf einen verstärkten Bedarf, etwa in Zeiten von Seekriegen, hindeuten. Das Privilegienwesen kann so „zum Spiegel derjenigen gesellschaftlichen Bereiche (Sektoren), in denen ein vorrangiger Innovationsbedarf bestand“¹⁴⁷, werden. Es leitet sich aus diesen Überlegungen für diese Arbeit die Forschungsfrage ab, ob und wo es einen Boom von Tauchgeräteprivilegien gab, und was der Grund dafür gewesen sein könnte.¹⁴⁸

In der Literatur wird von „Privilegien“, „Schutzbriefen“ und „Patenten“ gesprochen, und die Begriffe oftmals vermischt und ohne klare Abgrenzung verwendet. Ganz allgemein ist ein „Privileg“ (oft auch bezeichnet als „Freiheit“, „Begnadung“, „Gnade“, „Kundschaft“ und „Verschreibung“) ein durch einen Herrschaftsakt verliehenes Vor- oder Sonderrecht. Hinter der Bezeichnung „Freiheit“ ist die „Befreiung“ vom Zunftzwang zu verstehen, so dass der Erfinder sein Werk selbst ausführen durfte.¹⁴⁹ Privilegien waren ursprünglich nicht im Gesetz verankert, sondern widerrufbare Hoheitsrechte der Monarchen mit einer uneinheitlichen Schutzdauer, die von einem Jahr bis zum Lebensende des damit Bedachten reichen konnte. Da es sich um einen persönlichen Gnadenakt des Herrschers handelte, erlosch er mit dem Tod oder Abtreten des Monarchen, und das Privileg musste bei einem Regierungswechsel stets durch den neuen Herrscher bestätigt werden, und er konnte es dabei auch verlängern.

Der Begriff des „Patentes“¹⁵⁰ wird heute zumeist im Gegensatz zum „Privileg“ erst für diejenige Erfindungen verwendet, die über eine ausführliche Beschreibung und einen weitreichenden juristischen Schutz durch ein staatliches Patentgesetz verfügen.¹⁵¹ Patente gehen also in ihrem formellen Inhalt und der juristischen Absicherung über Privilegien hinaus.

¹⁴⁷ Rolf-Jürgen Gleitsmann, „Wir wissen aber, Gott Lob, war wir thuen“: Erfinderprivilegien und Technologischer Wandel im 16. Jahrhundert, in: Zeitschrift für Unternehmensgeschichte 30/2 (1985) 69-95, 72.

¹⁴⁸ Siehe hierzu Kapitel 1.3, Forschungsfrage 1.

¹⁴⁹ Kurz, Weltgeschichte des Erfindungsschutzes, 93.

¹⁵⁰ John Coryton, A Treatise on the Law of Letters-Patent for the Sole use of Inventions in the United Kingdom of Great Britain and Ireland, Dublin 1855, 1.

¹⁵¹ Siehe Friedrich-Karl Beier, Wettbewerbsfreiheit und Patentschutz. Zur geschichtlichen Entwicklung des deutschen Patentrechts, in: Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht 80 (1978) 123-131.

Auf die historische Entwicklung des Patentrechtes in den verschiedenen Ländern wird noch ausführlicher eingegangen. Da dieser Übergang und vor allem die tatsächliche Umsetzung fließend ist, hat sich durchgesetzt, Sonderrechte für Neuerungen erst dann als Patente zu bezeichnen, wenn in dem betreffenden Land ein modernes Patentgesetz erlassen worden ist. In diesem Sinne wären also Privilegien juristisch kaum abgesicherte, inhaltlich vage und ungeprüfte Patente¹⁵², wobei unter der Prüfung ein nach verbindlichen Vorgaben standardisierter Prozess verstanden wird.

Ein herausstechendes Beispiel für solche verbindliche Vorgaben ist aus Venedig bekannt. Hier wurden die drei Kriterien *novitas*, *idoneitas* und *utilitas* im Rahmen einer *experientia* erprobt. Sie waren Bestandteil „eines verpflichtenden experimentellen Prüfverfahrens, das [...] auf die Produktion sowie durchaus auch auf die Performanz von (technischem) Wissen zielte“¹⁵³. Nicht selten landete der Fall danach vor einem Gericht, wenn sich der Gesuchsteller unfair behandelt oder falsch beurteilt fühlte.¹⁵⁴

Das von dem lateinischen Begriff „*experimentum*“ stammende Wort „Experiment“ bedeutet „Versuch, Probe, (aus Erfahrung gewonnener) Beweis“¹⁵⁵. In der Naturwissenschaft ist ein Experiment als Erkenntnismittel „eine methodisch angelegte Untersuchung, die durch systematische Variation von Einflussgrößen kausale Zusammenhänge untersucht. Solche Experimente können explorativ oder theorieprüfend sein“¹⁵⁶.

In Abhängigkeit von ihrer Funktion werden drei Typen von Experimenten unterschieden: Das hypothesenprüfende Experiment zur Absicherung kausaler Aussagen, das Erkundungsexperiment zur Gewinnung neuer Theorien oder Bestätigung von Hypothesen, und das Demonstrationsexperiment zur Veranschaulichung eines Zusammenhangs mit didaktischer Absicht und zur empirischen Untermauerung des Phänomens. Alle drei Typen sind für den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn von Bedeutung.¹⁵⁷

¹⁵² Robert Meldau, Dokumentation und Rechtsanpassung zur Vereinfachung der Patentprüfung, in: Mitteilungen der deutschen Patentanwälte, 49 (1958) 130-134, 132.

¹⁵³ Christian Mathieu, „Fiat experientia!“. Zur Wahrnehmung von Technikfolgen und ihren Auswirkungen auf das venezianische Patentverfahren in der Frühen Neuzeit, in: Gisela Engel / Nicole C. Karafyllis (Hg.), Technik in der Frühen Neuzeit - Schrittmacher der europäischen Moderne, Frankfurt 2004, 376-388, 379-380.

¹⁵⁴ Siehe David C. Goodman, Power and Penury. Government, technology and science in Philip II's Spain, Cambridge 1988, 136-137.

¹⁵⁵ Kathleen Philipp, Experimentelles Denken. Theoretische und empirische Konkretisierung einer mathematischen Kompetenz, Wiesbaden 2013, 16.

¹⁵⁶ Philipp, Experimentelles Denken, 16.

¹⁵⁷ Philipp, Experimentelles Denken, 17.

Das Erkundungsexperiment gewann ab etwa 1660 vor allem in England, aber auch auf dem Kontinent, stark an Boden.¹⁵⁸ Ein systematisches Experiment und die mathematische Beschreibung der Ergebnisse war ein zentrales Element der sich ab Mitte des 17. Jahrhunderts ausbreitenden experimentellen Methode.

An dieser Stelle soll auch der Begriff „Erfinder“ und „Erfindung“ näher betrachtet werden, denn die heutigen Wortbedeutungen sind eine andere, als sie es in der Frühen Neuzeit waren. „Erfinden“ geht auf das lateinische „invenire“ zurück, welches sowohl für „Finden“, „Erfindung“ als auch für „Entdeckung“ steht. Im 14. und 15. Jahrhundert bezeichnete man denjenigen als „Erfinder“, der in einem überschaubaren regionalen Bereich neue technische Verfahren aufzeigte.¹⁵⁹

In der Frühen Neuzeit zählte Errungenschaften auf fast allen, auch nicht-technischen Gebieten, zu „Erfindungen“.¹⁶⁰ Unter „Erfindung“ verstand man hier so gut wie jede Methode, Verfahren oder Gerätschaft, die jemand gefunden hatte oder ihm aufgefallen war und er bislang noch nicht gekannt hat. Dabei spielte es keine Rolle, ob die Methode in einem anderen Land oder Zusammenhang bereits verwendet wurde, oder eine andere Person bereits für die gleiche Methode ein Privileg besaß.¹⁶¹ Dem frühneuzeitlichen Erfindungsbegriff sind also nicht nur tatsächliche, innovative Neuerschaffungen im heutigen Sinne, sondern auch undurchführbare Gedankenspiele, Duplikate, und Verbesserungen von Geräten und Verfahren zuzuordnen.¹⁶²

Bis etwa Ende des 18. Jahrhunderts wurde eine Erfindung auch mit dem Wort „Kunst“ (lateinisch ars) umschrieben.. Der Begriff „Kunst“ hatte die Bedeutung des griechischen „téchne“ und ist im Wort Kunsthandwerk enthalten. Er wurde in den Ingenieursdisziplinen sowohl für das Werk als auch für das Beherrschen der Technik - den Regeln der Kunst - verwendet.¹⁶³

Das erste Patentgesetz im heutigen Sinne wurde in Venedig im Jahr 1474 erlassen.¹⁶⁴ Die Republik Venedig dominierte bis Anfang des 16. Jahrhunderts das Mittelmeer, und dank ihrer Verbindungen in den mittleren Osten den Handel über den Seeweg nach Indien, die Länder

¹⁵⁸ Floris Cohen, Die zweite Erschaffung der Welt. Wie die moderne Naturwissenschaft entstand, [niederl. EA Amsterdam 2007], Frankfurt 2010, 198, 252.

¹⁵⁹ Poppow, Erfindungsschutz und Maschinenbücher, 25.

¹⁶⁰ Alexander J. Flechsig, Frühneuzeitlicher Erfindungsschutz. Eine Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung der Reichsstadt Augsburg, Dissertation, Juristische Fakultät Universität Augsburg, Münster 2013, 4.

¹⁶¹ Edward W. Hulme, The early history of English Patent System, in: Committee of the Association of American Law Schools (Hg.) Select essays in Anglo-American Legal History, Volume 3, Boston 1909, 117-147, 139.

¹⁶² Flechsig, Frühneuzeitlicher Erfindungsschutz, 7.

¹⁶³ Seibicke, Technik, 286.

¹⁶⁴ Siehe Barbara Dölemeyer, Erfinderprivilegien und frühe Patentgesetze, in: Martin Otto (Hg.), Geschichte des deutschen Patentrechts, Tübingen 2015, 13-36.

östlich von Italien sowie den Indischen Ozean. Der Wasserbau und damit zusammenhängende Technologien erlebten in Venedig eine Blüte, denn aufgrund der Umweltbedingungen wie der Schutz vor Sturmfluten und Verlandungen hatte die Lagunenstadt großen Bedarf an maritimen Technologien.¹⁶⁵

Venedig besaß im 16. Jahrhundert die größte Anzahl von gelehrten und wissenschaftlichen Gemeinschaften. Nicht selten transferierten aus Venedig emigrierte Fachleute, obwohl ihnen bei Rückkehr in Venedig dafür die Todesstrafe drohen konnte, ihr Wissen und ihre Erfindungen in andere Länder.¹⁶⁶ Durch die frühe Einführung eines Erfindungsgesetzes im 15. Jahrhundert sind die Erfindungspatente Venedigs von großem technikgeschichtlichem Quellenwert.¹⁶⁷ Zwischen 1474 und 1600 erhielt der Senat von Venedig mehr als tausend Vorschläge für neue Erfindungen und erteilte 610 Patente. Die italienische Ingenieurskunst blieb lange Zeit ein Vorbild für andere Länder in Europa, vor allem in Bereichen wie Bauwesen, Befestigungen, Kriegsführung und Flusshydraulik.¹⁶⁸

Nach dem Patentgesetz von Venedig folgte 1624 die „Statute of Monopolies“ genannte gesetzliche Regelung in England. Ein wichtiges Ziel des Statutes war es, mit der Ausstellung von Schutzbriefen ausländische Handwerker nach England zu rufen.¹⁶⁹ Bennet Woodcroft (1803-1879) veröffentlichte 1854 alle von der englischen Krone seit 1617 erteilten Privilegien und Patente in England.¹⁷⁰ Nach seiner Aufstellung wurden alleine zwischen 1617 und 1794 2.000 Privilegien und Patente in England gewährt.¹⁷¹ Sie sind für diese Arbeit von besonderem Interesse, da sie ab dem frühen 18. Jahrhundert zunehmend ausführlichere technische Beschreibungen und technische Skizzen enthalten.¹⁷²

¹⁶⁵ Siehe Roberto Berveglieri, *Inventori stranieri a Venezia, 1474-1788: importazione di tecnologia e circolazione di tecnici artigiani inventori*, Venedig 1995.

¹⁶⁶ Carlo Marco Belfanti, *Guilds, Patents, and the Circulation of Technical Knowledge: Northern Italy during the Early Modern Age*, in: *Technology and Culture* 45 (2004) 569-589, 583; Joanna Kostylo, *From Gunpowder to Print. The Origins of Copyright and Patent*, in: Deazley Ronan / Martin Kretschmer Martin / Bently Lionel (Hg.), *Privilege and Property. Essays on the History of Copyright*, Cambridge 2010, 21-50, 34.

¹⁶⁷ Siehe zu Venedig beispielsweise Roberto Berveglieri, *Inventori stranieri a Venezia, 1474-1788: importazione di tecnologia e circolazione di tecnici artigiani inventori*, Venezia 1995; Julio Mandich, *Venetian Patents (1450-1550)*, in: *Journal of the Patent Office Society JPOS* 3 (1948) 166-224; Hartmut Schippel, *Die Anfänge des Erfinderschutzes in Venedig*, in: Uta Lindgren (Hg.), *Europäische Technik im Mittelalter 800 bis 1400. Tradition und Innovation*, 4. Auflage, Berlin 2001, 539-550.

¹⁶⁸ Karel Davids, *Religion, Technology, and the Great and Little Divergences, China and Europe Compared, c. 700-1800*, Leiden 2013, 208.

¹⁶⁹ Prager, *A History*, 713.

¹⁷⁰ Alessandro Nuvolari / Valentina Tartari, *Bennet Woodcroft and the value of English patents, 1617-1841*, (Laboratory of Economics and Management Working Paper Series, No. 2009/03), Pisa 2010; Hulme listet 55 Privilegien in England zwischen 1561 und 1603 auf, siehe Hulme, *The early history*, 117-147.

¹⁷¹ Bennet Woodcroft, *Titles of Patents of Invention Chronologically Arranged, 1617-1852*, London 1854. Bennet Woodcroft: (ders.) *Reference Index of English Patents of Invention, 1617-1852*, London 1862.

¹⁷² Siehe zu England beispielsweise Christine MacLeod, *Inventing the Industrial Revolution: The English Patent System, 1660-1800*, New York 2002; Christine MacLeod / Alessandro Nuvolari, *Patents and Industrialization: An*

Bereits 1664, und später erneut 1709 und 1713, wurde in England vorgeschlagen, dass die Royal Society of London die Begutachtungen von Patentanmeldungen durchführen solle, aber es kam nicht zu einer Umsetzung.¹⁷³

Bereits im frühen 15. Jahrhundert gab es im Heiligen Römischen Reich Privilegien, und zwar vor allem zu Erfindungen im Bergbau¹⁷⁴ und dem Hüttenwesen¹⁷⁵. Die zeitliche Entwicklung innerhalb der deutschen Territorien war unterschiedlich. Während in Kursachsen bereits seit etwa 1500 Erfinderprivilegien erteilt wurden, scheint es in den Großherzogtümern Mecklenburg-Schwerin und Mecklenburg-Strelitz, im Herzogtum Sachsen-Meiningen und den Freien Städten Lübeck, Bremen und Hamburg lange keine Privilegien gegeben zu haben, beziehungsweise ist bis heute darüber nichts bekannt.¹⁷⁶ Erst ab der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts sind für alle größeren deutschen Staaten Nachweise für eine ständig steigende Anzahl von Erfinderprivilegien vorhanden.

In Deutschland gestaltet sich die Recherche nach frühen Privilegien aufgrund der historischen Entwicklung und kriegsbedingter Dokumentenverluste schwierig und aufwändig. Als gut erforscht gelten bislang nur die kursächsischen Akten des Dresdner Staatsarchivs¹⁷⁷ und des Haus-, Hof und Staatsarchivs in Wien als Residenz des Hauses Habsburg.¹⁷⁸

Der größte Teil der Akten der Territorien des Heiligen Römischen Reiches liegt wohl noch im Verborgenen.¹⁷⁹ Die Gründe dafür sind vielfältig, und können vor allem in den vielen verschiedenen Provenienzen, Vernichtung von Akten durch Krieg- oder Feuereinwirkung,

Historical Overview of the British Case, 1624-1907, (Laboratory of Economics and Management Working Paper Series, No. 2010/04), Pisa 2010.

¹⁷³ Thomas Birch, *The History of the Royal Society of London for improving of natural knowledge, from its first rise*. Vol. I, London 1756, 391, 397; Larry Stewart, *The Rise of Public Science: Rhetoric, Technology, and Natural Philosophy in Newtonian Britain, 1660-1750*, Cambridge 1992, 176; Hall, *Scientific method*, 121; Hunter, *Science and Society in Restoration England*, Cambridge 1981, 94.

¹⁷⁴ Marcel Silberstein, *Erfindungsschutz und merkantilistische Gewerbeprivilegien*, Winterthur 1961, 44.

¹⁷⁵ Robert Meldau, *Erfindungsschutz im „Reich der Deutschen“*. Eine Quellenstudie, in: *Deutsches Recht* 7/8 (1936) 160-163, 160; siehe auch Hans Müller, *Patentschutz im deutschen Mittelalter*, in: *Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht* 12 (1939) 936-953.

¹⁷⁶ Stummvoll, *Technikgeschichte und Schrifttum*, 36.

¹⁷⁷ Siehe beispielsweise Fritz Hoffmann, *Kursächsische Erfindungspatente aus den Jahren 1561 bis 1570*, in: *Zeitschrift für Industrierecht* 8 (1914) 107-109; Hans Müller: *Unbekannte Erfinder aus und in Sachsen im 16. und 17. Jh.*, in: *Mitteilungen des Roland* 23 (1938) 26-28; Hans Müller: *Unbekannte Erfinder aus und in Sachsen im 16. und 17. Jh.*, in: *Mitteilungen des Roland* 24 (1939) 31, 61; Hans Müller, (ders.) *Kursächsische Erfindungsfreiheiten des 15. bis 18. Jahrhunderts*, in: *Markenschutz und Wettbewerb* 6 (1941) 101-105; Hans-Jürgen Creutz, *Die Herausbildung des Erfindungsschutzes in Sachsen im 15. und 16. Jahrhundert*, in: *Jahrbuch für Wirtschafts-geschichte* 2 (1983) 91-110.

¹⁷⁸ Barbara Dölemeyer, *Erfinderprivilegien und Patentgesetzgebung am Beispiel der Habsburgermonarchie*, in: Barbara Dölemeyer / Heinz Mohnhaupt (Hg.), *Das Privileg im europäischen Vergleich*, Band 2, Frankfurt a. M. 1999, 309-334; Siehe auch Maria Rabl, *Die Privilegiensammlung des österreichischen Patentamtes. Ein Beitrag zum UNESCO-Weltdokumentenerbe?*, Wien 2008.

¹⁷⁹ Flechsig, *Frühneuzeitlicher Erfindungsschutz*, 1.

Nachlässigkeit und dezentrale, uneinheitliche Ablage gesucht werden.¹⁸⁰ Ein Teil der Privilegien des Heiligen Römischen Reiches fiel dem Brand des Justizpalastes in Wien 1927 zum Opfer.¹⁸¹ Es befinden sich heute nur noch weniger als 100 Privilegiengesuche bis 1800 im Österreichischen Staatsarchiv und in Archiven der Österreichischen Bundesländer.¹⁸²

Andere Staaten praktizierten ebenfalls früh ein Privilegienwesen, wie etwa die Niederlande.¹⁸³ In den Niederlanden lag der Schwerpunkt der erteilten Privilegien auf dem Schiffs- und Wasserbau.¹⁸⁴ In der Frühen Neuzeit übernahmen die Niederländischen Werften in diesen Technologiefeldern die Führung und lösten die Danziger, Lübecker und Hamburger Schiffbaubetriebe ab.¹⁸⁵ Die niederländischen Erfinder zeigten auch großes Interesse an der Bergung gesunkener Güter, wie die Vielzahl derartiger Schutzgesuche in den niederländischen Generalstaaten bezeugt. Die Niederlande fungierten häufig als Drehscheibe für den Transfer neuer Technologien zwischen Kontinentaleuropa und England.¹⁸⁶ Die niederländischen Privilegien sollen auch deshalb in diesem Forschungsprojekt näher untersucht werden.

Spanische Erfinderprivilegien sind gleichfalls von Interesse für diese Forschungsarbeit. Das heutige Spanien mit den Herrschaftsgebieten Kastilien und Aragonien war schon im 16. Jahrhundert eine bedeutende Seefahrernation, mit einem lebhaften Schiffsverkehr zu den spanischen Kolonien in Amerika. Im Zuge der Kolonisation Amerikas wurden Gold und Silber in großen Mengen nach Europa importiert: Oft gingen aufgrund von Stürmen und Gefechten Schiffe mit wertvoller Ladung verloren, so dass auch hier ein reges Interesse an Erfindungen zu ihrer Bergung vom Meeresgrund entstand.¹⁸⁷ Zwischen 1478 und 1650 wurden etwa 240 Privilegianträge beim König von Kastilien oder dem Consejo de Castilla sowie dem Consejo de Indias eingereicht, von denen 152 genehmigt wurden.¹⁸⁸

¹⁸⁰ Popplow, Neu, Nützlich und Erfindungsreich, 49.

¹⁸¹ Joseph Zulehne, Österreichische Privativa, Privilegien, Patente, in: Österreichisches Patentamt (Hg.), Festschrift zum 50jährigen Bestand des Österreichischen Patentamtes 1899-1949, Wien 1949, 111-115, 111.

¹⁸² Rabl, Privilegiensammlung, 60.

¹⁸³ Gerhard Doorman, Patente für Erfindungen in den Niederlanden aus dem 16.-18. Jahrhundert. Mit einer Besprechung einiger Gebiete aus der Geschichte der Technik, Haag 1941, 18; siehe auch Kees van Berkel, Einige Opmerkingen over de Aard van de technische Innovatie in de Repubik rond 1600, in: Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Naturwetenschappen, Wiskunde en Techniek 3 (1980) 123-144.

¹⁸⁴ Doorman, Patente für Erfindungen, 59.

¹⁸⁵ Karel Davids, The Rise and Decline of Dutch Technological Leadership: Technology, Economy and Culture in the Netherlands, 1350-1800, Leiden 2008, 89-101.

¹⁸⁶ Gleitsmann, Erfinderprivilegien und Technologischer Wandel, 94.

¹⁸⁷ Siehe Nicolas Garcia Tapia; Patentes de invención españolas en el Siglo de Oro, Madrid 1990, Siehe hierzu Kapitel 3.1.

¹⁸⁸ Nicolas Garcia Tapia, Técnica y poder en Castilla durante los siglos XVI y XVII. Leon 1989, 195-201; Nicolas Garcia Tapia: (ders.) Cédulas de privilegio y patentes de invención, in: José María López Piñero (Hg.) Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla, Siglos XVI y XVII, Leon 2002, 83-90.

Französische Privilegien werden bei dieser Untersuchung ebenso mit einbezogen, obwohl die Zahl der Erfinderprivilegien im Vergleich zu Venedig, England, den Niederlanden und Spanien relativ gering war.¹⁸⁹ Bis 1750 wurden etwa 500 Privilegien in Frankreich gewährt.¹⁹⁰

Ein wichtiges Grundlagenwerk ist die siebenbändige Zusammenstellung aller französischen Privilegien zwischen 1666 und 1754, herausgegeben von Jean-Gaffin Gallon (1706-1775).¹⁹¹ Ab 1735 hatte er damit begonnen, bis 1666 zurückliegende Kurzbeschreibungen mit gegebenenfalls darin enthaltenen Skizzen fortlaufend zu publizieren. Die im Archives nationale in Paris aufbewahrten Dokumente und Privilegien mit Bezug zum Tauchen umfassen den Zeitraum von 1641 bis 1800.¹⁹²

Da mit großer Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden kann, dass sich Erfindungen thematisch regionalen Schwerpunkten zuordnen lassen, wie etwa Erfindungen zum Bergbau vor allem zu Bergbauregionen wie Sachsen, dürften Erfindungen zur Tauchtechnik vor allem in Küstenländern mit Schiffbau und Seehandel zu verorten sein. Deshalb werden in dieser Arbeit vor allem Privilegien von den an einer Küste gelegenen größeren Territorien und Seefahrnationen in Europa untersucht. Dazu gehören neben dem langjährigen Welthandelsplatz Venedig die Länder Spanien, Niederlande und England sowie Norddeutschland mit Pommern und Preußen.¹⁹³ In Norddeutschland beherrschte die Hanse den Außenhandel und den Schiffstransport. Viele ihrer Abkommen waren durch Privilegien abgesichert.¹⁹⁴

1.2.2.3 Archive, Museen und Rekonstruktionen

Neben zeitgenössischer Fachliteratur, Privilegien und Patenten werden mehrere, teilweise ebenfalls noch unbearbeitete Archivquellen zur Geschichte des Tauchens in dieser Arbeit aufgearbeitet. Durch die transnationale und mehrere Wissenschaftsdisziplinen einbeziehende

¹⁸⁹ Siehe Flechsig, Frühneuzeitlicher Erfindungsschutz, 92; Fredrik Neumeyer, Die historischen Grundlagen der ersten modernen Patentgesetze in den USA und in Frankreich, in: Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht 6 (1956) 241-252, 247.

¹⁹⁰ Siehe Frank D. Prager, Examination of Inventions from the Middle Ages to 1836, in: Journal of the Patent Office Society, 46 (1964) 268-291, 278.

¹⁹¹ Jean-Gaffin Gallon (Hg.), Machines et inventions approuvées par l'Académie Royale des Sciences depuis son établissement jusqu'à présent (1666-1754), 7 Bd., Paris 1735-1777.

¹⁹² Der relevante Bestand im Archives nationales Paris ist der Fonds Marine, Série G : Documents divers, insbesondere G 111 (Machines pour le relèvement des vaisseaux et la pêche des objets tombés à la mer), sowie G 120 (Escouades de plongeurs (1773). Machines à plonger, scaphandres, etc. 1685-1795) und G 235 Dossier 2 (Plongeurs inventés par le sieur Fréminet).

¹⁹³ Siehe Alfred Heggen, Die Anfänge des Erfindungsschutzes in Preußen 1793 bis 1815, in: Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht 2 (1974) 75-77; Alfred Heggen: (ders.) Erfindungsschutz und Industrialisierung in Preußen 1793-1877, Göttingen 1975.

¹⁹⁴ Siehe Horst Wernicke, Von Rechten, Freiheiten und Privilegien. Zum Wesen und zur Dynamik in der Hanse, in: Hansische Studien 10 (1998) 283-297.

Konzeptionierung des Forschungsprojektes sind Quellen aus vier Jahrhunderten und damit eine Vielzahl verschiedener Archive, neben den bereits oben erwähnten, relevant.

Archive in Deutschland, die auch eine gewinnbringende Ausbeute an Erfinderprivilegien und -patente versprechen, sind das Deutsche Museum¹⁹⁵ und das Deutsches Patent- und Markenamt¹⁹⁶ in München, sowie das Österreichische Staatsarchiv Wien¹⁹⁷.

Ein wichtiger Ansatzpunkt ist die Sammlung von Franz Maria Feldhaus (1874-1957), der in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts umfangreiches Material zu Erfindungen im Laufe der Jahrhunderte sowie der Geschichte der Technik zusammenstellte. Das Feldhaus-Archiv mit über 100.000 Bild- und Text-Karteikarten zu Erfindern und Erfindungen befindet sich im Historischen Archiv des Deutschen Technikmuseums in Berlin.¹⁹⁸ Seine Bibliothek mit rund 11.000 Bänden wird in der Universitätsbibliothek Kassel aufbewahrt. Es handelt sich um einen „in seiner Qualität und auch Quantität außergewöhnlichen Schriftenbestand [, der] als Privatsammlung einzigartig [ist und in der] fachspezifischen Dichte [...] in Deutschland nur noch von den Beständen der Bibliothek im Deutschen Museum München übertroffen wird“¹⁹⁹.

Die Bibliothek des Deutschen Schifffahrtsmuseums in Bremerhaven bewahrt die Documenta Maritima Heberlein genannte, umfangreiche Sammlung zur Geschichte der Meereskunde, unter Einbezug der Tauchgeschichte, des Schweizer Technikhistorikers Hermann Heberlein (1912-1999) auf.²⁰⁰

Spanische Erfinderprivilegien und Berichte aus der Frühen Neuzeit, die im Zusammenhang mit der Seefahrt und der Bergung von Galeonen stehen, werden im Archivo General de Indias Sevilla²⁰¹, dem Archivo General de Simancas²⁰² und im Archivo del Museo Naval²⁰³ in Madrid aufbewahrt. Das Archivo General de Indias besitzt ein umfangreiches Onlinearchiv mit vielen, kostenfrei zugänglichen und digitalisierten Originaldokumenten. Frühe Erfinderprivilegien aus

¹⁹⁵ Christoph Hahn / Siegmund Hohl (Hg.), Der große Museumsführer. Sammlungen zu Kunst, Kultur, Natur und Technik in Deutschland, Gütersloh 2000, 341-344.

¹⁹⁶ Dorothea Friedrich, Ideen, Patente und Lizenzen. Erfindergeschichten und -geschäfte, in: Das Archiv 2 (2009) 6-13.

¹⁹⁷ Michael Hochedlinger, Das k. k. „Geheime Hausarchiv“, in: Josef Pauser, Martin Scheutz und Thomas Winkelbauer (Hg.), Quellenkunde der Habsburgermonarchie (16.–18. Jahrhundert). Ein exemplarisches Handbuch, (Mitteilungen des Instituts für Österreichische Geschichtsforschung, Ergänzungband 44), 33-44.

¹⁹⁸ Axel Halle, Bibliothek und Archiv als Grundlage der Forschung. Franz Maria Feldhaus und seine Sammlung, in: Wolfgang König/Helmuth Schneider (Hg.), Die technikhistorische Forschung in Deutschland von 1800 bis zur Gegenwart, Kassel 2007, 117-138, 125.

¹⁹⁹ Ulrich Troitzsch zitiert nach Halle, Bibliothek und Archiv, 130.

²⁰⁰ Jutta May, Die „Documenta Maritima Heberlein“ und verwandte Bestände im Deutschen Schifffahrtsmuseum, Hamburg 1996.

²⁰¹ Zum Bestand siehe Mariana Moranchel Pocater, Gobierno, Justicia, Guerra y Hacienda: una nueva visión del „Indiferente General“ del Archivo General de Indias, in: Cuadernos de Historia del Derecho 14 (2007) 329-398.

²⁰² Siehe Marc-André Grebe: Akten, Archive, Absolutismus? Das Kronarchiv von Simancas im Herrschaftsgefüge der spanischen Habsburger (1540-1598), Frankfurt a. M. 2012.

²⁰³ Siehe Fernando Riaño Lozano, El Museo Naval y el Instituto de Historia y Cultura Naval, Arbor 173 (2002) 405-419.

Venedig besitzt das dortige Archivio di Stato.²⁰⁴ In England sind es die Archive der Royal Society of London, der Royal Society of Arts und des Public Record Offices sowie die Library of the British Museum in London, die wichtiges Quellenmaterial zur Geschichte des Tauchens archivieren.²⁰⁵

Über das schwedische Tauchen und Bergen in der Frühen Neuzeit und die damit verbundene Technik gibt es bislang nur sehr wenige wissenschaftliche Studien. Christian Ahlström publizierte 1997 eine Übersicht über Archive in Schweden und Finnland, in denen entsprechende Quellen zu finden sein könnten.²⁰⁶ Eine weitere Übersicht über mögliche Quellen in der Ostseeregion bietet das Verzeichnis in *Shipwreck Heritage* (2013).²⁰⁷

Originale Artefakte zur Tauchtechnik haben nur sehr wenige die Jahrhunderte überdauert. Sie werden heute in Museen aufbewahrt. Hier ist zunächst ein Tauchanzug von Raahe in Finnland zu nennen. Er stammt aus der Mitte des 18. Jahrhunderts.²⁰⁸ Im Deutschen Museum in München wird ein Helmtauchanzug aus dem 19. Jahrhundert ausgestellt.²⁰⁹ In Espalion (Zentralfrankreich) werden im Musée du Scaphandre ebenfalls originale Tauchgeräte aus dem 19. Jahrhundert aufbewahrt.²¹⁰

Zur Beurteilung technischer Erfindungen wird bereits seit einigen Jahrzehnten der Versuch unternommen, durch möglichst originalgetreue Rekonstruktion und tatsächlichen Unterwassereinsatz der Geräte auf experimentellem Weg tragfähige Erkenntnisse über die Funktionsweise und Leistungsfähigkeiten der Erfindungen zu gewinnen. Beispielhaft zu nennen wären hierbei die Forschungen von Trevor Newman zu einer Tauchtonne, die 1715 gebaut und von John Lethbridge (1675-1759) eingesetzt wurde.²¹¹ Hierbei interessierte vor allem die Frage, wie lange Lethbridge mit dieser Tonne unter Wasser arbeiten konnte. Der

²⁰⁴ Siehe Maria Pia Pedani Fabris, Alessio Bombaci (Hg.), I „documenti turchi“ dell’Archivio di Stato di Venezia, (Pubblicazioni degli Archivi di Stato 122), Rom 1994.

²⁰⁵ Siehe Janet Foster / Julia Sheppard, *British Archives: A Guide to Archive Resources in the United Kingdom*, Fourth Edition, Basingstoke 2002.

²⁰⁶ Christian Ahlström, *Looking for Leads. Shipwrecks of the past revealed by contemporary documents and the archeological record*. Helsinki 1997, 58-60.

²⁰⁷ Reet Hünerson / Enn Küng / Kersti Lust, *Archival Sources on Maritime Accidents in Estonia from the 17th to the Early 20th Century*, in: Maili Roio (Hg.), *Shipwreck Heritage: Digitizing and Opening Access to Maritime History Sources*, Tallinn 2013, 63-85.

²⁰⁸ Siehe Christoffer H. Ericsson, *An 18th Century Diving-Suit from Brahestad in Finland*, in: *The International Journal of Nautical Archaeology* 4 (1975) 130-134; Jouko Moisala, *Letters to the Editor*, in: *International Journal of Diving History* 6 (2013) 87-89.

²⁰⁹ Siehe Christoph Hahn / Siegmund Hohl (Hg.), *Der große Museumsführer. Sammlungen zu Kunst, Kultur, Natur und Technik in Deutschland*, Gütersloh 2000, 341-344.

²¹⁰ Siehe Leslie Leaney, *Musee du Scaphandre, Musee Joseph Vaylet. Espalion, Aveyron, France*, in: *Historical Diver* 11 (1997) 14-16.

²¹¹ Trevor Newman, *John Lethbridge’s diving barrel: how long could he remain underwater?*, in: *The International Journal of Diving History* 7 (2014) 52-70; Trevor Newman: (ders.) *John Lethbridge’s Dive Times: An Unresolved Problem*, in: *The International Journal of Diving History* 9 (2017) 78-85. Siehe hierzu Kapitel 5.2.3.

englische Sender BBC Two beschäftigte sich bereits 1977 mit Lethbridges Tauchtonne, baute sie nach und filmte ihren Einsatz unter Wasser.²¹² Technische Fragen wurden ebenfalls durch Nachbauten von Leonardo da Vinci (1452-1519) aus etwa 1500²¹³ versucht, zu beantworten.

Sofern belastbare Ergebnisse vorliegen, werden experimentelle Nachbauten von historischen Tauchgeräten in diese Arbeit mit einbezogen.

1.3 Thesen und Aufbau der Arbeit

Im Bereich des Gerätetauchens lassen sich zwei zeitlich und technologisch voneinander getrennte, unterschiedliche Entwicklungslinien ziehen: Zum einen das Tauchen unter Beibehaltung des atmosphärischen Umgebungsdruckes, wie es in Unterseebooten oder Panzertauchanzügen (ADS, atmospheric diving suits) stattfindet. Der menschliche Körper muss sich hierbei nicht mit dem höheren Wasserdruck der Umgebung auseinandersetzen, was eine wesentliche physiologische Erleichterung bedeutet. Man spricht hier auch nicht von „Tauchern“, sondern von „Insassen“ und „Operateuren“.²¹⁴ Erforderlich waren unter anderem hochdruckfeste Behälter, die erst ab der Mitte des 19. Jahrhunderts zur Verfügung standen. Dieses atmosphärische Tauchen wird hier nur punktuell betrachtet, wo es zur Verdeutlichung der Anwendungsprinzipien erforderlich ist, wie etwa beim semi-atmosphärischen Tauchen.²¹⁵

Im Gegensatz dazu steht das Gerätetauchen, bei dem der Taucher dem Umgebungsdruck des Wassers mit daraus entstehenden signifikanten physiologischen Konsequenzen ausgesetzt ist. Technische Atemgeräte ermöglichen ihm die Luftzufuhr. Ihre Entwicklung steht im Mittelpunkt dieses Forschungsberichts.

Basierend auf den dargelegten Vorüberlegungen geht das Forschungsprojekt einer bisher weitgehend unbeachteten und unerforschten Kultur- und Technikgeschichte des Gerätetauchens in der Frühen Neuzeit nach und verfolgt diese beiden Hypothesen:

1. Die Frühe Neuzeit bietet dort, wo sich ein geeignetes, soziales, politisches, wirtschaftliches und intellektuelles Umfeld findet, aus innovationshistorischer Sicht fruchtbaren Boden für das Wachstum und die Verbreitung der Tauchtechnologie.

²¹² Siehe BBC Two England: Chronicle: The Treasure of Porto Santo, introduced by Robert Stenuit. Erstaussstrahlung am 24. November 1977.

²¹³ Jacqui Cozens, Leonardo's Amazing Diving Suit, in: Historical Diving Times 34 (2004) 41-51.

²¹⁴ Jung, Handbuch, 17.

²¹⁵ Siehe hierzu Kapitel 5.2.

2. In der Frühen Neuzeit findet ein Methodenwandel statt, von der indirekten Erforschung des Meeres durch Beobachtungen und Berichte aus zweiter Hand hin zur direkten Feldforschung, bei der der Wissenschaftler selbst als Taucher auf den Meeresgrund geht und neues Wissen produziert. Gerätetauchen wurde zu einem Experimentierfeld.

Folgende Fragestellungen bilden dabei den Rahmen zur Überprüfung der genannten Hypothesen:

1. Was bewog die Menschen der Frühen Neuzeit zu tauchtechnischen Erfindungen? Was waren mögliche Anlässe, was könnte ihr Antrieb, was ihre Motivation zu den verschiedenen Tauchversuchen gewesen sein? In welchem Kontext sind sie entstanden?
2. Welchen Einfluss hatte naturwissenschaftlicher Fortschritt auf die damalige Tauchtechnik? Flossen wissenschaftliche Erkenntnisse in die Verbesserung technischer Konzepte (Geräte und Methode) ein?
3. An welchen wissenschaftlichen Autoritäten orientierte man sich bei einer theoretischen Begründung der Erfindung oder Methode - sofern eine gegeben wurde?
4. Über welche Medien und Netzwerke fand eine internationale Verbreitung der Tauchtechnologie (Transfer) statt? Was gab es an direkter Kommunikation und welche Manuskripte befanden sich wo in Umlauf? Welche institutionellen und personellen Kontinuitäten, Netzwerke und Verbindungen prägten diese Entwicklung?
5. Könnten die Tauchgerätekonzepte nach heutigem Wissensstand funktionsfähig gewesen sein, und - falls vorhanden - besitzen zeitgenössische Gutachten auch heute noch Gültigkeit oder müssen sie revidiert werden? Wie haben die Geräte funktioniert? Lassen sich Entwicklungslinien aufzeigen? Wenn ja, welcher Art? Die technischen Entwicklungen sollen hierbei interpretiert und verglichen werden.

Die systematische Untersuchung der Hypothesen und Fragestellungen erfolgt anhand des nachfolgend dargestellten Aufbaus der Arbeit. Er stellt sich im Hauptstrang aufsteigend chronologisch dar, wobei regionale Unterscheidungen der jeweiligen Entwicklungen eine wichtige Rolle spielen. Dabei soll in den Diskurs eine Einbettung in die Geschichte der Naturwissenschaften und der allgemeinen Technik erfolgen.

Im Fokus der Betrachtungen stehen, entsprechend ihrer Rollen in Bezug auf Seefahrt und -handel in der Frühen Neuzeit, die Länder Italien, Spanien, Holland, Schweden und England. Ihre Untersuchung erfolgt in dieser Reihenfolge. Italien als das Zentrum der Wissenschaft und

als technologisch innovative Region während der Renaissance²¹⁶ steht am Anfang der Betrachtungen, gefolgt von Spanien und Portugal. Im Verlauf des 17. Jahrhunderts drängten Holland und England Spanien in der Seemacht und im Seehandel zurück. Die wirtschaftliche Führungsrolle in Europa übernahmen bis etwa zur Mitte des 17. Jahrhunderts Holland und die nördlichen Provinzen der Niederlande, die enge Verbindungen zu Schweden hatten.²¹⁷

Die in dieser Arbeit betrachteten Regionen spiegeln zugleich die Abfolge des von Süd nach Nord verlaufenden Techniktransfers in der Frühen Neuzeit wieder. Er erfolgte vom späten Mittelalter bis etwa zur Mitte des 18. Jahrhunderts traditionell von Italien über Süddeutschland, den Rhein entlang über Frankreich und die Niederlande nach England.²¹⁸

Die Entwicklungen in England stellen für die Beantwortung der Forschungsfragen in dieser Arbeit aus mehreren Gründen einen besonderen Schwerpunkt dar und werden entsprechend tiefgehend und über mehrere Hauptkapitel hinweg betrachtend. Ein Grund dafür ist darin zu sehen, dass England zwischen dem Sieg über die spanische Armada 1588 und der Glorious Revolution 1688 zur stärksten Seemacht Europas aufstieg.²¹⁹ Das Land konnte sich zwischen 1652 und 1674 in drei Seekriegen auch gegen die bis dahin dominierenden Niederländer durchsetzen. Mit der Gründung der East India Company (1600), der Newfoundland Company (1610) und der Company of Royal Adventurers of England trading with Africa (1663) betrieb England auf fast allen Meeren Seehandel. Ende des 17. Jahrhunderts war die englische (ab 1707 britische) Royal Navy die größte und wahrscheinlich die leistungsstärkste Seestreitkraft der Welt.²²⁰ Ob damit auch eine Dominanz in Bezug auf die Entwicklung der Tauchtechnik verbunden ist, steht hier zu untersuchen.

Die Jahre zwischen 1660 und 1670 gelten als besonders wegweisend in der maritimen Technikgeschichte, wobei das Engagement der Royal Society of London als bedeutend beschrieben wird.²²¹ Während sich ihre Schrittmacherrolle vorwiegend auf neu entwickelte

²¹⁶ Stilmann Drake / Israel Edward Drabkin, *Mechanics in Sixteenth-Century Italy*, Madison 1969, 13.

²¹⁷ Siehe Karel Davids, *Shifts of technological leadership in early modern Europe*, in: Karel Davids / Jan Lucassen (Hg.), *A miracle mirrored. The Dutch Republic in European Perspective*, Cambridge 1995, 338-366.

²¹⁸ Siehe Marcus Popplow, *Technik*, in: Leibniz-Institut für Europäische Geschichte (IEG) (Hg.), *Europäische Geschichte Online (EGO)*, Mainz 2016-07-25. URL <http://ieg-ego.eu/de/threads/hintergruende/technik/marcus-popplow-technik>, 3. Letzter Zugriff 18.07.2022; Troitzsch, *Technischer Wandel in Staat und Gesellschaft*, 29; Davids, *Shifts of technological leadership*, 338; Joel Mokyr, *The Gifts of Athena: Historical Origins of the Knowledge Economy*, Princeton 2011, 276.

²¹⁹ Hamish Marshall Scott, *Britain's Emergence as a European Power, 1688-1815*, in: Harry Thomas Dickinson (Hg.), *A Companion to Eighteenth-Century Britain*, Malden 2002, 431-446, 432.

²²⁰ Richard Harding, *The Royal Navy*, in: Harry Thomas Dickinson (Hg.), *A Companion to Eighteenth-Century Britain*, Malden 2002, 481-488, 481.

²²¹ Margaret Deacon, *Scientists and the Sea, 1650-1900. A Study of Marine Science*, 2. new edition [EA London 1971], Aldershot 1997, 84.

Messinstrumente zur Auslotung der Meerestiefe und der Wassertemperatur²²², zur Untersuchung des Salzgehaltes des Meerwassers²²³ sowie zur Gezeitenforschung²²⁴ bezieht, stellt sich die Frage, ob sich dies auch auf Entwicklungen im Rahmen der Tauchtechnik übertragen lässt, und anhand welcher Kriterien dies zu belegen sein wird.

Der Aufbau der Arbeit gliedert sich - neben einem Einleitungs- und einem Schlusskapitel - in fünf Hauptkapitel, an deren Ende jeweils ein Zwischenfazit wesentliche Beobachtungen und Erkenntnisse im Sinne eines komprimierten Überblicks zusammenfasst.

Durch eine Einteilung des Untersuchungszeitraums in chronologisch aufeinander folgende Kapitel werden für diese Zeiträume charakteristische Entwicklungen im jeweiligen Zusammenhang betrachtet. In Klammern gestellte Jahreszahlen hinter den Hauptüberschriften weisen für die bessere zeitliche Einordnung auf die in dem jeweiligen Kapitel abgehandelten Zeiträume hin, ohne eine trennscharfe Eingrenzung beabsichtigen zu wollen. So wie es bei den einzelnen Phasen des technischen Wandels zu Überlappungen und Verflechtungen²²⁵ kommt, überlappen sich teilweise die Zeitphasen der Kapitel. Zur besseren Verständlichkeit bestimmter Themen sind, zumindest gelegentlich, punktuelle chronologische Vor- und Rückgriffe erforderlich.

Im Anschluss an dieses einleitende erste Kapitel mit Schwerpunkt auf die Gegenstandsbestimmung und methodische Herangehensweise beginnt die thematische Untersuchung in Kapitel 2. Es befasst sich mit der Frühformen des Gerätetauchens, einfachen Hilfsmitteln und Anwendungen. Hier steht zunächst Griechenland im Fokus, da es für die weitere Entwicklung der Tauchtechnik eine initiale Rolle einnimmt. Weitere Inhalte sind die Entwicklungsschritte in der Renaissance hin zu einer modernen Tauchtechnik, die in Italien Fuß fasste. Italienische Autoren wie beispielsweise Niccolò Tartaglia sorgten in der Folgezeit für die Verbreitung dieses Knowhows.

Kapitel 3 verfolgt die Geschichte der Tauchtechnik, wie sie sich in Spanien und Portugal, respektive der ihnen zugehörigen karibischen Region fortentwickelte, und als ersten Ansatz zu einer Sub-Atlantic History. Mit der Notwendigkeit von Bergungen gesunkener Schiffe aus der

²²² Siehe Robert Hooke, *Philosophical experiments and observations of the late eminent Dr. Robert Hooke*, S. R. S. and Geom. Prof. Gresb. and other eminent virtuoso's in his time, Hg. William Derham, London 1726, 225-248. Diese Geräte wurde zuvor in den *Philosophical Transactions* der Royal Society publiziert, siehe Anonymus, *Directions for seamen, bound for far voyages*, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 1 (1665) 140-143; Anonymus, *An Appendix to the Directions for Seamen*, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 1 (1665) 147-149; Anonymus, *Directions for observations and experiments to be made by masters of ships, pilots, and other fit persons in their sea-voyages*, in *Philosophical Transactions of the Royal Society* 2 (1667) 433-448.

²²³ Deacon, *Scientists and the Sea*, 82.

²²⁴ Deacon, *Scientists and the Sea*, 83.

²²⁵ Siehe Ulrich Troitzsch, *Technischer Wandel in Staat und Gesellschaft*, 167.

spanischen Silberflotte erhöhte sich der Bedarf an fortschrittlicher Tauchtechnik. Hieran anknüpfend soll in diesem Kapitel untersucht werden, ob ein Zusammenhang hergestellt werden kann zwischen dem in dieser Zeit und Region vorherrschenden großen Bedarf an Tauchtechnik und den Prozessen für ihre Weiterentwicklung. Wenn man Innovationen auch als Reaktionen auf Nachfrage versteht²²⁶, sollte der große Bedarf Spaniens ein Antrieb für Erfindungen oder Weiterentwicklungen gewesen sein.

In den heutigen Niederlanden sowie in Schweden kam es zu beachtlichen Leistungen mit Tauchgeräten. Sie waren unter anderem ein Anstoß für Entwicklungen in England. Schweden spielt eine bedeutende Rolle in der Geschichte der Tauchtechnik in der Frühen Neuzeit. Mit der sich in der Mitte des 17. Jahrhunderts im Zuge der Wissenschaftsrevolution ausbreitenden experimentellen Methode wurde vor allem in England seitens der Royal Society of London wichtige Grundlagenforschung betrieben, die die Weiterentwicklung der Tauchtechnik beförderte. Hierauf fokussiert Kapitel 4. Die Forschungsergebnisse der Royal Society of London, und insbesondere von Robert Boyle, sind auch heute noch für das moderne Gerätetauchen von Relevanz. Sie werden heute unter der Bezeichnung „Diving Science“²²⁷ subsummiert.

Ende des 17. Jahrhunderts lässt sich in England eine Welle an Privilegiengewährungen für Tauchgeräte erkennen. Fragt man nach möglichen Anlässen und dem zugrundeliegenden Antrieb, rückt die Aussicht auf einen schnellen Gewinn durch die Bergung wertvollen, gesunkenen Gutes in den Vordergrund der Betrachtung. Inwiefern letztlich der, durch Renditeaussichten in dieser Spekulationsblase angefachte Schub, zu technischen Neuentwicklungen führt, wird in Kapitel 5 untersucht. In diesem Kontext spielen auch die wissenschaftlichen und publizistischen Aktivitäten Edmond Halleys eine wesentliche Rolle, insbesondere die Frage, inwiefern die noch heute weit verbreitete Ansicht, er habe die Tauchtechnologie entscheidend weitergebracht, gerechtfertigt ist, oder relativiert werden muss.²²⁸

Von England ausgehend fand ein Transfer der Tauchtechnologie in andere Länder statt, der in Kapitel 6 in den Vordergrund gerückt wird. In Schweden, in dem Bergungstauchen in größere Tiefen bereits durchgeführt wurde, fanden die tauchtechnischen Entwicklungen aus England

²²⁶ Blättel-Mink / Menez, Innovationsforschung, 36.

²²⁷ Siehe beispielsweise Michael B. Strauss / Igor V. Aksenov, Diving Science. Essential physiology and medicine for divers, Champaign IL 2004.

²²⁸ Siehe beispielsweise Rebekka von Mallinckrodt, Tauchen, in: Friedrich Jaeger (Hg.), Enzyklopädie der Neuzeit, Band 13, Stuttgart 2011, 280-282, 281; Audrey T. Carpenter, John Theophilus Desaguliers: A Natural Philosopher, Engineer and Freemason in Newtonian England, London 2011, 191.

erstmalig in größerem Umfang eine praktische Anwendung. Allerdings sah man sich hier nach der Klärung der technischen Probleme vor neue, und zwar juristische Fragen gestellt. Diese werden an dieser Stelle mitbetrachtet.

Im 18. Jahrhundert erfolgten bedeutende Forschungen zu der Luft und seinen Bestandteilen, die den Weg für unsere heutigen, leichten und hochleistungsfähigen Tauchgeräten ebneten. Diese Forschungen, die weit über die Frühe Neuzeit hinaus wirken, werden ebenfalls in diesem sechsten Kapitel dargestellt.

Die zeitliche Grenze der systematischen Untersuchungen in dieser Arbeit bildet das Jahr 1815, als der schottische Bauingenieur John Rennie (der Ältere, 1761-1821) damit begann, sein Taucherglockenmodell in Serie zu produzieren und weltweit zu verkaufen. Die technischen Entwicklungen und der Techniktransfer als letzte Stufe des technischen Fortschrittes²²⁹ gelten damit als abgeschlossen. Rennies Taucherglocke stellte den neuen Standard dar, der von nun an weltweit eingesetzt wurde. Den Abschluss der vorliegenden tauchhistorischen Ausarbeitung bildet ein kurzer Ausblick über den internationalen Transfer englischer Tauchtechnologie in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts.

Zentrale Ergebnisse werden abschließend im Kapitel 7 aufgegriffen und im Hinblick auf ihre Bedeutung für die beiden aufgestellten Hypothesen diskutiert und bewertet, wobei die in den Zwischenfazit bereits angedeuteten Aussagen geschärft und im Gesamtzusammenhang dargeboten werden. Dazu zählt auch die Vorstellung der gewonnenen Erkenntnisse über den Quellenwert der hier in größerem Umfang erstmalig verwendeten Quellengattung der Erfinderprivilegien.

²²⁹ Siehe zu Technischem Fortschritt beispielsweise Stephan R. Epstein, *Transferring Technical Knowledge and Innovating in Europe, c. 1200-c. 1800*, in: Maarten Prak / Jan Luiten van Zanden (Hg.), *Technology, Skills and the Pre-modern Economy*, Leiden 2013, 25-67; Schumpeter, *Business Cycles*, 83.

2 Die Renaissance der Tauchgeräte (1400-1600)

2.1 Einfache Hilfsmittel und Anwendungen

Apnoetauchen ist die älteste Art des Tauchens. Dabei tauchen Menschen mit angehaltenem Atem, also „in Apnoe“ (griech.: Nicht-Atmung) unter Wasser. Archäologische Funde liefern Indizien dafür, dass Menschen bereits seit vorchristlicher Zeit mit dem Apnoetauchen ihren Lebensunterhalt bestreiten.²³⁰ Ihre Ernte besteht aus Algen, Mollusken und anderen Meerestieren, sowie Korallen und Perlen, die als Tauschwaren und Schmuckstücke dienen.

Über ein einfaches Hilfsmittel der Perlentaucher an der Westküste von Indien berichtet der deutsche Söldner Christoph Schweitzer in seinen Reisebeschreibungen aus den Jahren 1675 bis 1682.²³¹ Nach seiner Beschreibung klemmen die indigenen Taucher ihre Füße zwischen einen Stein und ein Seil und werden so mit dem Stein auf den Grund gezogen. Die Verwendung eines solchen Ballaststeines macht den unproduktiven Abstieg schneller und damit effizienter, denn es bleibt mehr Zeit für die produktive Arbeit auf dem Meeresgrund. Der Ballaststein ist somit ein erstes, einfaches Hilfsmittel. Das Tauchen mit Ballaststein beschreibt und illustriert einige Jahre später der Gießener Arzt Michael Bernhard Valentini (1657-1729) in *Museum museorum* (1704) (Abbildung 1).²³²

Im Mittelmeer tauchten Apnoetaucher auch nach Schwämmen.²³³ Archäologen gehen davon aus, dass Menschen bereits in der Jungsteinzeit in der Ägäis getaucht sind.²³⁴ Das Tauchen als Methode zum Sammeln dieser festsitzenden Organismen ist wahrscheinlich ebenso alt, da die Küsten um die griechischen Inseln steil abfallen und Schwämme dadurch selten in der Reichweite von Handrechen oder Haken zu finden sind.²³⁵

²³⁰ Soren H. Andersen, Kökkenmøddinger (Shell Middens) in Denmark: A Survey, in: Proceedings of the Prehistoric Society 66 (2000) 361-384, 361.

²³¹ Siehe Christoph Schweitzer, Reise nach Java und Ceylon 1675-1682, Tübingen 1931, 97-98.

²³² Michael Bernhard Valentini, Museum museorum, Teil 1, Frankfurt 1704, 494.

²³³ Walther Arndt, Schwämme. Die Rohstoffe des Tierreichs, Berlin 1937, 1581.

²³⁴ Frank J. Frost, Scyllias: Diving in Antiquity, in: Greece & Rome, 2nd ser., 15 (1968) 180-185, 181.

²³⁵ Klaus Rützler, Sponge Diving. Professional but not for Profit, in: Michael A. Lang / Carole C. Baldwin (Hg.), Methods and Techniques of Underwater Research, (Proceedings of the 16th Annual Scientific Diving Symposium), American Academy of Underwater Sciences, Dauphin Island 1996, 183-205, 183.

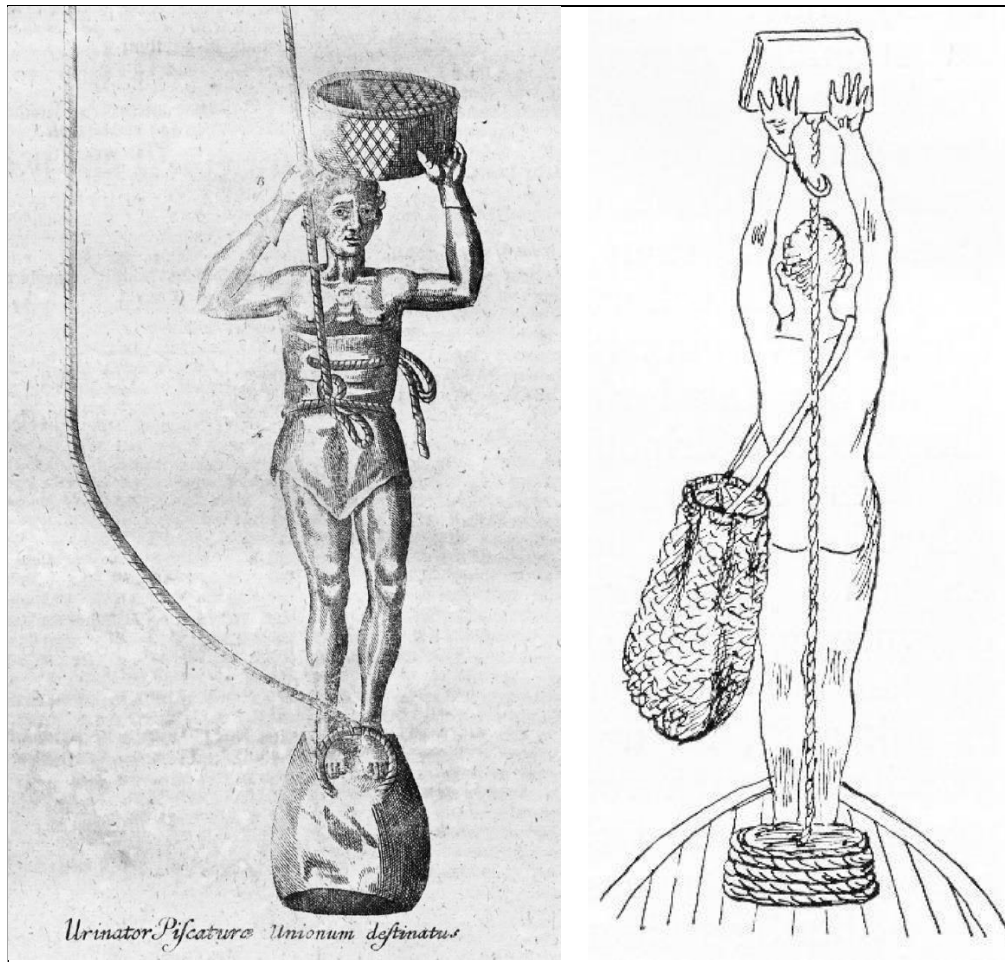


Abbildung 1 (links): Fußabwärts tauchender griechischer Schwammtaucher mit Ballaststein und Sammelkorb. Quelle: Michael Bernhard Valentini, *Museum museorum*, Teil 1, Frankfurt 1704, 494.

Abbildung 2 (rechts): Kopfabwärts tauchender griechischer Schwammtaucher mit Ballaststein, Sichelmesser und Sammelnetz. Quelle: Walther Arndt, *Schwämme. Die Rohstoffe des Tierreichs*, Berlin 1937, 1671.

Schwämme waren wichtige Gebrauchsgegenstände zur Reinigung von Tafeln, zur persönlichen Hygiene im Bad, in der Heilkunde, zur Polsterung von Rüstungen, bei Malern und vielem mehr.²³⁶ Das Schwammtauchen war, besonders im östlichen Mittelmeer und an der Nordafrikanischen Küste, ein wichtiger Erwerbszweig, konnte aber auch einen anderen Zweck haben: Heiratslustige Männer mussten auf der Sporadeninsel Icaria nach möglichst hochwertigen Schwämmen tauchen, um eine heiratsfähige Tochter eines Reichen zur Frau zu bekommen.²³⁷ Da die qualitativsten, feinporigsten Schwämme oft in größerer Tiefe wuchsen, war die individuelle Tauchleistung ein wichtiges Selektionskriterium für den Brautvater.

²³⁶ Eleni Voultziadou, Sponges: An historical survey of their knowledge in Greek antiquity, in: *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87, 2007, 1757-1763, 1761.

²³⁷ Arndt, *Schwämme*, 1598.

Neben Schwämmen wurden von Apnoetauchern auch Purpurschnecken (Muricidae) gesammelt, aus deren Drüsensekret der Purpurfarbstoff gewonnen wurde. Rote Edelkorallen (*Corallium rubrum*) waren ebenfalls begehrt und dienten als Rohstoff zur Schmuckherstellung. Korallen besaßen von der Antike bis in die Neuzeit eine Bedeutung als universelles Schutz- und Heilmittel.²³⁸

Apnoetaucher wurden schon früh für die Bergung von Wracks eingesetzt.²³⁹ An einem römischen Wrack aus dem 1. Jhd. v. Chr, das vor Giens in Südfrankreich gesunken und in 20 Meter Tiefe auf dem Grund liegt, und zwischen 1972 und 1975 von französischen Unterwasserarchäologen untersucht wurde, ist die frühere Arbeit von Apnoetauchern nachweisbar. Die Taucher bargen nur diejenigen Weinamphoren, die auf dem Schiffsdeck leicht für die zugänglich waren.²⁴⁰ Dies deutet darauf hin, dass ihre verfügbare Tauchzeit limitiert war und sie keine speziellen Werkzeuge besaßen, um das Deck aufzubrechen, in das Innere des Wracks einzudringen und von dort die Ladung zu bergen. Auf dem Deck fand man viele Ballaststeine, die die Apnoetaucher zurückließen.²⁴¹

Die Apnoetaucher im Mittelmeer verwendeten eine ähnliche Methode wie die Apnoetaucher in anderen Regionen der Erde: Sie lassen sich von Ballaststeinen in die Tiefe ziehen, sammeln auf dem Grund ihren Fang in Netze, und werden nach einem Leinensignal wieder mit dem Netz hinaufgezogen. Der Ballaststein, der an einem zweiten Seil befestigt war, wird anschließend geborgen und wiederverwendet.

Schwammtaucher tauchen in der Regel tiefer als Perlentaucher, da die Qualität (Feinporigkeit) und damit der Wert der Schwämme mit größerer Tiefe - bis zu 40 Meter - zunimmt.²⁴² Dies bedeutet, dass der Schwammtaucher in der Regel eine längere, unproduktive Zeit bis zu seinem Arbeitsplatz auf dem Meeresgrund hat, als Perlentaucher. Auf der griechischen Insel Kalymnos, die in der Antike neben Symi eines der Zentren der griechischen Schwammtaucher war, gab es - möglicherweise aus diesem Grund - eine Weiterentwicklung der Ballaststeinmethode. Im Gegensatz zu den Perlentauchern im asiatischen Raum, die

²³⁸ Siehe Elfriede Grabner, Die Koralle in Volksmedizin und Volksglaube, in: Zeitschrift für Volkskunde 65 (1969) 183-195.

²³⁹ Ioannidou, *Diving in Ancient Greece*, 112.

²⁴⁰ James P. Delgado, *Encyclopedia of underwater and maritime archaeology*, New Haven 1998, 252.

²⁴¹ Martin Mainberger / Timm Weski, *Unterwasserarchäologie - Ein forschungsgeschichtlicher Abriss aus mitteleuropäischer Sicht*, in: Florian Huber / Sunhild Kleingärtner (Hg), *Gestrandet, versenkt, versunken. Faszination Unterwasserarchäologie*, Hamburg 2014, 12-35, 14.

²⁴² Karl Birnbaum, *Die Gewinnung der Rohstoffe aus dem Innern der Erde, von der Erdoberfläche sowie aus dem Wasser*, 7., vermehrte und verbesserte Auflage, Leipzig 1877, 428; Arndt, *Schwämme*, 1599; Emilio Rodríguez-Álvarez, *The Hidden Divers: Sponge harvesting in the archaeological record of the Mediterranean Basin*, in: *The Global Life of Sponges - Social, Cultural, Historical and Political*, SOAS Conference, Hydra, 18-20th of May 2018, 1-16, 4.

fußabwärts in die Tiefe gezogen werden, fassen die hier tätigen Schwammtaucher flach geformte Ballaststeine ähnlich wie ein Steuerruder mit den Händen und gehen kopfabwärts in die Tiefe (Abbildung 2). Dies ermöglicht ihnen nicht nur einen schnelleren Abstieg, sondern bis zu einem gewissen Grad auch ein Steuern während des Abstieges hin zu einem bevorzugten Landeplatz.

Im Nautischen Museum in Pothia auf Kalymnos sind einige historische Ballaststeine ausgestellt. Auf manchen sind christliche Kreuze, als Schutzsymbol vor möglichen Unterwassergefahren, eingeritzt.²⁴³ Die Steine wurden teilweise hydrodynamisch geformt, damit sie einen geringen Wasserwiderstand hatten, und dadurch einen noch schnelleren Abstieg ermöglichten. So wurden die unproduktive Zeit und die Körperanstrengung beim Abstieg noch mehr reduziert. Die Ballaststeine bestehen meist aus Marmor oder Granit, und haben ein Gewicht zwischen 8 und 14 kg.²⁴⁴

Es gab offenbar in der Antike weitere Hilfsmittel, die den Taucher unterstützten. Der griechische Universalgelehrte Aristoteles (384 v. Chr.-322 v. Chr.) beschreibt eine Verbindung, durch die an, oder sehr nahe der Oberfläche geatmet werden konnte: „Gleich wie nun einige für die Taucher Apparate zum Atmen verfertigen, damit sie längere Zeit im Meere verweilen und mittels dieser Apparate die außerhalb des Wassers befindliche Luft einziehen können, ebenso bildet die Natur dem Elefanten die Nase zu dieser Länge aus.“²⁴⁵ Damit sind vermutlich Saugrohrkappen gemeint.

Saugrohrkappen werden auch in anderen Kulturkreisen wie China (Abbildung 3) und dem Persischen Golf erwähnt.²⁴⁶ Ein Saugrohr konnte allerdings nur für geringe Wassertiefen eingesetzt werden. Die menschliche Atemmuskulatur ist zu schwach um den Wasserwiderstand zu überwinden, und außerdem kommt es zu einer sogenannten Pendelatmung bei einem langen Schlauch.²⁴⁷

Der Umfang und die Akkuratheit der Beschreibungen von Aristoteles über Fische und wirbellose Meerestiere in Buch V und VI seines Werkes *Historia animalium* deuten darauf hin, dass die Meeresforschung ein wichtiger Teil seines Interessengebietes war. Einige seiner Informationen, wie etwa die Fortpflanzungsgewohnheiten und die Eiablage des Tintenfisches,

²⁴³ Peter Dick, Undercurrents: Welcome to Kalymnos, in: *Historical Diving Times* 59 (2014) 35-36, 36.

²⁴⁴ Rodríguez-Álvarez, *The Hidden Divers*, 4.

²⁴⁵ Siehe zu Aristoteles über den Rüssel des Elefanten in *De partibus animalium II*, in Aristoteles, *Über die Theile der Thiere*, Vier Bücher, Übers. und Hg. von A. Karsch, Stuttgart 1855, 62.

²⁴⁶ Joseph Needham, *Science and civilisation in China*, Vol. 4, Part II, Cambridge 1971, 668; Johan Albrecht von Mandelslo, *Des HochEdelgeborenen Johan Albrechts von Mandelslo Morgenländische Reyse-Beschreibung*, Schleswig 1658, 30.

²⁴⁷ Siehe hierzu Kapitel 2.2.

können nur durch direkte Unterwasserbeobachtungen von Tauchern stammen.²⁴⁸ Er beschreibt auch ausführlich das Verhalten einzelner Fischarten, über die man nur etwas durch Beobachtungen unter Wasser erfahren konnte.²⁴⁹

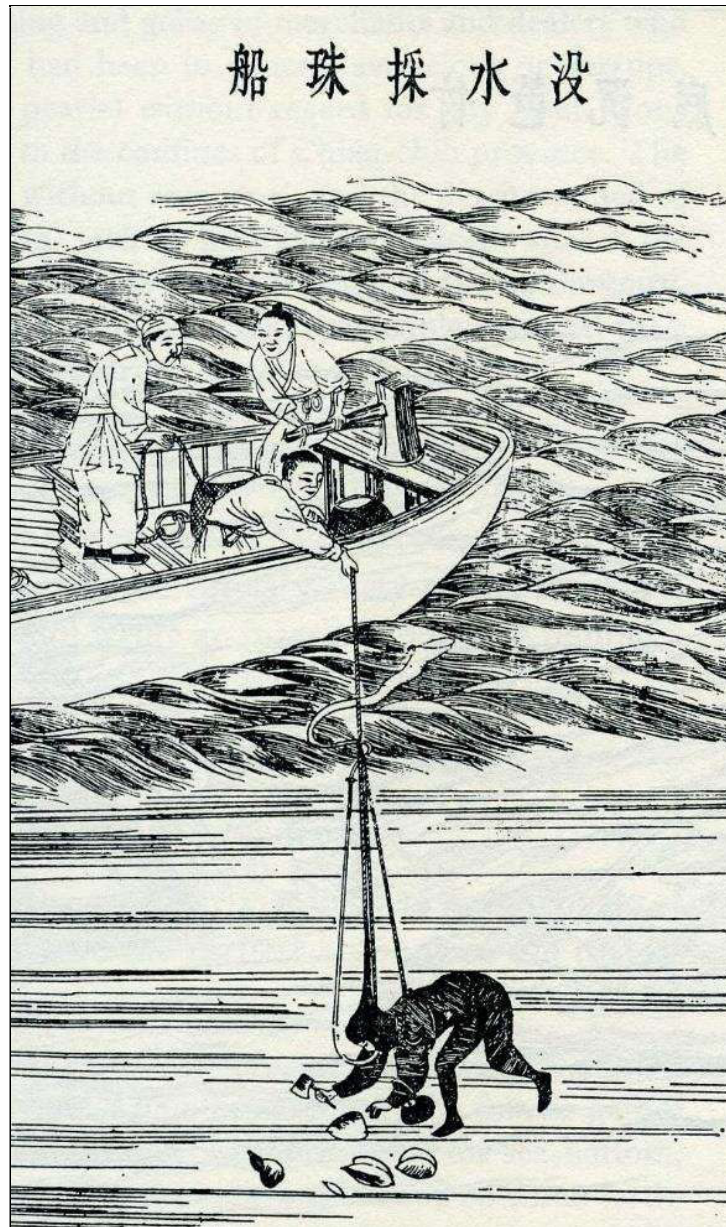


Abbildung 3: Chinesischer Perlentaucher im Tien Kung Khai Wu (1637). Quelle: Joseph Needham, *Science and civilisation in China*, Vol. 4, Part II, Cambridge 1971, 669.

²⁴⁸ Siehe zu Aristoteles über das Laichen des Tintenfisches in *Historia animalium* V 550b6, zitiert in Aristoteles, *Zoologische Schriften I Historia Animalium Teil III Buch V*, Aristoteles Werke in deutscher Übersetzung Band 16, Hg. Christof Rapp, Bearb. Katharina Epstein, Berlin 2019, 408; siehe Oleson, *Testing the Waters*, 128.

²⁴⁹ Siehe Tracey Elizabeth Rihll, *Greek Science*, Cambridge 1999.

Die physiologischen Schwierigkeiten des Tauchens wurden, wenn auch rudimentär, von Aristoteles erkannt. Die Auswirkungen des Wasserdrucks auf die Trommelfelle werden beispielsweise von ihm in seinen *Problemata physica* angesprochen. „Warum zerreißen Leuten, die im Meer (in der Meerestiefe) tauchen, die Ohren (das Trommelfell)? [...] Warum legen Taucher Schwämme um die Ohren? [...] Warum schneiden sich die Schwamm-Taucher die Ohren und die Nasenmuscheln durch? [...] Warum reißen den Tauchern weniger die Ohren (das Trommelfell), wenn sie vorher Öl in die Ohren gießen?“²⁵⁰.

Aristoteles versucht zu verstehen und zu erklären, was mit dem menschlichen Körper in der fremden Umgebung unter Wassers geschieht.²⁵¹ Die Antworten, die Aristoteles auf die Fragen zu geben versucht, zeigen allerdings, wie wenig er von dem sich mit der Tiefe ändernden Umgebungsdruck und seiner Wirkung wusste. Er kann aber als ein früher Forscher angesehen werden, der sich mit Fragen zur Tauchtechnologie beschäftigte.²⁵²

Bis heute gibt es keine zufriedenstellenden Antwort auf die offenbar von den Schwammtauchern ausgeübte Praxis, Öl in die äußeren Gehörgänge zu träufeln, oder ölgetränkte Schwämme beim Tauchen im Mund zu halten. Möglicherweise ist die Ursache in dem Umstand zu suchen, dass die Schwammtaucher bei den schnellen Abstiegen mit den Ballaststeinen auch schnell einen Druckausgleich im Innenohr herstellen mussten. Dies wird regulär dadurch ermöglicht, dass mit zwei Finger die Nase zugeedrückt und Luft hineinpresst wird. Da Schwammtaucher allerdings beim Abstieg mit ihren Hände den Ballaststein festhalten mussten, war diese Methode nicht möglich. Deshalb musste auf eine alternative Methode umgestellt werden: Bei Schluckbewegungen öffnet sich die Eustachische Röhre, welche den Nasen-Rachenraum und das Mittelohr verbindet, und der Druckausgleich erfolgt. Ein ölgetränkter Schwamm im Mund könnte das Schlucken erleichtert haben, indem der Taucher nicht „trocken“ schluckt, sondern das aus dem Schwamm gepresste Öl schluckt.

Berichte, wonach in der Antike Apnoetaucher Olivenöl in ihrem Mund mit in die Tiefe nahmen, fanden noch Mitte des 17. Jahrhunderts ihre Fehlinterpretation darin, dass das Öl, aufgrund seiner natürlichen, hellgelben Farbe, auch „Licht“ enthalte. Ließen die Taucher auf

²⁵⁰ Aristoteles, *Problemata Physica*, Hg. Ernst Grumach, Übers. Hellmut Flashar, Aristoteles Werke in deutscher Übersetzung Band 19, Berlin 1962, 270-272.

²⁵¹ Rihll, *Greek Science*, 114.

²⁵² Michael Jung, *Scientific diving from early modern period up to the 20th century*, in: *Freiberg Online Geoscience, Special Volume, (Proceedings of the 6th European Conference on Scientific Diving)*, 58 (2021) 6-12, 6.

dem Meeresgrund das Öl aus ihrem Mund herausquellen, sollte es das Umfeld durch das darin enthaltene „Licht“ erhellen.²⁵³

Über die Leistungen der frühen Schwammtaucher gibt es viele, übertriebene Berichte.²⁵⁴ Obwohl es keine direkten Belege gibt, geht man davon aus, dass die realistische, durchschnittliche Tauchdauer für einen geübten Taucher etwa zwei bis maximal vier Minuten war, je nach Schwere der Arbeit auf dem Grund. Eine glaubwürdige Nachricht über die von Tauchern erreichte Tiefe findet sich bei dem Reisenden und Geographen Isidoros von Charax (um 300 v. Chr.).²⁵⁵ Er schreibt, dass bis in eine Tiefe von 20 Klafter (ca. 37 Meter) hinabgetaucht werde.

In einer Textstelle in seinen *Problemata physica* erwähnt Aristoteles als Hilfsmittel für Taucher ein Gefäß, das mit der offenen Seite nach unten herabgelassen werden konnte. Dabei blieb etwas Luft im Inneren: „Denn man kann es den Tauchern ermöglichen, ebenso zu atmen (wie über Wasser), indem man (sie in einem) Kessel (= Taucherhelm) herunterlässt. Dieser füllt sich nämlich nicht mit Wasser, sondern bewahrt die Luft auf. Denn mit Gewalt wird er heruntergelassen. Wenn er aber nur etwas von der geraden Linie abweicht, strömt (Wasser) hinein“²⁵⁶.

Zu beachten ist die „kann“-Aussage, womit nicht unbedingt gesagt wird, dass diese Methode damals auch tatsächlich angewandt wurde. Möglicherweise war es nur ein aus dem theoretischen Wissen des Verfassers entsprungener Vorschlag. Eventuell war die Idee, ähnlich wie bei dem Rüssel des Elefanten, aus der Beobachtung der Natur entstanden. Die Wasserspinnen (*Argyroneta aquatica*) können sich lange unter Wasser aufhalten, indem sie eine Luftblase an einer Wasserpflanze anheften, und aus ihr von Zeit zu Zeit Luft schöpfen. Möglicherweise haben aber auch die griechischen Apnoetaucher auf ihrer Suche nach Schwämmen unterseeische Höhlen entdeckt, in denen sich eine große Luftblase unter der Decke befand, und festgestellt, dass sie dort frische Luft einatmen und weitertauchen konnten. Der Kessel wäre demnach eine Miniaturisierung einer solchen, luftgefüllten Unterseehöhle.

Der Interpretation des Übersetzers Hellmut Flashar, dass es sich um einen Taucherhelm handelt, ist nicht zwingend zu folgen. Eine andere Auffassung vertritt bereits Johann Samuel Traugott Gehler in seinem *Physikalischen Wörterbuch* (1796): „Dies scheint der Taucherglocke

²⁵³ Athanasius Kircher, *Mundus subterraneus in XII libros digestus*, Tomus I, Amsterdam 1665, 323.

²⁵⁴ Siehe Oppian, *Oppian*, Colluthus, Tryphiodorus, Übers. Alexander William Mair, London 1928, *Haliutica* V. 601-680, 509-515.

²⁵⁵ Frost, *Scyllias*, 182.

²⁵⁶ Aristoteles, *Problemata physica*, 271.

sehr ähnlich zu seyn; aber die Stelle ist zu dunkel, weil man nicht entscheiden kann, ob das Wort ... ein Ueberstürzen des Kessels über den Kopf, oder ein bloßes Nachschicken desselben anzeige, in welchem letztern Falle der Kessel bloß als Luftmagazin gedient hätte, zu welchem der Taucher seine Zuflucht nehmen konnte, so oft ihn das Bedürfniß zu athmen dazu antrieb“²⁵⁷.

Bei einem „Kessel“ dürfte es sich um einen kleineren Topf aus Ton gehandelt haben, wie er in der Küche oder im Haushalt verwendet wurde. Der Kessel wurde vermutlich mit einem Gewicht auf dem Meeresgrund platziert und die Taucher schwammen zu ihm hin, wenn sie frischen Atem schöpfen wollten.

Eine Nutzung eines Taucherhelms für Schwammtaucher ist kaum vorstellbar, da er die Bewegungsfreiheit des Tauchers sehr einschränken würde. Mit einem Helm müssten Taucher auf dem Meeresgrund aufrecht gehen und benötigen weitere Hilfsmittel wie Gewichte und Schuhe. Hinzu kommt, dass ein Taucherhelm nur dann sinnvoll ist, wenn er auch ein Sichtfenster enthält. Dies ist aber ein zusätzlicher technischer Aufwand und die Abdichtung der Sichtscheibe zum Helmkörper ist nicht trivial. Die Interpretation der Textstelle von Gehler, wonach ein unten offenes Gefäß als ein Luftreservoir herabgelassen wurde, aus dem die Apnoetaucher zwischendurch Luft schöpfen konnten, erscheint deshalb praktikabler und realistischer.²⁵⁸ Es war die Grundform der späteren Taucherglocke.

Tauchen wurden schon früh als eigener Beruf angesehen, dessen Entlohnung geregelt war. Die römische Rechtsauffassung erkannte in dem *Lex Rhodia de iactu* genannten Regelwerk aus dem 2. Jahrhundert v. Chr. die Rechte der Bergungstaucher auf einen Teil dessen an, was sie geborgen hatten.²⁵⁹ Die Taucher - sie wurde im Regelwerk „urinatores“²⁶⁰ genannt - hatte einen Anspruch auf einen Anteil der Beute, der in Abhängigkeit von der Tiefe, aus der etwas geborgen wurde, zwischen einem Drittel und einem Zehntel variierte.²⁶¹ Die Taucher arbeiteten als feste Gemeinschaft. Aus römischer Zeit ist aus einer Inschrift in Ostia, dem Hafen von Rom, bekannt, dass sich die dortigen Taucher zu einem „collegium urinatorum“ zusammenschlossen hatten.²⁶²

²⁵⁷ Johann Samuel Traugott Gehler, *Physikalisches Wörterbuch*, Viertes Teil. Leipzig 1798, 279-280.

²⁵⁸ Harald Pinl, *Mit Feuertonnen, Wasserharnisch und Lufthosen. Die geheimen Künste des Franz Kessler von 1616*, Langenhagen 2010, 75.

²⁵⁹ Siehe Christoph Krampe, *Römisches Recht auf hoher See. Die Kunst des Guten und Gerechten*, in: Iole Fagnoli / Stefan Rebenich (Hg.), *Das Vermächtnis der Römer: Römisches Recht und Europa*, Bern 2012, 111–150; Daphne Penna, *Finders Keepers, Losers Weepers? Byzantine Shipwreck and Salvage in the Eleventh and Twelfth Centuries*, in: Louis Sicking / Alain Wijffels (Hg.), *Conflict Management in the Mediterranean and the Atlantic 1000-1800. Actors, Institutions and Strategies of Dispute Settlement*, Leiden 2020, 43-66, 50-56.

²⁶⁰ Krampe, *Römisches Recht*, 126.

²⁶¹ Frost, *Scyllias*, 184.

²⁶² Mainberger / Weski, *Unterwasserarchäologie*, 13.

Der Ursprung des lateinischen Verbs „urinator“ als Bezeichnung für Taucher ist bislang nicht eindeutig geklärt.²⁶³ Er wurde später auch bei der Bezeichnung der Taucherglocke als „Campana Urinatoria“²⁶⁴ verwendet. Ein neuer Erklärungsansatz könnte sich allerdings bieten, wenn man das Wörterbuch *Iulii Pollucis onomasticon, hoc est instructissimum rerum et synonymorum dictionarium: nunc primum latinitate donatum* zu den Schriften des griechischen Gelehrten Iulius Pollux (ca. 2. Jhd.) heranzieht, in dem statt von „urinatores“ von „uenatores“ (lat. Jäger), die Purpurschnecken und Schwämme aus dem Meer fischen, gesprochen wird.²⁶⁵

Neben Aristoteles ist auch der griechische Mathematiker, Ingenieur und Physiker Archimedes (ca. 287 v. Chr.-212 v. Chr.) für das Tauchen von Bedeutung.²⁶⁶ Das nach ihm benannte „archimedische Prinzip“, wonach der statische Auftrieb eines Körpers in einem Medium genauso groß wie die Gewichtskraft des vom Körper verdrängten Mediums ist, wurde zur Grundlage vieler späterer praktischen Anwendungen wie Schiffe und Unterseeboote.²⁶⁷ 1433 griff der italienische Künstler und Techniker Mariano di Jacopo (genannt Taccola, 1381-ca. 1453) dieses Prinzip auf, um Wracks vom Meeresgrund zu heben.²⁶⁸

Das Prinzip, das Archimedes mit großer Wahrscheinlichkeit auf empirischem Weg²⁶⁹ gefunden hat, gilt aber nicht nur in Flüssigkeiten, sondern auch in gasförmigen Medien wie Luft. Ballone und Luftschiffe nutzen es beispielsweise, um zu steigen oder zu sinken. Durch Temperaturänderung des Füllgases kann dessen Dichte und damit sein Gewicht verändert, oder bereits schon zu Anfang ein Gas mit geringerer Dichte wie Luft (z. B. Helium oder Wasserstoff) verwendet werden.

2.2 Kriegstechnische Bilderhandschriften und Traktate des 15. Jahrhunderts

Eine intensive wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Gerätetauchen scheint im Mittelalter nicht stattzufinden. Hier ist lediglich das Werk *De mirabili potestate artis et naturae* (um 1266) des Franziskanermönchs und Philosophen Roger Bacon (ca. 1219-ca. 1292) hervorzuheben, in dem er neben Flugmaschinen, Pferdlosen Kutschen auch Tauchgeräte erwähnt: „A man may make an Engine, whereby without any corporal danger, he may walk in

²⁶³ John Peter Oleson, A Possible Physiological Basis for the Term urinator, „diver“, in: *The American Journal of Philology* 97 (1976) 22-29, 26-27.

²⁶⁴ Siehe Gottlob Friedrich Seligmann / Johann Conrad Glaser, *De Campana urinatoria*, Leipzig 1677.

²⁶⁵ Iulius Pollux, *Iulii Pollucis onomasticon, hoc est instructissimum rerum et synonymorum dictionarium: nunc primum latinitate donatum*, Interpr. Rudolf Gwalther, Basel 1541, 343.

²⁶⁶ Rihll, *Greek Science*, 31.

²⁶⁷ Siehe hierzu Kapitel 2.3.3, „variabler Ballastwassertank“ von William Bourne in 1578.

²⁶⁸ Siehe hierzu Kapitel 2.2.

²⁶⁹ Rihll, *Greek Science*, 32.

the bottome of the Sea, or other water. These Alexander (as the Heathen Astronomer assures us) used to see the secrets of the deeps. Such Engines as these were of old, and are made even in our dayes“²⁷⁰. Auf Details geht Bacon nicht ein.

Im 15. Jahrhundert erschien im Heiligen Römischen Reich eine Reihe von Abhandlungen über verschiedene technische Aspekte.²⁷¹ Sie befassten sich neben bergbautechnischen Themen hauptsächlich mit Kriegsmaschinen für Angriff und Verteidigung sowie mit Schwimm- und Tauchvorrichtungen zur Überquerung von Flüssen und dem Transport von Botschaften. In ihrer Form waren sie zumeist Bildmanuskripte mit einem kurzen beschreibenden Text in Prosa oder Versform.

Als das früheste bekannte Traktat über Technik des 15. Jahrhunderts und das Werk, das den Beginn des technologischen Schrifttums markiert, wird das Werk *Bellifortis* des Kriegstechnikers Conrad Kyeser (1366-1405) aus dem Jahr 1405 angesehen.²⁷² Es hat einen besonderen Stellenwert, denn „in verschiedener Hinsicht gebührt Konrad Kyeser der erste Platz innerhalb einer Darstellung der kriegstechnischen Bilderhandschriften des 15. Jahrhunderts. Er legte das erste illustrierte Buch über die Technik im Krieg vor“²⁷³.

Die frühen Traktate wurden viel kopiert und übten daher einen erheblichen Einfluss aus. Rainer Leng listet 47 Ausgaben des *Bellifortis* and sogar 58 Ausgaben des von einem unbekanntem Autor verfassten *Feuerwerkbuch* (um 1420) auf.²⁷⁴

In Kyesers *Bellifortis* finden sich neben luftgefüllten Schwimmgürteln auch eine der frühesten Illustrationen eines Tauchers.²⁷⁵ Er trägt einen enganliegenden Lederanzug, hat vor den Augen zwei runde Glasscheiben und vor dem Mund eine luftgefüllte Blase, in die er durch ein kurzes Rohr aus- und einatmet. Diese kleine Blase soll, nach der Annahme Kyesers, als Luftvorrat beim Tauchen dienen.

Aus physiologischen Gründen ist ein solches Hilfsmittel beim Tauchen nicht verwendbar, denn der Sauerstoff in der Blase reicht nur für sehr wenige Atemzüge.²⁷⁶ Ein Mensch kann

²⁷⁰ Roger Bacon, Frier Bacon his discovery of the miracles of art, nature, and magick faithfully translated out of Dr. Dees own copy by T.M. and never before in English, [Original in Latein um 1266, Übers. Thomas May], London 1659, 18.

²⁷¹ Siehe Rainer Leng, *Ars belli: Deutsche taktische und kriegstechnische Bilderhandschriften und Traktate im 15. und 16. Jahrhundert*, Wiesbaden 2002.

²⁷² Siehe Conrad Kyeser, *Bellifortis* [um 1402], Faksimiledruck des Cod. Ms. Philos. 63 der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Übers. von Götz Quarg, 2 Bd., Düsseldorf 1967.

²⁷³ Leng, *Ars belli*, 109.

²⁷⁴ Leng, *Ars belli*, 21.

²⁷⁵ Kyeser, *Bellifortis*, fol. 62r.

²⁷⁶ Horst de Marées, *Sportphysiologie*, korr. Nachdr. der 9., vollst. überarb. und erw. Aufl. 2003 [EA Köln 1974], Hellenthal 2017, 331.

seinen Atem nur für kurze Zeit anhalten, und wenn er länger unter Wasser bleiben will, braucht er entweder einen genügend großen Vorrat an Luft, aus dem er atmen kann – genauer den darin enthaltenen Sauerstoff - oder eine ständige Frischluftzufuhr von der Oberfläche aus. Ein Luftvorrat kann nicht unendlich oft eingeatmet werden, denn der Sauerstoff in ihr wird verbraucht und die Person verliert das Bewusstsein, wenn der Kohlendioxidgehalt steigt.²⁷⁷ Der Kurator der Royal Society, Robert Hooke (1635-1703), führte 1663 ein Experiment durch und zeigte, dass die Anzahl der möglichen Atemzüge aus einer gefüllten Blase sehr begrenzt war.²⁷⁸

Im Spätmittelalter war dieses Wissen zur menschlichen Atmung noch nicht vorhanden, und dem entsprechend waren die Vorschläge für Tauchgeräte in aller Regel unbrauchbar. Viele bedeutende Fortschritte zum Verständnis der Rolle von Sauerstoff, Kohlendioxid und Stickstoff bei der Regulierung der Atmung wurden erst im 17. und 18. Jahrhundert gemacht.²⁷⁹ Bis dahin bestand die aus der Antike überlieferte und weitverbreitete, falsche Vermutung in der Theorie, der menschliche Körper müsse den durch die „innere Flamme“²⁸⁰ entstandenen Rauch ausatmen und Außenluft einatmen, um die Flamme zu nähren und den Körper kühl zu halten. Der griechische Arzt und Philosoph Galen (Galenos) von Pergamon (ca. 129-ca. 200) verglich bereits die Wärme des Herzens im Körper mit der einer Kerze in einem Kürbis.²⁸¹ Es entstanden die Phrasen wie *flamma vitalis*, *flammula vite*, die vitale Flamme, die Flamme des Lebens, das Feuer des Lebens und so weiter, die literarische Bildsprache, in der diese einfachen Tatsachen ausgedrückt wurden.²⁸²

Die bei Kyeser abgebildete Tauchkonstruktion findet sich in späteren Abbildungen anderer Autoren vielfach wieder und dies zeigt, dass die jeweiligen Autoren in keinem der Fälle, in denen sie wiedergegeben werden, tatsächlich einen praktischen Versuch mit dem Gerät unternommen haben können.

Um 1420 lässt sich die zweite, ebenfalls irrige Variante, einen Taucher mit Luft zu versorgen, in der Literatur nachweisen: Der aus Werden bei Essen stammende deutsche Wasserbauingenieur Konrad Gruter bildete in seiner Handschrift neben einem schwimmenden

²⁷⁷ Horst de Marées, *Sportphysiologie*, korr. Nachdr. der 9., vollst. überarb. und erw. Aufl. 2003 [EA Köln 1974], Hellenthal 2017, 630.

²⁷⁸ Siehe hierzu Kapitel 4.4.

²⁷⁹ Robert S. Fitzgerald, *The Regulation of Breathing*, in: Donald E. Proctor (Hg.), *A History of Breathing Physiology*, New York 1995, 303-342, 306. Siehe hierzu Kapitel 6.2.

²⁸⁰ Daniel Schäfer, *Alter und Krankheit in der Frühen Neuzeit: der ärztliche Blick auf die letzte Lebensphase*, Frankfurt a. M. 2004, 48.

²⁸¹ Leonard G. Wilson, Erasistratus, Galen, and „the pneuma“, in: *Bulletin of the History of Medicine* 33 (1959) 293-314, 312.

²⁸² Douglas McKie, *Fire and the Flamma Vitalis: Boyle, Hooke, and Mayow*, in: E. Ashworth Underwood (Hg.), *Science, Medicine and History: Essays on the Evolution of Scientific Thought and Medical Practice Written in Honour of Charles Singer*, Vol. 1, Oxford 1953, 469-488, 469.

Boten und einem Taucher, der einen kübelartigen Taucherhelm als „verkleinerte Taucherglocke“ trägt, einen Taucher ab, der eine Kappe mit einem langen Luftschlauch zur Oberfläche trägt. Dort wird er von einem Schwimmkörper gehalten (Abbildung 4). Der Luftschlauch soll mit dünnen Eisendrähten versteift werden, damit er nicht zusammengepresst wird. Die Haube ist mit zwei Glasaugen ausgestattet ist.²⁸³ Gruter schlägt vor, dass Geheimboten diese Ausrüstungen verwenden sollen. Der von Gruter dargestellte Taucher mit einem Kübel über dem Kopf scheint die früheste bildliche Darstellung eines Mannes mit einem Taucherhelm zu sein, es fehlt allerdings in der Darstellung ein Sichtfenster - ob aus Absicht oder versehentlich ist offen.

Das Werk von Gruter ist eine der frühesten, ausschließlich technischen Handschriften mit einem fundierten Hintergrund.²⁸⁴ Gruter kam im Herbst 1393 nach Rom an den Hof von Bonifatius IX. (urspr. Pietro Tomacelli; 1350-1404, Papst 1389-1404). Der Papst betraute ihn sieben Jahre lang mit technischen Aufgaben. Nach 1400 führte Gruter im oberitalienischen Raum verschiedene Wasserbauarbeiten durch. Die reich dekorierte Handschrift finalisierte Gruter 1424 in Venedig. Sie fasst seine Erfahrungen aus einem über dreißigjährigen Aufenthalt in Italien zusammen.

Eine dem Anonymus der Hussitenkriege zugeschriebene Bilderhandschrift von etwa 1430 enthält eine sehr ähnliche Zeichnung²⁸⁵ mit langem Luftschlauch. Der Taucher scheint hier mit einer Bergungsaufgabe beschäftigt zu sein. Ein Sicherheits- oder Signalseil von der Oberfläche ist um seine Taille befestigt, und zwei Fässer, die von Enterhaken gehalten werden, sind an Leinen mit der Oberfläche verbunden. Der Zeichnung ist kein Text beigelegt.

²⁸³ Siehe Konrad Gruter von Werden, *De machinis et rebus mechanicis*. Ein Maschinenbuch aus Italien für den König von Dänemark 1393-1424, 2. Edition, Hg. Dietrich Lohrmann, Città del Vaticano 2006, 244-247.

²⁸⁴ Dietrich Lohrmann, Wassertechnik bei Konrad Gruter von Werden (1424), in: *Schriftenreihe der Frontinus-Gesellschaft* 28 (2011) 73-93, 73.

²⁸⁵ Bert S. Hall, *The technological illustration of the so-called „Anonymous of the Hussite Wars“*. *Codex Latinus Monacensis* 197, Wiesbaden 1979, fol. 14r.; Leng, *Ars Belli*, 196-197.



Abbildung 4: Schwimmgürtel und zwei Tauchgeräte skizziert von Konrad Gruter von Werden um 1420. Quelle: Konrad Gruter von Werden, *De machinis et rebus mechanicis*. Ein Maschinenbuch aus Italien für den König von Dänemark 1393-1424, 2. Edition, Hg. Dietrich Lohrmann, Città del Vaticano 2006, 244 (Ausschnitt).

Saugrohrgeräte dieser Art waren die dominierenden Konzepte des 15. Jahrhunderts und wurden immer wieder in den verschiedensten Ländern vorgeschlagen. 1486 bot der aus Udine stammende Bartolus Lucanus dem Papst Innozenz VIII. (urspr. Giovanni Battista Cibo; 1432-1492, Papst 1484-1492) an, mit einem Tauchgerät versunkene Wertgegenstände zu bergen. Der Beschreibung nach handelte es sich um ein ebensolches kappenartiges Saugrohrgerät mit

Glasscheiben. Offenbar fand auch eine praktische Vorführung statt, bei der Lucanus aber verspottet wurde.²⁸⁶

Der Anzug mit langen Saugrohr des Konrad Gruter ist, ebenso wie alle ähnliche Konstruktionen anderer Autoren, vermutlich nie praktisch eingesetzt worden, denn dann hätte man festgestellt, dass die Atemarbeit bereits in wenigen Metern Tiefe unmöglich war. Solche Taucheranzüge könnten im besten Fall bis zu einer Tiefe von maximal zwei Meter verwendet werden.

Lange Saugrohrgeräte (ihre kurze Bauform wird „Schnorchel“ genannt) sind für die Verwendung beim Tauchen nicht nur ungeeignet, sondern gefährlich. Der große Totraum des Atemsystems, der nicht am pulmonalen Gasaustausch beteiligt ist, wird durch ein langes Rohr vergrößert, und es kommt zu vermehrter Atemarbeit und „Pendelatmung“²⁸⁷, bei der - ähnlich wie in einer Blase - immer wieder dasselbe Volumen ein und ausgeatmet wird. Die Folgen sind ein Anstieg des Kohlendioxids im Blut, daraufhin eine Steigerung des Atemantriebs und zunehmender Sauerstoffmangel. Die letztendlich auftretende Bewusstlosigkeit kann unter Wasser zum Ertrinken führen.

Das Problem der Pendelatmung könnte man lösen, indem man zwei Rohre verwendet - eines zum Einatmen, und das andere zum Ausatmen. Dies scheint Leonardo da Vinci (1452-1519) richtig erkannt zu haben, denn von ihm ist eine solche Abbildung überliefert.²⁸⁸

Doch deutlich größere Probleme für den Taucher resultieren aus dem Wasserdruck. In den Atemwegen und in der Lunge des Tauchers herrscht durch die direkte Verbindung mit der Oberfläche der atmosphärische Druck von etwa einem Bar (ca. 101,325 kPa). Dem steht der von außen wirkende Wasserdruck entgegen. Bereits in 50 cm Tiefe wirkt mit 1250 N eine erhebliche Kraft auf die Brust. Diese Kraft muss die Atemmuskulatur bei jeder Einatmung aufbringen. Außerdem bewirkt selbst ein geringer Unterdruck von unter einem Bar, dass nach wenigen Minuten Lymphe durch die Lungenbläschen in die Lunge gedrückt wird. Es entsteht ein Lungenödem. Saugrohrtaucher droht durch diese Gewebeflüssigkeit inneres Ertrinken.²⁸⁹

Der Wiener Physiologe und Militärarzt Robert Stigler (1878-1975) hat zu Beginn des 20. Jahrhunderts hierzu Experimente in einem Schwimmbad durchgeführt.²⁹⁰ Versuchspersonen,

²⁸⁶ Bartolus Lucanus, *Oratio metrica ad Innocentium VIII*. Rom 1486, o. S.; Antonio Bartolini: *Saggio epistolare sopra la tipografia del Friuli nel secolo XV*, Udine 1798, 63-64.

²⁸⁷ Marées, *Sportphysiologie*, 630.

²⁸⁸ Leonardo da Vinci, *Il Codice Arundel 263* nella British Library: edizione in facsimile nel riordinamento cronologico dei suoi fascicoli, Hg. Carlo Pedretti, 2 Bd., Faksimiledruck Florenz 1998, fol. 24v.

²⁸⁹ Marées, *Sportphysiologie*, 628.

²⁹⁰ Siehe Robert Stigler, *Die Kraft unserer Inspirationsmuskulatur*, in: *Pflügers Archiv* 139 (1911) 234-254.

die durch zwei Schnorchel atmeten, hielten es in 60 Zentimeter Tiefe nur etwas mehr als drei Minuten aus, in einem Meter Tiefe nur 30 Sekunden. Bei zwei Meter Tiefe wurde ein Selbstversuch abgebrochen; Stigler erlitt einen bleibenden Herzmuskelschaden. Aus den geschilderten Gründen dürfen Schnorchel nicht länger als etwa 35 Zentimeter sein.

Der französische Priester und Physiker Jean de Hautefeuille (1647-1724) erkannte diese Zusammenhänge zwischen dem Wasserdruck und der Atemmuskulatur und schrieb in seinem Werk *L'Art de respirer sous l'eau* (1681), dass es unmöglich wäre, Luft unter normalem atmosphärischem Druck zu atmen, wenn sich der Taucher in tieferem Wasser befindet.²⁹¹

Dessen ungeachtet werden unbrauchbare Saugrohratemgeräte in den folgenden Jahrhunderten immer wieder vorgeschlagen²⁹², unter anderem auch zum Fischfang unter Wasser. Im *Fischbüchlein vom Bodensee*²⁹³, einer Handschriftensammlung aus der Mitte des 15. Jahrhunderts, wird eine solche Saugrohrkappe ausführlich beschrieben. Ein ledernes Rohr soll von der Kappe bis zu einem hölzernen Schwimmer reichen, der das Rohr an der Oberfläche hält. Die Ohren sollen mit einem kleinen ölgetränkten Baumwollstopfen verschlossen werden. Solche nach unten offenen Wasserkappen mit Saugrohr konnten auch deshalb nicht funktionieren, da das Wasser in der Jacke bis zur Oberfläche stieg.

Für den Fischfang schlägt der unbekannt Autor eine originelle Methode vor: „Und wo du zu den vischen kumpst, so kraz sy gemechlich unnen am Buch, so stand sy stille, bys das du sy by den oren ergriffen machst“²⁹⁴.

Zum Anlocken der Fische wird eine Unterwasserlaterne aus Glas mit Kerze empfohlen, die zwei Rohre an die Oberfläche besitzt - eines zur Frischluftversorgung, und das zweite als Rauchkamin: „Das ain rore [...] das der luft von oben hernider durch das wasser [...] Das ander rore [...] das der ingend lufft von unden heruff wider hinuff und hinaus gange“²⁹⁵.

In flacheren Gewässern und in direkter Ufernähe können Saugrohrgeräte durchaus eingesetzt worden sein. Wie der Schriftsteller Ernst Deecke in seinem Werk *Lübische Geschichten und*

²⁹¹ Jean de Hautefeuille, *L'Art de respirer sous l'eau et le moyen d'entretenir pendant un tems considerable la flamme enfermée dans un petit lieu*, Paris 1681, 3.

²⁹² Siehe beispielsweise Ingenieurkunst- und Wunderbuch [um 1500], Herzogin Anna Amalia Bibliothek Weimar, Fol. 328; Rüst- und Feuerwerksbuch [um 1500], Universitätsbibliothek Frankfurt a. M., MS. germ. qu. 14 (Ausst. 48); Ludwig von Eyb d. J. zum Hartenstein: *Das Kriegsbuch* [um 1500], Universitätsbibliothek Erlangen, MS. B26.

²⁹³ Siehe *Fischbüchlein vom Bodensee* [um 1450], Karlsruhe, Landesbibl., Cod. Donaueschingen 792.

²⁹⁴ Gerhart Hoffmeister, *Fischer- und Tauchertexte vom Bodensee*, in: Gundolf Keil / Rainer Rudolf / Wolfram Schmitt / Hans J. Vermeer (Hg.), *Fachliteratur des Mittelalters. Festschrift für Gerhard Eis*, Stuttgart 1968, 261-275, 269.

²⁹⁵ Hoffmeister, *Fischer- und Tauchertexte*, 269; Beschreibung und Abbildung einer Unterwasserlaterne zum Fischfang mit Kerze, rundem Glaskörper und einer Luftöffnung auch bei John White, *A rich cabinet, with Variety of Inventions*, 3. Edition, London 1658, 22-23.

Sagen (1852) festhält, soll 1483 in Lübeck ein Maler namens Hinrich vamme Rhyn gelebt haben. Dieser habe sich einen ledernen Sack mit einer Luftröhre gemacht, worin zwei Augengläser eingenäht waren. Damit soll er von der Holstenbrücke bis zu der Herrenfähre unter Wasser gegangen sein.²⁹⁶ Das wäre eine bedeutende Leistung gewesen, denn diese Strecke durch die Trave beträgt etwa 9 Kilometer.

Auch in den Bilderhandschriften von Mariano di Jacopo (genannt Taccola) finden sich mehrere Darstellungen von Tauchern. In seinen beiden Schriften *De ingeneis: Liber primus leonis* und *Liber secundus draconis* (um 1433) beispielsweise drei mit einem kurzen Schnorchel ausgerüstete Taucher²⁹⁷. Sie sind bereits realitätsnäher und könnten die frühesten Zeichnungen von tatsächlich einsetzbaren, kurzen Schnorcheln sein. Erstmals erscheint in diesem Werk auch eine Abbildung einer mit „Sub aqua. Intus lumen“²⁹⁸ bezeichneten Unterwasserlaterne. Es handelt sich um einen kleinen, umgedrehten Kübel, in dem eine Kerze brennt. Nach dem Prinzip der Taucherglocke kann die Kerze auch unter Wasser weiterbrennen, wenn sie lang genug ist und der Kübel nicht sehr tief abgesenkt wird. Ob eine einzelne Kerze wirklich ausreichend Helligkeit spendet, um den Meeresgrund zu beleuchten, ist allerdings fraglich.

In seiner Schrift *Liber tertius de ingeneis ac edifitiis non usitatis* (um 1433) skizziert Taccola die Verwendung einer Unterwasserlaterne „in fundo maris lumen“²⁹⁹ zusammen mit Greifern und Zangen von der Oberfläche aus (Abbildung 5).³⁰⁰ Wie dem Begleittext zu entnehmen ist, sollte der Kübel aus Ton gefertigt sein. Falls kein Tonkübel vorhanden ist, kann er aus Holz bestehen und an seinen Rändern mit kleinen Steingewichten behangen werden, damit er sinkt. Dies kann ein Hinweis auf eine Erkenntnis aus dem praktischen Gebrauch sein. Gold- und Silbergeschirr auf dem Meeresgrund könne man durch deren starke Reflektion des Lichtstrahles der Kerze erkennen. Kleinere Ringe, die nicht mit den Greifern erfasst werden können, sollte man an ein mit Talg eingestrichenes Bleigewicht anheften und bergen können.

²⁹⁶ Ernst Deecke, *Lübische Geschichten und Sagen*, Lübeck 1852, 256.

²⁹⁷ Mariano di Jacopo (Taccola), *De ingeneis: Liber primus leonis, Liber secundus draconis*. Faksimiledruck des Codex Latinus Monacensis 197, Teil II. in der Bayerischen Staatsbibliothek München, Hg. Gustina Scaglia / Ulrich Montag / Frank D. Prager, Wiesbaden 1984, fol. 12r, fol. 31r, fol. 57r.

²⁹⁸ Di Jacopo, *De ingeneis*, fol. 74v.

²⁹⁹ Mariano di Jacopo (Taccola), *Liber tertius de ingeneis ac edifitiis non usitatis* [um 1433] Faksimiledruck des MS. Palat. 766 in der Biblioteca nazionale centrale in Florenz, Hg. James H. Beck, Mailand 1969, 152.

³⁰⁰ Di Jacopo, *Liber tertius de ingeneis*, fol. 36.



Abbildung 5: Taccolas Unterwasserlampe mit Kerze nach dem Prinzip der Taucherglocke (um 1433).
 Quelle: Mariano di Jacopo (Taccola), Liber tertius de ingeneis ac edifitiis non usitatis [um 1433]
 Faksimiledruck des MS. Palat. 766 in der Biblioteca nazionale centrale in Florenz, Hg. James H. Beck,
 Mailand 1969, fol. 36.

Von der Verwendung eines umgedrehten Kübels zur Versorgung einer Kerze mit Luft war es zwar gedanklich nur noch ein kleiner Schritt bis zur Versorgung eines Tauchers nach dieser Methode, allerdings sollte es über 100 Jahre dauern, bis er nachweisbar in Italien vollzogen wurde.³⁰¹

Um Gegenstände vom Meeresgrund nach oben zu bringen, wurden verschiedenartige Greifer angewendet. Die Mechanik dieser Zweischalengreifer für Unterwasserbergungen soll auf eine Erfindung zurück gehen, die der islamischen Technik des 9. Jahrhunderts bei den Banū-Mūsā zugeschrieben wird.³⁰²

³⁰¹ Siehe hierzu Kapitel 2.3.1.

³⁰² Friedrich Klemm, Technik. Eine Geschichte ihrer Probleme, Freiburg 1954, 65-67.

Eine Darstellung in Taccolas Werk *Liber tertius de ingeneis* befasst sich mit dem Heben von Wracks unter Anwendung des archimedischen Prinzips.³⁰³ Seile sollen von Tauchern, die eine Kappe mit langem Schnorchelschlauch tragen, unter dem Wrack hindurchgezogen und oben an einem mit vielen Steinen beladenen, großen Schiff befestigt werden. Die Steine werden dann, möglichst vor ansteigender Flut, ausgeladen, wobei das Schiff an der Oberfläche durch das Entladen und mit dem Wasserspiegel ansteigt. Gleichzeitig hebt sich das Wrack durch die Seile vom Meeresgrund und kann dann, wenn es sich ganz vom Grund gelöst hat, abtransportiert werden. Diese Methode war neuartig und scheint bis dahin noch nirgendwo sonst dargestellt worden zu sein. Sie wurde in der Folgezeit häufig wiedergegeben und beeinflusste andere Konstrukteure, wie etwa Gerolamo Cardano (1501-1576).³⁰⁴

In seiner Schrift erläutert Taccola lediglich die Methode, gibt aber keine Begründung, auf welcher Basis sie funktioniert. Er gibt keinen Hinweis darauf, dass ihm die theoretische Grundlage für das Verfahren - das archimedische Prinzip - bekannt war. Es steht zu vermuten, dass er ihre Funktionsfähigkeit bei einer praktischen Anwendung erkannte, ihm das Warum, also die Vorüberlegungen von Archimedes, allerdings unbekannt war. Wilhelm von Moerbeke (1215-1286) hatte 1269 das griechische Manuskript von Archimedes ins Lateinische übertragen, es wurde aber erst 1543 neu herausgegeben und gedruckt.³⁰⁵

Taccola war „a man who may justly be regarded as the father of the style of machine drawing that would remain intact for three hundred years, and continues to dominate even now in the twenty-first century“³⁰⁶. Viele von Taccolas Entwürfen wurden später in das Werk des italienischen Militärtechniklers Francesco di Giorgio Martini (1439-1502) *Trattati di architettura ingegneria e arte militare* (um 1480) in ursprünglicher oder auch abgewandelter Form aufgenommen, durch den sie ein weites Publikum erreichten.³⁰⁷

Taccolas und Martinis Konstruktionen waren unter anderem auch Leonardo da Vinci bekannt.³⁰⁸ Die Hauptanwendung, die Leonardo da Vinci im Tauchen sah, war militärischer Art, und zwar das Versenken feindlicher Schiffe.³⁰⁹ Als er um 1500 begann, sich stärker für das

³⁰³ Di Jacopo, *Liber tertius de ingeneis*, fol. 18.

³⁰⁴ Siehe hierzu Kapitel 2.3.2.

³⁰⁵ Siehe Archimedes, *Opera Archimedis Syracusani philosophi et mathematici ingeniosissimi*, Übers. Niccolo Tartaglia, Venedig 1543.

³⁰⁶ David McGee, *The Origins of Early Modern Machine Design*, in: Wolfgang Lefèvre (Hg.), *Picturing Machines 1400-1700*, Cambridge 2004, 54-84, 56.

³⁰⁷ Francesco di Giorgio Martini, *Trattati di architettura ingegneria e arte militare*, Biblioteca Reale Turin, Codice Saluzziano 148, fol. 66v, fol. 67r.

³⁰⁸ Innocenzi Plinio, *The Innovators Behind Leonardo*, Cham 2019, 16.

³⁰⁹ Fritjof Capra, *The Science of Leonardo*, New York 2007, 102.

Tauchen zu interessieren, lebte er in Venedig.³¹⁰ Der Sultan des Osmanischen Reiches Bayezid II. (1448-1512, reg. 1481-1512) belagerte mit seiner Flotte die venezianische Lagune und Da Vinci überlegte, wie es ermöglicht werden könnte, dass Soldaten auf dem Meeresgrund entlang gehen und mit Handbohrern, die von unten wie ein übergroßer Korkenzieher die Planken auseinanderziehen sollten, die Schiffe versenken.

Da Vincis Entwürfe zu Tauchanzügen sind über mehrere seiner Manuskripte verteilt³¹¹ und enthalten zwei Konzeptvarianten: Vor den Mund gebundene Luftsäcke oder lange Schnorchelschläuche, die durch Eisenringe oder Draht versteift zu sein scheinen. Damit gehen sie nicht über die bislang bekannten Konzepte heraus. Dem *Codex Arundel* (zwischen 1480 und 1518) genannten Manuskript kann man allerdings entnehmen, dass Da Vinci die Auswirkung des Wasserdruckes auf die Schläuche kannte, da er hier vorschlägt, statt der Schläuche hohle Bambusrohre oder steife, mit Pech abgedichtete Papprohre zu verwenden.³¹² Außerdem sieht er zwei Rohre vor - eines zum Einatmen, und eines zum Ausatmen.³¹³

Neuartig mutet die dazugehörige Gesichtsmaske an, in der die beiden Schläuche münden (Abbildung 6). Zwei Klappen steuern hier den Luftzufluss und -abfluss in den beiden Röhren. Klappenventile waren bereits Anfang des 15. Jahrhunderts weithin bekannt und wurden beispielsweise auch bei Pumpen und Blasebälgen für Kirchenorgeln verwendet.³¹⁴

Die genaue Konstruktion ist nicht eindeutig aus den Skizzen Da Vincis zu erkennen, sie lassen sich aber dahingehend interpretieren, dass die Einatmung aus dem einen Rohr durch den Mund und die Ausatmung durch das zwei Rohr durch die Nase erfolgen sollte. Möglicherweise orientierte sich Da Vinci an seinen anatomischen Kenntnissen zum Aufbau des menschlichen Herzes, das mit den klappengesteuerten Venen und Arterien ebenfalls getrennte Zu- und Abflüsse besitzt. Trotz dieser sinnigen Verbesserung im Detail bleiben Saugrohrgeräte prinzipiell für das Tauchen unbrauchbar, allerdings wird die Vollgesichtsmaske von Da Vinci mit getrennten Schläuchen heute bei vielen Tauchgeräten eingesetzt, insbesondere bei Kreislauftauchgeräten.

³¹⁰ Jacque Cozens, Leonardo's Amazing Diving Suit, in: *Historical Diving Times* 34 (2004) 41-44, 41.

³¹¹ Siehe Leonardo da Vinci, *Il codice atlantico della Biblioteca ambrosiana di Milano, trascrizione diplomatica e critica* di Augusto Marinoni, 12 Bd., Florenz 1975-1980, fol. 26r/7r-a, fol. 909v/333v, fol. 950v/346r.a., fol. 1069r/386r-b.; Leonardo da Vinci, (ders.) *I manoscritti dell'Institut de France, edizione in facsimile sotto gli auspici della Commissione nazionale vinciana e dell'Institut de France, trascrizione diplomatica e critica* di Augusto Marinoni, *Il manoscritto B*, Faksimiledruck Florenz 1990, fol. 18r.; Leonardo da Vinci: (ders.) *The Codex Hammer (Codex Leicester)*, Hg. Carlo Pedretti, Faksimiledruck Florenz 1987, fol. 22v.; Leonardo da Vinci: (ders.) *Il Codice Arundel 263 nella British Library: edizione in facsimile nel riordinamento cronologico dei suoi fascicoli*, Hg. Carlo Pedretti, 2 Bd., Faksimiledruck Florenz 1998, fol. 24v.

³¹² Plinio, *Innovators*, 108.

³¹³ Da Vinci, *Codex Arundel 263*, fol. 24v.

³¹⁴ Lohrmann, *Wassertechnik*, 83.

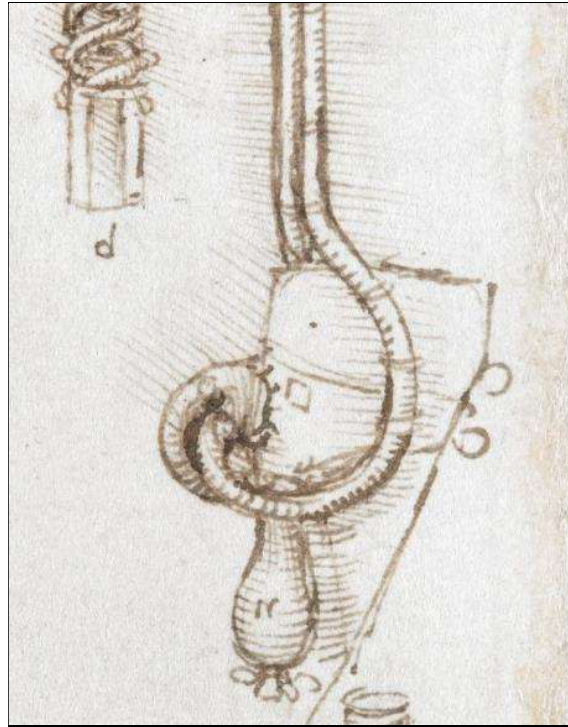


Abbildung 6: Gesichtsmaske mit zwei Schläuchen von Leonardo Da Vinci (ca. 1507-1508). Quelle: Leonardo Da Vinci, Codex Arundel MS 263, folio 24v. British Library London.

Da Vincis Tauchanzug war nur sehr eingeschränkt verwendbar. 2003 wurde er entsprechend der Skizzen originalgetreu nachgebaut und in einem Wasserbecken und später in der Lagune von Venedig getestet.³¹⁵ Der Taucher musste bereits nach wenigen Atemzügen in zwei Meter Tiefe in flacheres Wasser aufsteigen, um weiteratmen zu können. Im trüben Wasser der Lagune war die Orientierung unmöglich, und der Taucher versank mit jedem Schritt im schlammigen Grund.

Wayne A. Mitzner nennt Da Vinci wegen seiner medizinischen, und insbesondere physiologischen Kenntnisse „the first biomedical engineer“³¹⁶. Dies lässt sich anhand der bekannten Handschriften Da Vincis - rein aus dem Blickwinkel der Tauchtechnologie heraus - nicht belegen. In Bezug auf die Tauchtechnik findet man in den Handschriften Da Vincis keinen bedeutenden Fortschritt im Vergleich zu Taccola. Diese Einschätzung deckt sich mit der Analyse von Fritjof Capra, der die Thematik „Tauchen“ bei seiner Darstellung von Leonardo da Vincis zukunftsweisenden Leistungen unerwähnt lässt.³¹⁷

³¹⁵ Cozens, Diving Suit, 43.

³¹⁶ Wayne A. Mitzner, Leonardo and the Physiology of Respiration, in: Donald E. Proctor (Hg.), A History of Breathing Physiology, New York 1995, 37-60, 38.

³¹⁷ Siehe Fritjof Capra, Learning from Leonardo. Decoding the Notebooks of a Genius, San Francisco 2014.

Da Vincis Skizzen zeigen jedoch im Vergleich zu ihren Vorgängern wie die von Taccola und Martini, die ebenfalls bereits Skizzen anfertigten, einen höheren Detailliertheitsgrad auf. Dies ist von Bedeutung für die Möglichkeit, sie nachzubauen und anzuwenden. Leonardos Tauchgeräte waren demnach weniger eine Erfindung als vielmehr eine partielle Weiterentwicklung und Detaillierung bereits bekannter Vorrichtungen.

Die Methode der versteiften Schläuche wurde 1521 auch von dem italienischen Festungskommandant Battista Della Valle (1470-1550) dargestellt. Er hat seine militärischen Erfahrungen für den Bau und die Verteidigung einer Festung in einem vierbändigen Werk zusammengefasst. Im dritten Band³¹⁸ gibt er die mit einer zyklopenartigen, großen Glasscheibe versehene Lederkappe des Anonymus der Hussitenkriege wieder, allerdings diesmal mit einer entscheidenden Weiterentwicklung: Der Schlauch ist durch Ringe aus Messingdraht verstärkt, damit er nicht zusammenfallen kann. Diese Verbesserung scheint damals bereits allgemein bekannt zu sein und auf praktischen Erfahrungen zu basieren.

2.3 Italien als Entstehungsort von Tauchtechnologie

2.3.1 Tauchgänge im Nemisee

Wie bereits im vorhergehenden Kapitel beschrieben, lagen im 15. Jahrhundert mit den Handschriften von Taccola und Francesco di Giorgio Martini zwei grundlegende Dokumente zur Tauchtechnik in Italien vor. Von einem Land wie Italien, das über eine große Küstenlinie, viele Hafenstädte und mit Venedig ein bedeutendes Drehkreuz für Waren im internationalen Seehandel verfügte, und so auch Bedarf an effektiver Tauchtechnik hatte, wäre anzunehmen, dass es auch in Bezug auf die Entwicklung der Tauchtechnologie eine hervorgehobene Rolle einnimmt. Dies lässt sich allerdings, bis auf wenige Einzelfälle, wie den beiden Tauchgängen des Militärarchitekten, Abenteurers und Höflings Francesco De Marchi (1504-1576) im Nemisee 1535 nicht anhand von Quellen belegen.

Francesco De Marchi war ab 1531 bei dem Herzog von Florenz, Alessandro de' Medici (1510-1537) bedienstet.³¹⁹ Der heiratete 1536 Margarethe von Parma (1522-1586), welche eine uneheliche Tochter von Kaiser Karl V. war, wodurch sich eine interessante Verbindung zu einer

³¹⁸ Battista Della Valle, Vallo libro continente appartenentie ad capitani: retener e fortificare una cita con bastioni, Neapel 1521, Libro Terzo, 47.

³¹⁹ Siehe zur Biografie Michael Jung, A new hypothesis on Francesco De Marchi (1504-1576) and his dives in Lake Nemi in 1535, in: The International Journal of Diving History 13 (2021) 25-33.

nur wenige Jahre später stattfindenden Tauchgerätevorführung in Toledo ergibt.³²⁰ De Marchi wurde Teil des Gefolges von Margarethe von Parma und blieb es viele Jahrzehnte. Margarethe heiratete nach dem Tod von Alessandro 1538 Ottavio Farnese (1524-1586). Damit stand De Marchi auch im Dienst der Farneses, die wie die de' Medici einer der einflussreichsten Familien des italienischen Adels zu dieser Zeit waren.

De Marchi interessierte sich als „capitano di guerra“³²¹ (Festungskommandant) nicht nur für moderne Zweckbauten, sondern auch für römische Baukunst. Er wurde Mitglied der 1542 gegründeten, bedeutenden Accademia dei Virtuosi al Pantheon und der Gruppe von Architekten und Künstlern, mit der sich Papst Paul III. (urspr. Alessandro Farnese; 1468-1549, Pabst 1534-1549) umgeben hatte.

De Marchi kann, wie nachfolgend dargestellt wird, eine wichtige Rolle in der Tauchtechnik- und Wissenschaftsgeschichte zugeschrieben werden. In seinem posthum 1599 in italienischer Sprache erschienenen Werk *Della architettura militare*³²² beschreibt er zwei Tauchgänge, die er mit einem offenen Taucherhelm am 15. Juli 1535 im Nemisee, etwa 30 km südöstlich von Rom, durchgeführt hat.³²³ Sie dauerten jeweils eine halbe und eine ganze Stunde. Der italienische Architekt und Kartograf Leonardo Bufalini (?-1552) beobachtete die Tauchgänge vom Ufer aus, hinterließ aber selbst keine Beschreibung davon.

Ein offener Taucherhelm kann als eine miniaturisierte Taucherglocke aufgefasst werden, die nur den Kopf und den Oberkörper aufnimmt. Die Beine sind frei beweglich und so für das Stehen und Gehen auf dem Meeresgrund einsetzbar. Diese Mobilität ist das zentrale Unterscheidungskriterium zwischen Taucherhelm und Einmann-Taucherglocke. Die beiden Tauchgänge von De Marchi markieren deshalb den Übergang von der praktischen Nutzung der von Aristoteles beschriebenen stationärer Taucherglocken hin zu solchen, von Konrad Gruter 1424 gezeichneten Taucherhelmen.

Ein Taucherhelm bietet dem Taucher eine deutlich größere Mobilität auf dem Grund als die Taucherglocke, allerdings auch nur einen sehr eingeschränkten Atemluftvorrat. Er reichert sich sehr schnell mit ausgeatmetem Kohlendioxid an. Es kommt die Problematik hinzu, dass der mit zunehmender Tiefe ansteigende Wasserspiegel im Helm es bereits in wenigen Metern Tiefe erforderlich macht, das Luftvolumen im Helm zu ergänzen, da andernfalls die Gefahr des

³²⁰ Siehe hierzu Kapitel 3.2

³²¹ Giovanni Battista Venturi, Memoria intorno alla vita e alle opere del capitano F. Marchi. Milano 1816, 11.

³²² Francesco de Marchi, Della architettura militare del capitano Francesco de' Marchi bolognese, gentil'huomo romano, libri tre, Brescia 1599.

³²³ De Marchi, Della architettura militare, Libro II, fol. 41v-43v.

Ertrinkens droht. Eine Neigung des Kopfes und Helmes ist nur sehr eingeschränkt möglich, da dabei Wasser über den Helmrand in den Helm eindringt.

Der römische Kaiser Caligula (12-41, reg. 37-41) ließ am Nemisee zwei schwimmende Inseln aus Holz in der Form von Prachtschiffen erbauen. Sie versanken im Laufe der Jahrhunderte und erweckten das Interesse der Humanisten. Fischer hatten ihnen berichtet, dass antike, verzierte Holzstücke in ihren Fangnetzen waren. Das erste Wrack lag in Ufernähe, wo der Grund bis 12 Meter tief war, das zweite etwas weiter vom Ufer entfernt in größerer Tiefe.³²⁴

Bereits 1446 wurde nach Überresten dieser beiden Schiffe gesucht. Der an der Geschichte des Römischen Reiches interessierte Kardinal Prospero Colonna (1410-1463) beauftragte den Humanisten Leon Battista Alberti (1404-1472) mit der Suche und Bergung.³²⁵ Alberti baute dafür ein Floß, und engagierte Apnoetaucher aus Genua, einem der Zentren der Korallenfischerei und -bearbeitung des Mittelmeeres. Diese Taucher, die sich wie „Menschen den Fischen ähnlich“³²⁶ verhielten, fanden das Wrack in Ufernähe und versuchten, Holzteile mit Haken nach oben zu ziehen. Es wurden aber nur wenige Teile geborgen. Über eine Untersuchung oder den Verbleib der Artefakte ist nichts bekannt.

Francesco De Marchi gibt in seinem Werk³²⁷ als Anlass für seine Tauchgänge Interesse an archäologischer Forschung an.³²⁸ Er verwendete dabei einen Taucherhelm, den er von einem „Gulielmo da Lorena“³²⁹ erhalten habe. De Marchi schreibt, Da Lorena habe in der Nähe von Civitavecchia unter Verwendung seines Taucherhelms bereits vor den Tauchgängen im Nemisee Kanonen aus einer versunkenen Galeere geborgen.³³⁰ Da die ersten Feuerwaffen auf See erst im 15. Jahrhundert eingeführt wurden, kann es sich nicht um ein antikes römisches Wrack gehandelt haben.

Mit großer Wahrscheinlichkeit handelt es sich bei Gulielmo da Lorena um Etienne (it. Stephano) Guillery. Er stammte aus der Stadt Lunéville (Diozöse Toul, Herzogtum Lothringen, it. „Lorena“). Guillery war ein Buchdrucker und Verleger, der ab 1506 an der Universität in Rom tätig war.³³¹ In seinen Werken findet sich sein Druckerzeichen mit seinem, in Italienisch

³²⁴ G. C. Speziale: The Roman Galleys in the Lake Nemi, in: *Mariner's Mirror* 4 (1929) 333-346, 338.

³²⁵ Siehe Jeffrey A. White, *Choreography as Culture: Biondo Flavio and Leandro Alberti*, in: *Commentaria Classica* 6 (2019) 61-84.

³²⁶ Eigene Übersetzung vom Originaltext „piscibus qui hominibus similiores“ in Flavio Biondo, *Italia Illustrata*, 3 Bd., Rom 1474, o. S.

³²⁷ De Marchi, *Della architettura militare*, Libro II, fol. 42-44.

³²⁸ De Marchi, *Della architettura militare*, Libro II, fol. 43v.

³²⁹ De Marchi, *Della architettura militare*, Libro II, fol. 43v.

³³⁰ De Marchi, *Della architettura militare*, Libro II, fol. 44r.

³³¹ Siehe Michael Jung, *Maestro Gulielmo da Lorena, designer of Lake Nemi's open Diving Helmet (1535)*, in: *Historical Diving Times* 73 (2021) 12-13.

übersetzten Namen „Mastro Stephano Guilleri de Lorena“³³² in verschiedenen Varianten. Die Anrede „Maestro“ steht für eine in seiner Handwerkskunst gebildete Person, wie etwa einen Buchdruckmeister mit einer größeren Werkstatt.

Guillery publizierte vielfältige und bedeutende Schriften, darunter Reiseberichte und Kirchenschriften sowie wissenschaftliche Werke. Darunter befinden sich italienische Übersetzungen von spanischen Mathematikern wie Juan de Ortega (1480-1568) und dem flämischen Humanisten Christophe de Longueil (1490-1522). Guillery war der offizielle Drucker von Papst Leo X. (urspr. Giovanni de' Medici; 1475-1521, Papst 1513-1521) und hatte hohes Ansehen am päpstlichen Hof.³³³ 1521 war ihm der Titel eines Bibliothekars der Accademia Romana verliehen worden.³³⁴ Der humanistische Gelehrtenkreis dieser frühen Akademie beschäftigte sich mit Altertumswissenschaft, dem Studium antiker Quellen und mit Exkursionen zu archäologischen Stätten der griechisch-römischen Antike, einem Interessensgebiet, das auch dem des Francesco De Marchi entsprach. Die Forschungen der Humanisten beinhalteten neben der Suche nach antiken Texten auch Ausgrabungen, um antike Artefakte zu bergen. Möglicherweise haben sich Guillery und De Marchi in diesem Gelehrtenkreis kennengelernt. Die damalige Verwendung von Decknamen der Mitglieder von Akademien erschwert jedoch die Überprüfung dieser Hypothese.³³⁵

Guillery war eine angesehene Person in Rom und unter anderem mit dem französischen Gesandtschaftssekretär Nicolas Raince befreundet. Raince spielte 1530 unter Papst Clemens VII. (urspr. Giulio de' Medici; 1478-1534, Papst 1523-1534) eine wichtige Rolle bei den Verhandlungen zwischen Frankreich und dem Heiligen Stuhl.

Die letzten von Guillery überlieferten Druckwerke stammen aus 1524, über seinen späteren Wohnort ist nichts bekannt. Guillery könnte 1527 während der Sacco di Roma aus Rom geflüchtet sein. Dafür spricht, dass seine Drucktypen keine spätere Verwendung mehr fanden. Gegossene, teilweise sehr individuelle Drucktypen waren wertvolle Werkzeuge, die oft von einem Drucker an nachfolgende weitergegeben wurden, weshalb diese Vererbung durch Analyse des Druckbildes in den Werken nachvollziehbar wird. Da nicht nur Guillery verschwindet, sondern auch seine Bleiletern – er hatte sie von dem aus Besigheim

³³² Hubert Elie, Un Lunévillois imprimeur à Rome au début du XVI^e siècle: Etienne Guillery, in: Aloys Ruppel (Hg.), Gutenberg-Jahrbuch 1939, Wiesbaden 1939, 185-196, 192.

³³³ Hubert Elie, Un Lunévillois imprimeur à Rome au début du XVI^e siècle: Etienne Guillery, Suite et Fin, in: Aloys Ruppel (Hg.), Gutenberg-Jahrbuch 1944/49, Wiesbaden 1949, 128-137, 129.

³³⁴ Elie, Suite et Fin, 135.

³³⁵ Simone Testa, Italian Academies and Their Networks, 1525-1700. From Local to Global, New York 2015, 4.

(Württemberg) stammenden Typografen Johann Besicken (auch Johannes von Besigheim) übernommen - könnte seine Werkstatt bei der Plünderung Roms zerstört worden sein.

Anhand der Druckwerke von Guillery lässt sich ein historisches Interesse ableiten, und da er in Wissenschaftskreisen unterwegs war, könnte er hierbei auch Kenntnisse von Methoden erlangt haben, um unter Wasser zu tauchen. Die Schriften von Mariano di Jacopo (genannt Taccola), Johannes de Fontana und Francesco di Giorgio Martini, die Tauchgeräte mit langen Schnorcheln abbilden, könnten ihm bekannt gewesen sein.

Möglicherweise konnte Guillery 1535 im Nemisee aus Altersgründen nicht mehr selbst tauchen, und hat sie deshalb von De Marchi stellvertretend ausführen lassen. Auf den Nemisee könnte Etienne Guillery aufmerksam geworden sein, als er 1520 das Buch *De principe* von Leon Battista Alberti, der 1446 bereits im Nemisee tauchen ließ, nachdruckte.³³⁶

Die beiden Tauchgänge von De Marchi im Nemisee förderten schon früh das Interesse italienischer Gelehrter an der antiken Seefahrt, unter anderem des Dichters und Hofarchäologen der Familie Este in Ferrara, Lilio Gregorio Giraldi (1479-1552). Er war einer der ersten, der 1540 eine Abhandlung über die antike Seefahrt verfasste.³³⁷ Darin verwies er auf archäologische Tauchgänge, die vor einigen Jahren stattgefunden hätten: „Lassen Sie mich auch dies hinzufügen, was ich Geschriebenes über das Schiff des Trajan gelesen habe. Vor einigen Jahren, in denen ich dies überlieferte, wurde dieses Schiff wiedergefunden und aus dem Lago di Nemi in Latium ausgegraben, wo es mehr als dreizehnhundert Jahre lang versunken gelegen hatte, wie wir selbst rückschließen konnten“³³⁸. Da es 1540 noch keinen gedruckten Bericht darüber gab, scheinen die Informationen über direkte Kommunikation, vermutlich durch Briefwechsel, innerhalb des Gelehrtenkreises stattgefunden zu haben. Heute ist bekannt, dass die Wracks nicht von Kaiser Trajan (53-117, reg. 98-117) stammen, sondern von Caligula.

Giraldi lebte in Modena und Rom als Mitglied des Haushalts von Ercole Rangone, der 1517 von Leo X. zum Kardinal ernannt wurde. Zehn Jahre lang, bis zum Tod Rangones in 1527, und der Plünderung Roms, die Giraldi aus der Stadt vertrieb, hatte er Gelegenheit, Humanisten zu treffen, die am päpstlichen Hof tätig waren. In diesem Umfeld könnte er in Kontakt mit Guillery oder De Marchi gekommen sein.

³³⁶ Leon Battista Alberti, *De principe*, Rom 1520.

³³⁷ Siehe Lilius Gregorius Giraldus, *De Re Nautica Libellus*, Basel 1540.

³³⁸ Eigene Übersetzung vom Originaltext „His et ea subjungam, quae de Trajani nave scriptum legi. Haec paucis ante annis, quibus haec ego prodebam, reperta fuit atque eruta ex lacu Nemorensi in Latio, quo loco annos plus MCCC. demersa iacuerat, ut conjectari potuimus“ in Giraldi, *De Re Nautica Libellus*, 47-48.

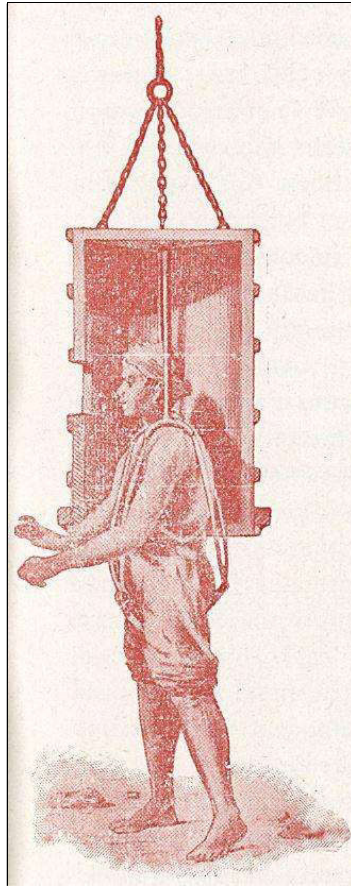


Abbildung 7: Rekonstruktion des offenen Taucherhelms von Francesco De Marchi (1535) aus dem Werk von Vittorio Malfatti (1905). Quelle: Vittorio Malfatti, *Le navi romane del lago di Nemi*, Rom 1905, 25.

De Marchi beschreibt den Taucherhelm, den er im Nemisee verwandte, sehr detailliert (Abbildung 7).³³⁹ Es handelt sich um einen runden Zylinder aus schweren Eichenholzbrettern, der wie ein Fass mit Eisenreifen zusammengehalten wird und bis zum Oberkörper reicht. Die Spalten zwischen den Brettern sind mit Fett abgedichtet, und die Außenseite ist mit einem, die Ritzen abdichtenden, Anstrich versehen. Am unteren Ende ist ein Bleikranz als Gewicht angebracht, damit der fassartige Helm besser sinkt. Der Taucher kann durch ein rechteckiges Sichtfenster aus Glas einen Ausschnitt der Umgebung betrachten. Im Inneren des Helmes sind Gurte und Gestänge angebracht, mit dem er auf den Schultern getragen wird. Die Gurte können unter Wasser gelöst werden, und der Taucher dann ohne Helm zur Oberfläche frei aufsteigen. Seine größte Tauchtiefe im Nemisee gibt De Marchi mit umgerechnet etwa 13 Meter an. Diese

³³⁹ De Marchi, *Della architettura militare*, Libro II, fol. 43v.

Angabe passt zu dem Ort des ersten Wracks in Ufernähe. Um in dieser Tiefe noch gut sehen zu können, muss der See sehr klar gewesen sein, und die Sonne stark gestrahlt haben.

So lange unter Wasser bleiben zu können, wie es De Marchi beschreibt, war nur denkbar, wenn es eine spezielle Methode gegeben hat, mit deren Hilfe die Luft in dem Helm immer wieder erneuert werden konnte. Ansonsten wäre der Taucher an Sauerstoffmangel gestorben. Jedoch ist die von De Marchi verwendete Methode der Frischluftversorgung bis heute unbekannt und Nährboden für Spekulationen, denn er hatte Guillery schwören müssen, sie geheim zu halten.³⁴⁰ Die Geheimhaltung des Tauchgerätes von Francesco De Marchi war offenbar sehr erfolgreich, denn es dauerte fast drei Jahrhunderte, bis 1828 der oberflächenversorgte, offene Taucherhelm von den Deane-Brüdern wiedererfunden wurde.³⁴¹

Eine Anzahl Argumente untermauern die Hypothese, dass die Luftversorgung mit Hilfe eines Blasebalges und einer Rohr/Schlauch-Verbindung zum Helm stattfand.³⁴² Dies wäre eine der ersten derartigen Anwendungen in der Tauchtechnik.

Die Tauchgänge von De Marchi haben, wie weiter oben angeführt, neben der technikhistorischen Bedeutung auch wissenschaftshistorische Bedeutung. Zunächst scheinen sie die ersten Versuche eines Tauchers gewesen zu sein, mit rein wissenschaftlicher Zielsetzung Artefakte eines gesunkenes Schiff zu bergen. Dies würde auf den Ausgangspunkt der Unterwasserarchäologie hindeuten. De Marchi gibt in seinem Werk auch seine Sinneserfahrungen unter Wasser wieder. Es ging ihm neben der archäologischen Forschung darum, empirische Forschungen zum Sehen und Hören unter Wasser durchzuführen, und diese zu dokumentieren.³⁴³ Die Sinnesgeschichte kann hier eine Quelle finden.³⁴⁴

Zunächst bemerkt De Marchi richtig, dass Gegenstände unter Wasser größer aussehen, als sie in der Realität sind. Er folgert dies daraus, dass die im See lebenden Fische nicht länger als ein Finger sind, es aber unter Wasser so aussieht, als wäre sie so lang wie drei Handflächen. Generell sähe unter Wasser alles viel größer aus.³⁴⁵ Auch den mit der Tiefe zunehmenden Wasserdruck nimmt er wahr. Seine Ohren beginnen zu schmerzen, und schließlich tritt Blut aus seinem Mund und seiner Nase aus.³⁴⁶

³⁴⁰ De Marchi, *Della architettura militare*, Libro II, fol. 43v.

³⁴¹ Siehe Bevan, *The infernal diver*, Gosport 1996.

³⁴² Siehe Michael Jung, A new hypothesis on Francesco De Marchi (1504-1576) and his dives in Lake Nemi in 1535, in: *The International Journal of Diving History* 13 (2021) 25-33.

³⁴³ De Marchi, *Della architettura militare*, 1599, Libro II, fol. 42 r

³⁴⁴ Siehe Herman Roodenburg (Hg.), *A Cultural History of the Senses*. In the Renaissance (A Cultural History of the Senses 3), London 2014.

³⁴⁵ De Marchi, *Della architettura militare*, 1599, Libro II, fol. 42 r.

³⁴⁶ De Marchi, *Della architettura militare*, 1599, Libro II, fol. 42 r.

Die im Vergleich zum Land veränderte Übertragung des Schalles unter Wasser beschäftigt De Marchi besonders. Bewusst verzichtete er auf die von Etienne Guillery empfohlenen Ohrstopfen aus Wolle und Bienenwachs, da er sich durch einen Selbstversuch einen Eindruck von den akustischen Verhältnissen machen wollte. Während er Geräusche, die er selbst unter Wasser erzeugte, wie das Aneinanderschlagen von zwei Eisenhämmern, gut hören konnte, nahm er keinerlei Geräusche und Rufe von der Oberfläche wahr. Selbst sehr laute Töne drangen nicht von oben unter die Wasseroberfläche. Auf dieses Phänomen hatte ihn Guillery aufmerksam gemacht, der einmal einen Hörversuch mit einem Trommler auf dem Boot durchführte. Der Trommler war unter Wasser nicht zu hören³⁴⁷.

Am Ende seines zweiten Tauchganges verließ De Marchi auf dem Grund in etwa 10 Meter Tiefe seinen Helm und tauchte ohne ihn an die Oberfläche. Durch die schnelle Druckentlastung entstand ein Barotrauma der Gehörgänge. Die anschließenden Ohrenscherzen hielten laut De Marchi 20 Tage lang an.³⁴⁸ Dies ist die erste Aufzeichnung einer Taucherkrankheit.

Weitere Hinweise auf frühes experimentelles Denken gibt De Marchi am Ende seiner Beschreibung. Um die Funktionsweise einer Taucherglocke seinem Leser auf praktische Art näher zu bringen, soll dieser selbst im Rahmen eines Experiments die Erfahrung machen - „L'esperienza si puo fare“³⁴⁹ - dass ein brennendes Stück Kohle, das im Inneren einer umgedrehten Glasvase an der Decke befestigt wird, beim Eintauchen der Vase in ein Wassergefäß nicht verlöscht, da das Wasser nicht bis zu der Decke steigt. Das gleiche gelte für eine brennende Kerze.³⁵⁰

Kerzenexperimente, also brennende Kerzen oder glühende Kohlenstücke die zum Erkenntnisgewinn in luftgefüllten Gefäßen in Wasser getaucht werden, lassen sich bis zum dritten Jahrhundert v. Chr zurückverfolgen. An späterer Stelle wird diese Entwicklung und seine wichtige Bedeutung für die Tauchtechnologie ausführlicher untersucht.³⁵¹

Die Entwicklungslinie der offenen Taucherhelme wurde von dem polnischen Calvinisten Stanislaw Sarnicki (1532-1597) und dem Wetzlaer Erfinder Franz Kessler in der Theorie weiterverfolgt, ohne einen Nachweis eines tatsächlichen Einsatzes und ohne eine Frischluftversorgung vorzusehen.

³⁴⁷ De Marchi, Della architettura militare, 1599, Libro II, fol. 42 r.

³⁴⁸ De Marchi, Della architettura militare, 1599, Libro II, fol. 44 r.

³⁴⁹ De Marchi, Della architettura militare, 1599, Libro II, fol. 44 r.

³⁵⁰ De Marchi, Della architettura militare, 1599, Libro II, fol. 44 r.

³⁵¹ Siehe hierzu Kapitel 3.2.

Sarnicki studierte in Königsberg, Wittenberg und Genf, und wurde nach seiner Rückkehr Pfarrer in Krakau. Er schrieb 1577 ein Werk über Militärtechnik, und gab dort seine auf der Reise gesehenen Kenntnisse wieder. Es blieb ungedruckt und ist nur als Manuskript überliefert.³⁵² Das Manuskript enthält ein Kapitel über die militärische Einsatzmöglichkeiten des Tauchens. Sarnicki beschreibt und illustriert neben einem unbrauchbaren Lederanzug mit langen Saugrohr zur Oberfläche eine mobile Taucherglocke, mit der eine Person auf dem Meeresgrund sollte gehen können. In der Skizze fehlt jedoch ein Sichtfenster (Abbildung 8).³⁵³

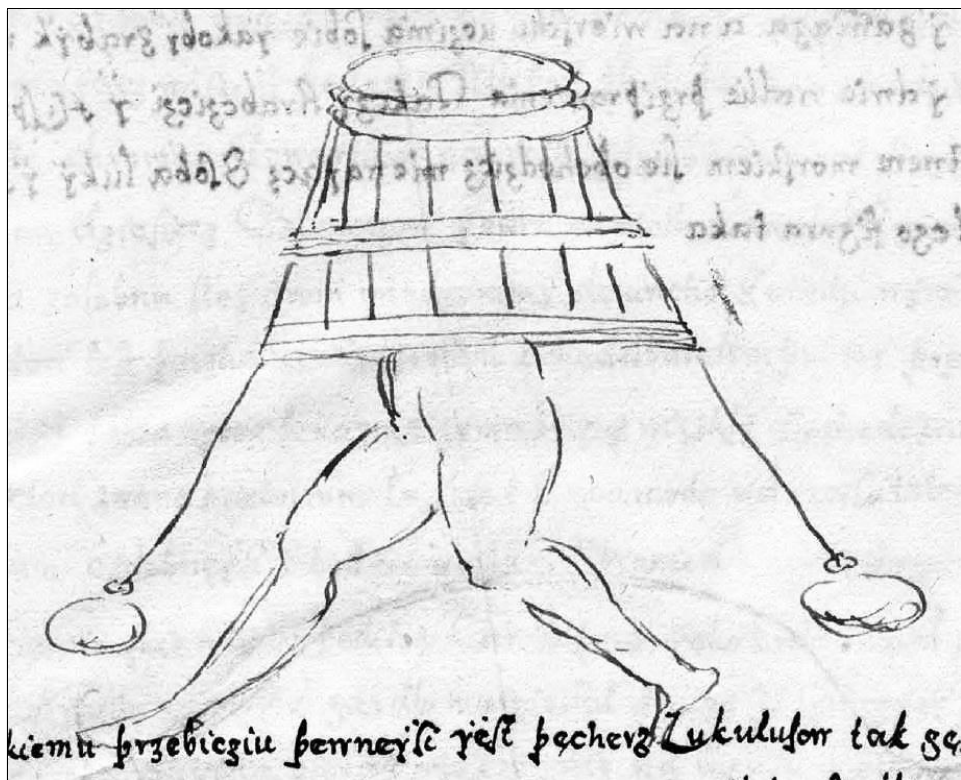


Abbildung 8: Taucherhelm ohne Sichtfenster von Stanislaw Sarnicki (um 1577). Quelle: Stanislaw Sarnicki, *Xiegi hetmanskie z dzieiow ryczerskich wsitkich wiekow zebrane y practica abo experientia hetmanow niasneisego Sigmunta Starego krola polskiego* [1577], Krakau, Biblioteka Jagiellońska, BJ Rkp. 171 III, 107.

Woher Sarnickis Wissen um Tauchtechnik stammt, ist unklar. Er verweist zwar darauf, dass im Herzogtum Preußen ähnliche Tauchgeräte verwendet werden, um Bernstein aus der Ostsee zu fischen, gibt aber keine weiteren Erläuterungen.³⁵⁴ Die Suche nach Bernstein hat in der

³⁵² Stanislaw Sarnicki, *Xiegi hetmanskie z dzieiow ryczerskich wsitkich wiekow zebrane y practica abo experientia hetmanow niasneisego Sigmunta Starego krola polskiego* [1577], Krakau, Biblioteka Jagiellońska, BJ Rkp. 171 III; Janusz Bogdanowski: O nurkach starodawnych; in: *Ziemia* 17/3 (1958) 2-4.

³⁵³ Sarnicki, *Xiegi hetmanskie*, 107.

³⁵⁴ Sarnicki, *Xiegi hetmanskie*, 105.

Küstenregion um Jantarny (ehem. „Palmnicken“) eine lange Tradition.³⁵⁵ Die frühen Gewinnungsmethoden des Bernsteins bestanden vorwiegend aus der Strandlese und dem Schöpfen mit Kescher im ufernahen Flachwasserbereich. Möglicherweise wurden im flachen Uferbereich auch sehr vereinzelt Tauchgeräte eingesetzt, so wie Sarnicki schrieb.

Sarnicki erwähnt ebenfalls einen italienischen Spezialisten, der um 1570 in Danzig gewesen sei, um mit Hilfe eines Tauchanzuges den Flusslauf der Weichsel zu räumen.³⁵⁶ Wie die nachfolgenden Ausführungen noch zeigen werden, scheint der Transfer italienischer Tauchtechnologie in das Ausland durch internationale Migration besonders im 16. Jahrhundert gängige Praxis gewesen zu sein.³⁵⁷

Der von dem Wetzlaer Maler und Erfinder Franz Kessler „Wasserharnisch“³⁵⁸ genannte Taucherhelm von 1616 glich dem von Sarnicki in weiten Teilen, und kann aus vielerlei Gründen als ebenso unpraktikabel eingestuft werden.³⁵⁹ Unter anderem wäre wegen des großen Luftvolumens in dem Helm ein Gegengewicht von etwa 150 kg zum Sinken erforderlich gewesen. Dies macht eine Fortbewegung nahezu unmöglich.

An den unbrauchbaren Konzepten von Sarnicki und Kessler wird deutlich, wie innovativ die Konstruktion des Etienne Guillery war.

2.3.2 Venedig und Tauchtechnologie

Für die Entfaltung des Buchdruckes und damit einer neuen Möglichkeit für den Wissenstransfer kommt nach Deutschland Italien, und insbesondere Venedig, „größte Bedeutung“³⁶⁰ zu. Venedig war in der Renaissance eines der Zentren für Verlage und Druckerzeugnisse in Europa, mit 417 Druckereien im Jahr 1500³⁶¹ und die „Druckstadt mit der umfangreichsten Produktion der Welt“³⁶². 1541 wurden 77% aller italienischen Bücher in Venedig gedruckt.³⁶³ Dies könnte eine günstige Situation gewesen sein, um neue technologische Ideen zu dokumentieren und zu verbreiten.

³⁵⁵ Michael Jung, Tauchen nach dem Ostseegold, in: *Divemaster* 4 (2001) 57-60, 57.

³⁵⁶ Sarnicki, Xiegi hetmanskie, 106.

³⁵⁷ Siehe hierzu Kapitel 2.3.3.

³⁵⁸ Franz Kessler, *Secreta oder verborgene geheime Künste*, Oppenheim 1616, Titelseite.

³⁵⁹ Pinl, Kessler, 85-89.

³⁶⁰ Fritz Funke, *Buchkunde. Ein Überblick über die Geschichte des Buches*, 6., überarbeitete und ergänzte Auflage, München 1999, 127.

³⁶¹ Plinio, Leonardo, 336.

³⁶² Funke, *Buchkunde*, 163.

³⁶³ Testa, *Italian Academies*, 81.

Venedig war zwar in Bezug auf das Patentwesen im Vergleich zu anderen Ländern ebenfalls fortschrittlich, scheint aber kein Nährboden für die Entwicklung und Vermarktung von Tauchtechnologie gewesen zu sein. Die überwiegende Anzahl der Patente in Venedig im 16. und 17. Jahrhundert behandelte die Wasserwirtschaft in den Kanälen, wie man Schiffe leicht be- und entlädt oder Mühlen bei wenig Strömung mit Muskelkraft betreibt.³⁶⁴ In Venedig scheinen nach den bislang bekannten Quellen, verglichen mit anderen Teilen Europas wie Spanien und vor allem England³⁶⁵, kaum Privilegien und Patente zu Tauchgeräten beantragt worden zu sein.

Das Standardwerk zu frühen Privilegien in Venedig von Roberto Berveglieri listet außer dem Privileg für den Dominikaner Gabriel de Guzman aus 1549, das ihm zuvor bereits in einigen Ländern des Heiligen Römischen Reiches gewährt worden war, keine weiteren Tauchgeräte-Privilegien bis zum Ende des 18. Jahrhunderts auf. Gabriel de Guzman hat sein Wissen zur Tauchtechnik vermutlich in Spanien gesammelt.³⁶⁶

In einer anderen, bislang kaum beachteten Quelle³⁶⁷ gibt es jedoch einen Hinweis auf ein zweites Privilegiengesuch für ein Tauchgerät in Venedig: 1568 beantragte Salvador de Gardi zusammen mit seinen vier Schwestern und Francesco Cavanei in Venedig ein Privileg über 50 Jahre für „two important secrets and inventions [...] useful [...] be to recover the goods and weapons and all the other things“³⁶⁸. Ihre erste Erfindung „allows a man or men [...] to go underwater [...] and remain able to breathe, without these men needing to enclose themselves in anything, the other to give them light so that they can see, and remain under said water for the space of approximately three hours, and they will be able to recover all of the things that they wish to [...] something truly of great service and utility because, having both air and light, the men will be able to enter the submerged ship, and with the time allowed can easily recover as we have described all of the goods that they wish“³⁶⁹. Hierbei handelte es sich mit großer Wahrscheinlichkeit um eine Taucherglocke, in deren Innenraum Kerzen brannten und den Meeresgrund erhellten. Da das Gesuch nicht im Werk von Berveglieri verzeichnet ist, das die

³⁶⁴ Siehe Roberto Berveglieri, *Inventori stranieri a Venezia, 1474-1788: importazione di tecnologia e circolazione di tecnici artigiani inventori*, Venedig 1995.

³⁶⁵ Siehe hierzu Kapitel 5.1.

³⁶⁶ Michael Jung, Gabriel de Guzman - The world's first privilege for a diving machine in 1549?, in: *The International Journal of Diving History* 12 (2020) 36-40, siehe hierzu Kapitel 3.2.

³⁶⁷ Monica Chojnacka / Merry E. Wiesner-Hanks, *Ages of Woman, Ages of Man: Sources in European Social History, 1400-1750*, London 2002, 219-220.

³⁶⁸ Privilegio Salvador de Gardi [November 1568], ASV, Pien Collegio, filza 3, no. 100, Übers. Monica Chojnacka, in Chojnacka / Wiesner-Hanks, *Ages of Woman*, 220.

³⁶⁹ Privilegio Salvador de Gardi [November 1568], 220.

gewährten Privilegien nummerisch auflistet, scheint das Privileg zwar beantragt, aber nicht vom Senat gewährt worden zu sein.

Das Konzept einer Taucherglocke scheint in Venedig nicht zur praktischen Ausführung gekommen zu sein - zumindest gab es keinen Bedarf, es zu patentieren, denn Taucherglocken waren in der Lagunenstadt Venedig selbst nicht erforderlich. Unter Berücksichtigung des Tidenhubes schwankte die Tiefe der Kanäle innerhalb der Stadt nur zwischen 2,50 Meter und 1,20 Meter. Diese Tiefe war für Apnoetaucher und mechanische Greifer leicht zugänglich. Von 2.004 zwischen 1474 und 1797 erteilten Privilegien entfielen mit 197 fast 10% auf solche mechanische Lagunenbagger.³⁷⁰ Diese hier „cavafanghi“ genannten Maschinen sollten in regelmäßigen Abständen die verschlammenden innerstädtischen Kanäle ausbaggern und die sich ebenso kontinuierlich neu bildender Untiefen in der Lagune von Venedig beseitigen.

In dem 1615 in Venedig erschienen Maschinenbuch *Machinae novae* des Gelehrten und Erfinders Fausto Veranzio (1551-1617), in dem er viele technische Innovationen seiner Zeit festhielt, wie etwa den Fallschirm, findet sich ebenfalls kein Hinweis auf Taucherglockentechnik. Veranzio berichtet, dass in Venedig die Reinigungsarbeiten in den Kanälen mit großen Schaufelgreifern von Booten an der Oberfläche durchgeführt werden: „Man hat mancherley Instrument das Muer und den Sand von dem Boden des Meeres zu schoepfen, dere man viel zu Venedig sieht“³⁷¹.

Veranzio beschäftigte sich mit der Frage, wie man von Booten aus am einfachsten Gegenstände mit Greifern und Seilen bergen kann, und publizierte als erster ein sogenanntes „moon pool“, also eine Öffnung im Schiffsrumpf, um von dort aus das Hebegeschirr einzusetzen.³⁷² Dies bringt große Vorteile im Vergleich zur seitlichen Anordnung, zum Beispiel große Stabilität, und ist heute der Standard bei Bergungsschiffen.

Der Einsatz von Taucherglocken scheint jedoch für Reinigungsarbeiten in italienischen Binnengewässern nicht ganz unüblich gewesen zu sein. In seinem Skizzenbuch *Informazione di far navigabile il Tevere principiando da Perugia passando per Roma sino nel mare* (1672) bildete der niederländische Wasserbauingenieur Cornelis Janszoon Meijer (1629-1701) unter anderem Taucherglocken zur Beseitigung versunkener Gegenständen und zum Reinigen

³⁷⁰ Berveglieri, *Inventori stranieri a Venezia*, 38.

³⁷¹ Fausto Veranzio, *Machinae Novae*, Fausti Verantii siceni cum delaratione Latina, Italica, Hispanica, Gallica, et Germanica, Venedig 1615, 16; Bouillet, *Traité des moyens de rendre les rivieres navigables*, Amsterdam 1696, 83, 99, Tab. 8, Tab. 10.

³⁷² Veranzino, *Machinae Novae*, o. S., Fig. 42.

verschlammter Fahrrinnen des Tiber in Rom ab.³⁷³ Meijer hatte für den Stadtrat von Venedig gearbeitet und führte anschließend im Auftrag von Papst Clemens X. (urspr. Emilio Altieri; 1590-1676, Papst 1670-1676) um 1672 eine Studienreise von Perugia bis Rom zwecks Regulation des Tibers durch. Eines der Probleme bei der Schiffbarkeit des Tibers war, dass es viele große Felsbrocken auf dem Grund gab. Sie konnten zwar von zwei Männern unter Wasser angehoben werden, aber nicht bis über den Wasserspiegel hinaus. Meijer bringt den Vorschlag, die Felsbrocken etwas anzuheben, sie an ein teilweise untergetauchtes Boot zu befestigen und das Boot dann leer zu pumpen.³⁷⁴

Ebenso wenig, wie man Tauchgeräte in frühen italienischen Privilegien findet, sind sie in den meisten zeitgenössischen italienischen Druckschriften und Maschinenbüchern vertreten. Nur in zwei italienischen Maschinenbüchern dieser Periode werden Tauchgeräte erwähnt: Bei Niccolò Tartaglia (auch Tartalea, 1500-1557) und Buonaiuto Lorini (1545-1611). Häufiger werden Bergemethoden für gesunkene Schiffe behandelt. Sie war vor allem für Venedig von besonderer Bedeutung, da Wracks die wenigen Fahrrinnen in die Stadt hinein erheblich behindern konnten.

Die Bergung von Wracks und ihrer Ladung wurde meist nach dem traditionellen, zerstörenden Verfahren versucht, indem man schwere Anker von oben aus mit großen Haken an dem Wrack anbrachte und sie dann mit einer starken Winde hochzog. In dem meisten Fällen wurde das Wrack dabei in Teile zerrissen. Da der Hauptzweck darin bestand, Fahrwege wieder frei zu machen, genügte dieses einfache Verfahren, allerdings resultierte es in einem Totalverlust des Schiffes und der Ladung. An diesem Punkt kommen jedoch Taucher ins Spiel. Denn gelänge es, statt der zufällig am Wrack platzierten Anker gezielt Seile unter dem Schiff anzubringen, könnte man versuchen, es als Ganzes zu heben und abzutransportieren. Tauchtechnologie und Bergetechnologie hängen also unmittelbar zusammen. Im 16. Jahrhundert wurden hierzu wichtige Fortschritte erzielt.³⁷⁵

Der Arzt und Mathematiker Gerolamo Cardano (1501-1576) beschreibt 1550 in seinem Werk *De Subtilitate Libri XXI*³⁷⁶, in dem er sich mit Naturphänomene beschäftigt, die bereits 1441 von Mariano di Jacopo (genannt Taccola) publizierte Methode, Wracks unter Anwendung

³⁷³ Cornelis Janszoon Meijer, *Informazione di far navigabile il Tevere principiando da Perugia passando per Roma sino nel mare* [Rom 1675], München, Bayerische Staatsbibliothek München, Abteilung Handschriften und Alte Drucke, Cod. icon. 212, fol. 59, fol. 79.

³⁷⁴ Meijer, *Informazione di far navigabile il Tevere*, fol. 33.

³⁷⁵ Virginia Iommi Echeverria, *Hydrostatics on the Fray: Tartaglia, Cardano, and the Recovery of Sunken Ships*, in: *British Journal for the History of Science* 44 (2011) 482-484.

³⁷⁶ Gerolamo Cardano, *De Subtilitate Libri XXI, Ad illustriss. Principem Ferrandum Gonzagam, Mediolanensis prouinciae Praefectum*, Nürnberg 1550, 12.

des archimedischen Prinzips zu heben. Cardano verbesserte die Methode von Taccola jedoch, in dem er mehrere Schiffe nacheinander einsetzt, und damit das Wrack stufenweise heben konnte. Dies war besonders vorteilhaft bei Gewässern ohne Tidenhub, und bei Annäherung an die Küste, wobei der Meeresgrund anstieg. Cardano schweigt sich jedoch darüber aus, wie die Seile von Taucher unter dem Schiff hindurchgezogen werden sollen, was der entscheidende Punkt bei der Methode ist.

Cardano befasst sich, anders als Taccola über 100 Jahre zuvor, auch mit den Gründen, weshalb sich das Schiff beim Entladen hebt, gibt allerdings eine falsche und rückständige Erklärung dafür: „Denn weil die Luft es nicht zuließ, dass die Boote, die durch das Gewicht der Steine versenkt wurden, unter Wasser liegen, hebt sie sie an die Wasseroberfläche“³⁷⁷.

Cardano ging hier von der traditionellen, aristotelischen Philosophie aus, dass Luft im Wasser aufsteigt, weil leichtere Elemente generell nach oben steigen und schwerere wie Steine nach unten sinken. Seine Überlegungen konzentrierten sich ausschließlich auf die Luft in den Hebebooten. Indem man die Boote mit schweren Steinen füllte, entfernte man die meiste Luft darin und beschwerte das, was im Inneren verblieb. Das Schiff sank dadurch ein Stück tiefer. Entfernt man die Steine, dehnt sich die minimale, aber leichtere Luft in den Booten aus, und die Umgebungsluft strömt ein, um die verbleibende Leere zu füllen, da es kein Vakuum geben könne. Dies hebt das Boot und die Seile mit dem Wrack an. Cardanos Konzept funktionierte zwar in der Praxis, aber seine theoretische Erklärung war falsch, und er ignorierte das archimedische Gesetz des Auftriebs.

Der zu Cardanos Zeit ebenfalls in Venedig lebende Mathematiker und Festungsbauingenieur Niccolò Tartaglia ging, anders als Cardano, in seinem 1551 publizierten Werk *Regola generale*³⁷⁸ neben dem Bergeverfahren auch auf Tauchtechnik ein, bildete also die Methode vollumfänglich für den Praxiseinsatz ab. Darüber hinaus gab er die fundierte, wissenschaftlich richtige Begründung.

Tartaglia war wie Cardano an praktischen Aspekten der Mechanik interessiert, und insbesondere an kriegstechnischen Fragen, für die er mathematische Lösungsansätze suchte.³⁷⁹ Sein 1537 erschienenes Werk *Nova Scientia*, in dem er sich mit Ballistik und Dynamik auseinandersetzt, vereinte theoretische Überlegungen mit experimentellem Nachweis. Tartaglia

³⁷⁷ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Nam aer cumbas, quae pondere lapidu ferme mergebantur, cum aquae subesse nolit, in superficiem aquae attollit ...“ in Cardano, *De Subtilitate*, 12.

³⁷⁸ Niccolò Tartaglia, *Regola generale da suleuare con ragione e misura no solamete ogni affondat ... intitolata la Travagliata inventione*, Venedig 1551.

³⁷⁹ Stilmann Drake / Israel Edward Drabkin, *Mechanics in Sixteenth-Century Italy*, Madison 1969, 13.

kann als ein Vorgänger der kombinierten Anwendung von Mathematik und Experiment gesehen werden, „auch wenn diese Aspekte noch nicht dem wissenschaftlichen Standard der *nuova scienza* Galileis entsprechen“³⁸⁰. Er legt mit seinen kinematischen Studien den „Grundstein zur Legitimation der Mechanik als Wissenschaft“³⁸¹.

Das Problem, eine optimale, treffsichere Geschosßbahn zu finden, wurde im 16. Jahrhundert besonders aktuell, als verbesserte Bronzekanonen mit hochwertig gebohrtem Lauf produziert werden konnten, und in Deutschland ein stärkeres Schießpulver hergestellt wurde. Die Reichweiten der Kanonen wurden dadurch größer, und mit der Ballistik - der Bestimmung der Flugbahn von Geschossen - entstand ein neuer Zweig der Mathematik. Die Kanoniere konnten nun nicht mehr nur nach Augenschein ihre Geschütze richten, sondern mussten für weiter entfernte Ziele ihre Kanonen in bestimmten Winkeln ausrichten. Tartaglia empfahl für die Winkelmessung den Geschützquadranten, der ähnlich wie ein Sextant für die Navigation auf Schiffen arbeitet.

1543 gab Tartaglia die im 13. Jahrhundert von dem flämischen Geistlichen Wilhelm von Moerbeke (1215-1286) vom Griechischen ins Lateinische übersetzte Schriften von Archimedes neu heraus.³⁸² Sie enthielt auch die Abhandlung von Archimedes über schwimmende Körper.³⁸³ 1551 publizierte er sie in italienischer Sprache.³⁸⁴ Dies hatte einen großen Effekt: „Archimedes, whose works were more completely discovered at the Renaissance [...] became very influential especially after the translation published in 1543“³⁸⁵. 1547/48 führte Tartaglia einen Prioritätsstreit mit Cardano über die mathematische Lösung für Gleichungen eines Spezialfalls der kubischen Gleichungen, den Tartaglia verlor. Er musste öffentlich seine Anschuldigung widerrufen.

Tartaglia erhielt im Februar 1550 in Venedig ein Privileg mit einer Geltungsdauer von 20 Jahren zum Heben von Schiffen nach demselben Verfahren, das nahezu zeitgleich von Cardano

³⁸⁰ Jutta Bacher, „Ingenium vires superat“. Die Emanzipation der Mechanik und ihr Verhältnis zu Ars, Scientia und Philosophia, in: Hans Holländer (Hg.), Erkenntnis Erfindung Konstruktion. Studien zur Bildgeschichte von Naturwissenschaften und Technik vom 16. bis 19. Jahrhundert, Berlin 2000, 519-555, 532.

³⁸¹ Bacher, Emanzipation der Mechanik, 532.

³⁸² Siehe Archimedes, Opera Archimedis Syracusani philosophi et mathematici ingeniosissimi, Übers. Niccolò Tartaglia, Venedig 1543.

³⁸³ Archimedes, Opera Archimedis, 31-36.

³⁸⁴ Siehe Niccolò Tartaglia, Ragionamenti de Nicolo Tartaglia sopra la sua Travagliata inventione, Venedig 1551. Tartaglias Abhandlung über das Archimedische Gesetz wurde 1665 in englische Sprache übersetzt in Niccolò Tartaglia, The Troublesome Invention of N. Tartalea: being a generall way to recover from the bottome of the water any ship that's sunke, etc., in: Thomas Salusbury (Übers. und Hg.), Mathematical Collections and Translations, tom. 2, part 1, London 1665, 331-402.

³⁸⁵ Herbert Butterfield, The Origins of Modern Science, London 1950, 13-14.

und über hundert Jahre zuvor Taccola beschrieben haben.³⁸⁶ 1551 publizierte Tartaglia in seinem Werk *Regola generale* eine ausführliche und richtige, theoretische Erläuterung mit vielen Abbildungen sowie die mathematischen Grundlagen des Bergeverfahrens³⁸⁷. Cardano hatte im Vergleich zu Tartaglia die Methode nur in wenigen Zeilen verbal beschrieben und falsch begründet.

Als Grund für seine Publikation gibt Tartaglia der Verlust zweier Schiffe an, die im direkten Umfeld von Venedig gesunken waren.³⁸⁸ Eines, 1541 bei Malamoccho auf der Venedig vorgelagerten Inseln Lido, und ein zweites, das etwa 1550 in einer Fahrrinne vor Venedig sank, und dessen Bug, Heck und ein Teil seines Rumpfes noch über dem Wasser zu sehen waren. Das erste Schiff wurde trotz einiger ernsthafter Versuche nie gehoben, und das zweite musste zerbrochen werden, um die Fahrrinne frei zu halten. Besser und wirtschaftlicher wäre es gewesen, es vollständig zu heben und wieder zu verwenden.

Tartaglia stellte eine völlig andere Theorie zur Lösung desselben Problems wie Cardano vor, und der Unterschied zwischen beiden Lösungen lag nicht nur in den Merkmalen der angewandten praktischen Methode, sondern auch in den theoretischen Prinzipien, mit denen sie begründet wurden.

Tartaglia begann seine Abhandlung mit der Beschreibung der Äquivalenz zwischen der nach oben gerichteten Kraft, die das Wasser ausübt, wenn ein Gegenstand auf ihm lastet, und dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit. Er betrachtete dieses physikalische Prinzip als Ausgangspunkt für den Vorschlag seiner praktischen Methode zum Anheben eines gesunkenen Objekts und erkannte damit Archimedes als seinen wichtigsten theoretischen Bezugspunkt an.

1551, im gleichen Jahr wie seine *Regola generale*, publizierte Tartaglia seine italienische Übersetzung von Archimedes Abhandlung über schwimmende Körper.³⁸⁹ Darin beschreibt er das Grundprinzip, warum ein Schiff nicht sinkt: „Wird ein Festkörper, der leichter als eine Flüssigkeit ist, gewaltsam in diese eingetaucht, so wird der Festkörper durch eine Kraft nach oben getrieben, die der Differenz zwischen seinem Gewicht und dem Gewicht der verdrängten

³⁸⁶ Privilegio Niccolo Tartaglia [7. Februar 1550], ASV, Senato Terra, reg. 31, fol. 72v-73r.; Antonio Favaro, Di Niccolo Tartaglia e della stampa di alcune delle sue opere con particolare riguardo alla „Travagliata Inventione“, in: *Isis* 1 (1913) 329-340, 331.

³⁸⁷ Tartaglia, *Regola generale*, 19.

³⁸⁸ Tartaglia, *Regola generale*, 3.

³⁸⁹ Niccolo Tartaglia, *Ragionamenti de Nicolo Tartaglia sopra la sua Travagliata inventione*, Venedig 1551.

Flüssigkeit entspricht“³⁹⁰. Im Umkehrschluss wird diese Auftriebskraft das Schiff anheben, wenn es erleichtert wird. Dies war das richtige Grundprinzip der Methode von Tartaglia.

Tartaglias Vorrichtung - bestehend aus zwei leeren Schiffen, die oben durch mehrere Stämme verbunden waren - wurde über dem Wrack an der Meeresoberfläche platziert. Jedes Schiff hatte am Boden ein Loch mit einem Stopfen, der, wenn er in das Loch gesteckt wurde, das Eindringen von Wasser in das Schiff verhinderte.

Um das gesunkene Schiff zu bergen, wurden die Stopfen entfernt, und die Schiffe füllten sich an der Oberfläche mit Wasser. Sobald die Schiffe voll waren, wurden die Löcher verschlossen und das Wrack, das bis knapp unter die Wasseroberfläche aufgestiegen war, an den Baumstämmen festgebunden. Dann würde das Wasser in den Schiffen abgesaugt werden, und das versunkene Schiff endgültig und vollständig aufsteigen.

Tartaglia verwies nur kurz auf die Quellen, die ihn neben Archimedes zur Entwicklung seiner Vorrichtung inspiriert hatten.³⁹¹ Damit war er aber der erste Theoretiker, der einen Bezug zu den von ihm herangezogenen Autoritäten herstellte. Er erwähnt den römischen Architekten Marcus Vitruvius Pollio (Vitruv) (81 v. Chr.-15 v. Chr.), den römischen Kriegstheoretiker Flavius Vegetius Renatus (viertes Jahrhundert n. Chr.) und den italienischen Schriftsteller über Kriegskunst Roberto Valturio (1405-1475) als Autoritäten, die ihn verschiedene Aspekte der Methode lehrten.

In seinem im 1. Jahrhundert v. Chr. entstandenen Werk *De architectura* erwähnt Vitruv ausdrücklich die von Tartaglia später behandelte Anwendung. Im zehnten Buch dieses Werks beschreibt Vitruv sehr detailliert die verschiedenen Arten von Maschinen, die an der Bewegung von Gewichten beteiligt sind. Es lässt sich erkennen, wie dieses Buch Tartaglia beeinflusst haben könnte: Im zweiten Kapitel beschrieb Vitruv eine Maschine, die aus zwei oben mit einer Strebe verbundenen Hölzern bestand, um Gegenstände anzuheben. Diese Maschine hatte eine sehr ähnliche Konstruktion wie die, die Tartaglia in seiner *Regola generale* vorstellte. Er könnte sogar Vitruvs Hinweis gefolgt sein, dass eine solche Maschine zum Entladen von Schiffen verwendet werden könnte.³⁹²

Während die Verbindung Tartaglias zu Archimedes und Vitruv offensichtlich ist, ist sein Hinweis auf Vegetius und Valturio schwieriger in Einklang zu bringen. Beide thematisierten

³⁹⁰ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Li solidi piu leggeri dil humido, premuti per forza nel humido, sono reportati, over respinti alla parte di sopra con tanta forza quanto che un humido qual habbia grandezza eguale con el solido e piu grave del solido“ in Tartaglia, Ragionamenti, Speculatione vi, Proposition vi.

³⁹¹ Tartaglia, Regola generale, Decchiaratione 10.

³⁹² „Harum machinationum omnium, quae supra sunt scriptae, rationes non modo ad has res, sed etiam ad onerandas et exonerandas naves sunt paratae, aliae erectae, aliae planae in carchesiis versatilibus conlocatae“ aus Vitruvius, Vitruvii de architectura libri decem, Hg. Fritz Krohn, Berlin 1912, 230.

und skizzierten zwar unter anderem auch Pumpen zur Hebung von Wasser, aber keiner von ihnen erläuterte physikalische Prinzipien. Sie konzentrierten sich hauptsächlich auf die technische Darstellung militärischer Instrumente. Vegetius bildete neben einer archimedischen Schraube Schiffe ab, über die mehrere Balken quer gespannt waren, so wie es später auch von Tartaglia vorgesehen wurde.³⁹³ Sehr ähnliche Darstellungen sind bei Valturio zu finden und vermutlich von Vegetius übernommen.³⁹⁴ Valturios Schrift *De re militari* von 1472 gilt als das erste Druckwerk mit technischem Inhalt.³⁹⁵ Die Bilder aus Roberto Valturios *De re militari* fanden schon wenige Jahre später rasch größere Verbreitung.

Tartaglias Beschreibung des Prozesses der Bergung eines gesunkenen Schiffes war bemerkenswert detailliert und genau, auch wenn sein Verständnis der Theorie des Prozesses im Hinblick auf die geltenden physikalischen Gesetze aufgrund der fehlenden Fachtermini ungenau beschrieben wurde. Tartaglia schien das allgemeine Problem der Kraft und des Gleichgewichts der Kräfte, die in einem schwimmenden Körper wirken, zu begreifen, und seine Beschäftigung mit dem Werk *De insidentibus aquae* von Archimedes³⁹⁶ trug greifbare Früchte.

Tartaglias Text war die erste eingehende Abhandlung über die Anwendung der Hebetchnik, die elementare hydrostatische Prinzipien auf die Bergung von versunkenen Objekten, sogar bis zu einem kompletten Schiff, anwendet. Dies war einer der frühesten Fälle, in denen eine mathematisch-physikalische Theorie bewusst für eine neuartige Anwendung in der Praxis genutzt wurde.³⁹⁷

³⁹³ Flavius Vegetius Rhenanus, Vier bücher der Ritterschafft. Augspurg 1534, Augsburg, Staats- und Stadtbibliothek 2LR57#, o. S..

³⁹⁴ Roberto Valturio, *De re militari* [Verona 1472], Dresden, Sächsische Landesbibliothek - Staats- und Universitätsbibliothek, Mscr.Dresd.R.28.m, o. S..

³⁹⁵ Franz Maria Feldhaus, Submarine experiments of the past. Some medieval fancies recently realised, in: *Scientific American Supplement* No. 1733, 67 (1909) 84-85, 84.

³⁹⁶ Archimedes, *Opera Archimedis*, 31-36.

³⁹⁷ Alex Keller, Archimedean hydrostatic theorems and salvage operations in 16th-century Venice, in: *Technology and Culture* 12 (1971) 602-617, 602.

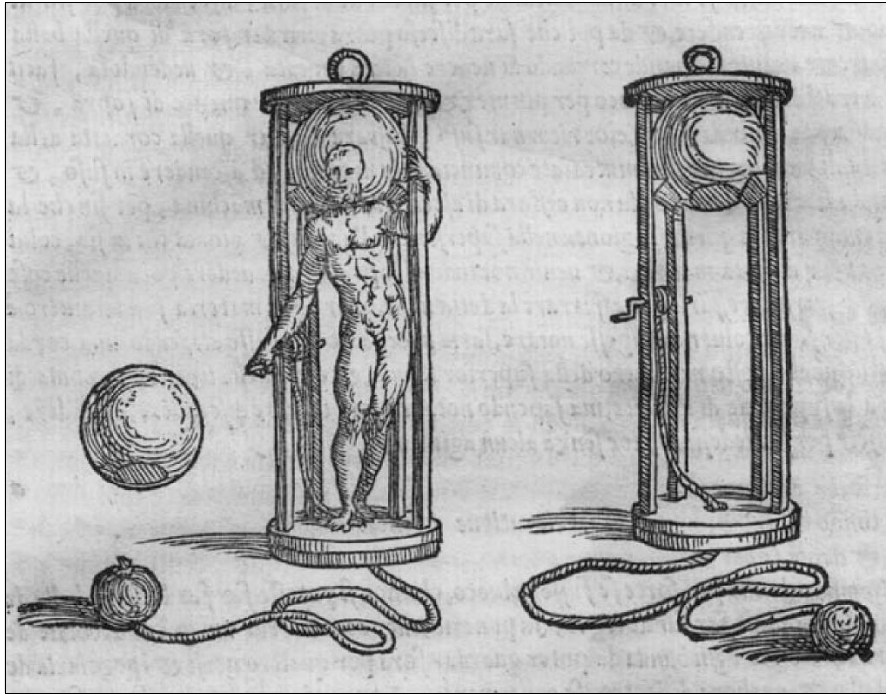


Abbildung 9: Gläserner Taucherhelm mit Seilwinde von Niccolò Tartaglia (1551). Quelle: Niccolò Tartaglia, *Regola generale da suleuare con ragione e misura no solamete ogni affondat*, Venedig 1551, o. S.

Die Hebeseile sollen von Tauchern unter dem Wrack platziert werden, so Tartaglia. Deshalb gibt er nach der Beschreibung des Bergeverfahrens einen Entwurf für einen kugelförmigen Taucherhelm (Abbildung 9) wieder.³⁹⁸ Er soll aus Muranoglas hergestellt werden, und auf der Höhe des Halses enden. Der Helm ist über einen Rahmen mit einer Plattform verbunden, auf der der Taucher steht. Mittels einem Grundgewichtes aus Blei und einer Winde am Rahmen soll der Taucher sich selbst zum Meeresgrund herab und wieder heraus bewegen können. Durch ein Experiment soll zuvor genauer ermittelt werden, wie schwer das Bleigewicht sein muss. Auf dem Meeresgrund angekommen kann der Taucher seine Luftblase verlassen, kurz zu dem Wrack tauchen und Arbeiten verrichten. Dann taucht er wieder zu seiner Luftblase zurück, um zu atmen. Dies entsprach die Methode der griechischen Schwammtaucher, die Aristoteles beschrieben hatte.

Als Alternative zum Glashelm schlägt Tartaglia einen kastenförmigen Holzhelm mit Glasscheibe vor, der sich nach unten verjüngt, damit der Taucher ein besseres Blickfeld auf den Boden hat, wo er arbeiten muss. Um den Taucher vor gefährlichen Fischen zu schützen, könne der Holzrahmen mit Draht zu einem Käfig umgestaltet werden. Noch größerer Schutz vor der Tierwelt unter Wasser böte eine Glaskugel, die den Taucher vollständig aufnimmt.

³⁹⁸ Tartaglia, *Regola generale*, 30-37.

Über die Notwendigkeit, die Luft im Helm oder der Kugelkammer zu erneuern, sagt Tartaglia nichts aus, ebenso wenig über den steigenden Wasserspiegel, und es wird daraus ersichtlich, dass er keine Kenntnis von den physiologischen Erfordernissen und dem mit der Tiefe zunehmenden Druck hat. Seine Vorschläge waren theoretischer Natur, allerdings in einigen Details bereits gut durchdacht.

Bis zu einer gewissen Tiefe hätte der Taucher sich durchaus mit der Winde selbst hinabbewegen können, aber sobald der Umgebungsdruck die Luftblase im Helm zu viel reduziert, wandelt sich der anfängliche Auftrieb in Abtrieb um und die Konstruktion sinkt selbständig unaufhaltsam tiefer, ohne Möglichkeit für den Taucher, wieder aufzutauchen. Dies konnte Tartaglia nicht wissen, ohne die Gasgesetze zu kennen. Die Beziehung zwischen Druck und Volumen, die zu einem Verständnis der Auswirkungen des Drucks in der Tiefe führt, wurde erst 1660 durch Robert Boyle wissenschaftlich geklärt.³⁹⁹ Doch Tartaglias Erfindungen sind insofern bemerkenswert, weil sie den grundsätzlichen Weg aufzeigten, wie ein Mensch mit einer mitgenommenen Luftblase tauchen könne.

Am Ende des Kapitels⁴⁰⁰ beschreibt Tartaglia, dass man eine Laterne für den Gebrauch unter Wasser herstellen kann, indem man ein Seil um einen beschwerten Messing-eimer bindet, so dass dieser kopfüber aufgehängt werden kann, mit einer brennenden Kerze, die an dem Seil befestigt ist und im Eimer aufrecht steht. Er merkt an, dass die Kerze nicht lange brennen wird, und der Eimer deshalb periodisch an die Luft angehoben und die Kerze erneut angezündet werden muss. Tartaglia erkennt richtig, dass die Kerze umso länger brennen wird, je kleiner sie ist und je größer der Eimer und damit das Luftvolumen ist. Die Ursache dafür wird von ihm nicht thematisiert. Eine solche Unterwasserlaterne wurde bereits ein Jahrhundert zuvor von Taccola⁴⁰¹ dargestellt.

Für die Beleuchtung in dunkleren und tieferen Gewässern beschreibt Tartaglia, wie man eine Fackel herstellt, die unter Wasser brennt.⁴⁰² Es soll Salpeter, Schwefel, Kampfer, Mastixharz, Schießpulver und Öl zusammengemischt und das Gemenge fest in einen Leinensack gepackt werden. Der wird mit geschmolzenem Schwefel bedeckt. Einmal angezündet, gäbe diese Fackel lange Zeit viel Licht. Es wäre zu beachten, dass die brennende Kugel über den Kopf des Tauchenden gehalten werden muss, denn der Rauch, der von ihr ausgeht, würde das Wasser über ihr stark verdunkeln, so dass sie nur nach unten hin Licht spendet. Dieses Feuer würde auch gefährliche Fische zur Flucht treiben.

³⁹⁹ Siehe hierzu Kapitel 4.3.

⁴⁰⁰ Tartaglia, *Regola generale*, 36-37.

⁴⁰¹ Di Jacopo (Taccola), *De ingeneis*, fol. 74v.

⁴⁰² Tartaglia, *Regola generale*, 37.

An einer Stelle von Tartalias Werk findet sich ein Indiz, das möglicherweise auf eine Verbindung zwischen ihm und dem Dominikaner Gabriel de Guzman hinweist, der sich zu dieser Zeit ebenfalls in Venedig aufhielt. Wie Tartaglia schreibt, zögerte er zunächst, seine Tauchgeräte-Entwürfe zu publizieren, da er zu wenig praktische Erfahrungen hat. Dennoch würde er aber, ermutigt durch einen ungenannten, aber „eccellente philosopho“⁴⁰³ aus Venedig, seine Intuitionen („imaginationi“⁴⁰⁴) über Tauchgeräte bekannt machen. Der Philosoph habe Tartaglia daran erinnert, dass die einzigen Menschen, die keine Fehler machten, diejenigen seien, die nichts taten.

Neun Jahre nach der Veröffentlichung des *Regola generale* durch Tartaglia wurden die darin aufgezeigten grundlegenden Bergungsprinzipien erfolgreich bei dem Versuch angewendet, ein Schiff vollständig zu bergen. Es war im Sommer 1559 in der venezianischen Lagune gesunken und lag in 12 Meter Tiefe. Die gesamte Operation wird ausführlich in dem 12-seitigen Bericht *Descrittione dell' artificiosa machina fatta per cavar il galleone* beschrieben, der um 1560 Anonym in Venedig erschien und eine der ersten Monographien über Schiffsbergung darstellt.⁴⁰⁵ Der Text hat die Form eines Dialogs mit dem venezianischen Admiral Christoforo Canal (1510-1562) und beschreibt den Bau eines Schwimmdocks, das von dem Militäringenieur Bartolomeo Campi (um 1520-1573) aus Pesaro und seinen Brüdern Jacomo und Antonio gebaut wurde, um eine Galeone zu heben. Der Anonymus schildert die Bergung in heroisierenden Zügen und betont mehrfach, dass niemand mehr an ein glückliches Ende geglaubt habe, diese neue Methode aber zum Erfolg geführt habe. Die zeitliche Nähe und der Ort legen nahe, dass der Anwender das Werk von Tartaglia gelesen und aus den dortigen Beschreibungen sein eigenes Bergungsschiff entwickelt hatte.

Zehn Jahre nach diesem Ereignis könnte der erste praktische Einsatz einer Taucherglocke in Italien nachzuweisen sein. Am 30. Oktober 1570 wurde dem aus Palermo auf Sizilien stammenden Giuseppe Bono von dem Großherzog der Toskana Cosimo I. de Medici (1519-1574) in Florenz ein Privileg⁴⁰⁶ für eine Taucherglocke erteilt. Bono stand als „Generalkommissar für alle Waffen“ im Dienst des Großherzogs.⁴⁰⁷ Zweck der Erfindung und Gegenstand des Privilegs war es, die Taucherglocke zur Verbesserung des Korallentauchens bei Montenero nel Tirreno, südlich von Livorno im Tyrrhenischen Meer, einzusetzen.

⁴⁰³ Tartaglia, *Regola generale*, Lib. 2, Decchiaratione 1.

⁴⁰⁴ Tartaglia, *Regola generale*, Lib. 2, Decchiaratione 1.

⁴⁰⁵ Anonymus, *Descrittione dell' artificiosa machina fatta per cavar il galleone*, Venedig um 1560.

⁴⁰⁶ Privilegio Giuseppe Bono, Beglaubigte Abschrift von 22. September 1583, AGI, Patronato, 260, R. 10.

⁴⁰⁷ Nicolas Garcia Tapia, *En busca de tesoros bajo el mar: Inventiones de equipos para bucear en América*, in: *Revista de Indias* 55/203 (1995) 7-31, 14; Fernando Ciaramitaro, Giuseppe Bono, „Hidalgo de Palermo“, in: *Rassegna Siciliana di Storia e Cultura* 21 (2004) 7-27.

„Er hat mit seinem eigenen Fleiß und Genie einen Weg gefunden, Korallen zu fischen und mit einer Vase ... und ein neues, nie zuvor verwendetes Instrument ist, mit neuer Leichtigkeit alles, was sich im Meer befand, aus den Tiefen des Meeres zu holen“⁴⁰⁸, so eine Passage im Privilegtext. Das Aussehen der Erfindung wird mit einer Zeichnung verdeutlicht (siehe Abbildung 13 auf Seite 134).

Vermutlich handelte es sich um eine Taucherglocke, die nach der Methode der griechischen Schwammtaucher zum gelegentlichen Luftschöpfen genutzt werden sollte. Das Privileg galt für einen Zeitraum von zehn Jahren und erstreckte sich auf das Gebiet des Staates Florenz. Bonos Verpflichtung bestand darin, alle Korallen, die er aus dem Meer nahm, nach Pisa oder Florenz zu bringen, damit sie dort weiterbearbeitet werden konnten, und zehn Prozent seiner Ernte an den Staat abzutreten.⁴⁰⁹ Woher Bono sein Wissen über die Taucherglocke hatte, geht aus den Quellen nicht hervor, es scheint aber als wahrscheinlich, dass Giuseppe Bono Tartaglias Studien kannte.⁴¹⁰

Rote Korallen wurden an verschiedenen Stellen des Mittelmeeres gefischt, vor allem in seinem westlichen Becken. Fischer und Taucher ernteten vor der nordafrikanischen Küste, bei Sizilien, Sardinien und Korsika, im Golf von Neapel, entlang der französischen und ligurischen Riviera und in der Adria vor Apulien. Zentren der Korallenverarbeitung im Mittelmeer waren Torre del Greco südlich von Neapel sowie Genua.⁴¹¹

Die sich seit dem Mittelalter ausbreitende Korallenfischerei Genuas veranschaulicht das Wachstum des Sektors. Bereits im zwölften Jahrhundert ernteten die Genueser Korallen vor Sardinien und Korsika. Es gibt Belege für die Anwesenheit der Genuesen auf Sardinien bis ins 14. Jahrhundert hinein. Selbst als der größte Teil der Insel an die Katalanen fiel, behielten die Genuesen Castelsardo (damals „Castelgenovese“) bis 1448 als Zentrum für die Korallensammlung in ihrem Besitz.

Ab der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts dominierte Genua die Korallenfischerei und -herstellung im Mittelmeer. Unter den in Genua ausgeübten Handwerken gab es Zünfte der

⁴⁰⁸ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Haviendo hallado de su propia yndustria y yngenio una manera de pescar coral y con un baso [vaso] ... el qual es ynstrumento nuevo nunca usado, para sacar de hondo del mar con nueva facilidad qualquiera cosa que en ella ubiese yaviendo“ in Privilegio Giuseppe Bono, Beglaubigte Abschrift von 22. September 1583, AGI, Patronato, 260, R. 10.

⁴⁰⁹ AGI, Indiferente General, leg. 426, fols. 2-5.

⁴¹⁰ Ignacio González Tascón, Felipe II. Los ingenios y las máquinas, Ingeniería y obras públicas en la época de Felipe II, Madrid 1999, 202.

⁴¹¹ Siehe Piero Gianfrotta, Archeologia subacquea e testimonianze di pesca, in: *Mélanges de l'École française de Rome - Antiquité* MEFRA 111 (1999) 9-36; Mario Galasso, Korallenfischerei in Sardinien. Archäologische Zeugnisse und Dokumente von der Vorgeschichte bis heute, in: *Skyllis, Zeitschrift für Unterwasserarchäologie* 3/2 (2000) 80-113; Gianfranco Purpura, Osservazioni sulla pesca del corallo rosso nell'Antichità, in: *Archaeologia Maritima Mediterranea: International journal on underwater archaeology* 2 (2006) 179-190.

Korallenarbeiter und -verkäufer (coralerii, laboratores coralliorum, magistri artis corallorum, magistri corallorum). Die Vielfalt der genuesischen Bezeichnungen für Korallenfischer, -arbeiter und -verkäufer spiegelt die Tatsache wider, dass die Branche florierende. Jahrhundertlang blieb Genua ein wichtiges Zentrum für die Herstellung von Korallenschmuck.

Ob Bonos Glocke in der Toskana tatsächlich gebaut, getestet und beim Korallentauchen praktisch eingesetzt wurde, ist nicht belegt. 1581 wanderte Bono nach Spanien aus, wo er erneut ein Privileg erhielt, diesmal von Phillip II. Dort wurde die Taucherglocke mehrmals praktisch vorgeführt.⁴¹²

Ende des 16. Jahrhunderts wurde ein weiterer Vorschlag für eine Taucherglocke in Italien publiziert: Der italienische Festungs- und Militäringenieur Buonaiuto Lorini (1545-1611) beschreibt in seinem Werk über den militärischen Festungsbau *Delle Fortificationi* (1596), erschienen in Venedig, eine rechteckige, außen mit Metall verkleidete Taucherglocke, unter der sich ein großes, flaches Steingewicht befindet, auf dem der Taucher steht (Abbildung 10).⁴¹³ An den Seiten sind Sichtöffnungen vorgesehen. Die Glocke soll dazu dienen, Fundamente unter Wasser zu legen, versunkene Gegenstände wie Geschütze zu bergen, Seile an Wracks zu befestigen, und Korallen zu fischen.⁴¹⁴

Zwischen 1587 und 1589 wurde Lorini in Dalmatien als Festungsbauingenieur eingesetzt, um Anpassungsarbeiten an den Befestigungen von der Insel Rab und der Stadt Zadar durchzuführen. Dabei kümmerte er sich auch um die Befestigung des Hafens. Vermutlich verwendete er bei den Gründungsarbeiten für die Hafenmauern mehrere dieser Taucherglocken. Carlo Promis bezeichnete sie in seiner Biografie über Lorini als „Kästen eigener Erfindung“⁴¹⁵.

Obwohl Lorinis Taucherglocke ein plumpes Aussehen hat, zählt sein Entwurf gerade wegen seiner Größe und Robustheit zu den leicht realisierbaren Konzepten, auch wenn die senkrechten Wände einen Nachteil im Vergleich zu den späteren schiefen Wänden der Glockenform haben (Abbildung 11). Vasenförmige Elemente haben den Nachteil, dass der Wasserspiegel zunächst schnell ansteigt, sich dies aber mit zunehmender Tiefe verlangsamt. Bei geraden Seitenwänden steigt im Vergleich dazu das Wasser mit der Tiefe gleichmäßig (linear) an. In glockenförmigen Elementen steigt der Wasserspiegel langsam an, und mit zunehmender Tiefe immer schneller.

⁴¹² Siehe hierzu Kapitel 3.4.1.

⁴¹³ Buonaiuto Lorini, *Delle Fortificationi*, Venedig 1596, 204-205.

⁴¹⁴ Lorini, *Delle Fortificationi*, 204.

⁴¹⁵ Eigene Übersetzung vom Originaltext „ed alla marina vi fondò un porto che cinse di muri fondati in casse di sua invenzione“ in Carlo Promis, *Biografie d'ingegneri militari italiani dal sec. XIV alla metà del XVIII*, Turin 1874, 640.

Im Vergleich zu den anderen Formen ist aber der Wasserstand hier am niedrigsten bei gleicher Tauchtiefe.

In Lorinis Werk *Delle Fortificationi* (1597) ist eine der ersten Abbildungen einer Taucherglocke zu finden. Es wurde mehrfach neu aufgelegt und dabei erweitert. 1607 wurde es in die deutsche Sprache übersetzt und hier 1621 und 1638 neu aufgelegt. Diese Werksgeschichte spricht für die Bedeutung der Publikation. Das Buch scheint vor allem in der Republik der Sieben Vereinigten Provinzen (Generalstaaten) rezipiert worden zu sein.⁴¹⁶

⁴¹⁶ Siehe hierzu Kapitel 4.1.

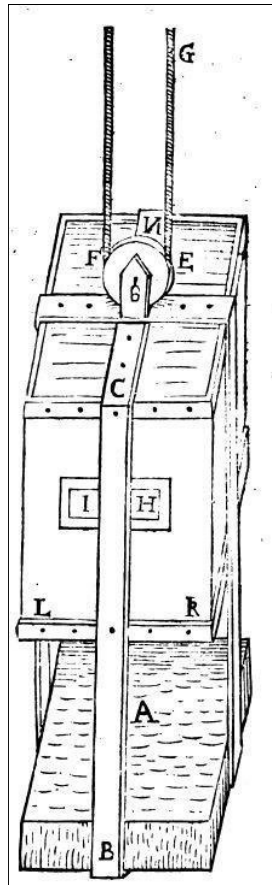


Abbildung 10: Eckige Taucherglocke von Buonavio Lorini (1597). Quelle: Buonavio Lorini, Delle Fortificationi, Venedig 1597, 204.

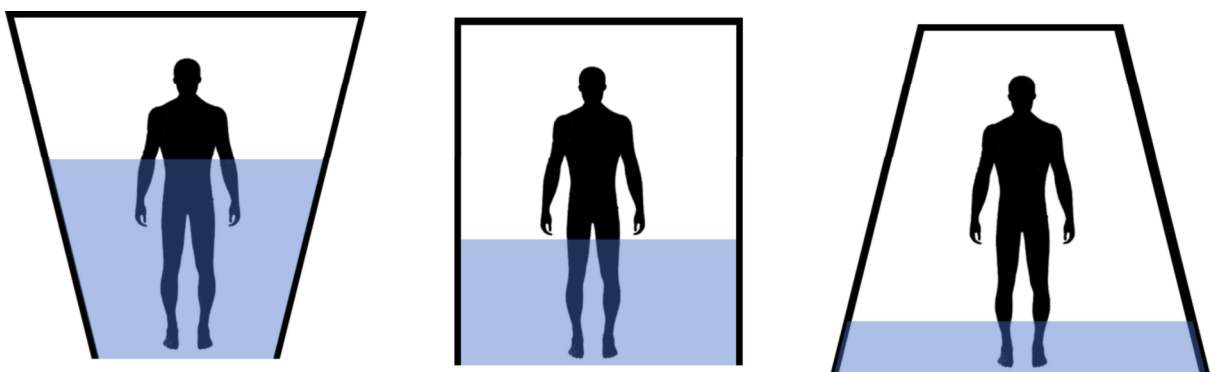


Abbildung 11: Vergleich der Wasserstände verschiedener Formen: Vase, Zylinder, Kegelstumpf (Glocke) bei gleicher Tiefe. Quelle: Eigene Darstellung.

2.3.3 Der Einfluss von Niccolò Tartaglia auf die Verbreitung von Tauchtechnologie

Über das Werk *Regola generale* (1551) von Tartaglia scheint die Kenntnis über die Einsatzmöglichkeiten von Taucherglocken in viele europäische Länder gelangt zu sein. Tartaglia war der erste, der einen detaillierten Text über die Technik des Gerätetauchens veröffentlichte, auch wenn er noch sehr rudimentär war. Die grundlegend zu beachtenden Prinzipien zur Physiologie und der Gasgesetze waren ihm unbekannt und wurden nicht angesprochen.

Nach dem heutigen Kenntnisstand war generell im 16. Jahrhundert sehr wenig zu Taucherglocken veröffentlicht worden. Das Buch von Lorena erschien erst 1597, das von De Marchi posthum 1599. Jean Taisnier hatte seine 1538 in Toledo gemachte Beobachtung einer Taucherglocke erst 1562 publiziert.⁴¹⁷ Tartaglias Werk von 1551 war damit das erste, das Gerätetauchen als eigenständige Technologie aufgriff, ausführlich erläuterte und verbreitete. Es war zunächst in italienischer Sprache abgefasst. Erst 1661 wurde es in Englisch übersetzt und publiziert.⁴¹⁸

Tartaglias Werk wurde bis Ende des 17. Jahrhunderts vielfach rezipiert. Daraus lässt sich eine besondere Bedeutung der Schrift ableiten.⁴¹⁹ Insbesondere Tartaglias Methode zur Bergung von Schiffen, sowie seine Tauchgeräte, wurde oft dargestellt. Olaus Magnus, der in Rom lebende Erzbischof von Uppsala, beschrieb die Bergemethode bereits wenige Jahre später, 1555 in seinem Buch *Historia de gentibus septentrionalibus*⁴²⁰, und ebenso 1570 der italienische Mechaniker Juanelo Turriano (1500-1585) in seinem spanischsprachigen Maschinenbuch *Los veinte y un libros de los ingenios, y máquinas*.⁴²¹ Er lebte zwischen 1573 und 1585 in Toledo und war für Philipp II. als Hydrotechniker tätig. Turriano übernahm auch Tartaglias Beschreibungen der Taucherhelme und Taucherglocke.

Die Bergemethode wurde bald danach in Spanien durch erfolgreiche praktische Anwendungen popularisiert. Der italienische Ingenieur Antonio de Cibri war zwischen 1580

⁴¹⁷ Siehe Jean Taisnier, *Opusculum de natura magnetis et eius effectibus item de motu continuo demonstratio proposit. motuum localium de motu alio*, Köln 1562.

⁴¹⁸ Siehe Niccolò Tartaglia, *The Troublesome Invention of N. Tartalea: being a generall way to recover from the bottome of the water any ship that's sunke*, Übers. und Hg. Thomas Salusbury, 2 Volumes, London 1661 / 1665.

⁴¹⁹ Drake / Drabkin, *Mechanics in Sixteenth-Century Italy*, 26.

⁴²⁰ Magnus, *Historia de gentibus*, 422.

⁴²¹ Juanelo Turriano, *Los veinte y un libros de los ingenios, y máquinas de Juanelo: los quales le mando escribir y demostrar al Chatolico Rei D. Felipe Segundo Rey de las Hespânas y Nuevo Mundo*, Hg. José Antonio García-Diego / Alex Keller, [um 1570], Madrid 1996.

und 1582 mit der Bergung von im Guadalquivir gesunkenen Schiffen betraut, und hob sechs Wracks. Zusätzlich zu den 2.000 Dukaten Belohnung für jedes Schiff erhielt er ein Privileg auf zwanzig Jahre, um die von ihm genutzte Methode exklusiv zu nutzen.⁴²²

Der spanische Artilleriekommandant von Antwerpen und Militärschriftsteller Diego Ufano übernahm Tartaglias Methode der Schiffsbergung in seinem Werk *Tratado dela artilleria y uso della platicado* von 1613.⁴²³ Eine deutsche Übersetzung des Buches von Ufano erschien 1615 in dem Werk von Christoff Dambach „*Büchsenmeistery*“.⁴²⁴ Bei Ufano sollten Apnoetaucher die Seile unter dem Wrack befestigen, die Tauchgeräteideen von Tartaglia erwähnt er nicht. Möglicherweise dachte Ufano nur an Bergungsaufgaben in warmen Gewässern wie der Karibik, in denen Apnoetaucher ausreichend wären.

Der französische Mathematiker und Ingenieur Jacques Besson stellte 1578 in seinem Werk *Theatrum Instrumentorum et Machinarum* Tartaglias Bergemethode ebenfalls dar, allerdings nicht seine Tauchgeräte.⁴²⁵ Auch er setzte auf Apnoetaucher für die Unterwasserarbeit. Caspar Schott betrachtet im dritten Band seines Werkes *Magia universalis* (1658) die Hebung versunkener Schiffe nach Tartaglias Methode.⁴²⁶ In dem französischen Werk *Traité des moyens de rendre les rivieres navigables* von 1696 finden sich ebenso die Beschreibungen von Tartaglia.⁴²⁷ Die Pariser Académie royale des sciences vergab 1700 das Privileg Nummer 62 an einen Baron de Redingues für seine „Maniere de relever les vaisseaux submerges“. Sein Bergungsverfahren war identisch mit demjenigen von Tartaglia.⁴²⁸

Tartaglias Einfluss lässt sich vor allem in England deutlich erkennen: Der englische Mathematiker William Bourne (?-1583) publizierte 1578 zwei Bücher, die Tartaglias Werk als eine ihrer Quellen deutlich erkennen lassen.⁴²⁹ In seinem *A Booke Called the Treasure for Travellers*, setzt er sich sehr ausführlich mit der Methode, Schiffe zu heben, auseinander.⁴³⁰

⁴²² Carta de la ciudad de Sevilla a Antonio de Cibori, 13 de mayo de 1580, Archivo Municipal de Sevilla, Papeles Importantes, Tomo. XII, Documentos 7-9.

⁴²³ Diego Ufano, *Tratado dela artilleria y uso della, Platicado por el capitan Diego Ufano En las Guerras de flandes*, Brüssel 1613, 234.

⁴²⁴ Christoff Dambach, *Büchsenmeistery: Das ist, Kurtze, doch eygentliche und gründliche Erklärung deren Dingen, so einem Büchsenmeister fürnemblich zuwissen von nöthen: Als ihre Freyheiten und Artickel, zu Feld und in Besatzungen*, Frankfurt a. M. 1615, 190-195.

⁴²⁵ Jacques Besson, *Theatrum Instrumentorum et Machinarum*, Paris 1578, Fig. 58.

⁴²⁶ Caspar Schott, *Magia universalis naturae et artis*, Pars 3 Mathematica, Frankfurt 1658, 390-392.

⁴²⁷ Bouillet, *Traité des moyens de rendre les rivieres navigables*, Amsterdam 1696, 95-102.

⁴²⁸ Jean-Gaffin Gallon (Hg.), *Machines et inventions approuvées par l'Académie Royale des Sciences depuis son établissement jusqu'à present*, Tome Premier, Paris 1735, 203-205.

⁴²⁹ Peter Dick, The „poor Gunner“. William Bourne & 16th century italian influence on Diving in England, in: *HDS Notizie* 23 (2002) 5-16, 8.

⁴³⁰ Siehe William Bourne, *A Booke Called the Treasure for Travellers, Devided Into Five Bookes*, London 1578.

Bourne legt zunächst - ohne einen Verweis auf Archimedes - richtig dar, dass das Gewicht eines Schiffes dem Gewicht des Wassers entspricht, das es verdrängt, und das Süßwasser weniger wiegt als Salzwasser.⁴³¹ Dies sei auch der Grund, weshalb ein Schiff, das aus dem salzhaltigen Meer in einen Süßwasser-Fluss hineinfährt, dort tiefer im Wasser liegt, als zuvor. Seile sollten unter einem gesunkenen Schiff bei Ebbe befestigt werden. Mit welcher Methode dies geschehen soll, bespricht Bourne allerdings nicht. Die steigende Flut hebe die Bergeschiffe an, und damit auch das gesunkenen Schiff. Es wird ans Ufer geschleppt, bis es bei Flut auf Grund läuft. Beim nächsten Niedrigwasser werden dann die Seile gekürzt und der Vorgang so lange wiederholt, bis das Schiff am Ufer ist. Bourne gibt erstmals ein mathematisches Modell, die Anzahl dieser erforderlichen Gezeitenwechsel zu berechnen. In Gewässern ohne Tidenhub solle man die Bergeschiffe vor dem Befestigen der Seile mit Steine beschweren, und diese dann später entladen. Nach dem archimedischen Prinzip heben sich die Schiffe und damit das Wrack.

Bournes Darstellung über die Theorie der Schiffsbergung gleicht weitgehend der von Tartaglia, den Bourne aber nicht explizit erwähnt. Stattdessen verweist er auf den Mathematiker und königlichen Hofastronomen John Dee (1527-1608), aus dessen *Mathematical Preface*⁴³² (1570) er diese Idee und seine Kenntnisse der Mathematik habe. Dee erläutert darin das archimedische Prinzip und sieht unter anderem eine praktische Anwendung um „waying up of anything, sonken in Sea or in fresh water“⁴³³. Wie dies geschehen soll, erläutert Dee aber nicht. Bourne scheint deshalb nur den Grundgedanken von Dee übernommen zu haben, und die Art der praktischen Umsetzung von Tartaglia.

In Bournes zweitem Buch aus dem gleichen Jahr, und mit *Inventions or devices* tituliert, verweist er zunächst auf seine Erläuterungen zur Schiffsbergung in seinem ersten Buch *Treasure for Travellers*. Bourne widmete es Admiral William Wynter (1521-1589), der unter anderem als Master of Naval Ordonance dafür verantwortlich war, die Schiffe der englischen Navy mit Artillerie zu bestücken. Er hatte großes Interesse daran, dass die wertvollen Geschütze von einem gesunkenen Schiff geborgen wurden. In diesem Buch widmet sich Bourne ausführlicher mit der Tauchtechnologie und wie man mit Hilfe von Taucherglocken versunkene Gegenstände bergen kann.⁴³⁴

Zunächst gibt Bourne Hinweise, wie man ein Unterwasserboot mit Ruder konstruieren könne, das durch einen Schnorchelmast mit Frischluft versorgt werden soll: „for the hole that

⁴³¹ Bourne, A Booke, Booke Four, 3-9.

⁴³² Siehe John Dee, The Mathematicall Praeface to Elements of Geometrie of Euclid of Megara, London 1570.

⁴³³ Dee, Mathematicall Praeface, o. S..

⁴³⁴ William Bourne, Inventions or devices very necessary for all Generalles and Capitaines, London 1578, 13-20.

goeth thorough the Mast must give you ayre, as man cannot live without it“⁴³⁵. Auf die Idee eines Schnorchelmastes trifft man schon in der mittelhochdeutschen Erzählung Salman und Morolf⁴³⁶. Sie ist möglicherweise entliehen von den mittelalterlichen Saugrohrtauchgeräten. Variable Ballastwassertanks sollen das Boot sinken oder steigen lassen. Olaus Magnus zeichnete ein solches Boot bereits 1539 in seiner Landkarte Nordeuropas *Carta marina*.⁴³⁷

Im „22. Devise, how that you may make ropes fast unto a ship that is suncke“⁴³⁸ merkt Bourne an, dass Taucher zwar in Venedig und Italien bei Bergungsarbeiten eingesetzt werden, dies aber aufgrund des kalten und trüben Meerwassers in England bislang nicht durchgeführt werden konnte. Bourne beschreibt dann die aristotelische Methode, wonach Apnoetaucher von Zeit zu Zeit Luft aus einem Taucherkessel schöpfen können⁴³⁹, und empfiehlt deren Einsatz auch in England bei Bergungsarbeiten, allerdings nur bei ruhiger See:

„And also, the *Venetians* and *Italians* have (when that they do dive under the water) a place of refuge to take ayre or breath in, by some great vessell of mettall of sufficient bignesse, and of weight, and let it downe unto the bottome, with the bottome of the vessell directly upwardes, so standing upon three or four feet upon the ground in the bottom of the Sea“⁴⁴⁰.

Auch für die Beleuchtung des Arbeitsplatzes kennt Bourne ein zweckmäßiges Hilfsmittel, und zwar brennende Kerzen in Glaslaternen.⁴⁴¹

Bei dem dritten, von Bourne vorgeschlagenen Tauchgerät neben Unterseeboot und Taucherglocke handelt es sich um ein unbrauchbares Saugrohrgerät, bei dem der Taucher in einen Lederanzug gekleidet ist.⁴⁴²

Bournes englischsprachige Informationen über Tauchtechnik waren ab 1578 jedem in England zugänglich, der lesen konnte oder sich das Buch vorlesen ließ, ohne dass ein Akademiker als Vermittler zur Interpretation eines lateinischen oder fremden Textes herangezogen werden musste. William Bourne verdient deshalb Anerkennung als eine Schlüsselfigur in den Anfängen des praktischen Tauchens in der englischsprachigen Welt, dessen Haupteinflüsse - bis dahin - italienischen Ursprungs zu sein scheinen.

⁴³⁵ Bourne, *Inventions or devices*, 14.

⁴³⁶ Anonymus, *Salman und Morolf* [12. Jhd.], Hg. Alfred Karnein, Tübingen 1979, 112.

⁴³⁷ Olaus Magnus, *Carta marina et descriptio septemtrionalium terrarum ac mirabilium rerum in eis contentarum diligentissime elaborata*, Rom 1539, Koordinaten 86/18.

⁴³⁸ Bourne, *Inventions or devices*, 18.

⁴³⁹ Bourne, *Inventions or devices*, 18.

⁴⁴⁰ Bourne, *Inventions or devices*, 18.

⁴⁴¹ Bourne, *Inventions or devices*, 19.

⁴⁴² Bourne, *Inventions or devices*, 19.

Möglicherweise gelangte italienisches Wissen zur Tauchtechnologie auch über einen weiteren Weg nach England: Während sich das Flaggschiff *HMS Mary Rose*, eines der modernsten Schlachtschiffe der Welt, vor Portsmouth auf den Angriff einer französischen Flotte am 19. Juli 1545 vorbereitete, versank sie nach einer starken Windbö überraschend. Ihr Deck lag etwa 13 Meter unter der Oberfläche.

Da italienische Taucher im 16. Jahrhundert einen internationalen Ruf als Bergungsspezialisten hatten⁴⁴³, beauftragte die englische Admiralität die in Southampton ansässigen venezianische Berger Piero de Andreasi und Simone de Marini mit der Arbeit. Sie versuchten im Herbst 1545 zusammen mit etwa 30 venezianischen und 60 englischen Arbeitern erfolglos, mit Enterhaken Seile unter das Wrack zu ziehen, um es anzuheben.⁴⁴⁴

Anschließend beauftragten sie den Italiener Piero Paolo Corsi mit der Arbeit.⁴⁴⁵ Zwischen 1547 und 1549 gelang es Corsi, mehrere Geschütze aus dem Wrack zu bergen. Corsi setzte bei seinen Bergungsarbeiten mehrere afrikanische Sklaventaucher ein.⁴⁴⁶ Ob bei den Bergungsarbeiten Taucherglocken eingesetzt wurden, ist unwahrscheinlich, da diese Technologie noch weitgehend unbekannt war, aber nicht ausgeschlossen.⁴⁴⁷ Möglicherweise verwendete Corsi eine einfache Taucherglocke aus Holz, deren Einsatz aber aufgrund der in dieser Region schwierigen Umweltbedingungen wie Strömung und schlechter Sicht kaum gewinnbringend eingesetzt worden sein kann.⁴⁴⁸ Im Juli 1547 wurde Corsi auch angeheuert, um die versunkenen Schiffe *Sancta Maria* und *Sanctus Edwardus* vor dem nahe gelegenen Southampton zu bergen.⁴⁴⁹

Es scheint nicht unwahrscheinlich zu sein, dass Venezianer und Italiener, die einen guten Ruf für Bergungsarbeiten hatten, bei Bergungstätigkeiten an der *HMS Mary Rose* 1547 bis 1549 und etwas später ganz sicher William Bourne 1578 anhand italienischer Literatur, die Taucherglocke als neues Gerät in England eingeführt haben.

⁴⁴³ Keller, hydrostatic theorems, 607.

⁴⁴⁴ Alexander McKee, *History under the sea*, London 1968, 44.

⁴⁴⁵ Peter Dick, *Recovering Guns from the Mary Rose*, in: *The International Journal of Diving History* 13 (2021) 71-84, 76.

⁴⁴⁶ Dawson, *History Below the Waterline*, 49-50.

⁴⁴⁷ Dick, *A poor Gunner*, 10.

⁴⁴⁸ Dick, *Recovering Guns*, 76.

⁴⁴⁹ Kevin Dawson, *The Mary Rose*, in: Stephen K. Stein (Hg). *The Sea in World History: Exploration, Travel, and Trade*, Volume 1, Santa Barbara 2017, 337-339; McKee, *History under the sea*, 44.

2.4 Italienische Wissenschaft und Tauchtechnik in der Renaissance

Tauchtechnik scheint in Italien während der Renaissance vorwiegend ein Thema für Praktiker gewesen zu sein, zur Umsetzung von Unterwasserbautätigkeiten und Bergungsarbeiten. Theoretische Erörterungen der Phänomene sind kaum zu finden. Beispielsweise beschäftigt sich der frühe italienische Naturwissenschaftler Giovanni Battista della Porta (1535-1615) in keinem seiner Werke mit dem Problembereich des Tauchens und seiner Technik, obwohl er ein großes, weitgefächertes Interessengebiet hatte. Die von ihm 1560 gegründete *Academia Secretorum Naturae*, die sich der Erforschung der Natur widmen sollte, musste bereits nach wenigen Jahren nach einer Untersuchung durch die Inquisition auf Anordnung von Gregor XIII. (urspr. Ugo Boncompagni; 1502-1585, Papst 1572-1585) aufgelöst werden.

Gerätetauchen wurde im 16. Jahrhundert noch nicht als eine Anwendung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse, sondern als eine „Kunst“ angesehen: Als die „*ars urinatoria*“⁴⁵⁰. Die deutsche Übersetzung „Die Kunst des Tauchers“ oder „Taucherkunst“ des lateinischen Begriffs „*ars urinatoria*“ lässt darauf schließen, dass eher die persönlichen Fähigkeiten der tauchenden Person als das Tauchen als eine technische Errungenschaft an sich noch im Vordergrund stand. Dieser Gedanke rückt die Kunst des Tauchers in das Spektrum einer Geheimkunst⁴⁵¹, die für den Laien außerhalb ihrer Möglichkeiten stand und nicht zu fassen war. Tauchen hatte damit das Risikopotential, schnell in den Fokus der Inquisition zu geraten.

Nach ersten vielversprechenden Anfängen in den 1530er Jahren und einflussreichen Publikationen in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts scheint es in Italien zu einem Stillstand in der Entwicklung der Tauchtechnik gekommen zu sein. Bereits Anfang des 17. Jahrhunderts begann der Abschwung.

Die Hypothese einer nach einem schwunghaften Anfang nachlassenden Entwicklung in der Tauchtechnik deckt sich mit anderen Bereichen: „In Italy the physical sciences had several decades of prosperity during the first half of the seventeenth century [but] at the time of Newton

⁴⁵⁰ Siehe zu dem Begriff *ars urinatoria* Gisbert Voetius, *Selectae Disputationes Theologicae, Pars Tertia*, Utrecht 1659, 542; Georg Pasch, *Schedisma de curiosis hujus seculi inventis, quorum accuratori cultui facem praetulit antiquitas*, Kiel 1695, 251; Becher, *Närrische Weißheit*, 37.

⁴⁵¹ Stelzner, *Tauchertechnik*, 18.

and of Boyle, Italian physical science went into an almost total eclipse“⁴⁵², so der Historiker William Edgar Knowles Middleton. Die italienischen Universitäten und Akademien „entered into a prolonged period of stagnation, decline, and provincialization“⁴⁵³.

Mit Blick auf die Schwierigkeiten, die Galileo Galilei (1564-1642), Cardano und anderen durch die katholische Kirche in Italien bereitet wurden, werden die Ursachen für eine Stockung der Wissenschaft häufig in der Inquisition und der mit der Gegenreformation seit etwa 1545 verbundenen Hemmung, Verhaftung und Vertreibung von Intellektuellen gesucht.⁴⁵⁴

1651 wurde beispielsweise der italienische Mediziner und Hochschullehrer Giovanni Battista Capponi (1620-1675), ein Befürworter der experimentellen Methode, vom Heiligen Offizium in Bologna, das auf direkten Befehl des römischen Heiligen Offiziums handelte, angeklagt, gefoltert und zu Hausarrest verurteilt. Sein Haus wurde durchsucht, und mehrere seiner Handschriften beschlagnahmt. Der Autor, dessen Werke Capponi am häufigsten konsultierte, war Girolamo Cardano, den Capponi sowohl für seine Universitätsvorlesungen als auch für seine Praktiken verwendete. Erst nach einem formellen Widerruf wurden der Medizinprofessor und seine Anhänger - seine Studenten - begnadigt.⁴⁵⁵

Der Soziologie Franz-Xaver Kaufmann (geb. 1932) macht darauf aufmerksam, dass bestimmte konfessionelle Milieus und religiöse Mentalitäten insbesondere für den technischen Fortschritt von Gesellschaften von besonderer Bedeutung sein können, denn hier würde „der Fortschrittsglaube zum funktionalen Äquivalent für den sich verlierenden Glauben an die Vernünftigkeit der christlichen Religion“⁴⁵⁶. Im Umkehrschluss würde dies auf eine den Fortschritt hemmende Wirkung durch konservative Glaubensrichtungen hindeuten.

Middleton verfolgt einen anderen Erklärungsansatz. Heute sind fast 600, oft sehr kurzlebige italienische Akademien des 16. und 17. Jahrhunderts mit etwa 7000 Mitgliedern und 905 Publikationen von ihnen bekannt⁴⁵⁷ - was zunächst als ein großes Heer an Gelehrten und Forschern erscheint. Das Interesse der meisten dieser italienischen Intellektuellen an Wissenschaft sei aber, so Middleton, nicht technischer, sondern literarischer oder

⁴⁵² William Edgar Knowles Middleton, *Science in Rome, 1675-1700, and the Accademia Fisicomatematica of Giovanni Giustino Ciampini*, in: *The British Journal for the History of Science* 8 (1975) 138-154, 138.

⁴⁵³ William Eamon, *Court, Academy, and Printing House: Patronage and Scientific Careers in Late-Renaissance Italy*, in: Bruce T. Moran (Hg.), *Patronage and institutions: science, technology, and medicine at the European court, 1500-1750*, Rochester 1991, 25-50, 29.

⁴⁵⁴ Ralf Kern, *Wissenschaftliche Instrumente in ihrer Zeit. Zweiter Band: Vom Compendium zum Einzelinstrument. 17. Jahrhundert*, Köln 2010, 73.

⁴⁵⁵ Testa, *Italian Academies*, 138.

⁴⁵⁶ Franz-Xaver Kaufmann, *Religion und Modernität*, in: Johannes Berger (Hg.), *Die Moderne. Kontinuitäten und Zäsuren*, (Soziale Welt, Sonderband 4), Göttingen 1986, 282-308, 288.

⁴⁵⁷ Testa, *Italian Academies*, 1; siehe Eamon, *Court, Academy, and Printing House*, 42.

philosophischer Art gewesen. Nur in wenigen Akademien wie der Accademia Fisicomatematica des Geistlichen und Historikers Giovanni Giustino Ciampini (1633-1698) würden praktische Experimente durchgeführt und „purely technological questions as the construction of wheeled vehicles, the possibility of human flight, surveyor’s levels, and a whole series of meteorological instruments“⁴⁵⁸ erörtert.

Die vergleichsweise fortschrittliche Akademie von Ciampini musste aus Mangel an wissenschaftlichen Arbeitskräften 1698 aufgelöst werden. Middleton leitet daraus, und einigen weiteren Beispielen die These ab, dass der Mangel an wissenschaftlich gebildetem Personal, neben der Verfolgung durch die Kirche und dem Despotismus des italienischen Staates, eine Ursache für eine Verringerung der Geschwindigkeit in der Weiterentwicklung der Wissenschaft Italiens in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts gewesen sein könnte.

Middleton stellt nicht in Frage, dass ein liberaler Staat förderlich für die Entfaltung einer freien Wissenschaft ist: „I would not wish to deny that the relative liberty of England and the Netherlands may have been more conducive to scientific progress than the despotism that prevailed in the Italian state“⁴⁵⁹.

Auch der Wissenschaftshistoriker Plinio Innocenzi sieht das noch nicht ausreichend entwickelte „Social environment“⁴⁶⁰ als eine der Gründe, weshalb es kaum zu einer Weiterentwicklung technologischer Ansätze in Italien kam. Hier findet sich eine Überstimmung des theoretischen Ansatzes der Diffusionstheorie von Everett M. Rogers, der ein passendes soziokulturelles System als eine der vier Grundvoraussetzungen für Innovation und Verbreitung sieht.⁴⁶¹

2.5 Zwischenfazit: Wiederentdeckung und weitere Anwendungsformen

Das Tauchen in Apnoe ist von der Antike bis zur Moderne ein wichtiger Bestandteil der menschlichen Kultur, und hat sich offenbar in den verschiedenen Regionen der Erde unabhängig voneinander entwickelt. Erste Anwendungen waren zunächst die Suche nach Nahrung, einfachen Gebrauchsgegenständen und Schmuck, dann kam die Bergung gesunkener Güter hinzu. In der römischen Republik bildete sich dazu eine eigene Berufsgruppe. Apnoetaucher wurden auch für militärische Zwecke eingesetzt. Sie waren ebenso die ersten

⁴⁵⁸ Middleton, Science in Rome, 147.

⁴⁵⁹ Middleton, Science in Rome, 154.

⁴⁶⁰ Plinio, Leonardo, 338.

⁴⁶¹ Rogers, Diffusion of Innovations, 24.

Menschen, die durch Beobachtung und persönliche Erfahrung empirisches Wissen über die Unterwasserwelt sammelten. Gelehrte wie Aristoteles dokumentierten sie in ihren Schriften.

Für das Apnoetauchen wurden primitive Hilfsmittel eingesetzt. Im antiken Griechenland wurde mit einer besonderen Technik für den Abstieg - kopfabwärts mit hydrodynamischem Ballaststein - eine neue Methode entwickelt, um die beim Apnoetauchen limitierte Tauchzeit möglichst effizient zu nutzen. Wie Aristoteles berichtet, soll es auch bereits eine Methode gegeben haben, um die Tauchzeit durch die Mitnahme eines umgedrehten Kessels als Luftreservoir zu verlängern. Dies war die Keimzelle für die spätere Weiterentwicklung. Aristoteles steht mit seiner knappen Erwähnung des „Kesseltauchens“ am Beginn des zentralen Entwicklungsstranges in der Geschichte des Tauchens, der nach dem Prinzip des unten offenen Luftbehälters für einen frei beweglichen Taucher über die Taucherglocke, dem offenen Taucherhelm zu den geschlossenen Helmtaucheranzügen des 19. Jahrhunderts führt.

In der Antike wurde einiges Elementarwissen erworben, wie etwa über die Wirkungen des zunehmenden Umgebungsdruckes auf den menschlichen Organismus.

Tauchen wurde im 15. Jahrhundert in den Bilderhandschriften vorwiegend als Bestandteil der militärischen Kriegskunst betrachtet. Es ging darum, Flüsse unbemerkt zu durchqueren, feindliche Schiffe zu beschädigen und taktische Anweisungen heimlich zu übermitteln. Die Bergung von verlorenem Gut war noch nachgeordnet; die Erforschung einer Neuen Welt mitsamt ihrer Biodiversität sowie die Nutzbarmachung ihrer Ressourcen wurde nicht beabsichtigt.

Im ausgehenden Mittelalter kamen erste, neue Ideen auf, um dem Menschen einen längeren Aufenthalt unter Wasser zu ermöglichen. Sie waren jedoch unbrauchbar, denn das Atmen aus mitgenommenen Luftblasen oder langen Saugrohren war aus physiologischen Gründen unmöglich.

Ein gangbarer Weg zeigte jedoch ein von Konrad Gruter 1424 und Mariano di Jacopo (genannt Taccola) um 1433 skizziertes Verfahren auf. Zum Atmen unter Wasser (Gruter), und um eine Kerze unter Wasser am Brennen zu halten (Taccola), sollte ein umgedrehter Kübel als Luftvorrat dienen. Dies war eine Anwendung der von Aristoteles beschriebenen Taucherglocke. Die zukünftige Verbesserung dieser Methode musste darin bestehen, diesen Luftvorrat - insbesondere den darin enthaltenen Sauerstoff - kontinuierlich zu erneuern.

Eine als Helm verkleinerte Taucherglocke zur Versorgung von Menschen mit einem Luftvorrat wurde in Italien von Konrad Gruter 1424 erwähnt, und 1551 skizzierte Niccolò Fontana (genannt Tartaglia) neben einem Helm auch eine große Glocke mitsamt einem

Insassen. Möglicherweise waren antike Quellen die Basis für die Wiederentdeckung dieser Methode.

Tauchen scheint ein bekanntes Thema im päpstlichen Rom und den dortigen Akademien des späten 15. und 16. Jahrhunderts gewesen zu sein. Die Humanisten interessierten sich auch für versunkene Zeugnisse der römischen Kultur, und um Zugang zu ihnen zu erhalten, benötigten sie Tauchgeräte. Tauchen wurde so zu einer Methode der römischen Humanisten in der Hochrenaissance.

Zwei Tauchgänge 1535 im Nemisee markieren den Beginn der Unterwasserarchäologie und damit die ersten Tauchgänge mit rein wissenschaftlichem Zweck. Der von Etienne Guillery konstruierte und von Francesco de Marchi beschriebene Helm mit einer unbekanntenen Luftversorgung nahm möglicherweise die wichtigsten Entwicklungen im Tauchen für die nächsten drei Jahrhunderte vorweg, jedoch geht der aktuelle Forschungsstand aufgrund fehlender Quellenbelege noch nicht über eine Hypothese hinaus.

Insbesondere die Werke von Tartaglia (1551) und Buonaiuto Lorini (1595) sowie ihre Verbreitung zeigen, dass die italienische Staaten die Unterwassertechnik in Europa während des 16. Jahrhunderts dominierten.

Für die Bergung von Schiffen wurde von Tartaglia ein System mit antiken Wurzeln entwickelt, das den Auftrieb leerer Bootsrümpfe nutzte. Taucher waren für den Erfolg dieser Methode unentbehrlich, da sie die Leinen von den Hebebooten an dem zu bergenden Objekt befestigen mussten.

Tartaglia war der erste, der ein Werk über die Theorie des Tauchens veröffentlichte. Sein Werk *Regola Generale* (1551) mit seinen zwei Teilen über das Tauchen und die Schiffsbergung ist das erste gedruckte Buch über Unterwassertechnik. Buch I ist das erste veröffentlichte Werk über die Schiffsbergung und Buch II das erste über das Tauchen.

Mit Lorinis Publikation von 1595 wird der Einsatzbereich von Taucherglocken deutlich erweitert. Es ging nicht mehr nur um einen Einsatz beim Schwammtauchen wie bei Aristoteles, archäologische Forschungen (Francesco de Marchi) und Bergungsarbeiten (Etienne Guillery, Niccolò Tartaglia), sondern nun auch um Bautätigkeiten unter Wasser.

In England wurde 1578 durch eine Publikation von William Bourne erstmals das italienische Wissen zur Taucherglockentechnik verfügbar, allerdings - vermutlich aufgrund der im Vergleich zum Mittelmeer widrigen Umweltbedingungen der Nordsee – noch nicht praktisch aufgegriffen.

Nach ersten, praktischen Einsätzen, weiteren erfolgversprechenden theoretischen Anwendungsmöglichkeiten und publizistischer Aufbereitung kam es im 17. Jahrhundert zu keiner weiteren, bekannten Entwicklung der Tauchtechnologie in Italien.

3 Die Iberischen Weltreiche auf Tauchstation (1550-1650)

3.1 Spaniens frühe Sub-Atlantic History

1498 landete Christoph Kolumbus (1451-1506) auf den Inseln Coche, Cubagua und Margarita vor der Ostküste Venezuelas. Diese Region wurde für ihr Reichtum an Perlmuscheln bekannt. Die Eroberung dieser Küstenregion ging mit Zwangsarbeit für die indigene Bevölkerung, die geübte Perlentaucher waren, einher.⁴⁶² Die Spanier nutzten auch die Tauchfähigkeiten von Sklaven aus Afrika.⁴⁶³ Nueva Cádiz auf Cubagua wurde ein Zentrum für den Handel mit Sklaventaucher.⁴⁶⁴

Taucher wurden aber schon bald zu einer raren Ressource an der spanischen Perlenküste. Um die Perlengründe noch mehr auszubeuten, und dies auch ohne Taucher, genehmigte der spanische König Carlos I. (1500-1558, von 1520-1558 Kaiser Karl V.) den Einsatz von Baggern, obwohl die Indigenen davor warnten, dass Ausbaggern die Austernbänke zerstören würde. Dies trat auch ein: 1531 begann der Perlenvorrat zu schwinden, und obwohl die Spanier begannen, die Bootsgröße, die Anzahl der Taucher pro Boot und die Anzahl der Tauchstunden zu begrenzen, gab es innerhalb von fünf Jahren keine Perlen mehr in den Bänken von Cubagua.⁴⁶⁵

Zusätzlich zur Perlenernte in der Karibik wurden Apnoetaucher ab dem 16. Jahrhundert für eine Vielzahl von Wartungsarbeiten, insbesondere an den Schiffen der spanischen Armada, immer wichtiger. Sie führten einen materialzermürbenden Pendeldienst in großen Konvois zwischen der Neuen Welt und der Iberischen Halbinsel durch. Besonders in den warmen Gewässern der Karibik kam es häufig vor, dass der Rumpf der Schiffe durch den Schiffsbohrwurm (*teredo navalis*) beschädigt wurde. Diese Muschelart bohrt sich mit ihrer Schale in das Holz hinein und es kommt nach einiger Zeit zu Lecks.⁴⁶⁶

Der Rumpf der spanischen Galeonen, die die karibischen Gewässer befuhren, wurde deshalb zu ihrem Schutz ab Mitte des 16. Jahrhunderts mit Bleiplatten ausgestattet. Diese Methode bot aber keine absolute Sicherheit, denn die Platten lösten sich nach einiger Zeit, und in den entstandenen Spalten konnten sich die Muscheln ansiedeln. Die Spalten mussten mit neuen

⁴⁶² Fernando Serrano Mangas, *Naufragios y rescates en el tráfico indiano durante el siglo XVII*, Madrid 1991, 110; Kevin Dawson, *Undercurrents of Power*, Philadelphia 2018, 72.

⁴⁶³ Dawson, *Undercurrents*, 64-65.

⁴⁶⁴ John H. Parry, *The Spanish Seaborne Empire*, Berkeley 1974, 51.

⁴⁶⁵ Stott, *Oyster*, 185.

⁴⁶⁶ Siehe Werner Bavendamm / Hans Schmidt, *Holzbohrmuscheln (Teredinidae)*, in: *Holz als Roh- und Werkstoff* 18 (1960) 229-232.

Platten verschlossen oder die Platten gegen neue ersetzt werden. Zunächst wurden für diese Arbeiten in den karibischen Häfen indigene Apnoetaucher herangezogen. Ging es aber um kompliziertere technische Arbeiten, wurde dies zumeist in den Häfen von spanischen Schiffszimmerern, die gute Schwimmer und Tauchern waren, durchgeführt. So entstand eine neue Berufsgruppe: Die Schiffstaucher.⁴⁶⁷

Im Laufe des 16. Jahrhunderts wurden Schiffstaucher zum festen Bestandteil der Stammmannschaft an Bord größerer spanischer Schiffe. Nach einem Sturm auf hoher See mussten sie den Rumpf inspizieren und auf Beschädigungen überprüfen. Da der Konvoi nicht für ein einzelnes Schiff anhalten konnte, wurde diese gefährliche Arbeit oft durchgeführt, während das Schiff in Fahrt war. Der Taucher war dann mit einem Seil am Schiff angeleint.⁴⁶⁸ Dies erforderte neben entsprechender körperlicher Kraft auch großen Mut des Tauchers.

Auch der Verlust von Ankern und der Bruch eines Ruders war an entlegenen Orten oder auf hoher See ein großes Problem, das sofort behoben werden musste. Lief ein Schiff auf ein Riff, waren die Schiffstaucher ebenfalls die ersten, die Bergungsversuche unternahmen.

Aufgrund der Gefahren, der Bedeutung ihrer Expertise und ihrem großem Können waren die Gehälter für Schiffstaucher hoch: sie erhielten zehn Escudos pro Monat. Das entspricht fast den zwölf Escudos eines Bootsmanns, den elf Escudos, die ein Schiffszimmermann erhielt, war weit mehr als die sechs Escudos eines Kaplans; die fünf Escudos eines Schiffschirurgen oder die vier eines einfachen Matrosen.⁴⁶⁹ Manchmal erhielten die Schiffstaucher neben den normalen Bezügen zusätzliche Prämien, wenn sie eine besonders schwierige Aufgabe erfolgreich gelöst hatten. Trotz der hohen Gehälter war es nicht leicht, einen guten Taucher zu finden, denn er musste neben großer körperlicher Leistungsfähigkeit auch technischen Sachverstand und Unerschrockenheit besitzen.⁴⁷⁰

Ihrer Bedeutung entsprechend nahmen Schiffstaucher nicht an Seegefechten teil, sondern blieben geschützt unter Deck, bis der Kampf vorüber war. Dann stiegen sie über Bord, um mögliche Schäden am Rumpf zu begutachten und zu reparieren.⁴⁷¹ Oft waren sie für mehr als ein Schiff zuständig.⁴⁷²

⁴⁶⁷ Serrano Mangas, *Naufragios*, 109-111.

⁴⁶⁸ Pablo E. Pérez-Mallaina, *Spain's Men of the Sea. Daily Life on the Indies Fleet in the Sixteenth Century*, Baltimore 1998, 209.

⁴⁶⁹ Siehe beispielsweise *Sueldos de la gente de mar y guerra de la Armada de la Carrera de Indias del Marqués de Cadereyta. Relación de Diego del Valle Rozadilla*. Sevilla, 10 de noviembre de 1623. AGI, Contratación, 4921.

⁴⁷⁰ Serrano Mangas, *Naufragios*, 107.

⁴⁷¹ Rodríguez Cuevas / Ivars Perelló, *Historia del buceo*, 212-213.

⁴⁷² *Disputa legal entre el buzo Pero Díaz y Juan de Altamira*, Sevilla, 17. September 1551. AGI, Indiferente General, 2673; Zitiert nach Pérez-Mallaina, *Spain's Men of Sea*, 73.

Die Beurteilung des Schadens durch den Schiffstaucher konnte eine entscheidende Auswirkung haben, und im ungünstigsten Fall die Weiterreise einer ganzen Flotte aussetzen. Es ist daher nicht überraschend, dass die Taucher starkem Druck von unterschiedlichen wirtschaftlichen Interessen ausgesetzt waren.⁴⁷³ Die Kapitäne fürchteten um die Sicherheit des Schiffes und der Besatzung und präferierten das Anlaufen eines nahen Hafens für eine gründliche Reparatur, wohingegen die spanische Krone die Weiterfahrt und schnelle Ankunft der Flotte in Spanien forderte, damit der Reichtum aus der Neuen Welt von der zumeist leeren Staatskasse vereinnahmt werden konnte.

Schiffstaucher wurden auch bei Überprüfungsarbeiten eingesetzt, wenn die Schiffe schließlich den Hafen von Sevilla erreicht hatten. Denn nicht selten wurden kurz vor dem Einlaufen Wertgegenstände aus der Ladung entnommen, über Bord geworfen, und unter dem Schiffsrumpf oder am Ruder versteckt, um sie zu unterschlagen.⁴⁷⁴

Ab der Mitte des 16. Jahrhunderts gab es für diese neue Berufsgruppe zunehmend Betätigung. Ein reicher Strom von Silber und anderen Wertgegenständen floss in den Laderäumen der Galeonen über den Atlantik nach Spanien. Dieser Handel war hochgradig organisiert und wurde streng mit Listen und mehrfachen Überprüfungen kontrolliert, auch wenn es trotzdem immer noch zu Unterschlagungen und Falschangaben kam.⁴⁷⁵ Die Schiffstaucher waren ein unverzichtbares Instrument, das die spanische Krone einsetzte, um sicherzustellen, dass die Versorgung mit den Reichtümern der Neuen Welt möglichst ununterbrochen blieb. Da der Silbervorrat der Krone für ein ganzes Jahr auf einen einzigen Konvoi beschränkt war, konnte ein Schiffbruch oder eine verzögerte Lieferung die wirtschaftliche Lage in Spanien ernsthaft stören.⁴⁷⁶ Die Schiffstaucher waren neben den Perlentauchern für die Spanier in ihrer Kolonisationsarbeit deshalb von großem Wert.

Der erste Hinweis darauf, dass Taucher ein Standard an Bord der Silberflotten waren, findet sich in dem 1601 publizierten Werk des spanischen Seemanns Thomé Cano (1545-1618).⁴⁷⁷ In seinem grundlegenden Werk über den Schiffbau und die Ausrüstung eines Schiffes beschrieb

⁴⁷³ Serrano Mangas, *Nafragios*, 108.

⁴⁷⁴ Robert F. Marx, *Deep, Deeper, Deepest. Man's Exploration of the Sea*. Flagstaff 1998, 23.

⁴⁷⁵ Parry, *Spanish Seaborne Empire*, 54.

⁴⁷⁶ John E. Ratcliffe. *Bells, Barrels and Bullion: Diving and Salvage in the Atlantic World, 1500 to 1800*, in: *Nautical Research Journal* 56 (2011) 34-56, 38.

⁴⁷⁷ Siehe Tomé Cano, *Diálogo entre un vizcaíno y un montañés sobre la fábrica de navíos*, Sevilla 1601.

er die wichtige Funktion eines Tauchers an Bord. Er sieht ihn als eines der wichtigsten Mannschaftsmitglieder.⁴⁷⁸

Am 24. Januar 1633 erließ die spanische Marine die *Ordenanzas del Buen Gobierno de la Armada del Mar Océano*, in der alle bisherigen Einzelverordnungen seit Mitte des 16. Jahrhunderts zusammengefasst wurden.⁴⁷⁹ Darin wird in den Artikeln 233 und 237 festgeschrieben, dass sich mindestens ein Taucher auf jedem Flaggschiff („Capitana“) und dem Admiralschiff („Almiranta“) eines Geleitzuges befinden musste.⁴⁸⁰ Das Flaggschiff führte den Geleitzug an, den Abschluss bildete das Admiralschiff. Es hatte zumeist auch die wertvollste Ladung.

Schiffstaucher mussten nicht nur handwerkliche Kenntnis besitzen, sondern neben guter körperlicher Fitness und Schwimm- und Tauchfähigkeiten auch unerschrocken sein. Noch im 17. Jahrhundert waren die Weltmeere ein völlig unerforschter Raum, und in den Augen der unaufgeklärten Menschen voller Gefahren und todbringender Fabelwesen und Kreaturen.⁴⁸¹ Noch bis in das 18. Jahrhundert herrschte tiefverwurzelte „Angst und Abscheu“⁴⁸² vor dem Meer und den dort lebenden Kreaturen. Das Meer⁴⁸³ galt als „ein verfluchtes Reich der Finsternis, in dem die verdammten Kreaturen sich untereinander verschlingen“⁴⁸⁴ und das „Reich des Satans und der Höllenmächte“⁴⁸⁵. Die Meerestiefen wurden gleichgesetzt mit der Unterwelt, zu einem lebensfeindlichen Bereich und der Totenwelt und Hölle im theologischen Sinne. Damit vereinte dieser Raum alle negativen Eigenschaften in sich.

Von spanischen Schiffstauchern wird berichtet, dass sie Reliquien und Amulette in das Meer warfen, und Gebete aufsagten, bevor sie hinabstiegen.⁴⁸⁶ Die Benennung von Schiffen nach Heiligen, wie beispielsweise die *Santa Maria* von Christoph Kolumbus war ein weiterer Ausdruck der Suche nach einem höheren Schutz auf See. Teilweise wurden Schutzheilige auf der Passagierliste aufgeführt, um sicherzustellen, dass sie ihren Anteil nach der Fahrt erhielten.⁴⁸⁷

⁴⁷⁸ Eigene Übersetzung vom Originaltext „El buzo es de mucha importancia en una nao, pues mediante su resuello va abajo y recorre por debajo del agua todo el galeón y busca por donde la haze, con que se repara la que suele hazer, y muchos navíos se salvan, que, si no se llevasen buzo, se quedarían en la mar“ in Cano, *Diálogo*, 35-36.

⁴⁷⁹ Armada Espanola, *Ordenanzas del Buen Gobierno de la Armada del Mar Océano*, Barcelona 1633.

⁴⁸⁰ Espanola, *Ordenanzas*, 47.

⁴⁸¹ Siehe Sunnfried Streicher, *Fabelwesen des Meeres*, Rostock 1985.

⁴⁸² Alain Corbin, *Meereslust: Das Abendland und die Entdeckung der Küste 1750-1840*, [franz. EA Paris 1988], Berlin 1990, 13.

⁴⁸³ Kraus und Winkler forderten 2014, aus dem Kollektivsingular einen Plural zu machen, siehe Kraus / Winkler, *Weltmeere. Für eine Pluralisierung*, 13.

⁴⁸⁴ Corbin, *Meereslust*, 19.

⁴⁸⁵ Corbin, *Meereslust*, 20.

⁴⁸⁶ Pérez-Mallaina, *Spain's Men of the Sea*, 238.

⁴⁸⁷ Pérez-Mallaina, *Spain's Men of the Sea*, 100, 238.

Die dunkle Meereswelt regte die Phantasie der Menschen an. Schon in der Antike, aber besonders seit dem 16. Jahrhundert erlangten maritime Fabelwesen oder „Meerwunder“ durch ihre Darstellung in Büchern einen großen Bekanntheitsgrad.⁴⁸⁸ Der Kosmograph Sebastian Münster (1488-1552) stellte 1544 in seinem Werk *Cosmographia* einen ganzen Katalog von angeblichen Seemonstern zusammen, die Seeleute bedrohen.⁴⁸⁹ Der Schweizer Arzt und Naturforscher Conrad Gessner (1516-1565), dessen Enzyklopädie als entscheidender Beitrag zur neuzeitlichen Naturkunde gilt,⁴⁹⁰ widmete viele seiner Werke dem Leben im Meer, wobei er seine Informationen sowohl aus Büchern wie die des Aristoteles als auch durch Korrespondenz mit Gelehrten und eigener Erfahrung bezog. Im vierten Band seines Werkes *Historia Animalium* (1558) beschäftigte sich Gessner mit den Lebewesen unter Wasser.⁴⁹¹ Gessners Arbeit ist bereits einer wissensorientierter Naturerfassung verbunden, enthält aber neben einer großen Anzahl naturgetreu abgebildeter Fische aus Binnengewässern auch eine Vielzahl von Fabelwesen, die in den Weltmeeren leben sollen und den Menschen bedrohen.

Der schwedische Kartograf und Bischof von Uppsala Olaus Magnus (1490-1557) äußerte 1555 in seinem Buch über die Wunder des Nordens ähnlich. Er berichtete von Raubfischen und Seemonstern, die nur darauf warteten, Menschen anzufallen und zu töten: „So entsteht ein erbitterter Kampf unter Wasser. Denn diese Kreaturen greifen ihre Leisten, Fersen und alle weißen Teile ihres Körpers an“⁴⁹².

Interessant ist dabei der Hinweis auf die hellen Körperstellen, die die Tiere angeblich zum Angriff reizen würden. Bereits in der Antike färbten sich die Apnoetaucher Griechenlands die Hand- und Fußflächen mit schwarzem Ruß, da sie der irrigen Ansicht waren, diese hellen Flächen würden Haie und andere Raubtiere anlocken.⁴⁹³ Die Konquistadoren nahmen als Grund, weshalb die Sklaventaucher nicht von Haien angefallen wurden, deren dunkle Hautfarbe an.

Der niederländische Diplomat Nicolaas Corneliszoon Witsen (1641-1717), der 1671 eines der ersten Schiffbaubücher mit wissenschaftlichem Anspruch schrieb, erläuterte darin eine

⁴⁸⁸ Siehe Zacharias Heyns, *Het dracht-toneel van de gantsche Wereld*, Amsterdam 1601.

⁴⁸⁹ Sebastian Münster *Cosmographia*. Beschreibung aller Lender durch Sebastianum Munsterum, in welcher begriffen Aller vöcker, Herrschafften, Stetten und namhafftiger flecken, herkommen: Sitten, gebreüch, ordnung, glauben, secten vnd hantierung, durch die gantze welt, vnd fürnemlich Teutscher nation, Basel 1544, 471.

⁴⁹⁰ Angela Fischel, *Natur im Bild. Zeichnung und Naturerkenntnis bei Conrad Gessner und Ulisse Aldrovandi*, Berlin 2009, 37.

⁴⁹¹ Conrad Gessner, *Historia Animalium*, Libri IIII, Zürich 1558.

⁴⁹² Eigene Übersetzung vom Originaltext „Ita sub aquis cum cis atrox oritur dimicatio. Inguina enim hominum & calces, omnemóp candorem corporum hae beluæ appetunt“ in Olaus Magnus, *Historia de gentibus septentrionalibus*, Rom 1555, 765.

⁴⁹³ Frost, *Scyllias*, 183.

Reihe von wichtigen Einsatzzwecke für Taucher. Dabei merkt er auch an, dass die Sklaventaucher und die Indigenen - für ihn und seine Zeitgenossen offenbar überraschend - kaum Angriffen von gefährlichen Unterwasserkreaturen ausgesetzt sind. Als Grund wird dabei nicht die fehlende Bedrohung, sondern die dunkle Hautfarbe der Sklaventaucher und Indigenen angenommen. Dieses vermeintliche Erfolgsrezept wurde von europäischen Tauchern nachgeahmt: „They painted their hands and feet grey in order to be less conspicuous to the cruel sea monsters that eat people“⁴⁹⁴.

Dieses Vorgehen, alle hellen Körperstellen dunkel zu bemalen, um keine Raubfische anzulocken, stand im krassen Gegensatz zu den Gepflogenheiten der asiatischen Perlentaucher, die sich zum Schutz weiße Kleider anlegen. Es erübrigt sich anzumerken, dass die Körper- oder Kleiderfarbe keinen Angriff auslösenden Reiz für einen Hai darstellt.⁴⁹⁵ Die Entwicklung des Tauchens, und die damit einhergehende Erforschung der Unterwasserwelt in der Frühen Neuzeit, kann - nicht nur in Beziehung auf vermeintliche Seemonster - auch als ein Sieg über den Aberglauben, und ein Symbol für den Aufbruch des Zeitalters der Aufklärung gesehen werden.

Der zunehmende Bedarf an Taucher erreichte nicht nur die spanische Atlantik-Flotte, sondern auch die spanischen Küstenregionen in der Neuen Welt. Deshalb wurde bereits früh mit der Ausbildung von Nachwuchs begonnen. 1616 kam eine spezielle Expertenkommission in Lima unter dem Vorsitz des Vizekönigs von Peru Francisco de Borja y Aragón (1581-1658, reg. 1615-1621), die sich mit dem Bau und der Ausrüstung verschiedener Einheiten für die spanische Südsee-Flotte befasste, zu dem Schluss, zwei Taucher mit dem Gehalt von je 40 Pesos für die Ausbildung von Schiffstaucher zu unterhalten.⁴⁹⁶ Dies scheint weltweit die erste, organisierte Ausbildung für Berufstaucher gewesen zu sein.

Auch auf portugiesischen Schiffen reisten Taucher um die Welt. Der portugiesische Seefahrer und spätere Vizekönig von Portugiesisch-Indien, Joao de Castro (1500-1548, reg. 1574-1548) nahm Berichte über Reisen in seine *Roteiros* genannten Logbücher auf, und illustrierte Leitfäden zur Navigation und zum sicheren Ankern, die auf seinen Reisen von Lissabon nach Goa in Indien (1538), von Goa nach Diu (1538-39) und von Goa nach Suez (1541) durch das Rote Meer basierten. Wie er darin berichtet, sandte er im Roten Meer Taucher, die sich an Bord befand, in die Tiefe, um rote Edelkorallen (*Corallium rubrum*) zu sammeln.

⁴⁹⁴ Nicolaas Corneliszoon Witsen, *Aeloude en Hedendaegsche Scheeps-bouw en Bestier*, Amsterdam 1671, 287.

⁴⁹⁵ Siehe David G. E. Caldicott / Ravi Mahajani / Marie Kuhn, *The anatomy of a shark attack: a case report and review of the literature*, in: *Injury* 32 (2001) 445-453.

⁴⁹⁶ *Acuerdo de la Junta celebrada en Lima el 16 de febrero de 1616*, AGI, Lima, 37.

Er vermutet, dass das Meer hier durch sie seine Farbe erhielt: „Die Art und Weise, wie ich zu diesem Geheimnis gelangte, bestand darin, dass ich oft oben auf den Sandbänken auftauchte, wo mir das Meer rot erschien, und Taucher schickte, um mir die Steine zu bringen, die auf dem Grund lagen“⁴⁹⁷. Die Roten Korallen sind allerdings nur einer von mehreren biologischen und umweltbedingten Faktoren, die zusammen erklären, warum die Menschen dieses Meer seit langem nach der Färbung des Wassers benannt haben.

Schon früh schlossen sich spanische Handelsschiffe, die nach Amerika segelten, in Konvois zusammen. Zu ihrem Schutz wurden sie von bewaffneten Galeonen begleitet. So entstand das System der Flota de Indias. Am 16. Juli 1561 ordnete Philipp II. (1527-1598, reg. 1556-1598) an, dass zwei Flotten pro Jahr zu den Kolonien aufbrechen sollten. Schiffe auf der Amerikaroute durften nur von Sevilla (später von Cádiz) aus und nur im Flottenverband fahren.⁴⁹⁸ Die Route, der die Flotten folgten, war aufgrund der vorherrschenden Strömungen und Winde im Golf von Mexiko vorbestimmt.

Es gab zwei Fahrtzeitpunkte und Strecken für den Hinweg: Die Neu-Spanien-Flotte (Flota de Nueva España) fuhr im März oder April und lief die wichtigsten Inseln in der Karibik und Veracruz in Mexiko an, während die Festland-Flotte (Flota de Tierra-Firme) im August oder September aufbrach und in Cartagena (Kolumbien) und in Nombre de Dios (Panama), seit 1593 auch in Portobelo östlich des Anfangs des Panamakanals an der Karibik-Küste, Station machte.⁴⁹⁹ Beide Flotten trafen sich dann, beladen mit Beute aus der Neuen Welt, in Havanna, bevor sie die gemeinsame Reise zurück nach Spanien antraten.⁵⁰⁰ Die Flotten verließen die Karibik stets mit dem Floridastrom durch die schmale Meerenge zwischen Florida und Kuba. Dies ist für die Galeonen aufgrund vieler Riffe, Sandbänke und schwieriger Wetterverhältnisse allerdings ein gefährliches Gebiet.

Die Koordination so vieler Schiffe führte oft zu Verzögerungen, so dass die Flotte nicht selten erst verspätet in der Karibik abfahren konnte. Es war bekannt, dass die Gefahr von Hurrikanen mit der Verspätung zunahm. Oktober und November gilt als Höhepunkt der Hurrikansaison in der Karibik. Folglich war Schiffbruch aufgrund von Stürmen in der Karibik

⁴⁹⁷ Eigene Übersetzung vom Originaltext „O modo que tiue pera alcançar este segredo foi, surgir muitas vezes em cima das restingas, onde me o mar parecia vermelho, e mandar mergulhadores, que me trouxessem as pedras, que jaziam no fundo“ in Joao de Castro, Roteiro em que se contem a viagem que fizeram os Portuguezes no anno de 1541: Partindo da nobre cidade de Goa atee Soez, que he no fim, e stremidade do mar Roxo, com o sitio, e pintura de todo o syno Arabico, Paris 1833, 260.

⁴⁹⁸ Carlo M. Cipolla, Die Odyssee des spanischen Silbers. Conquistadores, Piraten, Kaufleute, Berlin 1998, 30.

⁴⁹⁹ Cipolla, Die Odyssee, 39.

⁵⁰⁰ John Grissim, The lost treasure of the Concepcion: The story of one of the world's greatest treasure finds and Burt Webber, the man who never gave up, New York 1980, 19-20.

keine Seltenheit. Eine Analyse von 11.000 Abfahrten ergab, dass 16,7 Prozent der Schiffe wetterbedingt verloren gingen, das sind 1.837 Schiffe.⁵⁰¹

Der große Umfang des Seeverkehrs mit Amerika während des 16. und 17. Jahrhunderts und der ständige Verlust von Schiffen, der hauptsächlich auf die rauen Wetterbedingungen im karibischen Raum und die schwierigen Zugangsbedingungen zum Hafen von Sevilla zurückzuführen ist, machen die Karibik und den Golf von Cádiz zu den beiden geografischen Gebieten mit den meisten Schiffsuntergängen der spanischen Marine.⁵⁰²

In einigen Fällen wurden aber auch Schiffe absichtlich von ihrer Besatzung versenkt, und ein Unglück nur vorgetäuscht. Die wertvolle Ladung hatte man zuvor unter sich aufgeteilt. Ein Beispiel dafür ist der vorsätzlich herbeigeführte Untergang der *Jesús María de la Limpia Concepción*, die im Oktober 1654 nachts und bei gutem Wetter vor Chanduy (Ecuador) sank. Mehrere der Täter wurden zum Tode und viele andere zu hohen Gefängnisstrafen verurteilt.⁵⁰³

Nach einem Schiffbruch versuchten die Überlebenden zunächst selbst, soviel wie möglich der Ladung zu bergen und an Land zu bringen. Ragten noch Schiffsteile aus dem Wasser heraus, wurden sie abgebrannt, um besser die Laderäume zu erreichen. Dies war aber ein gefährliches Unterfangen, weil durch den Rauch oft Freibeuter und kriegerische Indigene angelockt wurden. Viele indigene Stämme an Floridas Küsten hatten sich auf ein Eingreifen in solche Bergungsaktionen spezialisiert.⁵⁰⁴

Stieß die Mannschaft der verunglückten Schiffe an die Grenzen der Machbarkeit, wurde versucht, vom nächsten Hafen eine besser ausgerüstete Bergungsexpedition zu senden. Schnelligkeit war von entscheidender Bedeutung, da es wichtig war, das Wrack zu lokalisieren, bevor es auseinanderbrach und nicht mehr auffindbar wurde.

Ein Beispiel für die oft gebotene Eile ist die Bergung der Wracks bei Padre Island.⁵⁰⁵ Am 9. April 1554 strandeten nach einem Sturm die drei spanischen Frachtschiffe *San Esteban*, *Santa Maria de Yciar* und *Espiritu Santo* an der Küste von Padre Island, einer langgezogenen, schmale Sanddünen-Insel vor der Küste von Texas. Sie waren Teil einer spanischen Flotte, die auf dem Weg von Veracruz/Mexiko nach Havanna auf Kuba unterwegs war. Von dort sollten sie mit

⁵⁰¹ Ervan G. Garrison, A Diachronic Study of Some Historical and Natural Factors Linked to Shipwreck Patterns in the Northern Gulf of Mexico, in: Lawrence E. Babits / Hans van Tilburg (Hg.), *Maritime Archaeology: A Reader of Substantive and Theoretical Contributions*, New York 1998, 303-316, 310.

⁵⁰² Serrano Mangas, *Naufragios*, 11.

⁵⁰³ Rodríguez / Ivars, *Historia del buceo*, 164.

⁵⁰⁴ Bruce G. Trigger / Wilcomb E. Washburn (Hg.), *The Cambridge History of the Native Peoples of the Americas*, Volume I, North America, Part 1, Cambridge 1996, 336.

⁵⁰⁵ Siehe J. Barto Arnold / Robert Weddle, *The Nautical Archeology of Padre Island: The Spanish Shipwrecks of 1554*, Cambridge 1978.

ihrer wertvollen Fracht aus der neu eröffneten Silbermine in Mexiko die Überfahrt nach Spanien antreten.

Da die drei Schiffe stark beschädigt waren und eine Weiterreise nicht möglich war, machten sich die etwa 300 Besatzungsmitglieder und Passagiere auf den Fußweg entlang der Küste zurück zur nächsten spanischen Siedlung bei Tampico. Durch Hunger, Durst und Angriffe von Indigenen starben mehr als 250 von ihnen, bevor das Ziel erreicht wurde. In Veracruz wurde eine Bergungsexpedition unter der Leitung der Schiffskapitäne Ángel de Villafañe (1504-?) und García de Escalante Alvarado ausgesandt, die die drei Wracks am 22. Juli 1554 erreichte.

Die Expeditionsmannschaft bestand aus 102 Personen, von denen 11 Taucher waren.⁵⁰⁶ Die Taucher stammten nicht aus der Gruppe der Sklaven oder Indigenen, sondern waren Spanier.⁵⁰⁷ Den Berichten der Überlebenden hatte man entnehmen können, dass die Schiffe nicht auf offener See gesunken waren und damit in tiefem Gewässer lagen, sondern in flacherem Gebiet direkt an der Küste. Deshalb ist die Bergungsexpedition, ohne lange Zeit zu verlieren, mit eigenen Tauchern losgezogen, anstatt auf die Ankunft von spezialisierten indigenen Perlentauchern von der weit entfernten Isla Margarita zu warten, die tiefer und länger hätten tauchen können.

Da nur noch das Wrack der *San Esteban* aus dem Wasser ragte, mussten die beiden anderen Schiffe, wie damals üblich, mit Schleppleinern und -anker gesucht werden. Sie waren inzwischen auseinandergebrochen, und Teile der Ladung waren auf dem Meeresgrund verstreut und mit Sand bedeckt. Die Wracks lagen nur in etwa 6 Meter Tiefe. Die Bergung der Ladung der Wracks von Padre Island war deshalb für geübte spanische Taucher in diesen warmen Gewässern durchaus möglich.

Die Taucher hatten die Aufgabe, in den Laderaum zu tauchen und an den Kisten Haken zu befestigen. Über eine Seilwinde auf einem Kranausleger wurden die Kisten dann an Bord des Bergungsschiffes gehoben. Waren die Kisten verklemmt und konnten nicht geborgen werden, brachen die Taucher die Deckel auf und entnahmen die Barren und Münzsäcke einzeln.

Nachdem die Taucher alle erreichbaren Kisten geborgen oder geleert hatten, und die nähere Umgebung der Wracks intensiv abgesucht hatten, mussten sie vor einem Notar und einem Priester den Schwur leisten, alles in ihrer Macht getan zu haben, eine Fortführung der Suche sinnlos wäre, und sie keinen Fund unterschlagen hatten. Dies war das formale Ende der Bergungsarbeiten, und die Expedition machte sich wieder auf den Weg zurück nach Veracruz.

⁵⁰⁶ Arnold / Weddle, Padre Island, 139.

⁵⁰⁷ Arnold / Weddle, Padre Island, 141.

Zuvor wurde die geborgene Ladung gewogen: Sie umfasste etwa 13 Tonnen Silber und 22.000 Pesos, und damit weniger als die Hälfte der ursprünglichen Ladung der drei Schiffe.⁵⁰⁸ Der Rest musste bei dieser überhasteten Bergungsaktion zurückgelassen werden – oder wurde unterschlagen.

Neben spanischen Tauchern wurden auch immer wieder Sklaventaucher bei Bergungsaktionen eingesetzt. Versklavte Bergungstaucher arbeiteten oft mit ihren Sklavenhaltern zusammen, um Schiffswracks zu bergen, so dass sie durch ihre Fähigkeiten ein Leben in privilegierterer Stellung als andere Sklaven führen konnten.⁵⁰⁹ Da die Sklavenhalter wussten, dass eine harte Behandlung das Tauchen beeinträchtigen könnte, und gute Taucher schwer ersetzt werden konnten, pflegten die Bergungsunternehmer eine wechselseitige Beziehungen zu den Sklaventauchern. Sie waren gut ernährt und wurden in mehrfacher Hinsicht wie freie, lohnabhängige Männer behandelt.⁵¹⁰

Die meisten der etwa 500 Sklaventaucher⁵¹¹ der Karibik waren in den großen Häfen angesiedelt. Sie wurden oft für einzelne Bergungsaufträge vermietet und erhielten einen Anteil an den geborgenen Gütern, so dass viele ihre Freiheit und die ihrer Familienmitglieder erkaufen konnten.⁵¹² Einige ehemalige Sklaventaucher wurden später selber Schiffskapitäne und Berger.⁵¹³

Der irische Mediziner und Botaniker Hans Sloane (1660-1753) und spätere Präsident der Royal Society of London lebte 1687 bis 1689 als Arzt auf Jamaika und berichtete über ihren besonderen Wert: „Divers, who are us'd to Pearl-fishing, &c. and can stay under Water some Minutes, bought or hir'd at great Rates“⁵¹⁴. Sloane war dort Arzt des Gouverneurs Christopher Monck, zweiter Duke of Albemarle (1653-1688). Das Hauptinteresse beider bestand darin, durch die Bergung von spanischen Galeonen zu Reichtum zu gelangen.⁵¹⁵ Sloane sammelte ab 1687 auch eine große Menge Fauna und Flora aus dem Meer, die bei seinem Tod 1753 etwa 6.000 Muscheln, 1.500 Korallen und 1.500 getrocknete Fische umfassten. Vieles davon diente als Vorlage für wissenschaftliche Beschreibungen.⁵¹⁶

⁵⁰⁸ Arnold / Weddle, Padre Island, 145.

⁵⁰⁹ Kevin Dawson, History Below the Waterline: Enslaved Salvage Divers Harvesting Seaports' Hinter-Seas in the Early Modern Atlantic, in: International Review of Social History IRSH 64 (2019) 43-70.

⁵¹⁰ Dawson, Undercurrents of Power, 86.

⁵¹¹ Dawson, History Below the Waterline, 46.

⁵¹² Dawson, Undercurrents of Power, 86.

⁵¹³ Dawson, Undercurrents of Power, 87.

⁵¹⁴ Hans Sloane, A voyage to the islands Madera, Barbados, Nieves, S. Christophers and Jamaica, Vol 1, London 1707, lxxx-lxxxii.

⁵¹⁵ James Delbourgo, Divers Things: Collecting the World Underwater, in: History of Science 49 (2011) 149-185, 149.

⁵¹⁶ Delbourgo, Divers Things, 153

Es scheint, dass es einen Brauch gab, den Sklaventaucher, der als erster das Wrack oder die wertvolle Ladung fand, die Freiheit oder auch eine zusätzliche Belohnung zu gewähren. Francisco Nunez Melian handelte 1626 auf diese Weise⁵¹⁷ und auch Pedro Vázquez de Velasco (1657-1714) versprach dem Ersten, der 1654 vor Chanduy (Ecuador) auf die Silberbarren eines gesunkenen spanischen Schiffes stieß, die Freiheit.⁵¹⁸ Einer Anweisung von 1659 kann man entnehmen, dass versklavte Taucher als besondere Motivation für jeden Silberbarren, den sie bargen, zwei Pesos erhielten.⁵¹⁹ Zwei maurische Sklaven, die 1657 als Taucher bei der Bergung von Silber von zwei in Cadaqués (Gerona) gesunkenen Schiffen mitarbeiteten, sollen neben ihrer Freiheit als Belohnung so viele Silbermünzen bekommen haben, wie sie in Händen und Mund tragen konnten.⁵²⁰

Die frühen Bergungstaucher waren recht effizient. In Fällen, in denen sich das Wrack in einer Tiefe von weniger als 15 Metern befand, konnten Taucher bis zu 90 % der Fracht bergen.⁵²¹ Es wird geschätzt, dass allein Spanien zwischen dem 16. und 19. Jahrhundert Fracht im Wert von mehr als 500 Millionen Pesos durch den Einsatz von Bergungstauchern geborgen hat.⁵²²

Den spanischen Apnoetauchern waren bei schwierigen Aufgaben technische Grenzen gesetzt. Lag das Wrack zu tief oder war der Laderaum nicht zugänglich, konnten sie nicht tätig werden. Deshalb entwickelte sich in einigen größeren Karibikhäfen wie Veracruz (Mexiko), Havanna (Kuba), Santo Domingo (Dominikanische Republik), und San Juan (Puerto Rico) ein weiteres neues Gewerbe: Die professionellen, technisierten Bergungstaucher. War die Bergung gesunkener Ladungen in den ersten Wochen nicht möglich, wurden sie mit der organisierten Bergung beauftragt. Diese Herausbildung einer rudimentären Bergungsindustrie verlief in Portugal bis 1580, als es an die spanischen Habsburger fiel, sehr ähnlich wie in Spanien.⁵²³

Im Gegensatz zu den Apnoetauchern war diese Gruppe technisch besser ausgestattet und besaß einen gewissen, wenn auch begrenzten Einfallsreichtum. Sie verwendeten bekannte

⁵¹⁷ Eugene Lyon, The trouble with treasure, in: National Geographic 149 (1976)787-809, 787.

⁵¹⁸ Don Pedro Vázquez de Velasco a S.M. Chanduy, 12 de febrero de 1655, AGI, Indiferente, 2574 , ramo 1.

⁵¹⁹ AGI, Indiferente, General, Leg 2574-A.

⁵²⁰ Rodríguez / Ivars, Historia del buceo, 287.

⁵²¹ Keith Muckelroy, Archaeology Under Water: an Atlas of the World's Submerged Sites, London 1980, 112-113.

⁵²² Roger C. Smith, Treasure Ships in the Spanish Main: The Iberian-American Maritime Empires, in: George F. Bass (Hg.), Ships and Shipwrecks of the Americas: a History Based on Underwater Archaeology, London 1988, 85-106, 95.

⁵²³ João Pedro Vaz, Pesca de naufrágios. As recuperações marítimas e subaquáticas na época da expansão, Lissabon 2005, 69-128.

Techniken wie die Taucherglocke und lange mechanische Greifer. Technische Neuerungen gingen aus ihrem Kreis nicht hervor.⁵²⁴

Diese Bergungstaucher schlossen „Asientos“ genannte Vereinbarungen über die Bergung verlorener Ladungen oder Schiffe mit der spanischen Krone ab. Der Vertragnehmer musste für das notwendige Personal, Werkzeug und Gerät sorgen. In der Regel war der Asiento zeitlich begrenzt, zumeist auf zehn Jahre. Das Abkommen war gleichbedeutend mit einer Konzession oder einem Privileg.⁵²⁵

Der Vertragnehmer musste einen bestimmten Prozentsatz der geborgenen Ladung an die Krone abgeben. Dieser Prozentsatz variierte je nach dem Wert der Waren und dem Schwierigkeitsgrad der Bergungsarbeit. Im Laufe der Jahre nahm der Bedarf der spanischen Krone an Geld stark zu, was dazu führte, dass der den Vertragnehmern gewährte Prozentsatz als Anreiz für deren verstärkte Bemühungen erhöht wurde. Die Prozentsätze, die in den ersten Jahren des 17. Jahrhunderts dem König und den Vertragnehmern entsprachen, kehrten sich in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts um. Der Historiker Fernando Serrano Mangas hat die Entwicklung der Prozentsätze im Laufe des 17. Jahrhunderts untersucht, und es ist deutlich erkennbar, wie sich der Anteil der Krone bei den Bergungen immer mehr verringert. Serrano Mangas führt zwischen 1604 und 1690 insgesamt 15 Bergungsverträge zwischen der spanischen Krone und Privatpersonen auf, bei der der Prozentsatz von anfänglich 33,33% in 1604 kontinuierlich auf 70% für den Berger in 1690 steigt.⁵²⁶ Private Berger schlossen ab 1620 ähnliche Verträge auch mit der englischen Krone.⁵²⁷

Die Tauchermansschaft an Bord eines Bergungsschiffes konnte aus Sklaven aus Afrika, freien Indigenen und Spanier bestehen. Das Bergungsschiff *La Madama del Brasil* hatte 1656 beispielsweise vierzig indigene Taucher an Bord, die unter den Guaiqueri der Isla Margarita ausgewählt worden waren. Sie wurden als Belohnung für ihre Arbeit mit einem halben Prozent ihres Fundes bezahlt.⁵²⁸ Spezielle Aufseher wachten darüber, dass die Taucher kein geborgenes Gut unterschlugen. Trotzdem kam dies immer wieder vor, weil auch Aufseher mit den Tauchern gemeinsame Sache machten.⁵²⁹

In manchen Fällen wurden indigene Taucher auch mit Naturalien bezahlt. Der Gouverneur von Havanna erhielt 1698 die Hilfe der indigenen Bevölkerung von Cayo Largo und Cayo del

⁵²⁴ Serrano Mangas, *Nafragios*, 75.

⁵²⁵ Serrano Mangas, *Nafragios*, 78.

⁵²⁶ Serrano Mangas, *Nafragios*, 101.

⁵²⁷ Siehe Alan Roddie, *Jacob the Diver*, in: *The Mariner's Mirror* 62 (1976) 253-269.

⁵²⁸ AGI, *Indiferente, General, Leg. 2574-B*, (1657-1663).

⁵²⁹ Rodríguez / Ivars, *Historia del buceo*, 288.

Marqués, um die *Almiranta de Galeones* zu betachen, im Austausch gegen Schnaps im Wert von 2.660 Pesos, Tabak und weiteren Tauschwaren.⁵³⁰

Die Nachricht von Untergängen wertvoller Galeonen führte zur schnellen Entsendung von Bergungsexpeditionen.⁵³¹ Auch von Europa aus wurden immer wieder Schiffe entsandt, und dabei wurde in einem Fall ein spektakulärer Erfolg erzielt. Ein besonders prägnantes Beispiel mit großer Auswirkung ist die Expedition des englischen Abenteurers und Schiffbauers William Phips (1651-1695). Er führte die profitabelste maritime Bergungsoperation des 17. Jahrhunderts durch.⁵³²

1687 fand William Phips unter der Schirmherrschaft von Christopher Monck und einer Gruppe von englischen Investoren das Wrack der vierzig Jahre zuvor bei Hispaniola unweit von Puerto Plata gesunkenen spanischen Galeone *Nuestra Señora de la Concepcion*. Mehrere spanische und englische Bergungsexpeditionen hatten in den Jahren zuvor erfolglos nach ihr gesucht.⁵³³

Einem zeitgenössischen Bericht zufolge hatte Phips vier indigene Apnoetaucher an Bord. Eine Taucherglocke, die nach dem bereits von Aristoteles geschilderten Verfahren als Luftreservoir dienen sollte, konnte aufgrund starker Brandung nicht eingesetzt werden: „Besides, they could not make use of their Engine, being a hollow Vessel evenly deprest almost to the bottom, retains the Air without filling with Water, whereby the Party diving, when almost spent his Breath, puts his head under the Vessel which replenishes him with Breath again“⁵³⁴.

In sechswöchiger Arbeit gelang es Phips und seinen Tauchern, Silber und Edelsteinen im Gesamtwert von etwa 210.000 Pfund Sterling aus dem Wrack zu bergen, was eine sehr große Summe war.⁵³⁵

Die Reaktionen der Öffentlichkeit waren nach Phips Ankunft in London im April 1687 entsprechend. Dies war die erste erfolgreiche Schatztaucher-Expedition, die die Aufmerksamkeit der breiten Öffentlichkeit erregte, und wurde bis ins 20. Jahrhundert hinein im gefundenen Wert nicht übertroffen.⁵³⁶ Wie an späterer Stelle gezeigt wird, hatte Phips Erfolg

⁵³⁰ Gastos hechos por don Antonio Rodríguez Cortés en el buceo de la Almiranta que se perdió en la playa de Sibarima. AGI, Indiferente, 2625.

⁵³¹ Ratcliffe, Bells, Barrels and Bullion, 42.

⁵³² Nigel Phillips, William Phips, treasure diver, in: The International Journal of Diving History 1 (2005) 28-36.

⁵³³ Phillips, William Phips, 29.

⁵³⁴ Anonymus, An Exact and Perfect Relation of the Arrival of the Ship the James and Mary Captain Phipps Commander, London 1687, 2.

⁵³⁵ Peter Earle, Treasure Hunt: Shipwreck, Diving, and the Quest for Treasure in an Age of Heroes, New York 2008, 67.

⁵³⁶ Phillips, Diving and Underwater Technology, 329.

eine große Auswirkung auf die Tauchgeräteentwicklung in England und initiierte dort eine Spekulationsblase.⁵³⁷

3.2 Das Kerzenexperiment in Toledo und seine Folgen

So wie es in 1535 in Italien im Nemisee zu einem bedeutenden Ereignis in Bezug auf die Geschichte des Tauchens gab, ist für 1538 ein ebenso wichtiges Ereignis im spanischen Toledo zu registrieren.

1538 wurde während den „Cortes von Kastilien“ genannten Ständeversammlungen in Toledo, die vom 1. November 1538 bis 1. Februar 1539 dauerte, Karl V. eine Taucherglocke im Fluss Tajo vorgeführt. Der Tajo fließt in einem schluchtartigen Tal durch die Stadt und hat dort eine Breite von etwa 30 Meter und eine Tiefe von unter fünf Metern. So tief wird der Tauchgang vermutlich aber nicht gewesen sein, denn 1538 und 1539 waren in Kastilien Jahre mit großer Dürre und schlechter Ernte, und die Flüsse entsprechend ausgetrocknet.

Der belgische Jurist, Astrologe und Mathematiker Jean Taisnier (ca. 1508-ca. 1562) berichtete 1562 in einem in Köln erschienenen Buch als Augenzeuge von dieser Vorführung, und dass neben Karl V. annähernd 12.000 Menschen zugesehen hätten.⁵³⁸ Die Zahlenangabe stellt sicher ein Topos dar, und der Chronist wollte damit die sehr große Menschenmenge herausstellen, die sich versammelt hat.

Der weitgereiste Taisnier lebte ab 1558 bis zu seinem Tod 1562 in Köln, unterrichtete dort an der Universität und leitete die Musikkapelle des Erzbischofs und Kurfürsten Gebhard von Mansfeld (1558-1562), der gleichzeitig Reichserzkanzler von Italien war. Sein in lateinischer Sprache abgefasstes Buch wurde 1575 von dem englischen Alchimisten Richard Eden (ca. 1520-1576) in Englisch übersetzt und publiziert.⁵³⁹

Taisnier studierte an der Universität Leuven und beschäftigte sich später viel mit Astronomie, Musik und Mathematik. In den 1530er Jahren reiste er zeitweise als Lehrer und Kapellmeister mit dem Hof von Karl V. durch Frankreich, Niederlande, Spanien und Deutschland. Anschließend unterrichtete er Mathematik an verschiedenen italienischen

⁵³⁷ Siehe hierzu Kapitel 5.1.

⁵³⁸ Jean Taisnier, *Opusculum de natura magnetis et eius effectibus item de motu continuo demonstratio proport. motuum localium de motu alio*, Köln 1562 41-45; Ein Bericht über diese Vorführung und ein Demonstrationsexperiment auch bei John White, *A rich cabinet, with Variety of Inventions*, 3. Edition, London 1658, 183-184.

⁵³⁹ Jean Taisnier, *A very necessarie and profitable booke concerning navigation*, Übers. Richard Eden, London 1575.

Universitäten und Akademien, wie in Rom (1546/1547, 1549), Florenz, Venedig, Ferrara (1548), Bologna, Padua und Palermo (ab 1549). In Palermo war er im Dienst des Erzbischofs Pietro Tagliavia von Aragonien (1500-1558), den er beim Konzil von Trient kennengelernt hatte. 1551 kämpfte er in Süditalien als Leiter einer Truppe von deutschen Soldaten gegen die Osmanen. Zwischen 1548 und 1559 veröffentlichte Taisnier mehrere Werke zu mathematischen Themen und stellte gegen Bezahlung astronomische Instrumente wie Kugelringe her.

Taisniers Buch von 1562 enthält einige Kapitel wie etwa über die Wirkung von Magnete und über Kinetik, die offenbar von anderen Autoren übernommen wurden.⁵⁴⁰ Das Kapitel über Navigation und die Nutzung von Meeresströmungen für die Schifffahrt, das auch die Beschreibung der Tauchvorführung in Toledo enthält, scheint hingegen von ihm selbst zu stammen.

Taisnier schildert, dass sich bei dem „*experimenta naturalia*“⁵⁴¹ in Toledo zwei Griechen in einem auf dem Kopf stehenden, großen Kessel („*Cacabo magna*“⁵⁴²), in dessen Innenraum sie auf zwei Bänken saßen, in den Fluss hinabsenken ließen (Abbildung 12). Der Kessel war an seinen Rändern mit Bleigewichten beschwert, damit er möglichst gerade in das Wasser eintauchte. Im Innenraum hatten die Insassen eine brennende Kerze dabei. Sie könnten, so Taisnier, solange in der Tiefe bleiben, bis die Luft im Kessel verbraucht wäre. Als der Kessel nach einer Weile wieder nach oben gezogen wurde, wären die Kleider der Griechen trocken gewesen und die Kerze brannte weiterhin.⁵⁴³ Er versuchte die Funktion einer Taucherglocke dadurch zu erklären, dass die Trockenheit der Luft in der Lage sei, dem Wasser zu widerstehen. Taisnier publizierte damit 1562 die erste Beschreibung der Arbeitsweise einer Taucherglocke – ihr luftgefüllter Hohlraum bleibt erhalten -, auch wenn seine Erklärung der physikalischen Vorgänge falsch war.

⁵⁴⁰ Joannes-Baptista Benedetti, *De gnomonum umbrarumque solarium usu liber*, Ducem Inuictifs, Turin 1574, o. S..

⁵⁴¹ Taisnier, *Opusculum*, 41.

⁵⁴² Taisnier, *Opusculum*, 44.

⁵⁴³ „*remanebit viva ut prius candela*“ in Taisnier, *Opusculum*, 45.

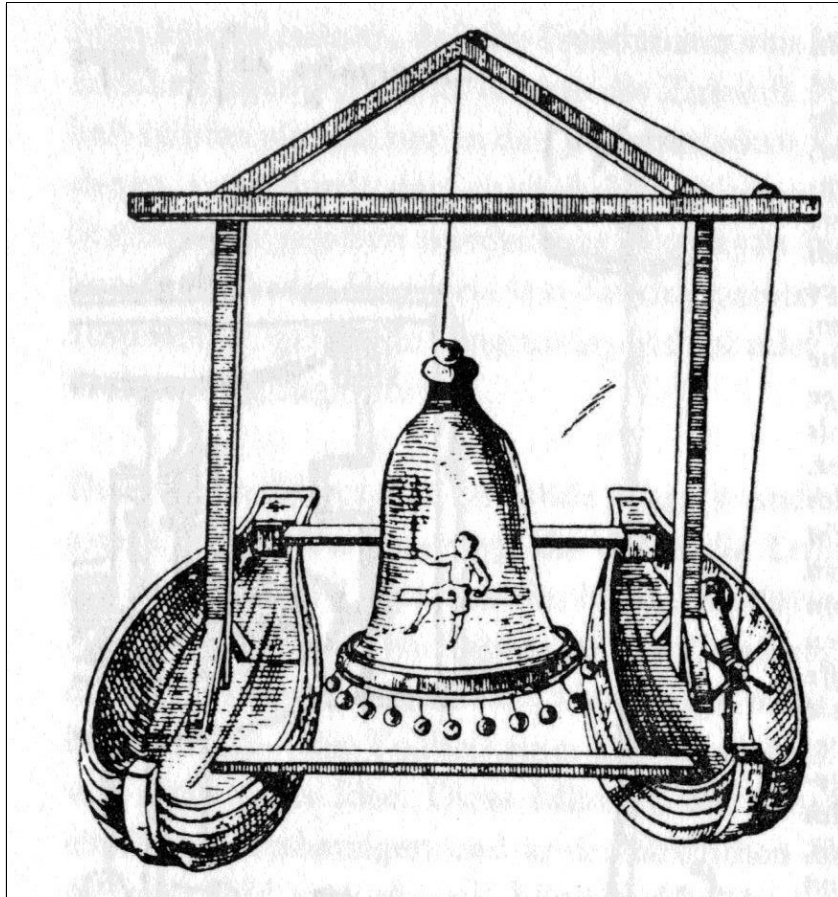


Abbildung 12: Rekonstruktion des Kerzenexperiments mit einer hölzernen Taucherglocke in Toledo (1538). Der Taucher hält eine Kerze mit brennender Flamme in der rechten Hand. Quelle: Christoph Sturm, Collegium Experimentale Sive Curiosum Pars 2, Nürnberg 1685, 4.

In seinem Buch beschrieb Taisnier ebenfalls, wie man das Experiment jederzeit mit einer brennenden Kerze und einem umgedrehten Glasgefäß in einem Aquarium selbst wiederholen kann.⁵⁴⁴ Anschließend fordert Taisnier seine Leser auf, sich nicht durch Vorurteile davon abhalten zu lassen, die Natur zu erforschen, sondern selbst Experimente durchzuführen: „Und das sind natürliche und mathematische Beweise. Der Leser soll also unsere Aussprüche nicht eher auslachen, als dass er durch Erfahrung lernt, dass sie so geschehen können. Schon hat aufgehört ein Wunder zu sein, was durch einen einleuchtenden Beweis als natürlich gezeigt werden kann. So geschieht es auch in allen anderen Dingen, die das gemeine Volk für unmöglich hält“⁵⁴⁵. Diese Aussagen zum experimentellen Denken im 16. Jahrhundert lassen

⁵⁴⁴ Taisnier, *Opusculum*, 44-45.

⁵⁴⁵ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Et haec sunt naturales & Mathematicae demonstrationes. Lector igitur nostra dicta non prius rideat, quam experientia sic posse fieri, discat. Iam desijt esse miraculum, quod euidenti demonstratione, naturale ostenditur. Sic fit in omnibus aliis, quae vulgus impossibilia arbitratur“ in Taisnier, *Opusculum*, 45-46.

das 1562 in Köln erschienene Buch nicht nur zu einem relevanten Werk für die Geschichte des Tauchens, sondern auch für die Wissenschaftsgeschichte werden.⁵⁴⁶

Dass die Vorführung gerade durch zwei Griechen erfolgte, verwundert nicht, wenn man in Betracht zieht, dass nach Aristoteles schon in der Antike dort die Schwammtaucher Tauchkessel verwendeten.⁵⁴⁷

Taisniers Schilderung war offenbar so spektakulär, dass sie Eingang in viele technisch-physikalische und lexiographische Darstellungen fand, unter anderem 1664 als wörtliches Zitat bei Caspar Schott.⁵⁴⁸ Schott nennt die Taucherglocke von Toledo „Cacabus aquaticus“⁵⁴⁹. In Johann Heinrich Zedlers *Universal-Lexikon* (1754) wird der Begriff „Cacabus aquaticus“ erläutert als ein Kessel, der „aus einem hölzernen Gehäuse besteht, so um und um mit Blei umleget [...] Wenn sich ein Mensch in diese machine begiebt und sich damit in das Wasser hinunter lassen läßt, so verbleibt er trucken darunter, indem die in der Maschine enthaltene Luft sich nur biß auf einen gewissen grad zusammen drucken läßt. Es kann derselbe auch wohl ein brennend Licht darunter erhalten“⁵⁵⁰.

Das in Toledo von den beiden Griechen gezeigte Kerzenexperiment unter Wasser hat einen gedanklichen Vorläufer in Mariano di Jacopo (genannt Taccola), der um 1433 in seinem Werk *Liber tertius de ingeneis* eine Unterwasserlaterne abbildete, die aus einer kleinen Glocke mit einer innen angebrachten Kerze bestand.⁵⁵¹

Kerzenexperimente - eine brennende Kerze in einer von dem flämischen Universalwissenschaftler Johan Baptista van Helmont (1580-1644) „deep cupping glasse“⁵⁵² genannten Glasglocke unter Wasserabschluss - haben mit verschiedenen Varianten und Zielsetzungen, zumeist im Zusammenhang mit Vakuumexperimenten, eine Geschichte von mehr als 2200 Jahren.⁵⁵³ Im dritten Jahrhundert v. Chr. war Philon von Byzanz vermutlich einer der ersten, der über das Experiment berichtete, bei dem eine Kerze in einem umgekehrten, teilweise in Wasser getauchten Gefäß abgebrannt wurde. Dabei ist zu beobachten, wie

⁵⁴⁶ Siehe zum experimentellen Denken im 16. Jahrhundert, vor allem in Italien, auch William Eamon; *Science and the Secrets of Nature: Books of Secrets in Medieval and Early Modern Culture*, Princeton 1994.

⁵⁴⁷ Siehe hierzu Kapitel 2.1.

⁵⁴⁸ Pinl, Kessler, 24; siehe Dietrich Unverzagt, *Philosophia, Historia, Technica*. Caspar Schotts *Magia universalis*. Dissertation, Fachbereich Kommunikations- und Geschichtswissenschaften, Technische Universität Berlin 2000.

⁵⁴⁹ Caspar Schott, *Technica curiosa*, 393.

⁵⁵⁰ Johann Heinrich Zedler, *Großes vollständiges Universal-Lexikon aller Wissenschaften und Künste*, Fünffter Band, Leipzig 1733, Sp. 24-25.

⁵⁵¹ Di Jacopo (Taccola), *De ingeneis*, fol. 74v.

⁵⁵² Jean Baptiste van Helmont, *Oriatrike or, physick refined*, London 1662, 82; Jean Baptiste van Helmont: *Formarum ortus*, Amsterdam 1648, 84-85.

⁵⁵³ Francisco Vera / Rodrigo Rivera / César Núñez: *Burning a Candle in a Vessel*, in: *Science & Education* 20 (2011) 881-893, 881.

Luftblasen unter dem Rand der Glasglocke ausperlen - dies war ein Effekt der sich durch die Erwärmung ausdehnenden Luft im Gefäß. Nach dem Verlöschen der Kerze steigt das Wasser in dem Glas, weil sich die Luft abkühlt und zusammenzieht. Das Volumen wird durch das Wasser aufgefüllt. Das Wasser steigt nun jedoch höher als zuvor.

Philon beschrieb dieses Kerzenexperiment in seinem Werk *Pneumatica*.⁵⁵⁴ Leonardo da Vinci modifizierte das Experiment, indem er keine Kerze verwandte, sondern die Glasglocke von außen, etwa durch starke Sonnenbestrahlung, erwärmte.⁵⁵⁵

In seinem Werk *Pneumaticorum libri tres* (1601) beschäftigte sich Giovanni Battista della Porta mit Gasexperimenten und der Frage, ob es ein Vakuum geben kann. Della Porta beschreibt unter anderem ein Gerät, das dazu diente, zu messen, um wieviel sich ein konstantes Luftvolumen bei Erwärmen und Abkühlen verändert.⁵⁵⁶ Der Versuchsaufbau bestand aus einer umgedrehten Glasglocke, die in ein Gefäß mit Wasser eingetaucht war. Durch Erhitzen und anschließendes Abkühlen der Luft von außen wurde versucht, den Ausdehnungskoeffizienten des Gases zu bestimmen. Die Versuchsanordnung war die gleiche, wie sie Leonardo da Vinci beschrieb. Das Phänomen der sich ausdehnenden und wieder zusammenziehenden Luft in einem Glasbehälter war auch von Galileo Galilei bei seiner „Thermoscope“ benannten Glasröhre beobachtet worden.⁵⁵⁷ Er verwendete statt Wasser Rotwein, um die Anstieg der Flüssigkeit in dem Glas besser sehen zu können.

Oft wurden bei diesen Versuchen Glasbehälter in Vasenform verwendet, da man in ihnen die Veränderung des Wasserspiegels besser beobachten konnten, als bei nach außen gewölbten Glocken. In einer Vasenform steigt das Wasser anfangs schneller als in einer Glockenform (siehe Abbildung 11 auf S. 88). Eine zweite Variante waren Glasbehälter mit zylindrischem Rohr, in dem die Flüssigkeit linear steigt. In den folgenden Jahrhunderten, und bis in unsere Zeit hinein, ist das Kerzenexperiment ein fester Bestandteil von naturwissenschaftlichen Vorführungen geblieben.⁵⁵⁸

⁵⁵⁴ Heron von Alexandria, Druckwerke und Automatentheater = *Pneumatica et automata* [1. Jhd.]. Griechisch und Deutsch herausgegeben, im Anhang Herons Fragment über Wasseruhren, Philons Druckwerke und Vitruvs Kapitel zur Pneumatik, Hg. Wilhelm Schmidt, Leipzig 1899, 477; siehe Vera / Rivera / Núñez, *Burning a Candle*, 881-893.

⁵⁵⁵ Da Vinci, Codex Leicester, fol. 3v.

⁵⁵⁶ Giovanni Battista della Porta, *Pneumaticorum libri tres*, Neapel 1601, 57.

⁵⁵⁷ Galileo Galilei, *Le opere di Galileo Galilei*, edizione nazionale sotto gli auspicii di sua maesta il re d'Italia Vol. 17, Hg. Antonio Favaro / Isidoro del Lungo / V. Cerruti / G. Govi / G. V. Schiaparelli / Umberto Marchesini, Florenz 1906, 377.

⁵⁵⁸ Siehe beispielsweise Robert Fludd, *Utriusque cosmi maioris scilicet et minoris metaphysica, physica atque technica historia. Tractatus Secundus De Naturae Simia Seu Technica macrocosmi historia*, Oppenheim 1618, 471; Stephen Hales, *Vegetable staticks or: an Account of some Statical Experiments on the Sap in Vegetables*, London

Das Kerzenexperiment war ein leicht durchzuführendes und deshalb oft gezeigtes Experiment, was aber oft missverstanden wurde⁵⁵⁹. Zumeist wurde vermutet, dass die brennende Flamme einen Teil der Luft verbraucht, der dann fehlt und im Volumen durch Wasser ersetzt wird. Das Gasvolumen bleibt (bis auf das ausgeperlte Gasvolumen) jedoch gleich, es erfolgt durch die Verbrennung lediglich eine andere Zusammensetzung.⁵⁶⁰

Das Kerzenexperiment der zwei Griechen in Toledo vor den Cortes, an dem viele Staats- und Kirchenmänner anwesend waren, hatte eine weitreichende Wirkung, und wurde nicht nur bis in das 19. Jahrhundert hinein bei wissenschaftlichen Experimenten im Modell wiederholt⁵⁶¹ sondern häufig auch in der Literatur erwähnt.⁵⁶² Diese große Aufmerksamkeit mag derjenigen geglichen haben, die Otto von Guericke (1602-1686) 1654 erzielte, als er in Regensburg anlässlich eines Reichstags in Anwesenheit von Kaiser Ferdinand III. (1608-1657, reg. 1637-1657) und vieler Fürsten spektakuläre Experimente zur Wirkung des Luftdrucks vorführte.

Offenbar war dieses „Kunststück“⁵⁶³ damals Karl V. und den Teilnehmern der Cortes noch neu. Das Kerzenexperiment in Toledo wurde von den meisten Zuschauern wohl als Gauklerei angesehen. Die Vorführung der beiden Griechen schienen jedoch das Interesse von Karl V. geweckt zu haben, denn am 7. März 1539 unterzeichnete er in Toledo einen königlichen Erlass für ein „Reales Cédulas cuvo beneficiario“ - die spanische Entsprechung für ein Privileg - wonach ein „Nicolao de Rodas“ genannter Grieche für die Dauer von 10 Jahren die ausschließliche Erlaubnis für Tauch- und Bergungsarbeiten in Spanien und im Karibischen Raum erhielt.⁵⁶⁴ Dies scheint das früheste, jemals erteilte Privileg für ein Tauchgerät gewesen zu sein. Antonio Barrera-Osorio⁵⁶⁵ führt drei frühere Privilegien zu Unterwasserarbeiten auf,

1727, 206; Louis Figuier, *Les merveilles de la science, ou Description populaire des inventions modernes*, Tome 4, Paris 1870, 628.

⁵⁵⁹ Francis Bacon, *Sylva sylvarum, or, A natural history in ten centuries*, London 1627, Experiment 889, 191.

⁵⁶⁰ Vera / Rivera / Núñez, *Burning a Candle*, 891.

⁵⁶¹ Siehe Fludd, *Utriusque cosmi maioris*, 471; Otto von Guericke, *Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica De Vacuo Spatio*, Amsterdam 1672, 90; Schott, *Technica curiosa*, 22; Antoine Laurent Lavoisier, *Memoire sur la combustion des chandelles dans l'air atmospherique, et dans l'air eminentment respirable*, Paris 1777, 195.

⁵⁶² Siehe Jacob Leupold, *Theatrum Aerostaticum, Oder: Schau-Platz Der Maschinen Zu Abwiegung und Beobachtung aller vornehmsten Eigenschafften der Luft. Theatrum Machinarum Band 5, Teil 3, Leipzig 1726, Fig. III auf Tab. I; Johann Christoph Sturm, Collegium experimentale, Pars secunda, Nürnberg 1685, 4.*

⁵⁶³ Johann Beckmann, *Beytraege zur Geschichte der Erfindungen*, Band 1, Leipzig 1786, 533.

⁵⁶⁴ AGI, *Indiferente*, 1962, L.6, F.176-179; siehe Diego Téllez Alarcia, *En la periferia de la marina: le buceo y rescate de galeones naufragados en la monarquia de los Austrias*, in: Enrique García Hernán / Davide Maffi (Hg.), *Guerra y Sociedad en La Monarquia Hispanica. Política, estrategia y cultura en la Europa moderna (1500-1700)*, Vol. 1. Madrid 2006, 1043-1054, 1045.

⁵⁶⁵ Antonio Barrera-Osorio, *Experiencing Nature. The Spanish American Empire and the Early Scientific Revolution*, Austin TX 2006, 140.

bei denen es sich aber nicht um Tauchgeräte gehandelt haben dürfte, sondern um Greifer und Instrumente wie Schleppnetze.⁵⁶⁶

Über Nicolao de Rodas ist sehr wenig bekannt. Rhodos ist eine Nachbarinsel von Symi und eines der Zentren der griechischen Schwammtaucher. Vermutlich handelt es sich um einen der beiden Griechen, die das Experiment im Jahr zuvor durchgeführt haben. Ein Nicolao de Rodas wird in einer Liste von 1541 als besonders verdienstvoller Teilnehmer der Mexiko-Expedition 1519-1521 von Hernán Cortés (1485-1547) geführt.⁵⁶⁷ Daneben wird in dieser Liste auch ein Augustinus de Rodas geführt. Ob die beiden Personen identisch mit den beiden Griechen waren, die das öffentliche Experiment in Toledo 1538 durchführten, ließ sich nicht ermitteln. Den insgesamt 87 in der Liste aufgeführten Personen wurden 1543 von der spanischen Krone der Ehrentitel „primeros conquistadores“ zugesprochen. „Die ‚Ersten Eroberer von Neuspanien‘ ... [waren] ... diejenigen, die beim Gewinnen und Zurückerkämpfen von Mexiko-Stadt dabei waren und diejenigen, die als erstes ins Land kamen, als es am Anfang entdeckt und erobert wurde“⁵⁶⁸. Ihnen sowie ihre Familie erhielten neben dem Titel besondere finanzielle Zuwendungen.

Nicolas aus Rhodos soll 1539 in Sevilla gewohnt haben, wo im 16. und 17. Jahrhundert der größte Teil des spanischen Fernhandels abgewickelt wurde. Die Stadt war ein wichtiger Knotenpunkt des internationalen Handelsnetzwerkes. In Sevilla kontrollierte die Casa de Contratación unter anderem sowohl den Handel als auch die Einwanderung in die Neue Welt.⁵⁶⁹

Karl V. beauftragte in seinem Erlass am 7. März 1539 die Casa de Contratación, Nicolao de Rodas die gesamten Taucharbeiten in Fluss Guadalquivir von Sevilla bis Sanlúcar de Barrameda und in den beiden Hafenstädten Puerto de Santa Maria und Cádiz anzuvertrauen, und anschließend über die Erfahrungen zu berichten. Nicolao wird die Hälfte dessen, was er vom Grund birgt zugesprochen, vorausgesetzt, dass seit dem Verlust 60 Tage vergangen sind.⁵⁷⁰

Bei diesen Dokumenten im Archivo General de Indias befinden sich auch zwei königliche Briefe, die sich auf die Tätigkeit von Nicolao de Rodas beziehen: Der erste Brief ist an die

⁵⁶⁶ Juan des Cárdenas (27.08.1520, Instrument für das Fischen von Austern in Cubagua; AGI, Indiferente 420, L. 8, ff. 253v-255r), Juan Fernandez de Castro (20.06.1526, Vorschlag für ein Instrument zur Bergung von Gold aus den Flüssen in Kuba, Hispaniola, San Juan und Jamaika; AGI, Indiferente 421, L. 11, ff. 41r-42r; Indiferente 421, L. 12, ff. 47r-47v) und Luis de Lampinan (10.01.1528, Instrument für das Austernfischen; AGI, Panamá 234, L. 3, f. 56v.

⁵⁶⁷ AGI, Patronato, 56, N.2, R.1.

⁵⁶⁸ Vitus Huber, *Beute und Conquista: Die politische Ökonomie der Eroberung Neuspaniens*, Frankfurt a. M. 2018, 358.

⁵⁶⁹ Siehe Mariano Esteban Piñeiro / María Isabel Vicente Maroto, *La Casa de la Contratación y la Academia Real Matematica*, in: José María López Piñero (Hg.), *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla. Siglos XVI y XVII*, Leon 2002, 35-51.

⁵⁷⁰ AGI, Indiferente, 1962, L.6, F.176-179.

Marineoffiziere von Cádiz gerichtet, um sie über den großen Nutzen von Bojen zu informieren, die Nicolao de Rodas auf der Untiefe „Punta del Diamante“ vor der Hafeneinfahrt für die Sicherheit der Schiffe, die in die Bucht einlaufen, anbringen wollte. Angeordnet wird, dass vorbeifahrende Schiffe dafür eine Zollgebühr zu zahlen haben.⁵⁷¹ Der zweite Brief ist mit der Aufforderung an die Offiziere der Casa de Contratación gerichtet, über die Experimente zu berichten, die im Fluss von Sevilla mit dem von Nicolao de Rodas angebotenen Tauchgerät durchgeführt wurden. Offensichtlich gab es nach der Vorführung im Tajo bei Toledo eine zweite in Sevilla.⁵⁷² Interessant ist die explizite Verwendung des Begriffes „Experimente“ („los experimentos hechos en el río de Sevilla“), aus der abgeleitet werden könnte, dass es keine einfache Vorführungen waren, sondern sie offenbar forschenden Charakter besaßen.

Die Gunst von Karl V. war damit noch nicht erschöpft. Am gleichen Tag unterzeichnete er ein Dekret an die Bürgermeister der Stadt San Juan auf der Karibikinsel Puerto Rico, den vollständigen Nachlass (Waren, Gold- und Silberschmuck) des Vaters von Nicolao de Rodas, Constantín Griego (Konstantin der Grieche), der vermutlich die Konquistadoren in die Neue Welt begleitet hatte und dabei verstorben war, zusammen mit dem Testament des Verstorbenen mit dem nächsten Schiff nach Sevilla zu verschiffen, damit sie zu Nicolas von Rodas als seinem rechtmäßigen Erben gelangen.⁵⁷³

Darüber hinaus wurde Nicolao noch mit klingender Münze entlohnt: Laut einem am 18. Februar 1539 in Toledo ausgestellten Dokument erhielt er vom Consejo de Indias 1.500 Maravedís⁵⁷⁴ und am 28. März 1539 weitere 9.106 Maravedís „für seine Kunst“⁵⁷⁵. Dies entsprach der Jahresheuer eines Matrosen auf den Schiffen der spanischen Krone und zeigt die große Wertschätzung von Karl V. für die Tauchkunst des Nicolao de Rodas, und welche große Hoffnungen er daraufsetzte.

Von 1539 gibt es eine weitere dokumentierte Nachricht über ein spanisches Tauchgeräteprivileg, das vermutlich ebenfalls auf die Vorführung in Toledo zurückgeht: Am 10. September 1539 bot der in Toledo geborene Kapitän der Königlichen Marine Blasco de Garay (1500-1552) Karl V. eine Reihe von Instrumente, vorwiegend zur Anwendung unter Wasser, an.⁵⁷⁶ Neben einer angeblich sehr einfache Kunst, mit der jedes gesunkene Schiff gehoben werden kann, und einer weiteren, mit der jeder Mensch so lange unter Wasser bleiben

⁵⁷¹ AGI, Indiferente, 1962, L.6, F.176V-177.

⁵⁷² AGI, Indiferente, 1962, L.6, F.176R-176V. Eine Onlinerecherche im AGI nach Informationen über die Experimente und den Bericht der Casa de Contratación brachte kein Ergebnis.

⁵⁷³ AGI, Santo Domingo, 2280, L.2, F.152V-153R.

⁵⁷⁴ AGI, Indiferente, 423, L.18, F.218V.

⁵⁷⁵ AGI, Indiferente, 423, L.19, F.231V.

⁵⁷⁶ Memorial a Carlos V, 10.09.1539, AGS, Guerra Antigua, L.14, F.22 y ss.

kann, wie er möchte, beschäftigte sich Garay damit, wie man eine Kerze lange unter Wasser am Brennen halten kann. Genauere Details, wie dies umgesetzt werden sollte, verrät er nicht.⁵⁷⁷

Garay erreichte keine Akzeptanz wie Nicolas de Rodas - womöglich, weil der Grieche bereits ein Privileg von Karl V. besaß - aber es gelang ihm, einige seiner Erfindungen 1540 in Malaga vor Gutachern, und am 17. Juni 1543 im Beisein von Karl V. in Barcelona durchzuführen. Die Vorführungen beinhalten keine Tauchgeräte, sondern es handelte sich um eine seiner Konstruktionen zum Antrieb eines Schiffes ohne Segel und Ruder.⁵⁷⁸ Diese Erfindung wurde in der Forschungsliteratur bereits ausgiebig untersucht und diskutiert und führte Anfang des 19. Jahrhunderts zu einem Gelehrtenstreit um die Frage, ob Blasco de Garay möglicherweise als früher Erfinder des Dampfschiffes gelten kann. Dies ist inzwischen widerlegt; man geht davon aus, dass die Schaufelräder des Schiffes mit Menschenkraft bewegt wurden.⁵⁷⁹

Das Experiment 1538 in Toledo regte möglicherweise neben Garay auch den spanischen Dominikanerabt Gabriel de Guzman⁵⁸⁰ dazu an, 1549 bei Karl V. nach einem Privileg für ein „Geheimnis, wie man 10, 20, 100 und mehr Personen bis zu 12 Stunden unter Wasser arbeiten lässt“ zu ersuchen.⁵⁸¹ Technische Details dieser Erfindung, oder ihr Aussehen, gab er in dem Gesuch nicht preis. Es kann sich dabei aber nur um eine Taucherglocke gehandelt haben.

Das 1539 auf 10 Jahre Dauer ausgestellte Privileg für Nicolas de Rodas war 1549 ausgelaufen. Gabriel de Guzman wurde 1549 von Karl V. ein neues Privileg mit einer Laufzeit von 20 Jahren zuerkannt, welches nach dem Tod Karls V. am 31. März 1559 von seinem Nachfolger Ferdinand I. (1503-1564, reg. 1558-1564) erneuert wurde.⁵⁸² Gabriel de Guzman war der Beichtvater von Eleonore von Kastilien (1498-1558, reg. 1530-1547), Königin von Frankreich und Schwester von Karl V. Möglicherweise war Gabriel de Guzman, so wie Taisnier, Augenzeuge der Vorführung in Toledo gewesen. Er könnte aus Toledo stammen, denn

⁵⁷⁷ Nicolas Garcia Tapia, *Patentes de invención españolas en el Siglo de Oro*, Madrid 1990, 16.

⁵⁷⁸ Siehe Hereward Philip Spratt, *The Prenatal History of the Steamboat*, in: *Newcomen Transactions* 30 (1955) 13-23, 13.

⁵⁷⁹ AGS, Guerra Antigua, L.20, F.52-54.

⁵⁸⁰ Siehe Jung, Gabriel de Guzman, 36-40.

⁵⁸¹ Eigene Übersetzung vom Originaltext „secreto de cómo hacer que 10, 20, 100 y más personas trabajen bajo el agua hasta 12 horas“; siehe Jung, Gabriel de Guzman, 38.

⁵⁸² Privileg für Guzman von Karl V. im Österreichischen Haus-, Hof- und Staatsarchiv Wien, Reichsregister, *Gratialis u. Feudalia*, Vol. 10, *Privilegia super variis novis inventionibus*, p. 36-37 r; Privileg für Guzman von Ferdinand I., Reg. 11/6423, [1559]; Verlängerung des Privilegs 1559 in Reichsregister Ferdinand I., Vol. 7, p. 86-88 r.; siehe Kunsthistorisches Museum in Wien (Hg.), *Jahrbuch der Kunsthistorischen Sammlungen in Wien*, Band 91, Wien 1995, 178.

in einer spanischen Genealogie wird ein Gabriel de Guzman als Sohn von Diego López de Toledo II., Herzog von Mejorada und Elvira de Guzman angegeben.⁵⁸³

1544 spielte Gabriel de Guzman eine bedeutende Rolle in der europäischen Politik, da er als französischer Unterhändler entscheidend an den Friedensverhandlungen zwischen Franz I. (1494-1547) und Karl V. beteiligt war. Franz I. war mit Eleonore von Kastilien verheiratet. Der spanische Dominikaner de Soto (1494-1560) war der Beichtvater von Karl V. Domingo de Soto und Gabriel de Guzman trafen sich mehrfach zu Verhandlungen, und vereinbarten für ihre Landesherren am 18. September 1544 den Frieden von Crepy. Beide verband neben ihrer gemeinsamen Herkunft vom Orden der Dominikaner ein großes naturwissenschaftliches Interesse.

Domingo de Soto wird von William A. Wallace in seinem Buch *Domingo de Soto and the Iberian Roots of Galileo's Science* (2004) eine wichtige Rolle bei der Entdeckung der Fallgesetze zugeschrieben.⁵⁸⁴ Bereits 1544 scheint Domingo de Soto Experimente durchgeführt zu haben, um zu beweisen, dass Aristoteles mit seiner Behauptung, schwere Körper würden mit gleichmäßiger Geschwindigkeit, die direkt proportional zu ihrem Gewicht ist, auf den Boden fallen, falsch lag.⁵⁸⁵ Tatsächlich ist es, wie Galileo experimentell später bewies, eine beschleunigte Bewegung, bei der die Geschwindigkeit des fallenden Körpers in gleichen Zeitraum um gleiche Beträge linear zunimmt.⁵⁸⁶ Die Fallgeschwindigkeit hängt nicht von der Masse des fallenden Körpers ab, ohne Luftwiderstand fallen alle Körper gleich schnell.

Der Beitrag des Domingo de Soto ist nach López Piñero von besonderer Bedeutung für die Anfänge der wissenschaftlichen Untersuchung in Spanien. Er habe aber noch einen großen Abstand zu den Leistungen beispielsweise eines Galileos und anderen Autoren, die ein halbes Jahrhundert später die moderne Bewegungslehre einleiteten.⁵⁸⁷ Die Erkenntnisse von De Soto würden auf bloßer Erfahrung beruhen, ohne die Notwendigkeit einer empirischen Überprüfung in Betracht zu ziehen, so López Piñero weiter.⁵⁸⁸

⁵⁸³ Linda Martz, *A Network of Converso Families in Early Modern Toledo: Assimilating a Minority*, Ann Arbor 2003, Chart 3.2, 151.

⁵⁸⁴ William A. Wallace, *Domingo de Soto and the Early Galileo. Essays on Intellectual History*, Farnham 2004, ix.

⁵⁸⁵ Wallace, *Domingo de Soto*, 121; siehe José María López Piñero, *Ciencia y Técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*, Barcelona 1979, 229-235; Victor Navarro Brotos, *De la filosofía natural a la física moderna*, in: José María López Piñero (Hg.), *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla. Siglos XVI y XVII*, Leon 2002, 383-436.

⁵⁸⁶ Galileo Galilei, *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due Nuove Scienze Attinenti alla Meccanica e i Movimenti Locali*, Leiden 1638, 72-73.

⁵⁸⁷ López Piñero, *Ciencia y Técnica*, 234.

⁵⁸⁸ López Piñero, *Ciencia y Técnica*, 234.

Gabriel de Guzman und Domingo de Soto könnten sich auch nach dem Frieden von Crepy noch getroffen haben, wie etwa bei der zweiten Phase des Konzils von Trient (1551-1552), unweit von Venedig.⁵⁸⁹ 1550 reiste Guzman nach Venedig, wo ihm am 7. Dezember 1549 vom Senat in Venedig ein Privileg für seine „bewundernswerten Geheimnisse, Mühlen in totem Wasser mahlen zu lassen und Männer zur Arbeit unter Wasser zu schicken“ gewährt worden war.⁵⁹⁰ In der Lagunenstadt war de Guzman in Wissenschaftskreisen sehr aktiv und wurde unter anderem von Giovanni Battista Benedetti (1530-1590) sehr geschätzt. Benedetti war als Mathematiker, Astronom, Architekt und Philosoph bekannt. Benedetti widmete Guzman zwei mathematische Werke.⁵⁹¹ Einer von Benedettis Lehrern war neben Guzman Niccolò Tartaglia, der so wie er ein bedeutender venezianischer Mathematiker war.⁵⁹² Tartaglia könnte von Guzman aufgemuntert worden sein, seine Ideen für Tauchgeräte zu publizieren.

1556 verließ Guzman Venedig und übernahm die Leitung der bekannten Basilika San Sebastiano fuori le mura an der Via Appia in Rom.⁵⁹³ Möglicherweise setzte Guzman während seines Aufenthaltes in Venedig seine Konstruktion in die Praxis um, denn der Bischof und Nuntius in Venedig Ludovico Beccadelli (1501-1572) berichtete in seinem Schreiben vom 27. September 1550 dem Kardinal Girolamo Dandino (1509-1559), dass eine Gruppe in Venedig damit beschäftigt wäre, ein neues Instrument zu konstruieren, um mit vier oder sechs Männern unter das Wasser zu gehen und dort lange Zeit zu bleiben und zu arbeiten, um versunkenes Eigentum zu bergen. Es würden aber erhebliche Zweifel daran bestehen, ob das Vorhaben Erfolg habe: „Wir haben hier sonst nichts Neues, außer, dass wir Sie vor einer gewissen neuen Laune warnen, die einige Leute befallen hat, die ein Instrument gebaut haben, um mit vier oder sechs Männern unter Wasser zu gehen und dort lange zu bleiben und zu arbeiten, um verlorene Güter wiederzufinden, was eine schöne Sache sein wird, wenn es gelingt, was sehr zweifelhaft ist“.⁵⁹⁴ Mehr ist darüber jedoch nicht bekannt.

Das Wirken von Domingo de Soto und Gabriel de Guzman weist auf ein frühes, experimentelles Denken unter spanischen Dominikanern im 16. Jahrhundert hin, und zeigt eine

⁵⁸⁹ Wallace, Domingo de Soto, 247.

⁵⁹⁰ Eigene Übersetzung vom Originaltext „mirabili secreti di far macinar molini in acqua morta et di mandar homini a lavorar sotto acqua“ in A.S.V., Senato Terra, 7 dicembre 1549, reg. 36, c. 197; filza 10; Verlängerung in 1550; siehe Senato Terra, 18 aprile 1550, reg. 37, c. 34; filza 11; Berveglieri, *Inventori stranieri a Venezia*, 58.

⁵⁹¹ Jung, Gabriel de Guzman, 39.

⁵⁹² Tartaglia, *Regola generale*, Lib. 2, *Decchiaratione* 1.

⁵⁹³ Émile Bouillon, *Revue des bibliothèques*, Volume 20, Paris 1910, 290.

⁵⁹⁴ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Altro qui non havemo di novo, salvo sé non l’avisassi d’un certo humor novo venuto in alcuni, i quali hanno fabricato un instrumento per andar sotto acqua con quattro o sei homini et starvi lungamente et lavorare per recuperar robbe somerse, che sarà una bella cosa sé riesce, di che si dubita assai“ in *Nunziature di Venezia*, Volume V (21 Marzo 1550-26 Dicembre 1551), Hg. Gaeta Franco, Rom 1967, 133.

Technikgeschichtlich relevante Querverbindung zwischen den Entwicklungen der Tauchtechnik in Italien und Spanien auf.

3.3 Spanische Privilegien für Tauchgeräte

Der intensive Seeverkehr zwischen Spanien und Amerika im 16. und 17. Jahrhundert führte zu einer stetig steigenden Anzahl an Tauchgeräteprivilegien zur Bergung von Silber oder anderen wertvollen Gegenständen aus versunkenen Galeonen, und schrieb mit einer ersten Privilegienwelle ein bislang kaum bekanntes Kapitel über die Geschichte der Tauchtechnik.

Die häufigen Schiffbrüche veranlassten die spanische Krone unter anderem dazu, durch die Casa de Contratación besonders solche Erfindungen zu fördern, die für die Erhöhung der Sicherheit der Schifffahrt nützlich sein könnten. Dies bedeutete unter anderem einen wichtigen Fortschritt im Schiffbau⁵⁹⁵ und in den Schifffahrtswissenschaften, wie die Navigation.⁵⁹⁶ Neben der Verbesserung der Schiffstechnik machten auch die Techniken der Bergung oder die Reparatur von Schiffen auf See, unterhalb der Wasserlinie, die Anwesenheit von Taucher an Bord immer wichtiger.

Nach der Entdeckung des neuen Kontinents auf der anderen Seite des Atlantiks wuchs der Seehandel und der Verkehr zwischen Europa und Amerika stark an. Die Schiffe der spanischen Flotte transportierten viele Reichtümer aus der Neuen Welt. Der Zustrom von Edelmetallen war von entscheidender Bedeutung für die Kriegsführung Spaniens in Europa. Viele Schiffe gingen aber durch Naturgewalt, Piraterie oder kriegerische Handlungen verloren. Die Eigentümer dieser Schiffe trennten sich verständlicherweise nicht ohne Reaktion von ihren wertvollen Schiffen und den reichen Ladungen, die sie transportierten, und so bildete sich Anfang des 16. Jahrhunderts in Spanien ein neuer Wirtschaftszweig: die maritime Bergungsindustrie. Es entstanden immer besser organisierte und ausgerüstete Unternehmen, die in einem rechtlichen Rahmen und abgesichert mit Konzessionen operierten.

Ab Mitte des 16. Jahrhunderts wurde der Geltungsbereich der spanischen Privilegien gezielt erweitert, um die Erfindung auch für Amerika zu nutzen, und damit die dortige Entwicklung zu

⁵⁹⁵ Mark Lardas, *Spanish Galleon vs English Galleon: 1550-1605*, Oxford 2020, 3.

⁵⁹⁶ Andreas Obenaus, *Genuesen, Katalanen, Portugiesen. Die Anfänge der europäischen Atlantikexpansion*, in: Alexander Marboe / Andreas Obenaus (Hg), *Expansion - Interaktion - Akkulturation. Historische Skizzen zur Europäisierung Europas und der Welt*, Band 15: Seefahrt und die frühe europäische Expansion, Wien 2009, 93-122, 95.

fördern.⁵⁹⁷ Besonders gefragt waren neben Techniken zum besseren Ausbeuten der Perlengründe vor der Isla Margarita beispielsweise Verfahren zum Schutz der Schiffsrümpfe vor Wurmbefall oder Methoden zur Aufbereitung von Trinkwasser für die militärischen Truppen an Land und auf See.⁵⁹⁸ Das spanische Privilegierungswesen spielte eine große Rolle bei der Eroberung der Neuen Welt: „It was precisely the introduction in America by the Spanish of this privileged system for invention, which was one of the greatest benefits of the discovery of the New World“⁵⁹⁹.

Die wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen in Spanien wurden von den anderen Ländern aufmerksam registriert: In Italien, Frankreich und England war man sehr an den Aktivitäten Spaniens in der Neuen Welt interessiert. So wurden beispielsweise Bücher der spanischer Kartografen Pedro de Medina (1493-1567) und Martin Cortés de Albacar (1510-1582) ins Niederländische, Französische, Italienische und Englische übersetzt. Der englische Seefahrer Stephen Borough (1525-1584) besuchte 1558 die Navigationsschule der Casa de Contratación in Sevilla mit der Absicht, eine ähnliche Einrichtung in England zu gründen; und der Botaniker Charles de L'Écluse (1525-1609) reiste in den 1560er Jahren durch Spanien, sammelte Proben und Bücher und knüpfte berufliche Beziehungen zu spanischen Naturhistorikern. Spanische Bücher wurden in andere europäische Sprachen übersetzt, Ausländer besuchten spanische Einrichtungen, und spanische Gelehrte erhielten Besuche und Briefe von ausländischen Gelehrten. „Sixteenth-century Spain was at the forefront of the development and institutionalization of empirical activities in Europe“⁶⁰⁰, folgert Barrera-Osorio.

Für Amerika bestimmte Erfindungen wurden im 16. und 17. Jahrhundert durch den Indienrat (Consejo de Indias) bearbeitet, wo Spezialkommissionen (Juntas) über ihren Nutzen entschieden.⁶⁰¹ Den Kommissionen gehörten auch Theologen an, wie beispielsweise der bereits erwähnte Domingo de Soto.⁶⁰² Wenn ein Gesuchsteller seine Erfindung in Amerika nutzen wollte, musste er sie dem Rat vorlegen, der nach Prüfung ihrer Funktionsfähigkeit die

⁵⁹⁷ Pablo E. Pérez-Mallaina, Los inventos llevados de España a las Indias en la segunda mitad del siglo XVI, in: Cuadernos de investigación histórica. Publicación cuatrimestral del Seminario „Cisneros“ de la Fundación Universitaria Española 7 (1983) 35-54, 37.

⁵⁹⁸ Goodman, Power and Penury, 135-137.

⁵⁹⁹ Nicolas Garcia Tapia, The Repercussions of Spanish Technology in the Discovery of the American Continent, in: Icon - Journal of International Committee for the History of Technology 5 (1999) 113-127, 115.

⁶⁰⁰ Barrera-Osorio, Experiencing Nature, 5; siehe Alexander Keller, Mathematics, Mechanics and the Origins of the Culture of Mechanical Invention, in: Minerva, A Review of Science, Learning and Policy 23 (1985) 348-361, 357.

⁶⁰¹ Ernst Schäfer, El Consejo Real y Supremo de las Indias: La labor del Consejo de Indias en administración colonial. Tome II, Sevilla 1947, 157.

⁶⁰² Schäfer, El Consejo Real y Supremo de las Indias, 300, 302.

entsprechende Bescheinigung über die Erteilung der Erlaubnis ausstellte.⁶⁰³ In der Regel war bei Privilegien für Tauchgeräte ein prozentualer Anteil an dem, was aus dem Meer geborgen wurde, an die spanische Krone abzuführen.

Die privilegierten Erfindungen wurden nicht selten von mehreren Personen verwertet. Antonio Luis de Cabrera, Antonio de Lira und Diego de Lima gründeten beispielsweise eine Handelsgesellschaft zur Ausbeutung der Perlenfischerei, die auf der Erfindung eines Tauchgeräts basierte, dessen Privilegierung sie 1568 vom Indienrat erhalten hatten. Die Konzession wurde für 16 Jahre gewährt und beinhaltete die Privilegien der Steuerbefreiung für die zum Bau der Tauchgeräte benötigten Materialien, die Genehmigung, bis zu dreizehn Betreiber von Spanien nach Amerika zu bringen und die Erlaubnis, hundert schwarzafrikanische Sklaven als Taucher zu beschäftigen. Als Gegenleistung waren sie verpflichtet, der spanischen Krone die Hälfte der geborgenen Schätze, die sie mit ihren Instrumenten bergen würden, und ein Viertel der gefundenen Perlen zu übergeben.⁶⁰⁴

Zwischen 1544 und 1684 wurden von verschiedenen Erfindern von Tauch- und Bergungsgeräten sowie Geräte für Unterwasserarbeiten deutlich mehr Gesuche für Privilegien und Exklusivrechte bei der spanischen Krone eingereicht und gewährt als in jedem anderen Land. Viele dieser Erfindungen sollten, wie es den jeweiligen Privilegientexten zu entnehmen ist, beim Perlentauchen bei der Isla Margarita eingesetzt werden.⁶⁰⁵

Zumeist ging es in den Privilegien als Hauptzweck auch um die Bergung von Kanonen. Dies hatte vor allem im 16. Jahrhundert für die spanische Krone eine ebenso große Bedeutung wie die Suche nach Perlen oder den mit Schiffen versunkenen Edelmetallen: Zum Ausrüsten der spanischen Flotte mit Kanonen fehlte nicht nur das notwendige Kapital, sondern auch das Knowhow der modernen Gusstechnik von leistungsfähigen Bronzekanonen. Spanien, aber auch Portugal „suffered from a chronic shortage of artillery that became dramatically acute in moments of crisis when it endangered the safety both of the country and of the empire overseas“⁶⁰⁶.

Kanonen wurden üblicherweise entweder aus Eisen oder aus Bronze hergestellt. Bronze ist eine Legierung aus mindestens 60 % Kupfer und Zinn. Bronze weist die höchste

⁶⁰³ Pérez-Mallaina, Los inventos, 35.

⁶⁰⁴ Pérez-Mallaina, Los inventos, 41; Garcia Tapia, Patentes de invención españolas, 30.

⁶⁰⁵ Barrera-Osorio, Experiencing Nature, 140-141; María Dolores Higuera Rodríguez, La recuperación submarina en la Carrera de Indias: El riesgo necesario, in: Enriqueta Vila Vilar / Antonio Acosta Rodríguez / Adolfo Luis González Rodríguez (Hg.), La Casa de la Contración y la Navegación Entre España y Las Indias, Sevilla 2003, 695-717, 707-708.

⁶⁰⁶ Cipolla, Guns, Sails and Empires, 32.

Korrosionsbeständigkeit aller Kupferlegierungen auf und bietet hervorragende Verschleißfestigkeiten und Gleiteigenschaften. Bronzekanonen überhitzen wegen der besseren Wärmeableitung langsamer und waren deshalb länger einsetzbar als Eisenkanonen.⁶⁰⁷

Die Idee, Geschütze statt zu schmieden zu gießen, war schon früh vorhanden, aber Eisenguss ist spröde und bruchgefährdet. Um dies auszugleichen, mussten Eisengusskanonen eine wesentlich größere Wandstärke haben als Bronzekanonen, wodurch sie etwa doppelt so schwer waren. Ihre dadurch resultierende Immobilität war ein großer Nachteil auf dem Schlachtfeld, und ein Risiko für ein Schiff, das so instabil werden konnte. Bronzekanonen konnten aufgrund ihres geringeren Gewichtes höher auf einem Schiffsdeck angebracht werden, was auch aus ballistischen Gründen vorteilhaft war.

1611 erschien die erste, detaillierte Beschreibung über die Herstellung von Bronzekanonen.⁶⁰⁸ Die Gussverfahren waren bei beiden Werkstoffen, Bronze und Eisen, gleich.⁶⁰⁹ Der Hauptvorteil von Eisenguss waren die geringeren Kosten und die große Verfügbarkeit von Eisenerz. Beim Bronzeguss war es im Gegensatz zu Eisen jedoch bereits im 15. Jahrhundert möglich, größere Metallstücke zu schmelzen. Bronzekanonen konnten damit auch größere Kaliber verschießen, als Eisengusskanonen. Dies war ein weiterer wichtiger Vorteil für die Kriegsführung.

Trotz aller Vorteile besaßen Bronzekanonen einen bedeutenden Nachteil: Sie kosteten etwa drei bis viermal so viel wie Gusseiserne Kanonen.⁶¹⁰ Der hohe materielle Wert von Bronze zeigt sich an der in vielen europäischen Armeen schon im 16. Jahrhundert geübten Praxis, dass Offizieren die Anweisung geben wurde, bei der Eroberung einer Stadt zuerst die Kirche einzunehmen, um in den Besitz der wertvollen Bronzeglocken zu gelangen.⁶¹¹ Sie können leicht eingeschmolzen und in einer anderen Form, wie etwa Kanonen, neu gegossen werden.

⁶⁰⁷ Für Details zu den Eigenschaften und zum Wechsel von Bronze- zu Eisengusskanonen siehe Ruth R. Brown, „A Jewel of Great Value“: English iron gunfounding and its rivals, 1550-1650, in: Carlo Beltrame / Renato Gianni Ridella (Hg.), *Ships and Guns: The Sea Ordnance in Venice and in Europe Between the 15th and the 17th Centuries*, Venedig 2011, 98-105; siehe Carlo M. Cipolla, *Guns, Sails and Empires: Technological Innovation and the Early Phases of European Expansion, 1400-1700*, New York 1965.

⁶⁰⁸ Siehe Cristobal Lechuga, *Discurso del capitan Cristoual Lechuga: en que trata de la artilleria, y de todo lo necessario à ella, con un tratado de fortificacion y otros aduertimentos*, Mailand 1611.

⁶⁰⁹ Siehe Ludwig Beck, *Die Geschichte des Eisens*. Bd. 1: Von der ältesten Zeit bis um das Jahr 1500 n. Chr. Braunschweig 1884, 916-917; Marco Morin, *Morphology and Constructive Techniques of Venetian Artilleries in the 16th and 17th centuries: some notes*, in: Carlo Beltrame / Renato Gianni Ridella (Hg.), *Ships and Guns: The Sea Ordnance in Venice and in Europe Between the 15th and the 17th Centuries*, Venedig, 2011, 1-11, 2-3.

⁶¹⁰ Cipolla, *Guns, Sails and Empires*, 42.

⁶¹¹ Cipolla, *Guns, Sails and Empires*, 30.

Bronzekanonen gehörten wegen ihres materiellen Wertes auch zu den ersten Gegenständen, die aus einem gesunkenen Schiff geborgen wurden.⁶¹² Sie konnten in der Regel nach einer kurzen Reinigung wiederverwendet werden. Daher war die Bergung von Artillerie aus dem Meer ein wichtiges Ziel, das es zu erreichen galt. So konnte eine kriegsführender Staat in den Besitz von fortschrittlicher, fremder Waffentechnologie gelangen.

Erst ab dem 17. Jahrhundert konnten auch große Eisenguss-Kanonen hergestellt werden, und diese Technologie verbreitete sich.⁶¹³ England und Schweden waren die größten Produzenten von Kanonen aus Gusseisen im 17. Jahrhundert.

Die Verwendung von modernen gusseisernen Kanonen wurde ab etwa 1650 auch auf dem Meer immer üblicher, und gegen Ende des Jahrhunderts waren gusseiserne Geschütze die vorherrschende Artillerie an Bord europäischer Schiffe⁶¹⁴ Sie hatten einen zufriedenstellenden Wirkungsgrad erreicht und waren kostengünstiger als Bronzekanonen.

Die Kosten alleine für die Artillerie eines Schiffes waren im frühen 17. Jahrhundert ebenso groß wie für den Bau und die Ausstattung des gesamten restlichen Schiffes.⁶¹⁵ Spanien musste Kupfer aus Neusohl in Oberungarn (Banská Bystrica in der heutigen Slowakei) importieren, und der Zinn, der in der Regel 8 - 12% der Bronzelegierung ausmachte, aus England. Diese Kosten belasteten die Staatskasse enorm. Erst als die Kupferminen auf Mexiko, Peru und Kuba im 17. Jahrhundert mit dem Abbau in größerem Stil begannen, entspannte sich diese Liefersituation. Die Spanische Armada verwendete aus Kostengründen deshalb auch viele erbeutete Bronzekanonen. Ebenso scheinen aus Kostengründen von den Spaniern oft statt Eisen- auch minderwertigere Steinkugeln verwendet worden zu sein.⁶¹⁶

1611 wurde eigens eine Kanonengießerei in Sevilla errichtet, um die Schiffe der Armada auszurüsten. Ihre Kapazität war aber sehr begrenzt. Sie konnte nur 36 Kanonen pro Jahr herstellen. Gießereien in Schweden und England schafften bis zu 200 Kanonen pro Jahr. Neben dem Rohstoff gab es in Spanien auch einen akuten Mangel an geübten Handwerkern⁶¹⁷, der

⁶¹² Javier Lopez Martin, Did naval artillery really exist during the modern period? A brief note on cannon design, in: Carlo Beltrame / Renato Gianni Ridella (Hg.), *Ships and Guns: The Sea Ordnance in Venice and in Europe Between the 15th and the 17th Centuries*, Venedig 2011, 73-84, 73.

⁶¹³ Im Juli 1677 wurde beispielsweise in Amsterdam ein Privileg gewährt für den Guss einer „iron cannon that cannot burst“, siehe Doorman, *Patente für Erfindungen*, 185.

⁶¹⁴ Cipolla, *Guns, Sails and Empires*, 66.

⁶¹⁵ Fernando Serrano Mangas, *Armadas y Flotas de la Plata (1620-1648)*, Madrid 1989, 131.

⁶¹⁶ David Laing, Notice of a Scheme, with the Warrant of King James VII. and the Lords of Privy Council, for a Patent to be granted to certain Merchants in London, for Weighing up and Recovering Ships in the Scottish Seas, dated 26 May 1686, in: *Archaeologia Scotica or Transactions of the Society of Antiquaries of Scotland* 4 (1857) 428-439, 430; Georg Sinclair, *Ars nova et magna gravitatis et levitatis*, Rotterdam 1669, 221.

⁶¹⁷ Cipolla, *Guns, Sails and Empires*, 35.

durch das gezielt Anwerben ausländischer Fachkräfte ausgeglichen werden sollte.⁶¹⁸ Das Anwerben von ausländischen Fachkräften war nicht immer erfolgreich: Viele Handwerker scheuten aus Furcht vor der in Spanien mächtigen Inquisition die Reise.⁶¹⁹

Die Hoffnung, durch eine erfolgreiche Bergung reich zu werden, lockte, anders als Handwerker, immer wieder Erfinder aus anderen Ländern nach Spanien. Von Martin Altmann ist beispielsweise bekannt, dass er aus Deutschland stammte und 1589 eine lange Liste von Erfindungen einreichte, die neben einem Tauchgerät zur Bergung von Schiffskanonen auch eine Methode zum schnellen Reparieren von beschädigten Schiffsrümpfen, und vielem mehr enthielt.⁶²⁰

Neuere Forschungsdaten geben einen Überblick über insgesamt 140 Privilegien, die von spanischen Monarchen zwischen den Jahren 1522 und 1622 erteilt wurden.⁶²¹ Davon waren 14 dem menschlichen Eingriff und der Ausbeutung der Meereswelt gewidmet.⁶²² Nachfolgend eine Übersicht über die bisher bekannten spanischen Privilegien des 16. und 17. Jahrhunderts mit Bezug zur Tauchtechnik⁶²³:

- | | | |
|------|--|---|
| 1539 | Nicolao de Rodas | <i>Tauch- und Bergungsarbeiten in Spanien und „las Indias“.</i> |
| 1539 | Blasco de Garay | <i>Sehr einfache Kunst, mit der jeder Mensch so lange unter Wasser bleiben kann, wie er möchte.</i> |
| 1544 | Antonio Binali | <i>Einfall für Geräte um Gold- und Silberkisten vom Grund des Ozeans zu bergen</i> ⁶²⁴ |
| 1556 | Pedro de Herrera | <i>Instrument für die Rettung von Gold, Silber und Austern vom Ozean</i> ⁶²⁵ |
| 1565 | Juan Palomino | <i>Instrument für die Rettung von Gold und Silber vom Ozean</i> ⁶²⁶ |
| 1568 | Antonio Luis de Cabrera, Antonio de Lira und Diego de Lima | <i>Instrument für die Rettung von Gold und Schätzen aus versunkenen Schiffen</i> ⁶²⁷ |

⁶¹⁸ Barrera-Osorio, *Experiencing Nature*, 67; Garcia Tapia, *Cédulas de privilegio y patentes*, 88.

⁶¹⁹ Cipolla, *Guns, Sails and Empires*, 47.

⁶²⁰ Goodman, *Power and Penury*, 133.

⁶²¹ Nicolas Garcia Tapia, *Descubrimientos e invención técnica: La actividad de los inventores españoles*, in: Ana María Carabias Torres (Hg.), *Las Relaciones entre Portugal y Castilla en la Epoca de los Descubrimientos y la Expansión Colonial*, Salamanca 1996, 165-180, 170.

⁶²² Garcia Tapa, *Descubrimientos e invención técnica*, 170.

⁶²³ Barrera-Osorio, *Experiencing Nature*, 140-141. Die im Original spanischen Bezeichnungen werden hier zu besseren Einordnung in deutscher, eigener Übersetzung wiedergegeben.

⁶²⁴ *Incurción por equipos para recuperar cajas de oro y plata del fondo del océano*, AGI, Indiferente 1093, R.3, No. 56.

⁶²⁵ *Instrumento para rescatar oro, plata y ostras del océano*, AGI, Indiferente 425, L.24, ff. 228r-229r; und Indiferente 427, L.30, F.190r-190v.

⁶²⁶ *Instrumento para rescatar el oro y la plata del océano*, AGI, Indiferente 425, L.24, ff. 230v-232v.

⁶²⁷ *Instrumento para rescatar el oro y el tesoro de los barcos hundidos*, AGI, Indiferente 425, L.24, ff. 423v-424r.

- 1568 Hernando Maldonado *Erfindung um Perlen und wertvolle Gegenstände unter Wasser zu gewinnen.*⁶²⁸
- 1573 Francisco de Soler *Tauchgerät um Objekte vom Ozean zurückzuholen*⁶²⁹
- 1577 Cristobal Maldonado *Instrument für die Rettung von Gold, Silber und verlorenen Gegenständen aus versunkenen Schiffen*⁶³⁰
- 1584 Giuseppe Bono *Tauchgerät (Glocke)*⁶³¹
- 1589 Hernán Ruiz de Rozas *Eine Erfindung, damit Taucher so lange unter Wasser bleiben können, wie sie wollen*⁶³²
- 1589 Martin Altman *Tauchausrüstung um in Schiffswracks verloren gegangene Artillerie zu bergen. Der Erfinder sagt, dass der Taucher in der Lage sein wird, bis zu 12 Stunden unter Wasser bei zwanzig oder dreißig Faden zu operieren.*⁶³³
- 1589 Beneditto Pelletiero *Apparat, damit ein oder mehrere bewaffnete Männer ein oder zwei Tage lang unter einem Fluss bleiben können, ohne nass zu werden oder sich zu gefährden*⁶³⁴
- 1592 Bartholome Frances *Instrument zum Fischen von Austern, genannt Tartana*⁶³⁵
- 1605 Jerónimo de Ayanz y Beaumont *Instrument für die Rettung von Objekten vom Meer und das Fischen von Austern*⁶³⁶
- 1612 Thomas de Cardona, Sancho de Meras *Instrument für die Rettung von Objekten vom Meer und das Fischen von Austern*⁶³⁷
- 1640 Diego Perez Hidalgo *Erfindung um Gold aus Flüssen zu ziehen und Austern zu fischen*⁶³⁸
- 1684 Antonio Verde *Taucherglocke zu Bergung des 1639 vor Sanlúcar de Barrameda verlorenen Silbers des Schiffes „La Viuda“.*⁶³⁹

Die Anzahl der spanischen Erfinder neuer Tauchgeräte ist wesentlich größer als diese Liste vermutet, da nicht alle ein Gesuch für ein Privileg eingereicht haben. In dem um 1570 in Spanien publizierten, 21-bändigem Maschinenbuch *Los veintiún libros de los ingenios y*

⁶²⁸ Invento para extraer perlas y objetos de valor bajo el agua, AGI, Indiferente 423, L.18, fol 153-154.

⁶²⁹ Equipo de buceo para recuperar objetos del océano, AGI, Indiferente 426, L.25, ff. 256r-257r.

⁶³⁰ Instrumento para rescatar el oro, la plata y los objetos perdidos de los barcos hundidos, AGI, Indiferente 426, L.26, ff. 59r-60v.; Indiferente 426, L.26, F.109v.

⁶³¹ Aparato de buceo (campana), AGI, Patronato 260, No. 1, R.10.

⁶³² Un invento para que los buceadores puedan permanecer bajo el agua todo el tiempo que quieran, AGS, Leg. 267 fol. 70.

⁶³³ Equipo de buceo para recuperar la artillería perdida en los naufragios. El inventor dice que el buzo podrá operar hasta 12 horas bajo el agua a veinte o treinta brazas, AGS, Guerra Antigua leg. 262 fol. 301; leg. 266 fol. 175-177; leg. 268 fol. 35.

⁶³⁴ Aparato para que uno o varios hombres armados puedan permanecer bajo un río durante uno o dos días sin mojarse ni ponerse en peligro, AGS, Guerra Antigua, leg. 264 fols. 293-296.

⁶³⁵ Instrumento para pescar ostras, llamado tartana, AGI, Escribanía 1008c; Barrera-Osorio, Experiencing Nature, 72-74.

⁶³⁶ Instrumento para rescatar objetos del mar y pescar ostras, AGI, Patronato 171, No. 1, R. 37.

⁶³⁷ Instrumento para rescatar objetos del mar y pescar ostras, AGI, Indiferente 428, L. 34, ff. 62r-68r.

⁶³⁸ Invento para extraer oro de los ríos y pescar ostras, AGI, Indiferente 429, L. 38, ff. 160-161.

⁶³⁹ Campana de buceo para la recuperación de la plata del barco "La Viuda" perdido frente a Sanlúcar de Barrameda en 1639, AGI, Indiferente L. 2699.

máquinas, die dem 1556 nach Spanien eingewanderten italienischen Erfinder und Automatenbauer Juanelo Turriano (1500-1585) zugeschrieben⁶⁴⁰ werden, finden sich beispielsweise im 20. Buch⁶⁴¹ Beschreibungen von kugelförmigen, offenen Glastaucherhelmen mit einem Grundgewicht, die denen 1551 von Tartaglia⁶⁴² publizierten sehr ähnlich sind. Da keine Frischluftversorgung vorgesehen ist, sind sie nicht zweckmäßig. Das gleiche gilt für eine fassartige Taucherglocke, in der ein Taucher, so Turriano, essen und sich ausruhen könne. Fast ebenso detailliert beschreibt Turriano eine Unterwasserlaterne, bei der eine Kerze in einem umgedrehten Eimer befestigt wird. Auch diese Beschreibung ist offensichtlich Tartaglias *Regola generale* von 1551 entnommen.

Weitere spanische Autoren, die in ihren Büchern und Schriften mehr oder weniger detailliert über Tauchgeräte referieren, sind Diego Ufano⁶⁴³ (1613), Pedro de Ledesma⁶⁴⁴ (1623), Francisco Nunez Melian⁶⁴⁵ (1627), Andréu Ximénez⁶⁴⁶ (1658) und José de Azevedo⁶⁴⁷ (1690).

Von den meisten dieser spanischen Tauchgeräte-Erfindungen existieren keine Zeichnungen oder Angaben, die auf ihre Konstruktion und die Möglichkeiten ihres Einsatzes schließen lassen. Unklar ist ebenfalls oft, ob sie praktisch ausgeführt und getestet wurden. Die knappen Beschreibungen sind nur Wiederholung oder Variationen von bereits bekannten Verfahren.⁶⁴⁸ Viele dieser Konstruktionen basierten auf der Verwendung von überlangen Schnorchelrohren und waren unbrauchbar.

Es lässt sich von den vielen Privilegien und Publikationen ableiten, dass Tauchen in Spanien im 16. und 17. Jahrhundert eine bekannte Thematik war. Hier sollen exemplarisch drei Erfindungen, die von besonderem Interesse für die Geschichte des Tauchens in Spanien sind, ausführlicher untersucht werden: Giuseppe Bono (1583) mit seiner rückständigen Fehlkonstruktion einer Taucherglocke, Jerónimo de Ayanz y Beaumont (1605) als fortschrittlichster spanischer Erfinder seiner Zeit, sowie Pedro de Ledesma und Francisco

⁶⁴⁰ Neuere Forschungen legen hingegen Pedro Juan de Lastanosa of Aragon (1527-1575) als Autor nahe. Siehe Nicolas Garcia Tapia, Pedro Juan De Lastanosa and „The Twenty-One Books of Devices and Machines of Juanelo“; in: Jose Maria de la Portilla / Marco Ceccarelli (Hg.), *History of Machines for Heritage and Engineering Development*, Dordrecht 2011, 69-83.

⁶⁴¹ Turriano, *Los veinte y un libros de los ingenios*, 597-599.

⁶⁴² Tartaglia, *Regola generale*, 34.

⁶⁴³ Diego Ufano, *Tratado dela artilleria y uso della*, Platicado por el capitan Diego Ufano En las Guerras de flandes. Brüssel 1613; MNM, CF-154.

⁶⁴⁴ Pedro de Ledesma, *Pesca de perlas y busca de galeones*, El Manuscrito de Ledesma, MNM, Ms. 1035.

⁶⁴⁵ Francisco Nunez Melian, AGI, Contratación, 2211 und 3003.

⁶⁴⁶ Jean-Baptiste Panthot, *Extrait d'une lettre écrite de Lyon à l'auteur du journal par M. Panthot, docteur en médecine & professeur au Collège de Lyon, pour servir d'éclaircissement à la Cloche ou Machine pour aller sous l'eau dont il a été parlé dans le Journal de cette année*, in: *Journal des sçavans* 14 (1678) 140-142.

⁶⁴⁷ José de Azevedo, AGI, Indiferente, 2699.

⁶⁴⁸ Barrera-Osorio, *Experiencing Nature*, 59.

Nunez Melian (1623/1626), der den aktuellen Stand der in der Praxis eingesetzten spanischen Tauchtechnik wiedergibt.

3.4 Exemplarische Untersuchungen

3.4.1 Giuseppe Bono

1581 übersiedelte Bono von Florenz nach Spanien, wo er Philipp II. Erfindungen und Methoden anbot, die in der Florentiner Republik als militärisches Geheimnis galten. Warum Bono diesen, in Florenz mit dem Tod bestrafte Geheimnisverrat⁶⁴⁹ unternahm, ist nicht bekannt - vermutlich waren es finanzielle Gründe. Die Junta de la Contaduria Mayor, deren Namen sich von dem Ort ableitete, wo sie tagte, nämlich dem Gebäude der Hauptstaatskasse, befasste sich intensiv mit dem Gesuch Bonos.⁶⁵⁰

Zu Bonos technischen Geräten gehörten Münzpräegeräte, Destillationsapparate, Mühlengetriebe, Schmelzöfen und eine Maschine, mit denen er den Fluss Guadalquivir von Sevilla bis zum Meer ausbaggern wollte. Vermutlich handelte es sich um einen wie von Buonaiuto Lorini publizierten Zwei-Schaufel-Bagger.⁶⁵¹ Bono schlug auch vor, mit der Maschine den Grund des Tejo in Lissabon zu reinigen, und verloren gegangene Anker zu bergen.⁶⁵²

Das Freihalten von Flussläufen für die Schifffahrt war ein besonderes Problem, das mit technischen Hilfsmitteln gelöst werden musste. Eine Möglichkeit war, Bagger zu verwenden. Der Erfindungsreichtum brachte weitere Hilfsmittel hervor: Bei starken Versandungen von Flussläufen und Mündungen konnten im oberen Flusslauf, wo eine ausreichend starke Strömung vorhanden war, große Bojen eingesetzt werden, die an einer langen Kette eiserne Rechen hinter sich herzogen. Damit wurde der Sand vom Grund aufgewirbelt und von der Strömung weggetrieben. Dieses Verfahren wurde an der versandeten Mündung des Flusses Nervión bei Portugaleta mit Erfolg eingesetzt.⁶⁵³

Ein weiterer Vorschlag von Bono war eine Taucherglocke für Bergungsarbeiten an Schiffswracks und in der Perlenfischerei. Er hatte für sie bereits 1570 in Florenz ein Privileg

⁶⁴⁹ Carlo M. Cipolla, *The Diffusion of Innovations in Early Modern Europe*, in: *Comparative Studies in Society and History* 14 (1972) 46-52, 50.

⁶⁵⁰ Schäfer, *El Consejo Real y Supremo de las Indias*, 436.

⁶⁵¹ Lorini, *Delle Fortificationi*, 207.

⁶⁵² Garcia Tapia, *En busca de tesoros bajo el mar*, 15.

⁶⁵³ Mariano Ciriquiain-Gaiztarro, *Los puertos marítimos del País Vasco*, San Sebastian 1986, 237.

erhalten. Sehr ungewöhnlich für diese Zeit, legte Bono seinem Gesuch auch eine Zeichnung bei.⁶⁵⁴ Bono führte auf Anordnung von Phillip II. 1583 die Taucherglocke mehrere Male in Lissabon in Anwesenheit des Sekretärs von Phillip II., Antonio de Eraso (?-1586) praktisch vor.⁶⁵⁵ Da die Luft in der Glocke nicht erneuert wurde, und sie anfangs durch undichte Holzspanten viel Luft verlor, kam bei den Versuchen ein Taucher ums Leben. Antonio de Eraso berichtete von dem nur 15-minütigen Tauchgang und den Undichtheiten der Glocke.⁶⁵⁶ Einem zweiten Bericht zufolge konnte Bono bei weiteren Tauchgängen am 23. September 1583 in Lissabon mehrere Anker erfolgreich vom Grund bergen.⁶⁵⁷

Einem Bericht vom 12. November 1583 ist zu entnehmen, dass die Glocke nun soweit verbessert worden zu sein schien, dass alle Undichtheiten beseitigt waren. Bono verwendete statt Holz nun Metall. In seiner Glocke konnten sich zwei Personen aufhalten.⁶⁵⁸

Bono erhielt am 7. Januar 1584 von der Junta ein Privileg für 10 Jahre, gültig für alle spanischen Gewässer in Europa, aber nicht für Amerika.⁶⁵⁹ Um auch für dieses Territorium ein Privileg zu erhalten - die Besiedlung der Neuen Welt war spanischen Staatsbürgern vorbehalten - wurde Bono am 14. August 1584 unter dem Namen José Bono zum eingebürgerten Untertan der spanischen Monarchie.⁶⁶⁰ Im August 1584 erhielt er die Genehmigung, zusammen mit drei Bediensteten in Neuspanien einzureisen.⁶⁶¹ Zwei Taucherglocken durfte er ebenfalls dorthin mitnehmen.⁶⁶² Es ist nicht bekannt, ob er sich jemals in die Neue Welt einschiffte, da die letzte Nachricht von ihm aus dem Jahr 1586 stammt, als er sich noch in Spanien aufhielt. Sein Privileg wurde 1586 erneuert, da Bono behauptete, er habe das ihm zuvor erteilte Schriftstück verloren.⁶⁶³

⁶⁵⁴ AGI, Patronato 260, No. 1, R. 10.

⁶⁵⁵ AGS, Guerra Antigua, leg. 109, fol. 344; siehe Garcia Tapia, Patentes de invención españolas, 28.

⁶⁵⁶ AGI, Indiferente General, leg. 426, fol. 7.

⁶⁵⁷ AGI, Mapas y Planos, Ingenios y Maquinas, nr. 5.

⁶⁵⁸ AGI, Indiferente General, leg. 426, fol. 3.

⁶⁵⁹ Schäfer, El Consejo Real y Supremo de las Indias, 436; AGS, Camara de Castilla, leg. 532, fol. 174; AGI, Indiferente, 426, L.27, F.73v-75v.

⁶⁶⁰ AGI, Indiferente General, leg. 426, fol. 16; AGS, Camara de Castilla, leg. 549, fol. 20.

⁶⁶¹ AGI, Indiferente, 2094, N.153.

⁶⁶² AGI, Indiferente, 426, L.27, F.97v.

⁶⁶³ AGS, Camara de Castilla leg. 607, fol. 8.

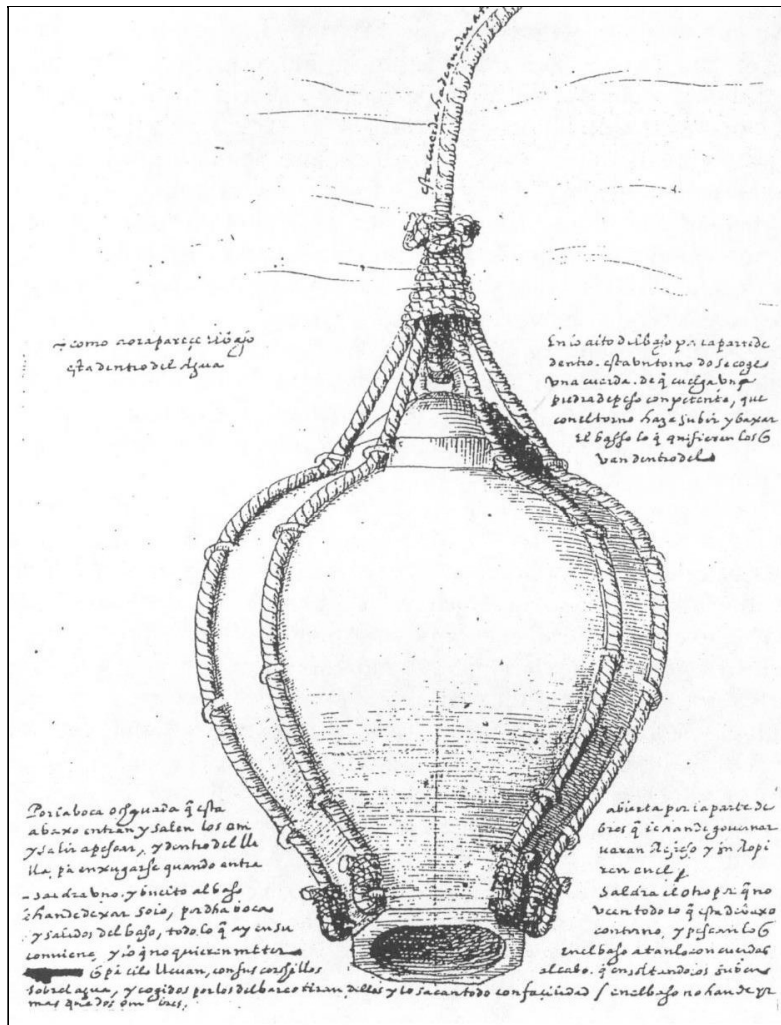


Abbildung 13: Taucherglocke von Giuseppe Bono (1583). Quelle: Nicolas García Tapia, The Repercussions of Spanish Technology in the Discovery of the American Continent, in: Icon - Journal of International Committee for the History of Technology 5 (1999) 117.

Die Taucherglocke, die Bono in Lissabon anfangs verwandte, hatte die Form einer Vase mit achteckiger Basis (Abbildung 13).⁶⁶⁴ In der Glocke sollten zwei Taucher sitzen, die abwechselnd nach außen tauchten, um dort Korallen, Perlen oder andere Gegenstände zu sammeln. Die Glocke besaß eine Mechanik, um sie durch die Insassen selbst zu Heben und zu Senken. Im Innenraum der Glocke befand sich dafür an der Decke eine Seilwinde, die mit einem schweren Grundgewicht verbunden war. Ähnlich wie bei einem Aufzug sollten die Insassen so selbstständig die Tauchtiefe variieren können. Dieses Verfahren hatte bereits Niccolò Tartaglia 1551 vorgeschlagen.⁶⁶⁵

⁶⁶⁴ Alessandro dell Aira, La Campana die Bono Pioniere delle Immersione, in: HDS Notizie 21 (2001) 7-10, 7.

⁶⁶⁵ Tartaglia, Regola generale, 34. Siehe hierzu Kapitel 2.3.3.

Die im Archiv im Sevilla überlieferte Originalskizze von Bonos Taucherglocke zeigt, dass sie nicht nur keine Neuerungen enthielt, sondern grundsätzlich falsch konstruiert war: Das Tauchgerät von Bono hatte nicht die Form einer Glocke sondern die einer Vase.⁶⁶⁶ Sie besaß dadurch in Kopfhöhe der Insassen einen größeren Durchmesser als am unteren Rand, so dass der Wasserspiegel bei gleicher Tiefer höher in der Vasenform stand als in einer Glockenform (siehe Abbildung 11 auf S. 88).⁶⁶⁷ Außerdem ist eine Vasenform wegen des höheren Schwerpunktes instabiler als eine Glocke und kann leichter beim Aufsetzen auf das Wasser kippen. Es erstaunt nicht, dass das Fachwissen zur Taucherglocke Ende des 16. Jahrhunderts noch nicht bekannt war, denn das Verhältnis von Druck und Volumen („Boylesches Gesetz“), das den Anstieg des Wasserspiegels und damit die richtigen Dimensionen der Glocke berechnen lässt, wurde erst 1662 gefunden.⁶⁶⁸

Bono hatte keine Methode vorgesehen, um die verbrauchte Luft durch frische Luft zu ersetzen. Die Zeugenaussagen seiner Vorführungen sind zwar positiv, sagen aber durchgehend, dass die Taucher nur maximal 15 Minuten damit unter Wasser bleiben konnten.⁶⁶⁹ Immerhin war dies bereits eine etwa fünffach längere Aufenthaltsdauer, als sie geübten Apnoetauchern möglich ist.

3.4.2 Jerónimo de Ayanz y Beaumont

Jerónimo de Ayanz y Beaumont (1553-1613) war ein vielseitiger spanischer Erfinder, der sich mit Fragen des Bergbaues, Wasserbaues und der Hydrotechnik beschäftigte. Seine Erfindungen werden als der Vorläufer der modernen Dampfmaschine, des U-Bootes und des Tauchanzuges bezeichnet.⁶⁷⁰ Viele seiner Ideen lassen sich aber auf Vorgänger wie Leonardo da Vinci zurückführen.

Das Leben und Wirken von de Ayanz y Beaumont ist inzwischen gut erforscht.⁶⁷¹ Bislang standen im wissenschaftlichen Diskurs jedoch vorwiegend Ayanz' Erfindungen zur Technik der Dampfmaschine im Vordergrund, seine Erfindungen zu Tauchgeräten, und insbesondere der Taucherglocke, blieben weitestgehend unberücksichtigt. Nur der spanische Historiker

⁶⁶⁶ AGS, Camara de Castilla, leg. 532, fol. 174.

⁶⁶⁷ AGI, Patronato 260, No. 1, R. 10; AGI, Mapas y Planos, Ingenios y Maquinas, nr. 5; AGS, Cámara de Castilla leg. 532 fol. 174.

⁶⁶⁸ Siehe hierzu Kapitel 4.3.

⁶⁶⁹ AGI, Indiferente General, leg. 426, fol. 3.

⁶⁷⁰ Nicolas Garcia Tapia, Ingeniería del agua en los códices de Leonardo y en los manuscritos españoles del siglo XVI, in: Ingeniería del Agua 3/2 (1996) 17-38, 17.

⁶⁷¹ Siehe Nicolas Garcia Tapia, Un inventor navarro: Jerónimo de Ayanz y Beaumont, 1553-1613, Madrid 2001.

Garcia Tapia hat sich 1990⁶⁷² auch mit diesem wichtigen Teilkapitel des Wirkens von Ayanz beschäftigt, allerdings ohne sie, wie in diesem Forschungsprojekt, in den Gesamtzusammenhang der Entwicklung des Tauchens einzuordnen und systematisch zu untersuchen.

Im August 1602 führte de Ayanz im Fluss Pisuerga in Valladolid vor Philipp III. (1578-1621, reg. 1598-1621) und seinem Hof ein Tauchgerät vor. De Ayanz hielt in seinem Bericht fest, dass Philipp III. nach einer Stunde befahl, den Test zu beenden und den Taucher wieder an die Oberfläche zu bringen, obwohl er noch länger hätte dort bleiben können.⁶⁷³ Da kein spezielles Tauchgerät erwähnt wird, hatte der Taucher vermutlich einen einfachen Schnorchel verwandt. Die Tauchtiefe dürfte nicht groß gewesen sein.⁶⁷⁴ Der Test verlief positiv, schien aber den spanischen König nicht sonderlich beeindruckt zu haben.⁶⁷⁵

De Ayanz wurden 1603⁶⁷⁶ und 1606⁶⁷⁷ zwei Privilegien gewährt, um seine Erfindungen während eines Zeitraums von zwanzig Jahren für alle spanischen Königreiche, einschließlich Amerika, zu verwerten.

Das erste Privileg umfassten unter anderem vier verschiedene Schlauchtauchgeräte.⁶⁷⁸ Eines der Geräte bestand aus zwei Röhren, die am unteren, bogenförmigen Ende miteinander verbunden waren. Durch eines der Rohre wurde von der Oberfläche aus mit einem Blasebalg Luft hineingepumpt, die durch beide Röhren lief und durch die zweite ausgestoßen wurde. Der Taucher sollte mit einem Mundstück, das an der unteren Biegung saß, aus der Luftströmung atmen. Diese Idee zweier getrennter Rohre hatte bereits Leonarda da Vinci.⁶⁷⁹ Sie war nur in der Theorie einsetzbar, denn die Rohre mussten aus Metall oder einem anderen festen Material sein, damit sie nicht vom Wasserdruck zusammengepresst wurden. Immerhin war es aber einer der ersten bekannten Vorschläge, einem Taucher Frischluft von oben mit einem Blasebalg zuzuführen.

Ein anderes Tauchgerät von Ayanz basierte auf einer Methode, die bereits eingeatmete Luft zu filtern und zu kühlen, um sie wieder zu verwenden. Sie beruhte auf einem falschen physiologischen Prinzip und bestand in der Annahme, dass die ausgeatmete Luft nicht wieder

⁶⁷² Garcia Tapia, *Patentes de invención españolas*, 228-229.

⁶⁷³ Respuesta de don Jeronimo de Ayanz, AGS, Contadurias Generales, leg. 852. Zu dieser Episode im Fluss Pisuerga siehe Garcia Tapia, *Técnica y poder en Castilla*, 211-212.

⁶⁷⁴ Garcia Tapia, *En busca de tesoros bajo el mar*, 25.

⁶⁷⁵ AGS, Contadurias Generales, leg. 852.

⁶⁷⁶ AGS, Cámara de Castilla 172, fol. 17v und folgende.

⁶⁷⁷ AGS, Cámara de Castilla 174, fol. 49v bis 94.

⁶⁷⁸ AGI, Mapas y Planos, Ingenios y Muestras, 7-A und E.

⁶⁷⁹ Da Vinci, *Codex Arundel* 263, Fol. 24v.

zum Atmen verwendet werden könne, weil sie erwärmt und damit „verbraucht“ sei.⁶⁸⁰ Dieser Prozess wäre aber wieder umkehrbar.

Die Funktion der Atmung, sowie die Zusammensetzung der Luft und die Rolle des Sauerstoffs im Atmungsprozess waren zu dieser Zeit noch unbekannt. Es war ebenso noch unbekannt, dass man ein Luftvolumen nur solange veratmen kann, wie es ausreichend Sauerstoff enthält. Dieses Wissen wurden erst in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhundert insbesondere durch die Vakuum-Experimente von Robert Boyle und Robert Hooke in den 1660er Jahren entdeckt.⁶⁸¹ Die Kühlung der Ausatemluft war kein Weg, um sie wieder atembar zu machen, auch wenn dies immer wieder, noch bis zum Ende der 18. Jahrhunderts, vorgeschlagen wurde.

1606 reichte Ayanz ein Gesuch für ein zweites Privileg ein, diesmal für insgesamt 48 Erfindungen, wie etwa Waagen, Dampfkessel, Mühlen, Pumpen und Kettenantriebe. In seinem Gesuch kritisierte Ayanz die Taucherglocken-Konstruktion von Guiseppe Bono als rückständig und unbrauchbar, weil sie aufgrund der fehlenden Lufterneuerung für Taucher gefährlich war. Woher er sie kannte, ist unklar.

In dem Gesuch skizzierte Ayanz eine Taucherglocke (Abbildung 14).⁶⁸² Sie sollte aus Holz bestehen, und Lederstreifen zwischen den Dauben eine bessere Dichtheit gewährleisten. Die Glocke wurde mit Eisenbändern verstärkt, die in vier Standfüßen mündeten, um sicher auf dem Grund zu ruhen. Das Gerät konnte vom Insassen wie bei der Glocke von Bono mittels eines Grundgewichtes und einer Winde selbst angehoben und abgesenkt werden. Das Besondere der Ayanz-Glocke war jedoch die Erneuerung der Luft, die durch einen Blasebalg von der Oberfläche und durch ein Rohr nach innen in die Glocke gepresst werden sollte.⁶⁸³

Diese Luftzufuhr war der richtige Lösungsansatz und eine Verbesserung, die bislang so noch nicht nachzuweisen ist. Da diese Idee von De Ayanz weder umgesetzt, publiziert noch anderweitig kommuniziert wurde, geriet sie in Vergessenheit und wurde erst mehrere Jahrzehnte später durch Denis Papin wieder 1689 neu vorgeschlagen.⁶⁸⁴

⁶⁸⁰ Pérez-Mallaina, Los inventos, 44.

⁶⁸¹ Siehe hierzu Kapitel 4.3.

⁶⁸² AGS, Cámara de Castilla 174, fol. 72v.

⁶⁸³ AGS, Cámara de Castilla 174, fol. 72v.

⁶⁸⁴ Denis Papin, Excerpta ex litteris Dn. Dion. Papini ad de Instrumentis ad flammam sub aqua conservandam, in: Acta Eruditorum 8 (1689) 485-489, Tab. XI Fig. 2-3; Siehe hierzu Kapitel 4.9.

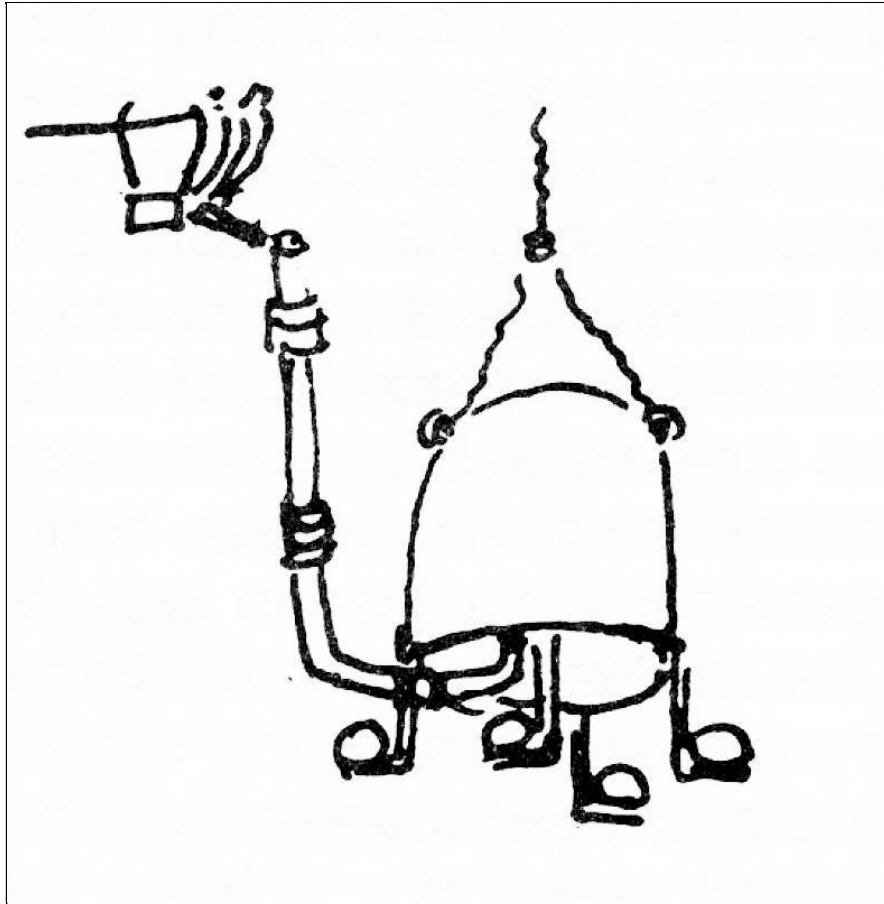


Abbildung 14: Vierbeinige Taucherglocke mit Schlauch und Blasebalg von Jerónimo de Ayanz y Beaumont (1606). Quelle: Nicolas García Tapia, *Patentes de invencion españolas en el Siglo de Oro*, Madrid 1990, 229.

Ayanz setzte nur wenige seiner Vorschläge in die Praxis um. Sein innovatives Taucherglockenkonzept blieb auf dem Papier.⁶⁸⁵ Ab 1608 widmete er sich der potentiell lukrativeren Ausbeutung einer Goldlagerstätte in der Nähe von El Escorial nördlich von Madrid und ab 1611 der Reaktivierung der Silberminen in Guadalcanal bei Sevilla.

Ayanz Konstruktionen, insbesondere zur Tauchtechnik, hatten geringe Auswirkungen.⁶⁸⁶ Nach Barrera-Osorio waren die aktuellen Umstände in Spanien ein Grund für die fehlende Unterstützung solcher Erfindungen: „The political and economic uncertainties of the period, exacerbated by new wars against France, England, and the Low Countries, resulted in declining support for projects that would have enjoyed support in the previous century, such as the steam

⁶⁸⁵ García Tapia, *En busca de tesoros bajo el mar*, 31.

⁶⁸⁶ Alison Sandman, *Un inventor navarro: Jeronimo de Ayanz y Beaumont, 1553-1613* (review), in: *Technology and Culture* 44 (2003) 379-381, 380.

machines invented by Jerónimo de Ayanz“⁶⁸⁷. Möglicherweise wurden die spanischen Erfindungen aber auch gezielt geheim gehalten, um einen eventuellen technologischen Vorsprung nicht an das Ausland zu verlieren.⁶⁸⁸ Geheimhaltung war insbesondere bei kosmografischen und nautischen Kenntnissen eine ständig von Spanien gelebte Praxis, denn „any work that discussed the history, geography, natural history, or native peoples of the New World [and] cosmography became the secret science of the Spanish empire“⁶⁸⁹.

Eine andere These, weshalb Wissen nicht aus Spanien hinaus in andere Teile Europas transferiert wurde, vertritt Jorge Cañizares-Esguerra mit Hinweis auf die noch lange andauernde Verwendung von Handschriften anstatt dem Buchdruck: „This has to do in part with the manuscript, scribal culture of the Spanish empire, which fostered a tradition of state secrecy that kept most of its investigations into nature and technology in archives, unavailable to other Europeans and the collective historical memory“⁶⁹⁰.

Im Vergleich zu anderen europäischen Ländern war Spanien hinsichtlich der Entwicklung und Nutzung des Buchdruckes rückständig: „Unter der Herrschaft der Inquisition und der Jesuiten hatte Spanien [noch im 17. Jahrhundert] wenig Bedeutendes auf dem Gebiet der Druckkunst geleistet. Erst in der zweiten Hälfte des 18. Jh., nachdem König Karl III. aus dem Haus der Bourbonen die Jesuiten vertrieben und die Inquisition beschränkt hatte, erhielten Kunst und Wissenschaft Möglichkeiten der freieren Entfaltung“⁶⁹¹.

Durch die von der Inquisition betriebene Bücherzensur waren kulturellen Transfers auf dem Feld der Technik und der Wissenschaft in der Frühen Neuzeit enge Grenzen gesetzt, so dass der geistige Austausch zwischen Spanien und dem Rest Europas noch bis ins 18. Jahrhundert erheblich erschwert wurde.⁶⁹²

3.4.3 Pedro de Ledesma und Francisco Nunez Melian

Im Herbst 1622 verzeichnete die spanische Krone einen großen Verlust: Am 6. September 1622 gerieten 23 Schiffe einer Silberflotte, beladen mit Silber und Gold aus Mexiko und Peru, die auf dem Weg von Havanna nach Spanien war, in einen Hurrikan. Neun Galeonen

⁶⁸⁷ Barrera-Osorio, *Experiencing Nature*, 10.

⁶⁸⁸ Cort MacLean Johns, *The Industrial Revolution - Lost in Antiquity - Found in the Renaissance*, Meerssen 2020, 251-252.

⁶⁸⁹ Maria M. Portuondo, *Secret Science: Spanish Cosmography and the New World*, Chicago 2009, 301.

⁶⁹⁰ Jorge Cañizares-Esguerra, *Nature, Empire, and Nation: Explorations of the History of Science in the Iberian World*, Redwood City CA 2006, 4.

⁶⁹¹ Funke, *Buchkunde*, 172.

⁶⁹² Siehe Henry Kamen, *Die spanische Inquisition*, [EA 1965, Übers. Arno Dohm], München 1969, 83–121.

zerschellten an den Korallenriffs bei Matacumbé in den Florida Keys, darunter die gerade in Dienst gestellte *Nuestra Señora de Atocha*. 500 Seeleute ertranken, 289 davon allein von der *Nuestra Señora de Atocha*.⁶⁹³

Die Behörden in Havanna beschlossen, schnellstmöglich die wertvolle Ladungen zu bergen, bevor die Schiffe auseinanderbrechen und nicht mehr zu finden waren. Der erfahrene Kapitän Gaspar de Vargas lief mit fünf Schiffen zur Unglücksstelle aus. Das Wrack der *Atocha* wurde bald gefunden. Es lag in etwa 20 Meter Tiefe, und die indigenen Taucher konnten es leicht erreichen. Es war ihnen aber nicht möglich, in den Laderaum einzudringen, da alle Luken fest verschlossen waren. Außer einigen leichten Geschützen an Deck konnte nichts Wertvolles von der *Atocha* geborgen werden. Die darauffolgende Suche nach dem Schwesterschiff, der *Santa Margarita*, blieb erfolglos.⁶⁹⁴

Im darauffolgenden Jahr wurde die Bergungsaktion fortgesetzt, und diesmal wurde Vargas von dem spanischen Bergungsexperten Nicolas de Cordona aus Mexiko begleitet.⁶⁹⁵ Obwohl beim zweiten Anlauf mehr Taucher zur Verfügung standen, als beim ersten Versuch direkt nach dem Unglück, wurden ebenfalls keine nennenswerten Gegenstände geborgen.⁶⁹⁶

1623 beschrieb Pedro de Ledesma, Sekretär der Consejo de Indias in einer *Pesca de perlas y busca de galeones* betitelten, 34 Blatt umfassenden und mit vielen colorierten Zeichnungen versehenen Handschrift neben den Techniken für das Perlenfischen, welche Bergungstechniken die Taucher bei den Arbeiten an der *Atocha* eingesetzt hätten.⁶⁹⁷ Dieser zweite Teil des Manuskriptes ist der umfangreichste, und er ist mit neun Illustrationen versehen. Neben Darstellungen, die zeigen, wie man starke Greifer - für sie hatte Cristobal Garciano de Almonte 1610 ein Privileg⁶⁹⁸ erhalten - Ketten und Anker von der Oberfläche aus einsetzt, um das Deck des Wracks aufzureißen, zeigen zwei Illustrationen einen mit Lederkappe und langem Saugrohr ausgerüsteten Taucher, der sich an einer Stange zum Meeresgrund hinablässt und dort arbeitet.

⁶⁹³ Rodríguez / Ivars, Historia del buceo, 162.

⁶⁹⁴ Earle, Treasure Hunt, 16.

⁶⁹⁵ Earle, Treasure Hunt, 17.

⁶⁹⁶ Ein zeitgenössischer Bericht über den Untergang und die Bergungsversuche wird im Museo de Naval in Madrid aufbewahrt, siehe Anonymus: Naufragio de los Galeones de España año 1622: Relación de lo sucedido después que la Armada de la guardia de las Indias llegó al Puerto de la Habana este año de 1622. Colección Documental Fernández de Navarrete, MNM, Vol. XII, Doc. 27, f. 128-135.

⁶⁹⁷ Petro de Ledesma, Pesca de perlas y busca de galeones, El Manuscrito de Ledesma, MNM, Ms. 1035; Petro de Ledesma, Pesca de perlas y busca de galeones [1623], Hg. Archivo del Museo Naval de Madrid, Faksimiledruck Madrid 1985.

⁶⁹⁸ Reales Cédulas para Cristóbal Garciano de Almonte. San Lorenzo de El Escorial, 26 de octubre de 1610. AGI, Indiferente 502, lib. I, fol. 260 vto. núm. 262.

Diese Konstruktion hatte große Ähnlichkeit mit der in dem Buch *Tratado dela artilleria* (1613) von Diego Ufano.⁶⁹⁹ Ufano diente unter Luis de Velasco y Velasco (1560-1626), dem Kommandeur der spanischen Artillerie in Flandern, und bekleidete das Amt des Artilleriekommandeurs der Garnison Antwerpen. Ufano beschrieb neben einer Vielzahl von technischen Einzelheiten zur Artillerie und Geschossen auch, wie man ein gesunkenes Schiff⁷⁰⁰ mit Hilfe des archimedischen Prinzips heben kann (analog dem Konzept von Tartaglia), und wie man versunkene Geschütze mit Hilfe eines Tauchanzuges vom Grund bergen sollte. Er schlug hierfür eine unbrauchbare Taucherkappe mit langem Saugrohr vor.⁷⁰¹

Wie de Ledesma schreibt, soll der Taucher damit in bis zu 45 Meter Tiefe vier Stunden lang arbeiten können.⁷⁰² Da der Taucher Luft bei atmosphärischem Druck von der Oberfläche atmen würde, ist es jedoch unmöglich, diese Ausrüstung mehr als zwei Meter unter Wasser zu benutzen. Die Tiefenangabe von de Ledesma war nicht reell. Da Ledesma in seinem Manuskript keine Taucherglocken erwähnt, scheinen sie zu seiner Zeit kein Standardwerkzeug in Spanien gewesen zu sein.

1626, drei Jahre nach der Erstellung des Manuskriptes durch Ledesma, ersuchte der in Havanna ansässige Francisco Nunez Melian (?-1644) bei Phillip IV. (1605-1665, reg. 1621-1665) nach einer Konzession, um die Ladungen der beiden gesunkenen Galeonen zu bergen.⁷⁰³ Die Arbeiten begannen im Sommer 1626. Wie seine Vorgänger hatte er einige indigene Taucher an Bord, diesmal aber auch eine große Taucherglocke. Sie bestand aus Bronze, hatte ein Gewicht von etwa 312 kg, und war mit einem Sitz und Glasfenster ausgestattet. Bronze war ein teurer Werkstoff, und Melian hatte in Havanna 5.440 Reales für die Glocke zahlen müssen. Für Verbesserungen an der Glocke gab er später weitere 480 Reales aus.⁷⁰⁴ Sie sollte nicht nur als Luftreservoir für die Taucher bei der Arbeit unter Wasser sondern auch als Suchgondel dienen, und war zu diesem Zweck mit speziellen Fenstern ausgestattet.⁷⁰⁵ Das Mutterschiff fuhr, mit der Glocke im Wasser hängend, durch das Suchgebiet, so dass der Taucher im Inneren - ähnlich wie in einem Ballonkorb - den Meeresboden beobachten konnte, während er unter ihm vorbeizog. Dieser mobile Aussichtspunkt war eine neue, innovative Einsatzform der bislang

⁶⁹⁹ Diego Ufano, *Tratado dela artilleria*, Brüssel 1613.

⁷⁰⁰ Ufano, *Tratado dela artilleria*, 234.

⁷⁰¹ Ufano, *Tratado dela artilleria*, 237.

⁷⁰² De Ledesma, *Pesca de perlas*, 21.

⁷⁰³ Petro de Ledesma, *Pesca de perlas y busca de galeones* [1623], Ms. 1035.

⁷⁰⁴ *Data de gastos del asiento de Francisco Nunez Melian*. Partida 187 und Partida 227, AGI Contaduría 1112.

⁷⁰⁵ Serrano Mangas, *Nafragios*, 122.

nur stationär eingesetzten Taucherglocke, und die Vorstufe der ab dem 19. Jahrhundert vielfältig eingesetzten Luftaufklärung aus Ballonen und Flugzeugen.⁷⁰⁶

Auf diese Art lokalisierte Melian das Wrack der *Santa Margarita* in zehn Meter tiefem Wasser unweit des Ufers. Bei den Bergungen kam es mehrfach zu Kämpfen mit der indigenen Bevölkerung. Sie wurden schließlich mit Schmuck, Melasse und Lebensmitteln besänftigt.⁷⁰⁷

Die anschließenden Taucharbeiten waren erfolgreich: Melian konnte 60.000 Münzen, 300 Silberbarren und 11 Bronzekanonen bergen.⁷⁰⁸ Seine Tätigkeit scheint der erste Einsatz einer Taucherglocke bei der Bergung im karibischen Raum gewesen zu sein.⁷⁰⁹ Sie zeigt, dass die Taucherglocke damals das leistungsfähigste und vielseitigste Gerät war, was für die effektive Suche unter Wasser sowie Tauchgänge zur Verfügung stand. Zeitlich limitiert war es allerdings noch durch den begrenzten Luftvorrat in seinem Inneren.

Melián setzte neben der Glocke zwischen neun und dreizehn Apnoetaucher pro Saison ein. Er kehrte bis 1629 jährlich zu dem Wrack zurück, hatte aber nie mehr den gleichen Erfolg. Doch trotz dieses enttäuschenden Endes seiner Bergungsarbeit hatte Melian nicht nur Reichtum, sondern auch Ruhm erlangt, denn er wurde mit dem Amt des Gouverneurs von Venezuela belohnt. Seine Bergungskonzession wurde von Juan de Anuez übernommen, der bis 1641 mit geringem Erfolg an den Wrack weiterarbeitete.⁷¹⁰

Taucherglocken scheinen erst nach etwa 1625 in Spanien zu einem Standardwerkzeug geworden zu sein. 1641, als die *Almiranta de Nueva España* vor der spanischen Küste Schiffbruch erlitt, ordnete der Präsident der Real Audiencia von Santo Domingo - der oberste Gerichtshof der Kolonialverwaltung – unter anderem an, dass auch Glocken für die Bergungsarbeiten hergestellt werden sollten. Dies schien inzwischen die übliche Vorgehensweise in der Karibik und nichts Außergewöhnliches mehr zu sein.⁷¹¹

Schon wenige Jahre später schien dieses technische Wissen jedoch nicht mehr allgemein präsent gewesen zu sein, zumindest in Spanien selbst. Während in England die Taucherglocke weiterentwickelt und optimiert wurde, schien nun ein technologischer Stillstand Spaniens einzutreten.

⁷⁰⁶ Siehe Hannah Zindel, *Ballons. Medien und Techniken früher Luftfahrten*, Paderborn 2020, 10-12.

⁷⁰⁷ Serrano Mangas, *Naufragios*, 80.

⁷⁰⁸ AGI, Indiferent 2498 lib. 13 fols. 251 und 251v; AGI, Contaduría 1112.

⁷⁰⁹ Lyon, *The trouble with treasure*, 787.

⁷¹⁰ Rodríguez / Ivars, *Historia del buceo*, 163.

⁷¹¹ El Almirante don Juan de Villavicencio al Presidente y Jueces Oficiales de la Casa de la Contratación. Santo Domingo, 6 de abril de 1642. AGI, Contratación 5101.

Eigene tauchtechnische Einsätze versuchte man auch hier durch den Import von Fachkräften durchzuführen: 1629 unterzeichnete beispielsweise der spanische Kapitän Pedro de Idiáquez einen Vertrag mit einem Berger aus Frankreich, um Artilleriegeschütze seiner Galeone zu bergen, die in 20 Meter tiefem Wasser lag. Nach nur einem Monat hatte der Taucher aus Frankreich 16 Kanonen geborgen. Welche Technik er verwendete, ist nicht überliefert.⁷¹²

Neben der technikgeschichtlichen Relevanz hat diese Vorgehensweise auch einen wirtschaftsgeschichtlichen Aspekt. Bau und Betrieb einer Taucherglocke erforderte neben den Kosten für das Material und den Betrieb auf einem entsprechend ausgerüsteten Schiff mit Hebekran auch die Zuziehung hochspezialisierter Fachleute, die nicht nur selten, sondern auch nicht billig zu haben waren. Rund ein Dutzend Männern wurden benötigt, um eine Taucherglocke zu bedienen. Ergänzend zu den teuren Bau-, Unterhalts- und Betriebskosten ist zu bedenken, dass Taucherglocken nicht sehr häufig einsetzen wurden. Viele Wracks in der Karibik lagen in flacheren Gewässern, die auch für Apnoetaucher zugänglich waren. Insofern kann dieses Ausleihen von Experten nicht nur als fehlendes Knowhow, sondern auch als ökonomisches Handeln bewertet werden.

Aus der Mitte des 17. Jahrhunderts finden sich weitere Beispiele, dass Taucherglocken aus Metall in Spanien weitgehend unbekannt waren, oder ihr Bau aus Kostengründen gescheut wurde: Ein Francisco Sepulveda bot 1662 an, eine Holztaucherglocke zu bauen, um mit ihr an der 1660 versunkenen *Almiranta de Génova* zu arbeiten.⁷¹³ Aus seiner Schilderung wird deutlich, dass sie als Luftreservoir für Taucher dienen soll, also die gleiche Funktion besaß wie alle bisherigen Taucherglocken.

Sepulveda erklärte seine Fachkompetenz damit, dass er die Glocke bei verschiedenen Tauchgängen, an denen er teilgenommen hatte, gesehen und bei ihrer Herstellung geholfen habe. Dies erweckt den Eindruck, dass er selbst noch nie zuvor eine Glocke gebaut hat, und auch niemand in Cádiz zu wissen schien, wie man sie herstellt. Bedeutsam ist auch die Tatsache, dass der Consejo de Hacienda (Oberster Finanzrat) es 1662 für angebracht hielt, in Flandern an den Generalaufseher zu schreiben, um eine Person zu suchen, die mit „den notwendigen Instrumenten“ nach Spanien kommen sollte, um das Silber von der *Almiranta de Génova* zu bergen.⁷¹⁴

⁷¹² Fernando Ruiz de Contreras a la Casa de la Contratación. Madrid, 21 de agosto de 1629. AGI, Indiferente 2499, lib. 14, fols. 160-161.

⁷¹³ Auto para fabricar una campana de buceo. Cádiz, 28 de abril de 1662, AGS, Contaduría Mayor de Cuentas, 3 e., 1358.

⁷¹⁴ Consulta del Consejo de Hacienda de 17 de agosto de 1662. AGS, Consejo y Junta de Hacienda 1153.

Sepulvedas Glocke wurde gebaut und sollte eingesetzt werden, allerdings stieß ihre Einführung auf Widerstand: Serrano Mangas⁷¹⁵ berichtet, dass sich die spanische Taucher aus Furcht vor der neuen Technik und ihren unbekanntem Gefahren geweigert haben, die Glocke bei der Bergung der Ladung der *Almiranta de Génova* zu verwenden.

3.5 Spanische Wissenschaft und Tauchtechnologie im Siglo de Oro

Als Siglo de Oro (wörtlich „Goldenes Jahrhundert“) wird rückblickend das „Goldene Zeitalter“ Spaniens in Kunst und Kultur etwa von 1550 bis um 1650 bezeichnet.⁷¹⁶ Es wird in der spanischen Geschichte als eine Zeit besonderen Aufschwunges und weltweiter politischer Macht gesehen. Ob dies allerdings auch für bedeutende Fortschritte in der Technik des Gerätetauchens gelten kann, ist fraglich.

Die Herstellung und Verwendung von Maschinen und Werkzeuge gibt in der Regel auch Hinweise auf das wissenschaftliche Niveau des Landes zu dieser Zeit. Während des 16. und 17. Jahrhunderts kann festgestellt werden, dass es, was die Tauchtechnik in Spanien betrifft, zwei Phasen gibt. Bis zum Anfang des 17. Jahrhunderts fand eine Fortsetzung der bereits vorherrschenden Technologie (einfache Taucherglocken, Schlepphaken und Greifer) statt. Tauchgeräte-Privilegien wurden gewährt und innovative Ideen nur vereinzelt generiert, vor allem durch Jerónimo de Ayanz y Beaumont (1606). Dann begann jedoch eine Periode des technologischen Stillstandes. Nach Tauchgeräte-Privilegien wurde im 17. Jahrhundert in Spanien kaum noch ersucht.

Diese beiden Phasen der spanischen Tauchtechnik decken sich mit der von López Piñero für die spanische Wissenschaft und Technik im Allgemeinen vorgenommenen Einteilung.⁷¹⁷ Piñero sieht den Bruch, an dem die technologische Kreativität zurückging, nach dem ersten Drittel des 17. Jahrhunderts.⁷¹⁸ Seine Einschätzung eines Verfalls im 17. Jahrhundert wird von weiteren Autoren geteilt. In der spanischen Geschichtsschreibung gilt es als eine Phase des Verfalls und Niedergangs. Die erste Hälfte „war noch von Kämpfen um die Bewahrung der

⁷¹⁵ Serrano Mangas, *Nafragios*, 107.

⁷¹⁶ Siehe Maria Isabel Vicente Maroto / Mariano Esteban Pineiro, *Aspectos de la ciencia aplicada en la España del siglo de oro*, Salamanca 1991.

⁷¹⁷ López Piñero, *Ciencia y Técnica*, 196-212, 240-279, 377-385; siehe Barrera-Osorio, *Experiencing Nature*, 133; Goodman, *Power and Penury*, 262.

⁷¹⁸ Siehe dazu I. A. A. Thompson / Bartolome Yun Casalilla, *The Castilian Crisis of the Seventeenth Century: New Perspectives on the Economic and Social History of Seventeenth-Century Spain*, Cambridge 1994.

hegemonialen Position in Europa und auf den Weltmeeren beherrscht, danach war die Dekadenz unübersehbar“, urteilt der Historiker Walther L. Bernecker.⁷¹⁹

Carlos M. Madrid Casado sieht die vielen Aufstände und Kriege, in die Spanien im 17. Jahrhundert verwickelt war (Dreißigjähriger Krieg 1618-1648, Krieg mit Frankreich 1635-1659, Aufstand in Katalonien 1640-1659, Restaurationskrieg 1659-1668), als eine der Ursachen, weshalb das Land nicht den Anschluss halten konnte: „Spanien erlebte das 17. Jahrhundert als ein Jahrhundert des Eisens und des Feuers. Dies verhinderte, dass sie die Impulse der *nuova scienza* erhielt [...] Die übermäßige Militarisierung der aufgeklärten spanischen Wissenschaft war eine der Ursachen für ihre Entwurzelung“.⁷²⁰

Ulrich Troitzsch sieht den Verfall bereits deutlich früher einsetzen: „Mit dem Sieg der Engländer über die Armada in Jahr 1588 begann der Niedergang des spanischen Weltreiches. [...] Spanien blieb in seinem Inneren ein vom grundbesitzenden Klerus und Adel beherrschtes Land mit einem wenig ausgeprägten Gewerbesektor, ein Land, das weitgehend von den Silbereinfuhren aus den Kolonien lebte und wohl auch deshalb kaum technologische Impulse hervorbrachte“.⁷²¹

Spanien erlebte im 16. Jahrhundert durch seine Eroberungen der neuen Gebiete jenseits des Atlantiks zwar einen Gold- und Silberzustrom, konnte diesen Reichtum jedoch nicht in eine eigenständige wirtschaftliche Entwicklung im Lande umsetzen. Die Ursachen dafür sind vor allem in der Zerrüttung der Staatsfinanzen aufgrund der Großmachtpolitik und in deren Folge die Kosten für Kriege und die Niederschlagung von Aufständen sowie der Abhängigkeit der spanischen Krone von internationalen Finanzleuten und Bankhäusern zu suchen.⁷²²

In dem gleichen Jahr 1557, in dem Spanien einen bedeutenden militärischen Sieg über Frankreich erzielte, musste das Land die Zahlungen an seine Gläubiger aussetzen. Später sah sich Philipp II. während seiner Regierungszeit als König von Spanien (1556-1598) noch mehrfach zu der gleichen Notmaßnahme gezwungen. Die jährlichen Ausgaben überschritten ständig deutlich die Einnahmen während seiner Amtszeit.⁷²³

⁷¹⁹ Walther L. Bernecker, *Spanische Geschichte. Vom 15. Jahrhundert bis zur Gegenwart*, 6. aktualisierte Auflage [EA München 1999], München 2015, 35.

⁷²⁰ Eigene Übersetzung vom Originaltext „España vivió el siglo XVII como un siglo de hierro y fuego. Lo que le impidió recibir el empuje de la *nuova scienza* ... La excesiva militarización de la ciencia española ilustrada fue una de las causas de su desarraigo“ in Carlos M. Madrid Casado, *España y la Revolución Científica: estado de la cuestión de una polémica secular*, in: *Circumscribere* 13 (2013) 1-28, 27-28.

⁷²¹ Troitzsch, *Technischer Wandel*, 13.

⁷²² Fernand Braudel, *Das Mittelmeer und die mediterrane Welt in der Epoche Philipps II.*, Band 2, Übers. Grete Osterwald / Günter Seib, [EA Paris 1949], Frankfurt a. M. 1990, 238, 271.

⁷²³ Bernecker, *Spanische Geschichte*, 37.

Obwohl das erste wesentliche Glied des technischen Fortschritts, die Erfindung, im Spanien des 16. Jahrhunderts nicht zuletzt wegen der im gesamteuropäischen Vergleich fortschrittlichen Privilegierungspraxis weit verbreitet war, gilt dies nicht für die übrigen Bedingungen, die zur Vervollständigung der industriellen Entwicklung erforderlich sind: Serienproduktion und Kommerzialisierung. Die Förderung der Wirtschaftskraft erreichte die spanischen Erfinder nicht im notwendigen Umfang, die ihre Produkte auch generell nicht vermarkten konnten, so dass kein produktionsfreundliches Umfeld geschaffen wurde.⁷²⁴

„In the case of Spain, the decisive factor was [...] the failure of the government to lend continued support to innovation in technology [...] it was precisely the contraction of government demand in the early seventeenth century, due to the financial quandary of the Spanish state, that discouraged the further pursuit of technical innovations“, so Karel Davids⁷²⁵. Dies führte nach Davids auch dazu, dass „the Spanish were ‘underachievers’ in technological creativity throughout most of the seventeenth and eighteenth centuries“⁷²⁶.

In der aktuellen Forschung⁷²⁷ wird Spanien eine Vorreiterrolle für frühen Empirismus im 16. Jahrhundert zugeschrieben: „In the last two decades, we have witnessed a rebirth of the Iberian studies of science, or what can simply be called ‚Iberian science‘“, so Antonio Sánchez⁷²⁸. Jorge Cañizares-Esguerra sieht „Colonial Iberian Roots of the Scientific Revolution“⁷²⁹ und argumentiert, Historiker „overlooked the Iberian colonial origins of key ideas associated with the seventeenth-century changes in natural philosophy that revolutionized the early modern world [...] Disciplines like cartography, mapmaking, and natural history are therefore no longer marginal to the narratives of the origins of scientific modernity“⁷³⁰.

In seinem Werk *Experiencing Nature* (2006) zeigt Barrera-Osorio auf, wie die maritime, imperialistische, bürokratische und kommerzielle Kultur Spaniens die Institutionalisierung eines neuen Empirismus, neue empirische Praktiken im Zusammenhang mit der Schifffahrt, der Navigation, der Anfertigung von Karten und die Sammlung von Informationen über die Natur der Neuen Welt – beispielsweise Mineralien, tropische Produkte, Heilpflanzen - hervorbrachte.⁷³¹ Dies gilt vor allem für das 16. Jahrhundert.

⁷²⁴ Garcia Tapia, *Cédulas de privilegio y patentes*, 90.

⁷²⁵ Davids, *Religion, Technology, and the Great and Little Divergences*, 212.

⁷²⁶ Davids, *Religion, Technology, and the Great and Little Divergences*, 212.

⁷²⁷ Siehe Antonio Sánchez, *The „empirical turn“ in the historiography of the Iberian and Atlantic science in the early modern world: from cosmography and navigation to ethnography, natural history, and medicine*; in: *Tapuya: Latin American Science, Technology and Society* 2 (2019) 317-334.

⁷²⁸ Sánchez, *The „empirical turn“*, 318.

⁷²⁹ Cañizares-Esguerra, *Nature, Empire, and Nation*, 14.

⁷³⁰ Cañizares-Esguerra, *Nature, Empire, and Nation*, 4.

⁷³¹ Sánchez, *The „empirical turn“*, 322.

Jüngste Forschungen zur Geschichte der Technik in Spanien haben viele technische Errungenschaften im 16. Jahrhundert aufgedeckt, insbesondere in Bereichen wie Bergbau, Wasserbau und Navigationstechnik. „Far from being an obscure backwater, sixteenth-century Spain was in fact the country in Europe where the idea that the ‘Moderns’ in many respects were superior to the ‘Ancients’ first began to take root in humanist circles - long before this happened in England or France. And one of the reasons for this was the remarkable advancement in technology realized from the late Middle Ages onwards“⁷³², so Davids.

Barrera-Osorio verfolgt die These, dass die Anfänge der Wissenschaftlichen Revolution in Spanien in den 1520er Jahren - der Arbeitsaufnahme der oberste Kolonialbehörde Consejo de Indias - zu verordnen sind, als Kaufleute, Handwerker und königliche Beamte sich mit neuen Dingen konfrontiert sahen, die aus der Neuen Welt kamen, und ihre eigenen Methoden entwickeln mussten, um Informationen über diese Länder zu sammeln, zu organisieren, zu bewerten und zu nutzen.⁷³³ In der 1503 gegründeten Casa de Contratación und in der 1524 gegründeten Consejo de Indias wären diese empirischen Praktiken institutionalisiert worden. Barrera-Osorio sieht die Casa de Contratación als Vorläufer der Royal Society of London, diese wäre „tantalizingly similar to the one launched in Spain“⁷³⁴. Die Casa de Contratación „constituted a pioneering model for the scientific academies of the seventeenth century. Information in the form of reports arrived to the Casa to be studied by a group of experts (pilots and cosmographers)“⁷³⁵.

Das naturwissenschaftliche Interesse Spaniens galt dabei vorwiegend Fragen der Seefahrt und Navigation, der Astronomie, Medizin, Botanik und Bergbautechnologie⁷³⁶, so Madrid Casado: „Von Anfang an war das „spanische Wissenschaftsprogramm“ den empirischen Bedürfnissen des spanischen Reiches, den nautischen und militärischen Künsten sowie der Gold- und Silbermetallurgie untergeordnet, ohne dabei politische und staatliche Fragen zu vergessen.“⁷³⁷

⁷³² Davids, Religion, Technology, and the Great and Little Divergences, 207.

⁷³³ Barrera-Osorio, Experiencing Nature, 2; siehe Antonio Barrera-Osorio, Empiricism in the Spanish Atlantic World; in: James Delbourgo / Nicholas Dew (Hg.), Science and Empire in the Atlantic World, New York 2007, 177-202, 178.

⁷³⁴ Barrera-Osorio, Experiencing Nature, 30-31.

⁷³⁵ Antonio Barrera-Osorio, Knowledge and Empiricism in the Sixteenth-Century Spanish Atlantic World, in: Daniela Bleichmar / Paula De Vos / Kristin Huffine / Kevin Sheehan (Hg.), Science in the Spanish and Portuguese Empires 1500-1800, Stanford 2009, 219-232, 220.

⁷³⁶ Madrid Casado, España y la Revolución Científica, 11.

⁷³⁷ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Desde el principio, el „programa científico hispano“ estuvo supeditado a las necesidades empíricas del Imperio Hispánico, a las artes náuticas y militares, así como a la metalurgia del oro y de la plata, sin olvidar las cuestiones políticas o de gobierno“ in Madrid Casado, España y la Revolución Científica, 26; siehe Nicolas Garcia Tapia / Maria Isabel Vicente Maroto, Las Escuelas de Artillería y otras

Barrera-Osorio argumentiert, dass die empirische Wissenschaft in Spanien ursprünglich ein Produkt der kommerziellen und imperialen Expansion war, und sie nach der Institutionalisierung wiederum den Interessen des Imperiums und der Nationalstaaten diene.⁷³⁸ Sie hätte Auswirkungen auf andere Länder gehabt: „The early Scientific - that is, empirical - Revolution that took place in Spain became a key element in later developments, as the Spanish scientific books translated into Italian, French, and English (among other languages) testify“⁷³⁹.

Die Beitrag Spaniens zum Empirismus geht nach Barrera-Osorio aber nicht über die Institutionalisierung hinaus: „The Spanish contribution to the development of science consisted of the institutionalization of empirical practices rather than the theoretical development of science - those developments would come only during the seventeenth century in England, Holland, and France and by the late seventeenth century in Spain“⁷⁴⁰. Damit wäre Spanien aber im 16. Jahrhundert „at the forefront of the development and institutionalization of empirical activities in Europe“⁷⁴¹.

Die Geschichte der aufkommenden empirischen Praktiken in Spanien in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts habe damit zwei Dimensionen: Die eine ist die tatsächliche Entwicklung dieser Praktiken in Spanien und den spanisch-amerikanischen Königreichen, und die andere der Einfluss der spanischen empirischen Aktivitäten in England in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts. Mitte der 1550er Jahre, als Philipp II. in seiner zweiten Ehe 1554-1558 mit Maria I. Königsgemahl von England war, hätte sich England sehr darum bemüht, Zugang zu den spanischen Büchern und Informationen über die Neue Welt und ihrer Bewohner zu erhalten - insbesondere zu ihren wissenschaftlichen Büchern und Informationen über Naturgeschichte und Botanik, Kosmographie, Medizin und Navigation wie beispielsweise die Navigationsjournale von Pedro de Medina *Arte de navegar* (1545) und Martin Cortés *Breve compendio de la sphaera y de la arte de navegar* (1551).⁷⁴² Zwischen 1561 und 1630 gab es von Cortés Buch mindestens sechs englische Übersetzungen, während Medinas Buch mit zwanzig, meist französischen Ausgaben eine größere Verbreitung fand.⁷⁴³

Instituciones tecnicas, in: José María López Piñero (Hg.), *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla. Siglos XVI y XVII*, Leon 2002, 73-81, 73.

⁷³⁸ Barrera-Osorio, *Experiencing Nature*, 9.

⁷³⁹ Barrera-Osorio, *Experiencing Nature*, 59.

⁷⁴⁰ Barrera-Osorio, *Experiencing Nature*, 2.

⁷⁴¹ Barrera-Osorio, *Experiencing Nature*, 5.

⁷⁴² Adams, *The beginnings of maritime publishing in England*, 208.

⁷⁴³ David W. Waters, *The Art of Navigation in England in Elizabethan and Early Stuart Times*, New Haven 1958, 496.

In diesen Jahren fand ein reger intellektueller Verkehr zwischen Spanien und England statt; wichtige Bücher wurden aus dem Spanischen übersetzt und in England diskutiert, und ihre spanischen Autoren gerieten schließlich in Vergessenheit.⁷⁴⁴ Einige Historiker sehen darin den Ursprung der modernen Wissenschaft in England: „These translations [...] did bring this culture into England“⁷⁴⁵.

Der Wissenstransfer von Spanien nach England sei nicht auf Übersetzungen von Bücher beschränkt gewesen. 1558 besuchte beispielsweise der englischer Seefahrer und Entdecker Stephen Borough die Casa de Contratación in Sevilla, und kehrte tief beeindruckt wieder nach England zurück.⁷⁴⁶ „The English not only learned about navigation, natural history, and cosmography from the Spaniards, they also learned about experimental and reporting practices coming from the Spanish American world“⁷⁴⁷, folgert Barrera-Osorio daraus.

3.6 Zwischenfazit: Stagnation - Tauchtechnik als Enigma

Im 16. Jahrhundert entwickelte sich in der Karibik eine rudimentäre spanische Bergungsindustrie. Von Stützpunkten in Bermuda, Port Royal, Havanna, Veracruz, Cartagena und Panama aus operierten Tauchergruppen für die Wartung von Schiffsrümpfen und die Bergung von Wracks. Spanische Schiffe führten in ihren Konvois zwischen der Neuen Welt und Spanien Taucher verschiedener ethnischer Herkunft für den gleichen Zweck mit.

Wie in den vorhergehenden Untersuchungen gezeigt wurde, gab es in Spanien im 16. und 17. Jahrhundert großen Bedarf an Tauchtechnik - anfangs für die Suche nach Perlen und die Bergung der wertvollen Silberladung untergegangener Galeonen. Aufgrund der großen Bedeutung, die die regelmäßige Versorgung des spanischen Staatsapparates mit Silberlieferungen aus der Neuen Welt hatte, wurden Schiffsbergungen schnell zu einer unverzichtbaren Notwendigkeit. Es entstand in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts in Spanien eine Privilegienwelle, die aber keine Innovationen hervorbrachte. Im 17. Jahrhundert wurden kaum noch Privilegien für Tauchgeräte registriert.

⁷⁴⁴ Antonio Barrera-Osorio, Nature and Experience in the New World: Spain and England in the Making of the New Science; in Victor Navarro Brotos/William Eamon (Hg.), Más allá de la Leyenda Negra España y la Revolución Científica. Beyond the Black Legend: Spain and the Scientific Revolution, Valencia 2007, 121-135, 122.

⁷⁴⁵ Barrera-Osorio, Nature and Experience in the New World, 128.

⁷⁴⁶ Waters, The Art of Navigation, 496.

⁷⁴⁷ Barrera-Osorio, Nature and Experience in the New World, 133.

Spanien war in der Lage, viele Taucheinsätze mit eigenen Fachkräften und unter Einbezug von Sklaventauchern zu bewältigen. Ein wesentlicher Faktor war, dass die Perlegründe und die meisten anderen Tauchaufgaben in flachen, warmen Gewässern, in Häfen oder bei küstennahen Riffen durchgeführt werden konnten. Dafür war der aktuelle Stand der Technik wie Apnoetauchen, mechanische Greifer, und einfache Taucherglocken ohne Luftversorgung ausreichend. Für schwierigere Aufgaben, wie etwa tiefer liegende Wracks, wurden den Quellen zufolge nicht etwa fortschrittliche technische Konzepte selbst entwickelt, sondern ausländische Fachkräfte angeworben.

Tauchtechnik hatte aber nicht nur ökonomische Bedeutung, wie die Bergung gesunkener Silberladungen, sondern - vor allem in den Jahren der englisch-spanischen Seekriege im 16. Jahrhundert - auch militärische Bedeutung. Die Bergung wertvoller Bronzekanonen hatte zum Ziel, sie auf eigenen Kriegsschiffen wiederzuwenden. Die spanische Staatskasse war trotz des Silberstroms aus der Neuen Welt permanent leer und es fehlte Geld für die Rüstung und Kriegsführung.

Im Gegensatz zu dem großen wirtschaftlichen und militärischen Stellenwert des Tauchens für Spanien ist die Vernachlässigung dieses Techniksektors bemerkenswert. Spanien leistete große Anstrengungen, auch technischer Art, um die Neue Welt jenseits des Atlantiks zu erobern und auszubeuten. Nichts dergleichen lässt sich für den Unterwasserbereich verzeichnen.

Im Vergleich zu den Tauchgängen im Nemisee 1535, bei dem alle technischen Details geheim gehalten wurden, fand die experimentelle Vorführung einer Taucherglocke in Toledo 1538 öffentlich und vor einem großen Kreis von Augenzeugen statt. Trotz einem aufkommenden Empirismus wurden grundlegende naturwissenschaftliche Fragen zur Verbesserung der Tauchtechnik und damit zur Eroberung und Ausbeutung der Neuen Welt unter Wasser, die für Spaniens Wirtschaft ebenfalls große Bedeutung hatte, nicht erforscht. Als ein Grund für die Vernachlässigung des wissenschaftlichen Sektors wurden die hohen Staatsausgaben für die häufigen und langandauernden Kriege mit anderen europäischen Mächten ausgemacht.

Die in spanischen Privilegien und Büchern niedergelegten Konzepte beschränkten sich, bis auf ein unbeachtetes Essay von Jerónimo de Ayaz y Beaumont aus dem Jahr 1606, auf Darstellungen von Greifer und nicht verwendbare, theoretische Konstruktionen mit langen Saugrohren. De Ayaz y Beaumont zeigte 1606 einen neuen Ansatz für die Luftversorgung einer Taucherglocke auf, der aber nicht beachtet wurde und in Vergessenheit geriet.

Weiterhin blieben viele Fragen und technische Probleme offen, wie beispielsweise:

- Warum wurde der Mensch nicht von der großen Wassermasse über ihm zerdrückt, wenn er in die Tiefe taucht, und spürt nur gelegentlich Schmerzen in den Ohren? Es war bekannt, dass ein Eimer voller Wasser schwer auf dem Brustkorb lastete, wenn man ihn auf einen, auf dem Boden liegenden, Menschen stellte. Der Mensch vermag dabei nur sehr mühsam den Brustkorb zu heben und zu atmen, und dies bereits bei vergleichsweise geringer Wassermenge.
- Warum füllt sich die Glocke nicht mit Wasser?
- Warum vermischen sich die Luft und das Wasser in der Glocke nicht zu einem Nebel?
- Kann ein Mensch in der Glocke die komprimierte Luft einatmen oder erleidet er dadurch Schäden?

Die offenen technischen Probleme lauteten vor allem:

- Eine Glocke hat eine vorab festgelegte starre Größe. Je nach Aufgabe kann dies unpassend sein.
- Eine Glocke benötigt viel Stauraum im Schiff.
- Eine Glocke verdunkelt die darunter befindliche Arbeitsfläche auf dem Meeresgrund.
- Der Sauerstoff in der Glocke nimmt beim Tauchen ab und die Luft reichert sich mit dem ausgeatmeten Kohlendioxid an. Deshalb ist nach einer gewissen Zeit eine Luftauffrischung erforderlich.
- Die Kommunikation zwischen Taucher und Oberflächenmannschaft ist sehr eingeschränkt.
- Es sind Hilfsgeräte wie Krane auf dem Schiff erforderlich, die Raum einnehmen und eine geschulte Bedienungsmannschaft erfordern.

Keine dieser Fragen wurden in Spanien angegangen oder gelöst, weshalb die spanische Tauchtechnik, ähnlich wie die in Italien auf der Stufe der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts verblieb, und es keine nennenswerte Weiterentwicklung gab.

4 Tauchtechnologie in der Wissenschaftsrevolution (1650-1700)

4.1 Tauchtechnische Entwicklungen in der Republik der Sieben Vereinigten Provinzen

Niederländische Wasserbauer galten Jahrhundertlang in ganz Europa als begehrte Spezialisten, und es erscheint deshalb nur folgerichtig, dass man sich dort auch mit Tauchtechnik beschäftigte. Mit dieser Frage soll sich hier näher beschäftigt werden.

Der niederländische Wasserbau- und Windmühlenkonstrukteur Jan Adriaanszoon (genannt Leeghwater, 1575-1650) berichtet in einer Schrift von 1649⁷⁴⁸ über seinen Heimatort Graft-de Ryp in der Provinz Nordholland von zwei Tauchvorführungen, die er 1605 und 1606 durchgeführt habe. Bei der ersten demonstrierte er seine Tauchkunst vor Fürst Moritz von Oranien (1567-1625) und einigen Adligen, und die zweite war eine öffentliche Vorführung vor einem großen Publikum.

Wie Leeghwater berichtet, habe der Fürst gehört, dass er und seine beiden Freunde sehr lange tauchen konnten, und nach ihnen gesandt, um sich dies selbst anzusehen.⁷⁴⁹ Die Vorführung fand im Mai 1605 in einem Wasserkanal unweit von Den Haag statt. Neben Moritz von Oranien waren dessen Bruder Friedrich Heinrich von Oranien (1584-1647), der Statthalter von Friesland Wilhelm Ludwig (1560-1620) und weitere Adelige anwesend.

Leeghwater macht keine Angaben, wie lange er unter Wasser geblieben ist. Moritz von Oranien zeigte sich jedenfalls nach der Vorführung sehr erfreut über die Leistung. Er wollte anschließend von Leeghwater wissen, woher das seltsame Geräusch stammte, das er gehört habe. Leeghwater antwortet ihm darauf, dass er unter Wasser mehrmals laut gerufen habe, und dies am Ufer von den Zuschauern zu hören gewesen war. Nach Leeghwater wiederholte sein mitgereister Freund Pieter Pieterszoon die Vorführung mit dem gleichen Erfolg.

Moritz von Oranien gewährte Leeghwater, Pieterszoon und ihrem Freund Wilhelm Pieters am 5. Mai 1605 ein Privileg auf die Dauer von 10 Jahre über ihre „waterconste“⁷⁵⁰. In dem von Cornelis van Aerssen (1545-1627) unterzeichneten Privileg wird angegeben, dass man mit Hilfe des nunmehr geschützten Verfahrens unter Wasser gehen, sprechen, singen, essen und trinken kann. Es soll dienlich sein um Brücken und Schleusen zu reparieren, Kabel unter versunkenen Schiffen zu befestigen, um sie zu bergen, ebenso nach Perlen und anderen

⁷⁴⁸ Jan Adriaanszoon Leeghwater, *Een kleyne chronycke ende voorbereydinge van de afkomste ende't vergrooten van de dorpen van Graft en de Ryp*, Amsterdam 1649, 37-40.

⁷⁴⁹ Leeghwater, *Een kleyne chronycke*, 37.

⁷⁵⁰ Ein Faksimile des Patentes No. 3329 befindet sich in Jan Adriaanszoon Leeghwater, *Het Haarlemmer-Meer-Boek* [1641], Hg. Willem J. C. van Hasselt, Amsterdam 1838, 22-25, 23.

wertvollen Gütern auf dem Grund zu suchen, und um geheime Briefe und Botschaften unter Wasser zu befördern.

Im Privileg wird, so wie damals allgemein üblich, nicht die verwendete Methode oder eine technische Konstruktion beschrieben. Es ist nach den wenigen Hinweisen im Text aber davon auszugehen, dass Leeghwater eine Taucherglocke verwandte. Leeghwater baute neben Mühlen und Windpumpen auch Kirchtürme wie etwa die der Westerkerk und der Zuiderkerk in Amsterdam, und stattete sie mit Glocken aus. Möglicherweise kam daher seine Inspiration, Glocken auch für den Unterwassereinsatz verwenden zu können.

Leeghwater könnte aber auch über einen anderen Weg zu seinem Wissen über Taucherglocken gelangt sein. Er war Autodidakt, und hatte möglicherweise Zugang zu dem Werk *Delle Fortificationi* (1597) von Buonaiuto Lorini, aus dem er unter anderem die Kenntnis von Taucherglocken entnommen habe konnte. Lorini hatte in dem Buch ebenfalls ausführlich über die in den Kanälen von Venedig eingesetzten Maschinen und Bagger berichtet, und so ist ein fachlicher Bezug zu dem Wasserbauingenieur Leeghwater nicht unwahrscheinlich.

Die zweite Tauchvorführung von Leeghwater fand 1606 in Amsterdam während des dortigen Volksfestes auf dem Nieuwmarkt statt.⁷⁵¹ Auf Einladung des Kaufmannes Meynert Corneliszoon Salm aus Graft-de Ryp kamen einige wichtige Kaufleute und „seven of acht hondert menschen“⁷⁵² bei einem Kanal unweit des Volksfestes zusammen, um die Tauchvorführung zu beobachten. Leeghwater hatte drei Beweishandlungen vor, um die Menschen zu beeindrucken und zu überzeugen: Er nahm einige Birnen mit unter Wasser, die er dort aß, und von denen er nur noch den abgegessenen Rest, das Kerngehäuse, mit hinaufbrachte. Außerdem nahm er eine Holzflöte mit, auf der er laut unter Wasser Tanz- und Kirchenlieder spielte - unter anderem den Psalm 23 „Der Herr ist mein Hirte, mir wird nichts mangeln“. Als letzten Beweis nahm er ein Blatt Papier, Schreibfeder und Tinte mit unter Wasser, um einen kurzen Text zu verfassen. Leeghwaters Freund Pieter Pieterszoon stand während der Tauchvorführung am Ufer und kommentierte die Vorgänge.

Als Leeghwater mit diesen Gegenständen und anscheinend ohne jegliches Tauchgerät im Kanal abtauchte, und die Zeitspanne immer größer wurde, in der er nicht mehr auftauchte, und man eine leise Flötenmelodie vernahm, verbreitete sich diese sensationelle Nachricht in Windeseile, so dass immer mehr Menschen vom Volksfest zum Kanal eilten. Leeghwater gibt die gesamte Tauchdauer später mit 45 Minuten an.

⁷⁵¹ Leeghwater, *Een kleyne chronycke*, 38.

⁷⁵² Leeghwater, *Een kleyne chronycke*, 38.

Leeghwaters Darbietungen gab vielen Autoren noch lange Rätsel auf. Der deutsche Schriftsteller Eberhard Werner Happel (1647-1690) beschreibt 1683 in seinem Werk *Gröste Denkwürdigkeiten der Welt oder so genandte Relationes curiosae* die Vorführung in Amsterdam und stellt dazu am Ende die Fragen: „In dieser Action sind lauter unbegreifliche Künste. Wie kann einer auf der Schallmei spielen da keine Luft ist? Wie kann sich der Klang hören lassen da lauter Wasser ist? Wie kann einer schreiben, dass das Papier von dem allenthalben durchdringenden Wasser nicht naß werde?“⁷⁵³. Die Antwort auf diese Fragen kannte auch Happel nicht.

Am Ende seiner Beschreibung von 1649 gibt Leeghwater jedoch in verschlüsselter Form preis, wie er dies zustande gebracht hat. Die Lösung zu seiner Tauchkunst, so Leeghwater, finde man in dem Buch Hiob, Kapitel 28 Vers 11. Er lautet: „Man wehrt dem Strome des Wassers und bringt, das darinnen verborgen ist, ans Licht“⁷⁵⁴. Daraus lässt sich schließen, dass Leeghwater im Kanal unbemerkt eine Taucherglocke oder ein unten offenes Fass abgesenkt hat, bevor die Menschen sich am Ufer für die Vorführung versammelten, und sich bei der Vorführung darunter aufgehalten hat.

Um sich 45 Minuten lang unter Wasser aufzuhalten, muss das Fass nicht sehr groß gewesen sein. Da Leeghwater keine Arbeit verrichtete, lässt sich bei einem Atemminutenvolumen von 10 l/min eine Gesamtbedarf an Luft von 450 Liter berechnen. Bei einer angenommenen Wassertiefe von 3 Meter und damit einem Umgebungsdruck von nur 1,3 bar hätte das erforderliche Fass nicht sehr viel größer sein müssen als 1 Meter hoch bei einem Durchmesser von 0,8 Meter (Volumen = 500 Liter). Ein solches Fass läßt sich leicht, zum Beispiel am Vorabend, mit einem Grundgewicht unbemerkt versenken.

Wie sich aus dem Stil seiner Beschreibung ableiten lässt, ging es Leeghwater bei seinen Vorführungen darum, die Zuschauer zu unterhalten und zu verblüffen: „Also ha dick myn plaisier ende recreaty onder water op de gront“⁷⁵⁵. Wie er weiter schreibt, sammelte er danach, ähnlich einem Zauberer auf einem Jahrmarkt, Münzen von den beeindruckten Zuschauern ein. Es scheint bei diesen beiden Vorführungen in 1605 und 1606 geblieben zu sein, denn er erwähnt keine weiteren mehr, und auch keinen praktischen Einsatz der Methode.

Neben dem Privileg für Leeghwater und seine beiden Freunde⁷⁵⁶ listet Doorman in seinem Standardwerk über niederländische Patente aus dem 16. bis 18. Jahrhundert nur fünf weitere

⁷⁵³ Eberhard Werner Happel, *Gröste Denkwürdigkeiten der Welt oder so genandte Relationes curiosae*, Der erste Theil, Hamburg 1683, 150-151.

⁷⁵⁴ Leeghwater, *Een kleyne chronycke*, 40.

⁷⁵⁵ Leeghwater, *Een kleyne chronycke*, 39.

⁷⁵⁶ Doorman, *Patente für Erfindungen*, 93, Patentnummer G 91.

Privilegien auf, die sich mit Bergungs- und Unterwassertechnik beschäftigen. Dies erscheint, im Vergleich zu der Bedeutung des Landes hinsichtlich Schiffbau und Schifffahrt, sehr wenig zu sein. Die Republik der vereinigten Niederlande verfügte in der Mitte des 17. Jahrhunderts mit vier Fünftel aller Handelsschiffe weltweit über die größte Handelsflotte der Welt.⁷⁵⁷

Zu zwei Privilegien aus 1639 beziehungsweise 1659 ist nichts weiter als der Name der Antragsteller und ihre Zielsetzung, das Heben gesunkener Schiffe, bekannt.⁷⁵⁸ 1660 wurden zwei Privilegien erteilt, deren Gesuchschreiben etwas mehr Hintergrund über ihren Inhalt liefert:

Privileg vom 13. April 1660: Benjamin Lisse (auch Lesle, Lisle), „Löschen und Heben gesunkener Schiffe“.⁷⁵⁹ Der Uhrmacher aus Rotterdam gab in seinem Gesuch an, er wolle den Apparat schützen lassen, mit dem er bereits im Vorjahr, im Mai 1659, erfolgreich die Ladung des gesunkenen Schiffes *Den Briel* in der Meeresenge „de Hals“ bei der Insel Goerre geborgen hatte. Der „Hals“ war eine Vertiefung, die die beiden Inseln Goerre und Overflakee voneinander trennte und als Fahrrinne diente. 1675, nachdem die 15-jährige Schutzfrist abgelaufen war, erneuerte er das Privileg für weitere 25 Jahre.⁷⁶⁰ Er erhielt nicht nur ein Privileg für die Generalstaaten (Republik der Sieben Vereinigten Provinzen), sondern zusätzlich auch für die Provinz Holland, die ein Teil der Generalstaaten war. Um welches Gerät es sich handelte, ist nicht eindeutig. Als Uhrmacher, der möglicherweise auch Kirchturmuhren herstellte, könnte Lisse Kontakt zu Glockengießern gehabt haben.

Privileg vom 22. Dezember 1660: Frederick Hermann Hoyer, „Heben gesunkener Schiffe mit Hilfe von Tauchern, die 20 Faden tief tauchen können“.⁷⁶¹ Bei diesem Patent könnte es sich laut der Beschreibung als „Kleid von eigenartiger Form, verfertigt aus Leder und Blech, um hierin unter Wasser tauchen zu können, um Schiffe bei Nacht und Unzeit von unten aus ein Leck zu bohren“ um ein rückständiges Saugrohratemgerät gehandelt haben.⁷⁶²

⁷⁵⁷ Davids, *Rise and Decline*, 94.

⁷⁵⁸ Gewährt am 17. September 1639 für Symon Maertszoon van Texel (Patentnummer G 91) und am 15. März 1659 für Hendrick de Hooch (Patentnummer G 392) nach Doorman, *Patente für Erfindungen*, 93, 121.

⁷⁵⁹ Doorman, *Patente für Erfindungen*, 127, Patentnummer G 461 und H 82; NAN, *Staten van Holland* (Nr. 3.01.04.01, Inv. 1613, 1660).

⁷⁶⁰ Doorman, *Patente für Erfindungen*, 127, Patentnummer G 512 und H 134; NAN, *Staten van Holland* (Nr. 3.01.04.01, Inv. 1627, 1675).

⁷⁶¹ Doorman, *Patente für Erfindungen*, 127, Patentnummer G 466.

⁷⁶² Doorman, *Patente für Erfindungen*, 127.

Nach 1660 wurde das nächste Privileg für Schiffsbergung erst 50 Jahre später erteilt. Es ist gleichzeitig das einzige bekannte bis zum Ende der Generalstaaten in 1795. Am 23. Oktober 1710 erhielten die Brüder Claes, Abraham und David van den Wegen aus Haarlem ein Privileg auf eine „Erfindung einer Kunst, um sich unter Wasser zu begeben und dort die Güter und Handelswaren zu sehen, die auf dem Meer und auf Flüssen gesunken sind“.⁷⁶³ Es wurde mit einer 25jährigen Laufzeit mit der Auflage erteilt, dass es die „Silberfischer von Enkhuizen“ nicht beeinträchtigen darf. Viele Einwohner von Enkhuizen in Nordholland hatten sich auf Bergungstätigkeiten spezialisiert. Der Ort lag an einem Strandabschnitt am IJsselmeer, an dem häufig Schiffe auf dem Weg nach Amsterdam auf Sandbänke aufliefen.

Die Berger aus Enkhuizen wurden auch zu weit entfernten Einsätzen gerufen, wie etwa für die Bergung der Kanonen aus dem 1690 vor Vlissingen gesunkenen Admiralschiff *Walcheren*,⁷⁶⁴ sowie dem Schiff *De Koning William* bei Dünkirchen im Juli 1696.⁷⁶⁵ Die Berger von Enkhuizen wurden „Silvervisschers“⁷⁶⁶ genannt, da sie es insbesondere auf die wertvollen Ladungen der Schiffe abgesehen hatten. Bei der Bergungstätigkeit an der *Walcheren*, die mit Hilfe einer Taucherglocke aus Blei⁷⁶⁷ durchgeführt wurde, gerieten sie in Streit mit der Admiralität, als sie ihre Arbeit einstellten, nachdem die wertvollen, großen Bronzekanonen geborgen waren. Die kleineren Eisengusskanonen, die für die Admiralität auch wichtig waren, aber den Bergern weniger Lohn einbrachten, ließen sie im Wrack zurück.⁷⁶⁸

Die Häufung von Privilegiengesuche in den Generalstaaten um das Jahr 1659/1660 ist auffällig. Sie lässt sich womöglich auf die sehr erfolgreichen Bergungsarbeiten zurückführen, die 1660 in Zeeland an den Kriegsschiff *Het Wapen van de Prins* stattgefunden haben. Hierbei wurde eine Taucherglocke verwendet, und auf schwedisches Knowhow zurückgegriffen. Der für diese Bergung verpflichtete Unternehmer Hans Albrecht von Treileben stammte von dort.⁷⁶⁹ Die Übernahme von schwedischer Technologie in den Niederlanden scheint eine gewisse Tradition zu haben, denn man findet sie beispielsweise auch in der Fischfangindustrie, wo man im 16. Jahrhundert von Schweden den Verarbeitungsprozess von Heringen direkt an Bord der

⁷⁶³ Doorman, Patente für Erfindungen, 169, Patentnummer H 218; NAN, Staten van Holland, Haarlem (Nr. 3.01.04.01, Inv. 1662, 1710).

⁷⁶⁴ Arthur Scheijde, Op zoek naar het vlaggenschip van Zeeland, in: Den Spiegel 31/3 (2013) 13-18, 14.

⁷⁶⁵ Arthur Scheijde, Mysterieuze schipbreuken in de Gouden Eeuw, Eindhoven 2013, 75.

⁷⁶⁶ Arthur Scheijde, Het VOC schip Bantam en de Silvervisschers, in: Den Spiegel 36/1 (2018) 18-22, 20.

⁷⁶⁷ Scheijde, vlaggenschip van Zeeland, 15; Roelof Dijkster, Bergingsactiviteit op de Walcheren, Middelburg Zeeuws Archief, T508 Rekenkamer C, ammunitiemeester Vliss. 1690, inv. 35871.

⁷⁶⁸ Scheijde, Het VOC schip Bantam, 20.

⁷⁶⁹ Siehe hierzu Kapitel 4.2.

Fangschiffe übernahm. In den Niederlanden wurde dieser Prozess weiterentwickelt und optimiert, so dass die Qualität und Produktivität schließlich höher war als sonst irgendwo.⁷⁷⁰ Dadurch konnten die niederländischen Fischfangflotten länger auf dem Meer bleiben und weiter hinausfahren, was eine bedeutende Leistungssteigerung für diesen Industriezweig bedeutete. Später profitierte die niederländische Walfangindustrie von dem Knowhow.

In mehreren europäischen Ländern wie Italien und Spanien und England war Mitte des 17. Jahrhunderts bereits das Knowhow zu Taucherglocken vorhanden. Nimmt man, so wie es heute in der Innovationsforschung⁷⁷¹ üblich ist - die Anzahl der Patentanmeldungen für technische Erfindungen als ein Merkmal der technologischen Kompetenz und Innovationsstärke eines Landes, dann scheinen die Generalstaaten in Bezug auf die Weiterentwicklung der Tauchtechnologie wenig kompetent gewesen zu sein. Mit nur insgesamt sechs Patente zwischen dem 16. und 18. Jahrhundert war die Berge- und Tauchtechnologie ein Randthema in den Generalstaaten, obwohl es eine Bergungsindustrie wie in Enkhuizen gegeben hat.

Jedoch kann ein solcher Index alleine darüber keine sichere Auskunft geben: „To determine whether a country, region, town or cluster of towns played an initiating role in the development of technology or not, it is of course helpful to rely on more than one method or source. The more data from different origins one can contrast, the better balanced will be one’s view“⁷⁷² so der Historiker Karel Davids. Außerdem geben Patentstatistiken nur eine quantitative und keine qualitative Betrachtung.⁷⁷³

Der niederländische Diplomat Nicolaas Corneliszoon Witsen erwähnt in seinem wissenschaftlichen Werk über Schiffbau von 1671 Tauchen und Taucherglocken nur am Rande.⁷⁷⁴ Nach einer kurzen Beschreibung einer Taucherglocke merkt Witsen an, dass sich die Luft in der Glocke beim Untertauchen reduziert, und beim Auftauchen wieder entspannt. Mit der Zeit werde die Luft in der Glocke immer wärmer, und der Taucher würde dadurch schwerer Atmen und schließlich Benommen.⁷⁷⁵

Der geringe Bedarf der Generalstaaten an Tauchtechnologie lässt sich womöglich damit erklären, dass die Küstenlinie der Niederlande keine Felsriffe aufweist, wo Schiffe in tieferes

⁷⁷⁰ Siehe Davids, Dutch Technological Leadership, 89-90.

⁷⁷¹ Siehe Christian Sartorius / Carsten Gandenberger; Entwicklung der Innovationsdynamik bei Ressourceneffizienztechnologien, Kurzanalyse Nr. 8, Karlsruhe 2016, iii.

⁷⁷² Davids, Dutch Technological Leadership, 5; siehe zu Patentdaten Davids, Rise and Decline, 230, 402-416; König, Technikgeschichte, 60.

⁷⁷³ Siehe Albert Edward Musson, Einführung, in: Albert Edward Musson (Hg.), Wissenschaft, Technik und Wirtschaftswachstum im 18. Jahrhundert, Frankfurt 1977, 9-82, 62-63.

⁷⁷⁴ Witsen, Scheeps-bouw, 287-289.

⁷⁷⁵ Witsen, Scheeps-bouw, 289.

Wasser absinken, sondern die Schiffe vorwiegend auf Sandbänke aufliefen. Dort fuhren sie sich fest, und selbst wenn sie zerbrachen, lagen sie immer noch in einem relativ flachen Bereich, wo sie ohne spezielle Tauchtechnologie auch mit Greifern oder Apnoetauchern erreicht werden konnten.

Auch für Unterwasserarbeiten gab es in den niederländischen Häfen kaum eine Erfordernis, denn die Fahrrinnen für Schiffe wurden durch ein ausgeklügeltes Schleusensystem von Ablagerungen freigehalten: Von Zeit zu Zeit wurden bei Niedrigwasser die Schleusen vollständig geöffnet, so dass das schnell aus dem Hafen abströmende Wasser die Ablagerungen mit sich wegtrug und so die Rinnen freispülte. Ergänzt wurde dieses Verfahren durch gelegentlich Ausbaggerungen.⁷⁷⁶

Wenngleich in den Generalstaaten in der Frühen Neuzeit keine Weiterentwicklung hinsichtlich der Tauchtechnik festzustellen ist, wurden aber wichtige theoretische Grundlagen erarbeitet. Eine Entwicklung, die bedeutende Konsequenzen für die Meeresforschung hatte, war die Forschungen über den Druck der Luft und des Wassers.⁷⁷⁷ Eine wichtige Quelle für die Lehre von den Gesetzmäßigkeiten ruhender Flüssigkeiten („Hydrostatik“) des 16. Jahrhunderts ist Simon Stevins (1548-1620) Werk *De Beghinselen des Waterwichts*⁷⁷⁸. Ursprünglich 1586 auf Niederländisch veröffentlicht, war es ab 1605 auch auf Latein und 1634 auf Französisch erhältlich.⁷⁷⁹

Erste Überlegungen zur Hydrostatik reichen bis zu Archimedes in das 3. Jh. v. Chr. zurück.⁷⁸⁰ Stevin griff als einer der ersten Forscher diese Thematik wieder auf. Seine Arbeiten bildeten eine der Grundlagen für die im 18. Jahrhundert erfolgende Systematisierung und Vollendung der Hydrostatik.⁷⁸¹

Simon Stevin kam zu der Erkenntnis, dass der hydrostatische Druck auf den Grund eines Gefäßes oder eines Gegenstandes nur von der Tiefe abhängt und unabhängig von Gestalt und Volumen ist. Für das Tauchen ist der hydrostatische Druck von großer Bedeutung. Darunter versteht man den Schweredruck, wie er in allen Flüssigkeiten vorkommt. Vereinfacht könnte man sagen, dass der Körper des Tauchers während eines Tauchgangs immer schwerer wird, je

⁷⁷⁶ Davids, *Rise and Decline*, 104.

⁷⁷⁷ Deacon, *Scientists and the Sea*, 52.

⁷⁷⁸ Simon Stevins, *De Beghinselen des Waterwichts*, Leiden 1586.

⁷⁷⁹ Das Werk war in den *Wisconstige Gedachtenissen* (1605-1608) und in ihren lateinischen und französischen Übersetzungen, *Hypomnemata mathematica* (1605-1608) und *Mémoires mathématiques* (1605-1608), enthalten. Es wurde 1634 als Teil von *Les oeuvres mathématiques de Simon Stevin* erneut gedruckt. Siehe Albert Malet, *Between Mathematics and Experimental Philosophy: Hydrostatics in Scotland About 1700*, in: Dan Garber / Sophie Roux (Hg.), *The Mechanization of Natural Philosophy*, Boston 2013, 159-187, 160.

⁷⁸⁰ Siehe hierzu Kapitel 2.1.

⁷⁸¹ Rolf Grabow, *Simon Stevin*, Wiesbaden 1985, 51.

tiefer er taucht, denn auf seinem Körper ruht die über ihm stehende Wassersäule. Durch den erhöhten Umgebungsdruck kommt es zu Änderungen im Organismus des Tauchers.⁷⁸² Es lösen sich Gase im Körpergewebe, und luftgefüllte Körperhöhlräume wie Lunge, Mittelohr, Magen und Darm werden komprimiert. Um diese Effekte zu bewältigen, mussten neue Verfahren (Dekompression, Druckausgleich) gefunden werden.

Der in Middleburg geborene niederländische Naturphilosoph Isaac Beeckman (1588-1637) wusste bereits, dass der Druck des Wassers allseits gleich auf Taucher wirkte und leitete daraus ab, dass auch die Luft ein Gewicht hatte. Um 1614 schrieb er in sein Journal, das Körper „von allen Seiten gleichförmig von der hineinströmenden Luft zusammengedrückt werden, so wie es uns während des Untertauchens passiert, wenn wir von dem Wasser gedrückt werden“⁷⁸³.

Infolge der allmählichen Verbesserung des Verständnisses der physikalischen Eigenschaften von Flüssigkeiten konnten Rückschlüsse auf den Zustand im Ozean gezogen werden. So wird beispielsweise der Druck des Ozeans an einer beliebigen Stelle seines Grundes allein durch die dortige Wassertiefe bestimmt und hat nichts mit dem Wasservolumen insgesamt zu tun. Dies stellte der französische Theologe und Mathematiker Marin Mersenne (1588-1648) 1644 in seinem Werk *Cogitata physico mathematica* heraus.⁷⁸⁴

Im 17. Jahrhundert war die Hydrostatik ein Thema von intensivem Interesse und mit widersprüchlichen Theorien behaftet.⁷⁸⁵ Sie entwickelte sich im frühen 17. Jahrhundert auch mit den Forschungen von Galileo Galilei weiter. In seinem Werk *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono* (1612) stellte er auf mathematischer Grundlage das Gleichgewicht von Flüssigkeiten in Siphons dar.⁷⁸⁶

In den späten 1630er und frühen 1640er Jahren führten die beiden italienischen Mathematiker Gasparo Berti (ca. 1600-1643) und Evangelista Torricelli (1608-1647) Experimente mit Wasser- und Quecksilbersäulen durch. Sie führten unter anderem zur Erfindung des Barometers.⁷⁸⁷ Auch in diesem Feld wurde die italienische Wissenschaft

⁷⁸² Siehe Marées, Sportphysiologie, 603-604.

⁷⁸³ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Res autem quiescunt quaedam, nec perpetuo disjiciuntur quia undique aequaliter ab aere incumbente comprimuntur, qualiter contingit nobis urinantibus premi ab aqua“ in Isaac Beeckman, *Journal tenu par lui de 1604 a 1634 publié avec une introduction et des notes par Cornelis de Waard*, Tome 1: 1604-1619, Hg. C. D. Waard, La Haye 1939, 36.

⁷⁸⁴ „Praedicta propositio videtur mirabilis, cum ex ea sequatur libram aquae super fundum cuiuscumque vasis, tantum, quantum mille libras, imo quantum Oceanum integrum, grauitare. Si enim Oceanus vase includatur, & aqaze libra vas impleat aliud, aeequale fundum habens fundo vasis precedentis, tubum veró circa basim affixum tam angustum, ut totum vas vnica aquae libram capiat, cuius altitudo aequalis sit altitudini vasis Oceanum concludentis, aquae libra, sui tubi fundum aequé premet, ac suum Oceanus“ in Marin Mersenne, *Cogitata physico mathematica*, Lib. II, Paris 1644, 228.

⁷⁸⁵ Malet, *Between Mathematics and Experimental Philosophy*, 161.

⁷⁸⁶ Galileo Galilei, *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono*, Pisa 1612, 16.

⁷⁸⁷ Siehe William Edgar Knowles Middleton, *The history of the Barometer*, Baltimore 1964, 10-18.

führend. Das Torricelli Barometer wurde bis in das 20. Jahrhundert hinein zu einem unverzichtbaren, grundlegenden Messinstrument.

Torricelli und der französische Mathematiker Blaise Pascal (1623-1662) konnten nachweisen, dass die Größe des Luftdruckes auf die Oberfläche je nach Wetterlage schwankt und auch von der Höhe, in der man sich befindet, abhängt. Für das Tauchen brachten seine Messungen Anfang des 20. Jahrhunderts⁷⁸⁸ die wichtige Erkenntnis, dass bei sogenannten Bergseetauchgängen ab 700 Meter über dem Meeresspiegel aufgrund des reduzierten Luftdruckes besondere Vorsichtsmaßnahmen einzuhalten sind.⁷⁸⁹

Barometrische Experimente, wie sie nach 1663 genannt wurden, wurden ab den 1650er Jahre auch mit Hilfe der neu erfundenen Luftpumpe in Deutschland und England durchgeführt, um die Eigenschaften des Vakuums und der Luft zu untersuchen.

An dieser Stelle sollen die Arbeiten des in Alkmaar geborenen holländischen Erfinders Cornelis Jacobszoon Drebbel (1572-1633) nur am Rande erwähnt werden. Er baute um 1621 in London einige Tauchboote, wie sie bereits 1578 von William Bourne vorgeschlagen und beschrieben wurden. Drebbel soll damit mehrere Stunden in der Themse unter Wasser gefahren sein.⁷⁹⁰ Das besondere an Drebbels Tauchboot war nicht die Konstruktion, sondern eine von ihm geheim gehaltene Methode, mit der offenbar die Luft im Inneren auf chemischem Weg erneuert werden konnte.⁷⁹¹ Auch Nachbauten des Tauchbootes und Experimente konnten bis heute keine eindeutige Antwort liefern.⁷⁹²

Drebbels Versuche mit seinem Tauchboot hatten in Gelehrtenkreisen weitreichende und langandauernde Resonanz. Viele Forscher beschäftigten sich seitdem mit der Lösung des Rätsels der Lufterneuerung, ohne die Antwort zu finden. Mersenne war einer der ersten. Er korrespondierte per Brief mit Gelehrten in ganz Europa und diskutierte über sein Netzwerk neue Gedanken und Erfindungen. In seinem Werk *Questions inouyes ou Récréation des sçavans* (1634), stellte er die Frage ob man Schiffe bauen kann, die unter Wasser fahren.⁷⁹³ Mersenne ging es dabei um eine wissenschaftliche Anwendung, etwa um die Beobachtung verschiedener Fischarten und die Erforschung der Brechung von Lichtstrahlen.

1644 kam Mersenne in seinem Werk *Cogitata physico-mathematica* darauf zurück.⁷⁹⁴ Er schlägt hier unter anderem vor, in Unterseebooten große Fenster für wissenschaftliche

⁷⁸⁸ Siehe Alexander von Lünen, Goats and Gases: „The Prevention of Compressed Air Illness“ by Haldane et al - A Commentary, in: Wilderness and Environmental Medicine 17 (2006) 64-65.

⁷⁸⁹ Siehe Verband Deutscher Sporttaucher, Dekompressionstabelle DECO 2000, Offenbach 2000.

⁷⁹⁰ Gerrit Tierie, Cornelis Drebbel (1572-1633), Amsterdam 1932, 63.

⁷⁹¹ Thiere, Drebbel, 64-65.

⁷⁹² Siehe Mark. A. Edwards, „Drebbelian“ Success Story, in: Historical Diving Times 32 (2003) 10-14.

⁷⁹³ Marin Mersenne, Questions inouyes ou Récréation des sçavans, Paris 1634, 86.

⁷⁹⁴ Mersenne, Cogitata physico mathematica, Lib. II., 255.

Beobachtungen einzubauen und einen magnetischen Kompass für die Navigation zu verwenden. Für die Beleuchtung unter Wasser empfiehlt er die Methode von Tartaglia mit einem brennbaren Salpeter-Gemisch.⁷⁹⁵ Mersenne entwickelt ebenfalls die Vision, dass zukünftig Menschen in Kolonien auf dem Meeresgrund leben und eine Mischung aus Luft und Wasser atmen.⁷⁹⁶

4.2 Hans Albrecht von Treileben und seine Bergungsarbeiten

Am 10. August 1628 versank aufgrund schwerwiegender konstruktiver Mängel das schwedische Kriegsschiff *Vasa* in direkter Nähe des Hafens von Stockholm bei seiner Jungfernfahrt.⁷⁹⁷ Die *Vasa* zählte mit fast 70 Meter Länge und 64 Bronzekanonen, die insgesamt fast 80 Tonnen wogen zu den größten und am stärksten bewaffneten Kriegsschiffen ihrer Zeit. Die, teilweise aus Bronze gegossenen Kanonen stellten einen sehr großen materiellen Wert dar. Insgesamt wogen sie rund 71 Tonnen.⁷⁹⁸

Die Umstände, unter denen das Schiff versank, und die vielen Bergungsversuche, die bis zu ihrer endgültigen Hebung 1961 andauerten, sind inzwischen gut erforscht und dokumentiert.⁷⁹⁹ Nicht zuletzt sind durch die überlieferten Akten zweier Gerichtsprozesse zwischen 1665 und 1670 vor dem schwedischen Appellationsgericht (Svea Hövrätt) viele Details bekannt geworden. Kaum beleuchtet wurde jedoch bislang die zentrale Rolle des Hans Albrecht von Treileben (auch Treuleben, Trewleben, Truijleven, ca. 1625-1691) und vor allem die Auswirkungen seiner erfolgreichen Bergungsarbeiten in Bezug auf die Entwicklung der Tauchtechnik in England. Dies soll nachfolgend herausgearbeitet werden.

Schon bald nach dem Untergang der *Vasa* gab es erste Versuche, das auf 32 Meter tiefem Grund liegende Schiff zu heben. Der aus England stammende Jan Bulmer⁸⁰⁰ erhielt 1628 die erste Bergungslizenz, es gelang ihm aber nicht, das Wrack zu heben. Von der zu erwartenden Belohnung angelockt, versuchten in den nächsten drei Jahrzehnten viele Abenteurer und

⁷⁹⁵ Mersenne, *Cogitata physico mathematica*, Lib. II., 255.

⁷⁹⁶ „Quis enim nouit num pulmones aquis ita refrigerari queant ut aërem inspiratum, & expiratum suppleant, cum id multis piscibus contingat, & forte aër ipse aquis mixtus huic negotio seruire possit“ in Mersenne, *Cogitata physico mathematica*, Lib. II., 257; siehe auch Wilkins, *Mathematical Magick*, 109.

⁷⁹⁷ Anders Franzen, *The Warship Vasa*, Stockholm 1960, 10; Anders Franzen, *Ghost from the Depths: The Warship Vasa*, in: *National Geographic Magazin* 121 (1962) 42-57, 42.

⁷⁹⁸ Georg Hafström, *Örlogsskeppet Wasas Undergang 1628*, in: *Tidskrift i Sjöväsendet* 10 (1958) 740-770, 746.

⁷⁹⁹ Siehe Carl Olof Cederlund, *Vasa I: The Archaeology of a Swedish Warship of 1628*, Oxford 2006, 68-107; Lars Gustafsson, *Early bell diving in Sweden*, in: *The International Journal of Diving History* 2 (2006) 7-15; Georg Hafström, *Äldre tiders bärgningsarbeten vid vraket av skeppet Wasa*, in: *Tidskrift i Sjöväsendet* 10 (1958) 771-844.

⁸⁰⁰ Bulmer erhielt 1634 ein Privileg (Nr. 73) in England für seine Bergemethode; siehe Woodcroft, *Titles of patents of invention*, 15.

selbsternannte Bergungsspezialisten ohne nennenswerten Erfolg, das Wrack oder die wertvollen Kanonen zu bergen. Einer von diesen Personen war der Schotte Alexander Forbes (ca. 1600-1672). Er hatte im Dreißigjährigen Krieg in der schwedischen Armee gedient und 1652 eine zwölfjährige Bergelizenz für schwedische Gewässer erhalten.⁸⁰¹

Forbes bildet ein Konsortium, in dem ab 1656 der schottische „Masterdiver“⁸⁰² James Maule, Laird of Melgim und ab 1657 der aus England stammende Matthew Rochford angehörten. Hans Albrecht von Treileben kam 1658 zu der Gruppe, und 1663 Andreas Peckell. Peckell war ein Deutscher, der als Inspektor in dem Salzbergwerk der südpolnischen Stadt Bochnia gearbeitet hatte. 1657 war er Angehöriger der Schwedischen Armee, als sie in Dänemark einmarschierte. Hier lernte er möglicherweise Treileben kennen. Anschließend arbeitete Peckell in Lübeck und Landskrona, um die Hafeneinfahrten von versenkten Sperrschiffen zu befreien.⁸⁰³

Auch von Treileben war deutscher Abstammung. Sein gleichnamiger Vater Hans Albrecht von Treileben entstammte aus einer Adelsfamilie aus Dreileben in der Mark Brandenburg unweit von Magdeburg.⁸⁰⁴ Er war als Major unter Gustav II. Adolf (1594-1632, reg. 1611-1632) in den schwedischen Militärdienst eingetreten. Wie sein Vater trat Treileben 1645 in das schwedische Militär ein und nahm in den nächsten Jahren an den Feldzügen der Feldmarschälle Carl Gustav Wrangel (1613-1676) und Gustaf Adolph Lewenhaupt (1616-1656) teil, zuletzt im Dienstrang eines Oberst. 1655 schied er nach einer Erkrankung während des Feldzuges in Polen aus dem aktiven Dienst aus.⁸⁰⁵ Anschließend verbrachte er zwei Jahre im Ausland „by investigation of useful and praiseworthy sciences [...] sought to make [himself] capable of rendering further services to king and country“ so der Unterwasserarchäologe Carl Olof Cederlund, der 2006 die vielen Bergungsversuche der *Vasa* aufarbeitete.⁸⁰⁶ Auf seiner Informationsreise besuchte Treileben auch Holland. Zwischen Schweden und den Niederlanden bestanden viele wirtschaftliche Verbindungen.⁸⁰⁷

Wie Cederlund weiter anmerkt, machte Treileben während seinem Auslandsaufenthalt „a special study of diving“ ohne aber konkreter darauf einzugehen.⁸⁰⁸ 1657 schien Treileben in

⁸⁰¹ Gustafsson, Early bell diving, 8.

⁸⁰² Phillips, Diving and Underwater Technology, 173.

⁸⁰³ Cederlund, *Vasa*, 79.

⁸⁰⁴ Siehe Codex diplomaticus Brandenburgensis. Sammlung der Urkunden, Chroniken und sonstigen Quellenschriften für die Geschichte der Mark Brandenburg und ihrer Regenten, Namenverzeichnis Band 1, Hg. Adolph Friedrich Riedel, Berlin 1867, 380.

⁸⁰⁵ Hafström, Örlögsskeppet, 834.

⁸⁰⁶ Cederlund, *Vasa*, 77.

⁸⁰⁷ Siehe Hielke van Nieuwenhuize, Niederländische Seefahrer in schwedischen Diensten, Wien 2022.

⁸⁰⁸ Cederlund, *Vasa*, 77.

Norddeutschland gewesen zu sein, denn er schloss er sich der schwedischen Armee unter Karl X. Gustav (1622-1660, reg. 1654-1660) an, als sie durch Holstein nach Jütland zog.

Treileben scheint bald die führende Kraft des Konsortiums geworden zu sein. Da die Gruppe anfangs keine geeigneten Geräte besaß, und Neulinge in Bezug auf Tauchtechnologie waren, erprobten sie zunächst dem Vorschlag von Rochford folgend einen unbrauchbaren Lederanzug mit einem Schlauch zur Oberfläche und einem kleinem Blasebalg.⁸⁰⁹ Für das über 30 Meter tief liegende Wrack war diese Methode aber unbrauchbar. Dann entschieden sie sich, eine Taucherglocke zu bauen. Dieses Instrument war nach Treilebens Darstellung neu in Schweden.⁸¹⁰ Die Jahre später aufkommenden Streitigkeiten drehten sich auch um die Frage, wer im Konsortium diese Idee zuerst hatte.⁸¹¹

Die erste Taucherglocke aus Kupferblech war unbrauchbar, weil das Kupfer mit Salzwasser chemisch reagierte und sich das unatembare giftige Gas Kupferoxychlorid im Glockeninneren sammelte. Nach dem Wechsel des Werkstoffs hin zu Blei gab es keine solchen Schwierigkeiten mehr. Da die erste Bleiglocke zu klein war, wurde schließlich eine etwas größere Bleiglocke gebaut, die aber auch nur eine Person aufnehmen konnte. Der Taucher stand auf einer Plattform, die unter der Glocke hing, wobei sein Kopf und sein Brustkorb in die Luftblase ragten. Der Entwicklungsprozess der Taucherglocke dauerte zwei Jahre von 1656 bis 1658 und kostete „many thousand dalers“, bevor sie „had been able to find the right art of breathing under water“⁸¹².

1658 wurde ein entscheidendes Jahr für die Tauchtechnik, denn von nun an wurde die Taucherglocke sehr erfolgreich bei Bergungsarbeiten eingesetzt und zu einem Standardwerkzeug.⁸¹³ Die Gruppe arbeitete bereits seit 1654 mit wenig Erfolg an dem Wrack der dänischen *Sancta Sophia* in 33 Meter Tiefe vor Göteborg. Erst 1658 konnten mit Hilfe der Taucherglocke die Kanonen des Schiffes geborgen werden. Dies war ein Durchbruch, denn in solch großer Tiefe waren bislang noch nie Taucherarbeiten durchgeführt worden.

In Anbetracht des großen Erfolges beantragte Treileben am 2. Dezember 1658 während einer Audienz bei Karl X. Gustav das Recht, die Kanonen der *Vasa* zu bergen. Es sollte bis zum 27. August 1663 dauern, bis er die Erlaubnis erhielt, denn der König wollte weitere Nachweise

⁸⁰⁹ Matthew Rochford, A relation of M. Rochfords going downe under water at Gottenburg in Sweden, read to the Royal Society on 23 March 1663 and 13 March 1689 [1662], Collections, Classified Papers, vol. VI, no. 28, 1.

⁸¹⁰ Cederlund, *Vasa*, 77.

⁸¹¹ Cederlund, *Vasa*, 97.

⁸¹² Cederlund, *Vasa*, 76.

⁸¹³ Cederlund, *Vasa*, 77; Phillips, *Diving and Underwater Technology*, 172.

seiner Fähigkeiten sehen.⁸¹⁴ 1658 wurden Treileben bereits einige Konzessionen und die alleinige Nutzung der Taucherglocke in schwedischen Gewässern für 21 Jahre gewährt.⁸¹⁵ Im Gegenzug war er verpflichtet, ohne Honorierung Schiffe der schwedischen Marine zu bergen, die aufgegeben worden waren.

Treileben und seine beiden Partner James Maule und Matthew Rochford begannen mit ihrer neuen Geschäftstätigkeit. Weitere erfolgreiche Bergungsarbeiten schlossen sich an, wie etwa 1659 an dem Wrack des niederländischen Flaggschiffs *Brederode* beim dänischen Helsingor in 27 Meter Tiefe und 1660 bei dem schwedischen Kriegsschiff *Resande Man* bei der Insel Bodskär vor Stockholm in 25 Meter Tiefe.

Ein besonderer Erfolg von Treileben waren 1660 die Bergungsarbeiten an dem niederländische Kriegsschiff *Het Wapen van de Prins* (alias *Waterdrinker* nach dem Rufnamen seines Kapitäns Jan Vinkaart). Am 18. Oktober 1659 lief das Schiff vor der Küste Zeelands bei Westkapelle auf eine Sandbank auf, und sank. Das Schiff war auf dem Weg von Cadiz nach Vlissingen. Mit dem Schiff gingen 121 Mann der Besatzung, 44 Bronzekanonen und 30 Tonnen gemünztes Silber (Real de a ocho), Diamanten, Perlen und ein weißes Marmorschaukelpferd mit einem Sattel aus Gold unter. Es sollte ein Geschenk für den jungen Prinzen Wilhelm III. von Oranien (1650-1702) sein.⁸¹⁶

Im darauffolgenden Jahr wurde Treileben von dem Kaufmann Marcelis van der Goes (1620-?) mit den Bergungsarbeiten beauftragt. Ein Großteil der Waren an Bord gehörte ihm. Der Kontakt zu Treileben wurde möglicherweise über Pieter de Huybert (1622-1697) hergestellt, der Sekretär im Rat von Zeeland war und sich in Helsingor aufhielt, als dort die Bergungsarbeiten an dem niederländischen Schiff *Brederode* stattfanden.⁸¹⁷

Treilebens Ausrüstung bestand aus einer Taucherglocke und großen Greifern, mit denen er die wertvolle Ladung und einige Kanonen bergen konnte. Das Wrack lag in etwa 8 Meter Tiefe. Der niederländische Historiker Lieuwe van Aitzema (1600-1669) schilderte 1664 die Bergung in seinem Reihenwerk *Historie of verhael van saken van Staet en Oorlogh*, erwähnt aber keine Taucherglocke, sondern nur große Greifer: „Hij gebruike bepaalde instrumenten, die op

⁸¹⁴ Der entsprechende Schriftverkehr ist überliefert und im schwedischen Reichsarchiv in Stockholm archiviert, siehe Skoklostersamlingen II. Personarkiv (RA/720795.012).

⁸¹⁵ 1671 erhielt Treileben in Dänemark ein Privileg für Taucherarbeiten auf die Dauer von 15 Jahre. Siehe Cederlund, Vasa, 79.

⁸¹⁶ Scheijde, *Mysterieuze schipbreuken*, 8-49.

⁸¹⁷ Scheijde, *Mysterieuze schipbreuken*, 14.

wijptangen leken, om goederen van de zeebodem te grijpen.“⁸¹⁸ Möglicherweise hielt Treileben die Taucherglockentechnologie geheim.

Von Treileben tauchte im Sommer 1660 an dem Wrack der *Wapen van de Prins*. Van der Goes stiftete anschließend eine Silbermedaille zum Gedenken an dieses Ereignis.⁸¹⁹ Die Vorderseite der mit 70 Millimeter Durchmesser imposanten Medaille zeigt zwei bemannte Bergungsschiffe, die Wrackteile mit einem Greifer aus dem Wasser ziehen. In der Ferne erkennt man die Westkapelle, und im Vordergrund halten ein Wassermann und eine Meerjungfrau das Wappen der Provinz Zeeland. Auf der Rückseite der Gedenkmedaille ist in lateinischer Schrift der Grund ihrer Stiftung angegeben, sie wäre zur „Erinnerung an eine Sache, wobei diese bewundernswerte Kunst auch Ausgedachtes früherer Jahrhunderte übertrifft“⁸²⁰.

Nach dem Einsatz in Zeeland begann Treileben mit den Bergungsarbeiten an dem schwedischen Kriegsschiff *Vasa*. Inzwischen war die Gruppe aufgrund von Streitigkeiten auseinandergebrochen, und Treileben arbeitete ohne Rochford und Maule, die sich mittlerweile in England aufhielten. Treileben und der 1663 hinzugekommene Andreas Peckell bauten in der Folgezeit für die Arbeiten an der *Vasa* eine Gruppe von etwa zwanzig Tauchern auf, die sich bei den anstrengenden Tauchgängen in bis zu 32 Metern Tiefe gegenseitig abwechseln konnten. Aus den überlieferten Archivalien lässt sich schließen, „Peckell was the technician, and Treileben was the businessman“⁸²¹.

Die ersten Monate der Bergungsarbeiten im Winter 1663/1664 vergingen mit Vorbereitungsarbeiten am Wrack. Das Deck wurde freigeräumt, um besseren Zugang zu den Kanonen zu erhalten. Die Arbeiten wurden auch über die Wintermonate ununterbrochen weitergeführt, weil dann das Wasser etwas klarer war als im Sommer. Die erste Kanone wurde Anfang April 1664 geborgen, und bis Ende 1665 wurden es insgesamt 53 der 64 Kanonen. Die Taucher zogen sich zum Schutz gegen die Kälte Lederkleider an. Um die Kleider abzudichten verwendeten sie Seile und „Kauschen“ genannte Eisenringe. Diese Methode wurde 1805 von Peter Kreeft beim Bau seines Tauchanzuges in Barth aufgegriffen.⁸²²

⁸¹⁸ Lieuwe van Aitzema, *Historie of verhael van saken van Staet en Oorlogh*, Beginnende met het vervolch van't Jaer 1657 ende eyndigende met het eynde van't Jaer 1660, Band 9, Den Haag 1664, 790.

⁸¹⁹ Scheijde, *Mysterieuze schipbreuken*, 10.

⁸²⁰ Eigene Übersetzung vom Originaltext „In memoriam rei Quâ arte admirandâ priorumque saeculorum cogitata superante“ in Gerard van Loon, *Histoire metallique des XVII provinces des Pays-Bas*, Vol. II., Den Haag 1732, 459.

⁸²¹ Jens Riise Kristensen / Sven Jørgensen, *The Mystery of the Salvage of Vasa's Guns*, in: *The International Journal of Diving History* 13 (2021) 54-70, 56.

⁸²² Kristensen / Jørgensen, *The Mystery*, 58; siehe auch Michael Jung, *Meeresgrundwanderer. Der vergessene Tauchpionier Peter Kreeft aus Barth*, Kückenshagen 1997, 35.

Das Zweiergespann Treileben/Peckell zerbrach im Spätsommer 1664 aufgrund von Streitigkeiten, die in Gerichtsverfahren mündeten.⁸²³ Treileben führte die Bergungsarbeiten der Kanonen ohne Peckell weiter.

Das Ergebnis der Bergungsarbeiten an der *Vasa* ist unter Anbetracht der Rahmenbedingungen - dunkles, kaltes Wasser, Tidenhub, Strömung, große Tiefe, schwere Kanonen - eine außerordentliche Leistung, die noch nie zuvor erreicht worden war. Bis heute ist ungeklärt, mit welcher Methode die Taucher die Kanonen der unteren Decks geborgen haben.⁸²⁴ Die Kanonen der oberen Decks konnten durch Aufbrechen der jeweiligen Planken nach oben gezogen werden, aber die Kanonen der unteren Decks mussten zuerst seitlich durch die Stückpforten in der Schiffswand gezogen werden, bevor sie nach oben gehievt werden konnten.

Um in diese große Tiefe und so lange tauchen zu können, scheinen Treileben und Peckell ab dem Frühjahr 1664 eine Methode eingesetzt zu haben, um die Luft in der Taucherglocke mit Frischluft zu ergänzen. Sie „transformed the bell, that in it a man could work under water for one half an hour and accomplish what was needful“, so Cederlund in seinem Standardwerk über die Bergungsarbeiten der *Vasa*.⁸²⁵

Die genaue Methode der Lufterneuerung wurde bislang nicht zweifelsfrei ermittelt. Neuere Untersuchungen legen nahe, dass es sich um die gleiche Methode gehandelt haben könnte, die später von Edmond Halley propagiert wurde.⁸²⁶ Darauf scheint ein Nebensatz hinzudeuten, nach dem sich Treileben mit seinem Tauchleiter Frederik Herman Höjer über das Problem der Lufterneuerung beraten hat, und Höjer den Vorschlag gemacht habe, das „Wetter in der Glocke“ durch „blåsor“ aufzufüllen: „med blåsor uppfylla vädret i klockan“⁸²⁷.

Der Begriff „vädret“ („Wetter“) wird noch heute im Bergbau als Sammelbegriff für die sich in den Stollen befindlichen Gase verwendet. Die Verwendung im Zusammenhang mit der Taucherglocke könnte eine Ursache darin haben, dass Treileben und Peckell sich auch mit Bergbautechnik beschäftigt haben. Zu einer Fehldeutung könnte der Begriff „blåsor“ geführt haben, und zwar könnte damit nicht „Blasen“ im Sinne von in Fässern abgefüllte Luftblasen beziehungsweise einzeln-dosierten Luftmengenführungen wie bei Edmond Halley gemeint

⁸²³ Anders Ståhl, Berättelse om Hans Albrecht von Treilebens märkliga levnadsöden från hans födelse 1625 till hans död omkring 1690, in: Signallinan 16 (2006) 7-17, 13; Kristensen/Jørgensen, *The Mystery*, 59.

⁸²⁴ Kristensen / Jørgensen, *The Mystery*, 59.

⁸²⁵ Cederlund, *Vasa*, 87.

⁸²⁶ Ståhl, *Berättelse*, 13; Franzen, *Warship Vasa*, 13; Franzen, *Ghost from the Depths*, 48; Cederlund, *Vasa*, 102. Siehe hierzu Kapitel 5.3.

⁸²⁷ Zitiert nach Hafström, *Örlogsskeppet*, 798.

sein, sondern „blasen“ als Verb. Dies könnte dann auf die Verwendung eines Blasebalges hinweisen, mit dem Frischluft zur Glocke hinuntergeblasen werden können - eine Methode, die durchaus der Bergbautechnik entliehen worden sein könnte. In der Bergwerkstechnik ist die Bewetterung von Stollen mit Frischluft durch Blasebälge bereits seit Mitte des 16. Jahrhunderts nachweisbar.⁸²⁸

Die maximale Tauchdauer von einer halben Stunde wird durch den italienischen Franziskanermönch Francesco Negri (1623-1698) bestätigt.⁸²⁹ Er bereiste zwischen 1663 und 1666 Nordskandinavien, notierte in seinem Reisetagebuch seine Erlebnisse und beschrieb die durchreiste Landschaft und Natur. Nach Rückkehr nach Italien arbeitete er, getrieben von dem Willen, seine Beobachtungen so weit wie möglich zu präzisieren, bis zu seinem Lebensende an dem Reisebericht. Er erschien posthum 1700 unter dem Titel *Viaggio Settentrionale Fatto*.⁸³⁰

In seinem Bericht erwähnt er einen Besuch im Hafen von Stockholm im Oktober 1663, wo er Augenzeuge der Bergungsarbeiten an der *Vasa* wurde. Er vermerkt in seinem Reisebericht, dass der Taucher in der Glocke höchstens eine halbe Stunde lang tauchen konnte, da die Luft in der Glocke dann zum Atmen zu heiß geworden wäre, und die Beine, die im Wasser stehen, frieren.⁸³¹ Ein Mangel an atembare Luft erwähnt er nicht.

In Negris Werk ist eine Zeichnung der Taucherglocke enthalten, die Treileben eingesetzt haben soll.⁸³² Man erkennt, dass ein einzelner Taucher aus der Glocke heraus mit langen Stangen und Greifwerkzeugen arbeitet. Eine sehr ähnliche Zeichnung einer Taucherglocke wurde bereits 1676 von Johann Christoph Sturm publiziert (siehe Abbildung 23 auf S. 235).⁸³³ Da die Illustrationen für Negris Buch erst nach dessen Tod 1698 durch den italienischen Künstler Carlo Antonio Buffagnotti (1660-1717) entstanden, entspricht diese Abbildung nicht unbedingt der von ihm selbst gesehenen Taucherglocke, sondern ist möglicherweise eine Nachahmung der Zeichnung von Sturm. Die meisten Zeichnungen in Negris Werk sind Kopien aus Publikationen anderer Autoren.⁸³⁴

⁸²⁸ Siegfried Batzel, Aus der Geschichte der Grubenbewetterung, in: Bergbau-Archiv 19/1-2 (1958) 1-15, 6.

⁸²⁹ Francesco Negri, *Viaggio setentrionale, fatto, e descritto dal molto rev.do sig.r. d. Francesco Negri da Ravenna; opera postuma, data alla luce da gli heredi del Sudetto*, Padua 1700, 93-96. Die Bergungsarbeiten wurden bereits 1682 erwähnt, siehe Johann Joachim Becher, *Närrische Weißheit Und Weise Narrheit*, Frankfurt 1682, 52-53.

⁸³⁰ Negri, *Viaggio setentrionale*, 96.

⁸³¹ Negri, *Viaggio setentrionale*, 95.

⁸³² Negri, *Viaggio setentrionale*, 95.

⁸³³ Johann Christoph Sturm, *Collegium experimentale, sive curiosum*, Band 1, Nürnberg 1676, 2.

⁸³⁴ Giuseppe Olmi, Sweden in the Travel Journals of Lorenzo Magalotti and Francesco Negri, in: Marco Beretta / Tore Frängsmyr (Hg.), *Sidereus Nuncius & Stella Polaris. The Scientific Relations between Italy and Sweden in Early Modern History*, Canton 1997, 57-79, 68.

Die Taucher am Wrack der *Vasa* haben sich bei ihren Tauchgängen unbewusst in der sogenannten „Nullzeit“⁸³⁵ aufgehalten, also dem maximalen Zeitraum vom Abtauchen an gerechnet, bei dem ein direktes Aufsteigen unproblematisch möglich ist. Dieser Zeitraum liegt bei 30 Meter Tiefe bei 15 Minuten.⁸³⁶ Rechnet man die Zeitdauer für den Aufstieg hinzu, erscheint eine Gesamttauchzeit von 30 Minuten plausibel. Hält man die „Nullzeit“⁸³⁷ nicht ein, kommt es zu der sogenannten „Dekompressionskrankheit“, bei der Gasblasen entstehen und Blutbahnen und Gefäße verstopfen können (Embolie).⁸³⁸ Dieses Phänomen bei Taucher wurde erstmals 1841 beschrieben, als der französische Ingenieur Jacques Triger (1801-1868) damit beauftragt war, bei Chalonnnes-sur-Loire einen Kohleschacht abzuteufen.⁸³⁹

Die Bergungsarbeiten Treilebens zwischen 1658 und 1660 hatten bereits zu einem großen Erfolg und einen über die schwedischen Landesgrenzen reichenden Ruhm geführt, aber die Bergung der Kanonen der *Vasa* gingen nochmals ein Stück darüber hinaus. Es war „a salvage operation that was perhaps the most impressive underwater enterprise of the premodern era“⁸⁴⁰, urteilte Kvarning.

Die Bergung der Kanonen aus der *Vasa* kann als eine der größten und erfolgreichsten Bergungsaktionen, die mit Hilfe der Taucherglocke durchgeführt wurde, bezeichnet werden.⁸⁴¹ Das bislang „most important theatre of diving activity“⁸⁴² der Gruppe um Treileben hatte wenige Jahre später eine besondere Auswirkung in England, denn Matthew Rochford und James Maule verfassten darüber Berichte, die der Royal Society of London als Grundlage bei ihren tauchtechnischen Forschungen dienten.

Treilebens Erfolg führte neben der Gedenkmünze von 1660, aufkommenden Schiffsbergungs-Patenten von Nachahmern in den Generalstaaten und der Aufnahme Treilebens in den schwedischen Adelsstand in 1668⁸⁴³ dazu, dass der niederländische Alchimist und Bergwerkexperte Goosen van Vreeswijck (ca.1626-ca.1689) ihm 1674 eines seiner Bücher widmete, und im Vorwort vermerkte, er vermöge es „unter den Wassern selbst zu wandeln; und auf diese Weise viele Reichtümer hervorzuholen und wiederzubringen, die vom Meer

⁸³⁵ Marées, Sportphysiologie, 623.

⁸³⁶ Siehe Verband Deutscher Sporttaucher, Dekompressionstabelle DECO 2000, Offenburg 2000.

⁸³⁷ Marées, Sportphysiologie, 623.

⁸³⁸ Marées, Sportphysiologie, 604-605.

⁸³⁹ Maxwell Williams Goodman, The syndrome of Decompression Sickness in historical perspective, New London 1961, 4.

⁸⁴⁰ Lars-Åke Kvarning, Raising the *Vasa*, in: Scientific American 269/4 (1993) 84-91, 86.

⁸⁴¹ Gustafsson, Early bell diving, 12.

⁸⁴² Phillips, Diving and Underwater Technology, 176.

⁸⁴³ Gustaf Elgenstierna, Den introducerade Svenska adelns ättartavlor, Band 8, Stockholm 1934, Registriernummer 744.

verschluckt wurden und durch Schiffbrüche und andere Mittel verloren gegangen sind [...] die ohne ihre Mittel sonst allzeit in den Tiefen des Meeres begraben worden wären“⁸⁴⁴. Vreeswijck war ein gelehrter und weit gereister Mann, der nicht nur in europäischen Ländern wie Frankreich, Deutschland und Schweden Erzabbau und -verarbeitung untersuchte, sondern auch acht Jahre im karibischen Raum viele Minen besichtigte und Verbesserungen vorgeschlagen hatte. Sein Urteil über Treileben ist entsprechend hoch einzustufen.

Treileben betätigte sich auch nach den Arbeiten an der *Vasa* als Bergungsexperte. Trotz der großen Erfolge bei seinen Bergungsarbeiten scheint er kein Vermögen aufgebaut zu haben, denn er beklagte sich 1666 darüber, keine Mittel mehr zu haben. Die Einnahmen aus der Bergung von Kanonen waren offenbar zur Begleichung von Schulden verwendet worden.⁸⁴⁵ Es soll auch nicht vergessen werden, dass die Produktion einer Bleitaucherglocke mit allen zugehörigen Hilfsmitteln ein kostspieliges Unterfangen war.

Treileben erhielt 1676 den Auftrag, bei Tobermory auf der schottischen Insel Mull Bergungsarbeiten an einem Wrack der spanischen Armada durchzuführen, wo bereits seit 1665 James Maule arbeitete.⁸⁴⁶ Treileben und Maule bargen 1677 zwar Teile des Schiffes und Kanonen, aber nicht den erhofften Silberschatz. Der deutsche Arzt und Alchemist Johann Joachim Becher (1635-1682) schrieb 1682, Treileben und er hätten ein gemeinsames Bergungsvorhaben an einer spanischen Galeone bei der Abrolhol Inselgruppe vor Brasilien geplant, aber nicht durchführen können, weil Geldgeber zur Ausrüstung eines Schiffes fehlten.⁸⁴⁷ Treileben hielt sich zwischen 1681 und 1685 einige Male in Hamburg⁸⁴⁸ auf und verstarb 1691 in Prag, wo er in den letzten Jahren bei dem Kunstmäzen und Verleger Franz Anton von Sporck (1662-1738) wohnte.⁸⁴⁹

Zwischen 1682 und 1686 konnten die Männer der Tauchgruppe von Treilebens 60 Kanonen des 1676 bei der Insel Öland gesunkenen schwedischen Kriegsschiffes *Kronan* bergen.⁸⁵⁰ Das

⁸⁴⁴ Eigene Übersetzung vom Originaltext „[...] om selfs onder wateren te wandelen; en door sulken middel vele rijkdommen, die door Schip breuken en anders van de Zee zijn ingeswolgen, en verloren geat worden, daer uit op te halen, en weder aen den dach te brengen [...] di sonder uw middel anders altyt in de diepten der Zee versonken hadden moeten begraven blyven liggen“ in Goossen van Vreeswijck, *De groene leeuw, of het licht der filosofen; vertoonende alle koninklijke handelingen in het openen en onsluiten der metalen, mineralen, vegetabilische en animalische saken, het onderkennen van hare natuur en souten*, Amsterdam 1674, 4-5.

⁸⁴⁵ Stahl, *Berättelse*, 16.

⁸⁴⁶ Siehe Alison McLeay, *The Tobermory Treasure. The True Story of a Fabulous Armada Galleon*, London 1986, 41-43.

⁸⁴⁷ Becher, *Närrische Weißheit*, 53.

⁸⁴⁸ Gottfried Wilhelm Leibniz, *Sämtliche Schriften und Briefe, Erste Reihe, Dritter Band, 1680-1683*, [Hg. Preussische Akademie der Wissenschaften], Berlin 1938, 485, 487, 498.

⁸⁴⁹ Becher, *Närrische Weißheit*, 53.

⁸⁵⁰ Thomas Feige, *Das schwedische Regal-Schiff Svärdet von 1662*, in: *Das Logbuch 47/4* (2011) 145-147, 147; Siehe auch Mainberger/Weski, *Unterwasserarchäologie*, 15.

Wrack lag in 27 Meter Wassertiefe. Verantwortlicher für die Bergungsarbeiten war nun nicht mehr Treileben, sondern der schwedische Marineoffizier Pal Rump (auch Paul Rumpf) unter der Leitung von Admiral Hans Wachtmeister (1641-1714). Die Bergungsmethode mittels Taucherglocke scheint sich inzwischen in der schwedischen Marine etabliert zu haben.

4.3 Robert Boyles Grundlagenforschung zu den Gasgesetzen und der Hydrostatik

Der englische Philosoph und Staatsmann Francis Bacon (1561-1626) wird, insbesondere aufgrund der folgenreichen Wirkung seiner Schriften, in denen er neues Denken und Forschen zum Wohle der Menschheit propagiert, als „Wegbereiter des britischen Empirismus“⁸⁵¹ und „cultural entrepreneur“⁸⁵² gesehen. „Natural history, as Bacon observed, was a form of inquiry designed to record the knowledge of the world for the use and betterment of mankind“⁸⁵³. Bacon war nicht der erste, der den Gedanken verfolgte, die Phänomene der Natur zu interpretieren und zu hinterfragen, sondern hatte Vorgänger und Vordenker, insbesondere im Italien des 16. Jahrhunderts.⁸⁵⁴ Ein besonders herausragender Vertreter der empirischen, experimentellen Methode ist Galileo Galilei, der die Fallgesetze experimentell untersuchte.

Es ist möglich, bereits in den Jahrhunderten zuvor die zunehmende Verwendung von experimentellen Techniken mit speziell entwickelten Instrumenten, die Entwicklung mathematischer Analysemethoden, und die Einführung idealisierter Modelle, die die unüberschaubare Komplexität der Natur vereinfachen, nachzuvollziehen.⁸⁵⁵

Francis Bacon zählt in seinem Werk *Novum organum scientiarum* (1620)⁸⁵⁶ unter anderem eine Reihe von praktischen Anwendungsfällen auf, die durch Beherrschung und Ausnutzung von Naturkräften dem Menschen nützlich sind. Dabei beschreibt Bacon auch Taucherglocken, die auf drei Füßen auf dem Meeresgrund stehen, und Apnoetauchern als Luftreservoir dienen, ähnlich wie es bereits Aristoteles beschrieben hat: „Sie stand auf drei Füßen (wie ein Dreibein),

⁸⁵¹ Carolyn Merchant, *The Violence of Impediments. Francis Bacon and the Origins of Experimentation*, in: *Isis* 99 2008, 731-760, 731.

⁸⁵² Moky, *A Culture of Growth*, 70.

⁸⁵³ Paula Findlen, *Possessing Nature: Museums, Collecting, and Scientific Culture in Early Modern Italy*, Berkeley 1996, 4.

⁸⁵⁴ Michael Hunter, *Science and Society*, 14.

⁸⁵⁵ Siehe Ernan McMullin, *Empiricism and the Scientific Revolution*, in: Charles S. Singleton (Hg.), *Art, Science and History in the Renaissance*, Baltimore 1967, 331-369, 332; Findlen: *Possessing Nature*, 1; Alistair Cameron Crombie: *Von Augustinus bis Galilei. Die Emanzipation der Naturwissenschaft*, München 1977, 354; Wootton, *The Invention of Science*, 103; Hunter, *Science and Society*, 14-15.

⁸⁵⁶ Francis Bacon, *Novum organum scientiarum*, London 1620.

die etwas kleiner als ein Mensch waren, so dass der Taucher, wenn ihm der Atem fehlte, seinen Kopf in den Hohlraum der Wanne stecken, atmen und dann seine Arbeit fortsetzen konnte“⁸⁵⁷.

Aristoteles erwähnte allerdings keine Standbeine. Die Beschreibung von dreibeinigen Taucherglocken, die auf dem Meeresgrund stehen, gab es zuvor erst einmal in William Bournes Werk *Inventions and devices* (1578)⁸⁵⁸, weshalb es möglich ist, dass Bacons Wissen aus diesem Buch stammen könnte. Die Taucherglocke in dem Privileg von Jerónimo de Ayanz y Beaumont aus 1606 hatte vier Füße (siehe Abbildung 14 auf S. 138) und war bis dahin nicht publiziert worden. Taucherglocken scheinen zu Bacons Zeit in England noch wenig bekannt gewesen zu sein, sonst hätte er ihre Funktionsweise vermutlich nicht so ausführlich beschrieben.

Viele Anhänger von Bacons Philosophie suchten die Gesellschaft Gleichgesinnter und hofften, bei den großen europäischen Herrscherhäusern Unterstützung für ihren Ansatz der Naturforschung zu finden. Denn der Schwerpunkt der neuen Art von Naturforschung waren Experimente - die durch menschliches Handeln bewusst herbeigeführten Erfahrungen -, die kostspielig und zeitaufwendig waren.⁸⁵⁹ In Florenz, Rom, Paris und vor allem London bildeten solche Gelehrtenkreise, Akademien und wissenschaftliche Gesellschaften die Keimzellen der neuzeitlichen Wissenschaft.

Es entstand eine neue, institutionalisierte Form der Wissenschaftsorganisation und Wissensproduktion. Ein Beispiel dafür ist die am 28. November 1660 unter dem Vorsitz des Bischofs von Chester John Wilkins (1614-1672) gegründete Royal Society in London.⁸⁶⁰ Sie stieg rasch zur führenden europäischen Institution frühneuzeitlicher naturwissenschaftlicher Forschung auf. Die Mitglieder der Royal Society „erblickten in der Technologie ein Mittel zur Verstärkung der empirischen Grundlagen der Naturwissenschaft“⁸⁶¹. Mit der Veröffentlichung der *Philosophical Transactions of the Royal Society*, der wissenschaftlichen Fachzeitschrift der Royal Society ab 1665 wurde die Royal Society zur bedeutendsten wissenschaftlichen Institution in Europa und die neue Wissenschaft, den Baconschen Visionen entsprechend, zum öffentlich verfügbaren Wissen.

⁸⁵⁷ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Stabat autem super pedes tres, (instar Tripodis) qui Longitudinis erant aliquanto minoris statura hominis; ita ut Urinator posset, cum anhelitus deficeret, immittere caput in cavum Dolii, & respirare, & deinde opus continuare“ in Bacon, *Novum organum scientiarum*, 349.

⁸⁵⁸ Bourne, *Inventions and devices*, 18.

⁸⁵⁹ Thorsten Mohr, *Die Rolle der Royal Society im 17. Jahrhundert*. München 2004, 9.

⁸⁶⁰ Michael Maurer, *Kleine Geschichte Englands*, Stuttgart 2002, 251.

⁸⁶¹ Crombie, *Von Augustinus bis Galilei*, 524.

Über die Gründung der Royal Society, ihre Vorgänger und ihre Ziele gibt es sehr viel Forschungsliteratur.⁸⁶² Hier sollen die in Bezug auf die Entwicklung der Tauchtechnik relevanten Aktivitäten und Personen herausgehoben werden.

Die Royal Society wurde 1662 von Charles II. (1630-1685, reg. 1660-1685) mit einer Royal Charta anerkannt.⁸⁶³ Der Leibarzt und einer der ersten gewählten Fellows der Royal Society Walter Charleton (1620-1707) pries bereits 1661 in einer Biografie Charles II. als Förderer der Wissenschaften: „Under His Majestie’s Administration [...] the Studies of Learning thrive, and the Honours of those Studies“⁸⁶⁴ Die wissenschaftlichen Interessen von Charles II. bezogen sich vor allem auf Fragen zu Chemie und der Navigation, also Fragen, die Nutzen für die militärische Stärke des Landes hatten.⁸⁶⁵ Die Förderung ging jedoch nicht so weit, dass Charles II. die Royal Society auch mit Finanzmitteln ausstattete.

Charles II. hatte, ebenso wie bereits sein Vater Charles I. (1600-1649, reg. 1625-1649) großes Interesse an maritimen Aktivitäten, und die Royal Society, der mehrere hochrangige Offiziere und Befehlshaber der Royal Navy wie etwa Edward Montagu (1625-1672), William Coventry (1627-1687), William Brouncker (1620-1680) und Samuel Pepys (1633-1703) angehörten, richtete, insbesondere in den Anfangsjahren, ein Schwerpunkt ihres Programms danach aus.⁸⁶⁶ Sie erörterte häufig maritime Themen und veranlasste Seeleute dazu, Tagebücher mit Aufzeichnungen über natürliche Phänomene sowie Tide-Messungen einzureichen. Einige Mitglieder der Royal Society arbeiteten auch in der Afrika-Handelsgesellschaft oder anderen Regierungsstellen mit. Dem 1662 gegründeten Tanger-Ausschuss der Regierung gehörten beispielsweise Montagu, Coventry und Pepys an.⁸⁶⁷ Die Royal Society trug damit unmittelbar zur Stärkung der Macht des Staates bei.⁸⁶⁸

In dem ersten Jahrzehnt nach ihrer Gründung beschäftigte sich die Royal Society mehr oder weniger unsystematisch, je nach dem Interessengebiet seiner Mitglieder, mit sehr vielen,

⁸⁶² Siehe Douglas McKie, *The Origins and Foundation of the Royal Society of London*, in: *Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science* 15 (1960) 1-37; Michael Hunter, *The Royal Society and Its Fellows, 1660-1700: The Morphology of an Early Scientific Institution*, Chalfont St Giles 1982; Charles Webster, *The Great Instauration. Science, Medicine and Reform 1626-1660*, 2. Auflage, Bern 2002.

⁸⁶³ Thomas Sprat, *The History of the Royal Society, for the Improvement of Natural Knowledge*, London 1667, Dedication.

⁸⁶⁴ Walter Charleton, *A character of His Most Sacred Majesty, Charles the Second*, London 1661, 20.

⁸⁶⁵ Robert K. Merton, *Science, Technology and Society in Seventeenth Century England*, in: *Osiris* 4 (1938) 360-632, 386.

⁸⁶⁶ J. David Davis, *Kings of the Sea. Charles II, James II and the Royal Navy*, Barnsley 2017, 20, 181; Hunter, *Science and Society*, 94-95, 130-131.

⁸⁶⁷ Siehe Margarette Lincoln, *Samuel Pepys and Tangier, 1662-1684*, in: *Huntington Library Quarterly* 77 (2014) 417-434.

⁸⁶⁸ Siehe Joyce E. Chaplin, *The Atlantic Ocean and its contemporary meanings, 1482-1808*, in: Jack P. Greene / Philip D. Morgan (Hg.), *Atlantic History. A critical appraisal*, Oxford 2009, 35-51, 43.

unterschiedlichen Gebieten der Natur. Manche Themen wurden etwas ausführlicher betrachtet als andere, wie etwa Experimente zur Pneumatik, die immer wieder in den Sitzungsprotokollen aufgeführt werden.

In den Anfangsjahren der Royal Society of London prägten zwei Schlüsselpersonen die Gesellschaft entscheidend: Die Naturforscher Robert Boyle (1627-1691) und Robert Hooke (1635-1703). Wie nachfolgend ausgeführt wird, spielten Boyle und Hooke auch in der Geschichte des Gerätetauchens eine besonders wichtige Rolle.

Boyle war in der Aufbauphase einer der wichtigsten Aktivisten der Royal Society, und wird als „hero of the society’s early protagonists“⁸⁶⁹ bezeichnet. Boyle und Hooke formten gemeinsam mit dem langjährigen Sekretär und Wissenschaftskommunikator Henry Oldenburg (1619-1677) das Außenbild der Royal Society.⁸⁷⁰ Eine ähnliche Rolle wie Oldenburg, der wissenschaftliche Informationen mit einer umfangreichen Briefkommunikation sammelte und verteilte, übte zuvor bereits Marin Mersenne rund 25 Jahre lang in Frankreich aus.⁸⁷¹ Oldenburgs Netzwerk war aber wesentlich weitgefächerter, und mit der Publikation der *Philosophical Transactions of the Royal Society* hatte er ein Instrument, „which enormously increased the prestige and influence of the Society at home and abroad“⁸⁷².

Wissenschaftler begannen, eine internationale Gemeinschaft und Korrespondenznetzwerke zu bilden, und tauschten ihre Ergebnisse häufig in Briefen aus. Herausragende Vertreter dieser internationalen Wissenschaftsgemeinde, die dieses Medium intensiv nutzten, waren in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts beispielsweise der Pädagoge Samuel Hartlib (1600-1662) und der Jesuit Athanasius Kircher (1602-1680).

Es ging nicht nur darum, durch Korrespondenz neues Wissen von außen in die Wissensgemeinschaft hineinzutragen, sondern damit auch neue Gedanken und Ideen anzustoßen, sie zu diskutieren und die eigene Forschung voranzubringen: „This sharing of information enabled correspondents to compare their views and findings to those of distant

⁸⁶⁹ Michael Hunter, Robert Boyle and the Early Royal Society: A Reciprocal Exchange in the Making of Baconian Science, in: *The British Journal for the History of Science* 40 (2007) 1-23, 2.

⁸⁷⁰ Purrington, *The First Professional Scientist*, 92.

⁸⁷¹ Marie Boas Hall, *The Royal Society’s Role in the Diffusion of Information in the Seventeenth Century*, in: *Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science* 29 (1975) 173-192, 177; Marie Boas Hall, *Oldenburg and the art of Scientific Communication*, in: *The British Journal for the History of Science*, 2 (1965) 277-290, 286.

⁸⁷² Boas Hall, *The Royal Society’s Role*, 185.

colleagues, and integrate them with their own in the interpretation of complex phenomena, which often led to innovative theoretical conclusions“⁸⁷³.

Die wissenschaftliche Korrespondenz - begünstigt durch die Einführung der Postdienste, die vor allem im 17. Jahrhundert regelmäßiger und zuverlässiger wurden - hat das Wachstum einer standortunabhängigen wissenschaftlichen Gemeinschaft stark gefördert, da sie ein hervorragendes Mittel für den Meinungs austausch, die Diskussion von Kontroversen, die Bestätigung individueller Beobachtungen und die offizielle Anerkennung der eigenen Ergebnisse bot.⁸⁷⁴

In Bezug auf diese neue Möglichkeiten und Ergebnisse des Austausches hat sich in der Fachwelt die Bezeichnung der „Communication Revolution“ etabliert. Die *Philosophical Transactions of the Royal Society* kann als eine Ausprägung von ihr angesehen werden: „Here is a particularly good example of the synergistic effect of the relationship between experiments and face-to-face meetings, on the one hand, and the international correspondence and publication of results on the other. The new medium for discussion enabled new ideas and theories to be developed and either rejected or confirmed, and all at a pace that had been completely unthinkable before the start of the Communications Revolution“⁸⁷⁵.

Robert Boyles wissenschaftliche Bemühungen lassen sich in drei Kategorien⁸⁷⁶ aufteilen: Untersuchungen zu den physikalischen Eigenschaften der Luft; chemische Untersuchungen⁸⁷⁷ einschließlich Studien über Atmung und Verbrennung, sowie Medizin und Hilfswissenschaften.

Boyle gehörte einer neuen Generation von Wissenschaftlern an, die Experimente nicht nur durchdachten und daraus ein Ergebnis folgerten, sondern sie auch tatsächlich durchführten, das Ergebnis feststellten, es verifizierten und publizierten. Er setzte neue Standards der empirischen Methode, wie etwa Klarheit und Objektivität bei der Durchführung wissenschaftlicher Experimente und gab dadurch unter anderem auch seinem Mitarbeiter Hooke eine wertvolle Grundlage für die neue Experimentalphilosophie. „Robert Boyle’s experiments in pneumatics in the late 1650s and early 1660s represent a revolutionary moment in the career of scientific

⁸⁷³ Maurizio Gotti, Scientific Interaction with Henry Oldenburg’s Letter Network, in: *Journal of Early Modern History* 3 (2014) 151-171, 158.

⁸⁷⁴ Siehe Wolfgang Behringer, *Im Zeichen des Merkur: Reichspost und Kommunikationsrevolution in der Frühen Neuzeit*, Göttingen 2003, 643-688.

⁸⁷⁵ Wolfgang Behringer, Communications Revolutions: A Historiographical Concept, in: *German History* 24 (2006) 333-374, 361.

⁸⁷⁶ John Farquhar Fulton, The Honourable Robert Boyle, F.R.S. (1627-1692), in: *Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science* 15 (1960) 119-135, 123.

⁸⁷⁷ Siehe Marie Boas, *Robert Boyle and seventeenth-century chemistry*, Cambridge 1958.

knowledge. In his *New Experiments Physico-Mechanical* (1660) and related texts [...] he exhibited the proper experimental means by which legitimate knowledge was to be generated and evaluated”⁸⁷⁸, so Shapin.

Boyle interessierte sich sehr für Fragen, die mit dem Tauchen zusammenhängen, und verglich seine Arbeit als Naturforscher mit dem explorativen Charakter eines Tauchers: „So tis the work of the Experimental philosopher, not onely to dive into the deep Recesses of Nature, and thence fetch up her hidden Riches; but to recover to the use of Man those lost Inventions, that have been swallowed up by the Injuries of Time, and lain buried in oblivion“⁸⁷⁹.

Bei seinen Forschungen zur Atmung, dem Druck und der Wassertemperatur untersuchte Boyle immer wieder Erfahrungen von Taucher über das Ausmaß, in dem sie von den Bedingungen unter Wasser betroffen waren.⁸⁸⁰ Er hoffte einen Nachweis für die Existenz und die Größenordnung des mit der Tiefe zunehmenden Wasserdruckes zu finden, der nach seiner Hypothese ebenso existieren musste wie die bereits bekannten Unterschiede des Luftdruckes zwischen einem Tal und auf einem Berg. Eine der Fragestellungen, die er nachging lautete „why Divers, and others who descend to the Bottome of the Sea, are not oppress‘d by the weight of the incumbent water“⁸⁸¹.

Heron von Alexandria hatte sich bereits mit dieser Frage beschäftigt, und anhand von Archimedes Abhandlung *De insidentibus aquae* von den schwimmenden Körpern versucht zu erklären, warum Taucher nicht vom Wasser über ihnen erdrückt wurden: Heron verwies auf das Archimedische Gesetz, wonach Körper, deren Gewicht dem einer Flüssigkeit entspricht, weder über die Oberfläche dieser Flüssigkeit hinausragen noch unter sie sinken, wenn sie in sie eingetaucht sind. Dies erklärte aber nur einen Teil der hydrostatischen Bedingungen.⁸⁸²

Boyle stellte sich die Unterwasserwelt in Anlehnung an die Landvegetation vor, und die Meerespflanzen als verwandt mit ihren Gegenstücken an Land. So erfuhr er zum Beispiel von einem „man of letters“ auf den Malediven, dass dort auf dem Meeresboden „a sort of cocoa-

⁸⁷⁸ Steven Shapin, Pump and Circumstance: Robert Boyle’s Literary Technology, in: Marcus Hellyer (Hg.), *The Scientific Revolution. The Essential Readings*, Malden 2003, 74-100, 74.

⁸⁷⁹ Robert Boyle, Some considerations touching the usefulness of experimental natural philosophy [1671], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 3.*, London 1772, 392-441, 416.

⁸⁸⁰ Siehe Robert Boyle, Of the Temperature of the Submarine Regions [1671], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 3.*, London 1772, 342-349, 342; Robert Boyle: Observations and Experiments about the Saltness of the Sea (1673) in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 3.*, London 1772, 764-780. Siehe auch Steven Shapin, *A Social History of Truth*, Chicago 1994, 258-266.

⁸⁸¹ Robert Boyle, Hydrostatical Paradoxes made Out by New Experiments [1666], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 2.*, London 1772, 738-797, 791.

⁸⁸² Schmidt, Herons von Alexandria Druckwerke, 25.

trees” wachsen, deren Früchte „real“ seien, wenn auch kleiner „than most other sorts of cocoa’s“⁸⁸³. Boyle folgert, dass der vermeintliche Unterwasserbaum aus untergetauchten Nüssen der landlebenden Sorte hervorgegangen ist. Erst der französische Arzt und Naturforscher Jean-André Peyssonnel (1694-1759) rückte das Bild gerade und zeigte, dass Korallen nicht zu den Pflanzen, sondern zu den Tiere gezählt werden müssen.⁸⁸⁴ Zuvor hatten die beiden italienischen Naturforscher Diacinto Cestoni (1637-1718) und Vitaliano Donati (1717-1762) bereits die Polypen der Korallen unter ihrem Mikroskop entdeckt.⁸⁸⁵

Weitere Fragen, die Boyle interessierten, waren, ob es auf dem Meeresgrund auch Strömungen und Wellenbewegungen gibt, und wie die Temperatur- und Lichtverhältnisse sind.⁸⁸⁶ In seinem Text *Relations about the bottom of the sea* (1671) fasste Boyle seine Kenntnisse zusammen.⁸⁸⁷

Boyle wollte sich nicht selbst unter Wasser begeben, um dort Experimente durchzuführen, denn das war ein Ort, den er für einfache Arbeiter vorbehalten ansah, und nicht für einen adligen Forscher wie ihn. Dies scheint eine weit verbreitete Einstellung vieler Wissenschaftler damals gewesen zu sein.⁸⁸⁸ Dabei fühlte er sich durch das Verhalten anderer Wissenschaftler bestätigt: „I do not pretend to have visited the bottom of the sea; [and] none of the naturalists whose writings I have yet met with, have been there any more than I“⁸⁸⁹.

Eine weitere Rolle für Boyles Zögern werden die unbekanntes Gefahren gespielt haben. Boyle würdigte die „Boldnesse [...] and the Skill to penetrate into those conceal’d and dangerous Recesses of Nature“⁸⁹⁰ von Taucher. Da diese aber oft berichteten, unter Wasser keine Auswirkung eines erhöhten Druckes zu spüren, lehnte er ihre „vulgar reports about diving“⁸⁹¹ als unglaubwürdig ab. Für Boyle besaßen die Ergebnisse seiner Experimente größere Aussagekraft als subjektive Schilderungen von Taucher.⁸⁹²

⁸⁸³ Robert Boyle, *Relations about the bottom of the sea* [1671], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 3*, London 1772, 349-354, 780-781, 781.

⁸⁸⁴ Siehe William Watson, *An account of a manuscript treatise presented to the Royal Society, intituled, Traité du corail*, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 47 (1751) 448-454.

⁸⁸⁵ Riccardo Cattaneo-Vietti / Giovanni Fulvio Russo: *A brief history of the Italian marine biology*, in: *The European Zoological Journal* 86 (2019) 294-315, 296.

⁸⁸⁶ Deacon, *Scientists and the Sea*, 124.

⁸⁸⁷ Boyle, *Relations about the bottom of the sea*, 780-781.

⁸⁸⁸ Mallinckrodt, *Exploring Underwater Worlds*, 304.

⁸⁸⁹ Boyle, *Relations about the bottom of the sea*, 349.

⁸⁹⁰ Boyle, *Relations about the bottom of the sea*, 349.

⁸⁹¹ Robert Boyle, *Hydrostatical Discourse* [1672], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 3*, London 1772, 596-628, 621.

⁸⁹² Boyle, *Hydrostatical Discourse*, 626.

Viele Taucher wären „ignorant divers, whom prejudicate opinions may much sway“ und „persons void of curiosity and skill to make such observations“⁸⁹³. Wirtschaftliche Interessen der Taucher ständen im Vordergrund, und ihnen würde das Interesse an wissenschaftlichen Fragestellungen fehlen: „If observations about diving were made by philosophers and mathematicians, or, at least, intelligent men, who would mind more the bringing up out of the sea instructive observations, than shipwrecked goods, we should perhaps have an account of what happens to men under water, differing enough from the common reports“⁸⁹⁴.

Boyle folgerte, dass diese uneinheitlichen Beobachtungen von Tauchern „need to be more heedfully observed by intelligent men“, um festzustellen, „what is true in point of fact“, bevor man den Versuch unternimmt, „indagate the reasons“ für sie zu finden.⁸⁹⁵ Damit formulierte Boyle den Grundgedanken des Scientific Diving, bei dem der Wissenschaftler selbst auf den Meeresgrund geht. Trotz dieses offenbar großen Mangels der Berichte durch Taucher konnte sich Boyle nicht dazu überwinden, selbst zu tauchen und in situ zu forschen.

Boyle breitgefächertes naturkundliches Interesse schloss bis zu seinem Lebensende die Verhältnisse unter Wasser mit ein. Unter den persönlichen Papieren, die Boyle der Royal Society nach dem Tod vermacht hat, befindet sich eine Liste mit Vorhaben, darunter zwei mit Bezug zum Tauchen.⁸⁹⁶ Das erste Vorhaben war „The Art of Continuing long underwater, and exercising functions freely there“. Dies könnte auf die Weiterentwicklung von Unterwasserbooten und autonome Tauchgeräte hinweisen. Boyles zweites Vorhaben betraf „The Emulating of Fish without Engines by Custome and Education only“. Hiermit könnten die modernen, autonomen Schwimmtaucher gemeint sein. Sie praktizieren sicherlich „Custome and Education“, sinngemäß vielleicht mit „nach freiem Willen und erlernt“ zu deuten. Die Visionen Boyles in Bezug auf die Entwicklung des Tauchens sollten sich in späteren Jahrhunderten bewahrheiten.

Robert Boyle stellte 1658 Robert Hooke als Assistent in seinem Labor ein, zu einer Zeit, als Boyle an den Experimenten arbeitete, die ihn dazu brachten, die Beziehung zwischen Druck und Volumen eines Gases zu verstehen. Hooke beteiligte sich aktiv an dem Bau der Instrumente

⁸⁹³ Robert Boyle, New Experiments about the Differing Pressure of heavy solids and fluids [1672], in: Thomas Birch (Hg.), The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 3., London 1772, 643-651, 647.

⁸⁹⁴ Boyle, Hydrostatical Discourse, 618.

⁸⁹⁵ Boyle, New Experiments about the Differing Pressure, 648.

⁸⁹⁶ Siehe Michael Hunter, Boyle Studies: Aspects of the Life and Thought of Robert Boyle (1627-91), New York 2015, 28-31.

und der Lösung der Forschungsfragen, und führte auch die meisten Experimente dazu durch. Für Hooke war die Zeit bei Boyle „the crucial event in shaping [...] the natural philosopher“⁸⁹⁷.

Bei Boyle entwickelte sich Hooke von einem talentierten Mechaniker zu einem Natur- und Experimentalphilosoph.⁸⁹⁸ Hooke war Beobachter, Experimentator und Erfinder. Purrington bezeichnet Hooke in seinem Buchtitel als *The First professional Scientist*, und an anderer Stelle „an extraordinarily inventive scientist and a standard-bearer in the scientific revolution“⁸⁹⁹ sowie „after Newton the most ingenious and talented English scientist of his age“⁹⁰⁰. „Hooke was a man of ideas, a thinker who was at the forefront of the scientific revolution of the later seventeenth century“⁹⁰¹, so Inwood.

Boyle und Hooke führten zwischen 1658 und 1662 vielerlei verschiedene Experimente durch. Ihre wichtigsten Experimente aus Sicht der Tauchtechnik betrafen die Pneumatik und Hydrostatik. Hooke konstruierte für Boyle die Luftpumpe,⁹⁰² die sie für ihre pneumatischen Experimente nutzten (Abbildung 15). Die Funktionsweise der Pumpe beschrieb Boyle in seinem Werk *New Experiments, Physio-Mechanicall, Touching the Spring of the Air, and its Effects* (1660).⁹⁰³ Bei der Konstruktion des Instruments waren Boyle und Hooke von einem Bericht über eine solche Pumpe von dem Würzburger Jesuit Caspar Schott (1608-1666) beeinflusst worden, die er 1657 in seinem Buch *Mechanica hydraulico-pneumatica* abgebildet hatte.⁹⁰⁴ Schott besaß die Luftpumpe des Physikers und Erfinders Otto von Guericke (1602-1686), welche er für seine Experimente zum Luftdruck mit den sogenannten Magdeburger Halbkugeln verwandte.

⁸⁹⁷ Robert D. Purrington, *The First Professional Scientist. Robert Hooke and the Royal Society of London*. Science Networks, Basel 2009, 3.

⁸⁹⁸ Purrington, *The First Professional Scientist*, 4.

⁸⁹⁹ Purrington, *The First Professional Scientist*, 6.

⁹⁰⁰ Mokyr, *A Culture of Growth*, 97.

⁹⁰¹ Stephen Inwood, *The Man Who Knew Too Much: The Strange and Inventive Life of Robert Hooke 1635-1703*, London 2002, VI.

⁹⁰² Eine detaillierte Darstellung der einzelnen Entwicklungsstufen der Luftpumpe findet sich in Terje Brundtland, *From medicine to natural philosophy: Francis Hauksbee's way to the air-pump*, in: *The British Journal for the History of Science* 41 (2008) 209-240; Ditmar Schneider, *Die Erfindung der Vakuumluftpumpe und ihre Entwicklung bis Leupold*, in: Alto Brachner (Hg.), *Geschichte der Vakuumpumpen. Zum 400. Geburtstag Otto von Guericke*, München 2002, 14-58.

⁹⁰³ Siehe Robert Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical, touching on the Spring of the Air and its effects made, for the most part in a new pneumatical engine [1660]*, in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 1*, London 1772, 1-117.

⁹⁰⁴ Caspar Schott, *Mechanica hydraulico-pneumatica*, Frankfurt 1657, 445.

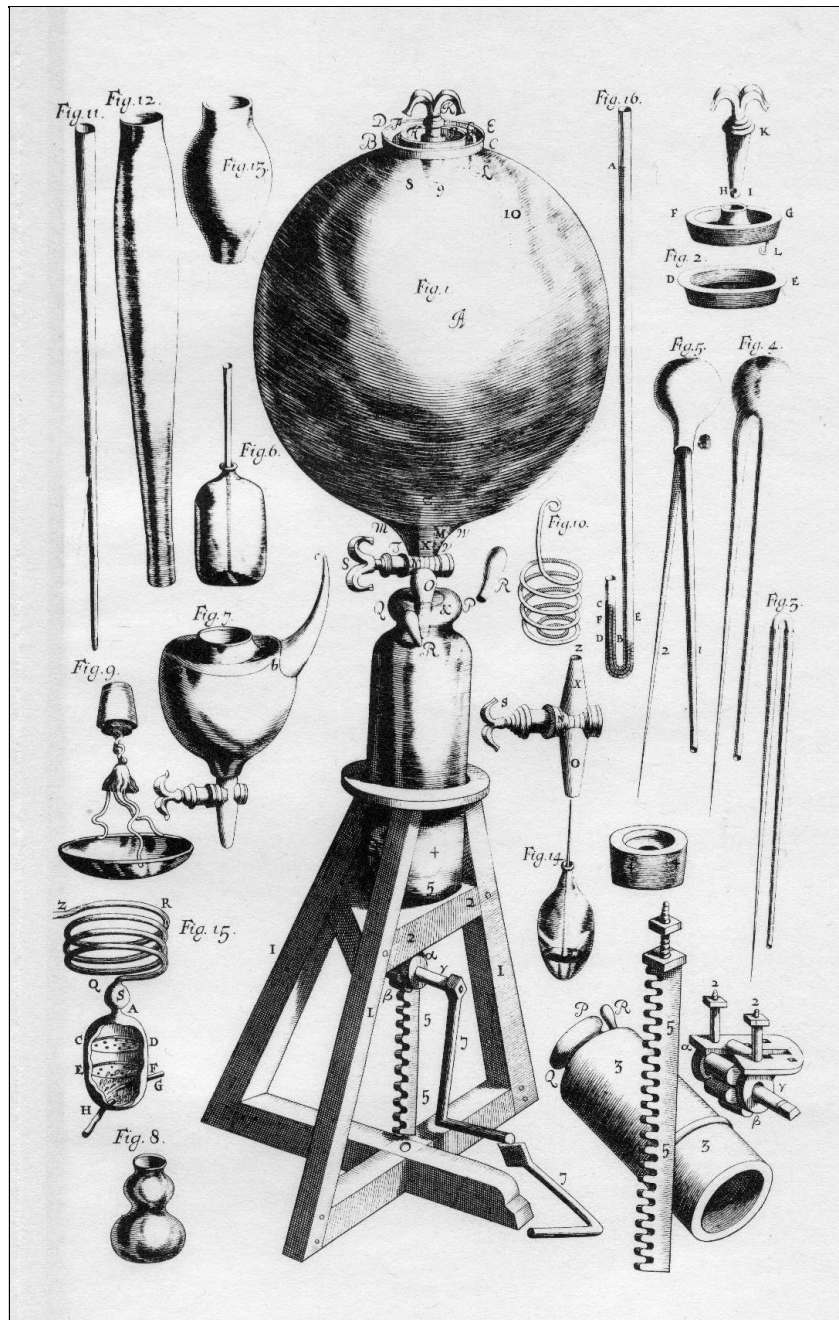


Abbildung 15: Die erste Luftpumpe von Robert Boyle und Robert Hooke (1660). Quelle: Robert Boyle, *New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of Air*, London 1660, o. S.

Die Luftpumpe bestand aus zwei Hauptteilen. Der obere Bereich war eine runde, „Receiver“ genannte, Glaskugel, die als Experimentierraum genutzt wurde. Der Begriff „Receiver“ stammte aus der Alchemie und bezeichnete den Ort, an dem man die Information über die Wirkungen erhält, ähnlich einem „Wirkungsort“. Im oberen Bereich der Glaskugel befand sich eine Öffnung, die mit einem Deckel luftdicht verschlossen werden konnte, und durch den Gegenstände, Tiere und Instrumente in die Kugel eingebracht wurden.

Die Glaskugel saß auf einer Kolbenpumpe, mit der Luft aus der Kugel herausgesaugt, aber auch hineingepumpt werden konnte. Ein Hahn regulierte die Richtung des Luftstroms. In einem Bronzeyylinder war ein Holzkolben - „Sucker“ genannt - installiert, der mit einer Lederkappe als Dichtung versehen war. Mit einer Kurbel wurde der Kolben auf und ab bewegt. Zur Erzeugung eines Unter- oder Überdruckes im Receiver war oft stundenlanges Pumpen erforderlich.

Die Erfindung der Luftpumpe und ihre Nutzung in der Experimentalwissenschaft haben eine große Bedeutung. In der Vorrede zu seinem Werk *Technica curiosa* schrieb Schott zu der Luftpumpe: „Ich trage kein Bedenken, es aufrichtig und getrost zu gestehen, dass ich etwas Bewundernswerteres in dieser Art weder je gesehen noch gehört, noch gelesen, noch mir vorgestellt und gedacht habe, und ich glaube, dass unter der Sonne noch nie ähnliche - geschweige denn wundervollere Dinge vom Anfang der Welt an gesehen worden sind. Dies ist auch das Urteil der großen Fürsten und der gelehrtesten Männer, welche ich damit bekannt gemacht habe“⁹⁰⁵.

In der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts war die Luftpumpe für viele Experimente das wichtigste, anspruchsvollste und teuerste Instrument. Ihre Kolben und Dichtungen mussten hochpräzise sein, damit der Druck oder das Vakuum nicht verloren ging. 1660 gab es insgesamt nur sieben gleichwertige Luftpumpen in Europa. Drei davon standen in dem Labor von Boyle.⁹⁰⁶ „The air-pump was seventeenth-century ‘Big Science’“⁹⁰⁷, so Shapin. „Die Luftpumpe verkörperte den Sieg über den Irrtum des „horror vacui“ und die Fähigkeit des Menschen, ein Stück kosmischer Bedingungen für physische Prozesse auf der Erde herzustellen“⁹⁰⁸, so Weigl. Sie war „a triumph of engineering [who] opened a whole new field of study“⁹⁰⁹. Cohen sieht die Luftpumpe als „Symbol der Revolution in der Naturforschung, die in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts Europa erfasste“⁹¹⁰.

Die Luftpumpe erlaubte, anderes als reine Beobachtungsgeräte wie Fernrohr und Mikroskop, darüber hinausgehende Interaktionen mit Naturprozessen. Die vielfältigen Experimente mit

⁹⁰⁵ Übersetzung vom Originaltext nach Ralf Kern, *Wissenschaftliche Instrumente in ihrer Zeit*. Zweiter Band: 17. Jahrhundert. Vom Compendium zum Einzelinstrument, Köln 2010, 268. Originaltext „Se nihil unquam in eo genere mirabilis aut vidisse, aut audivisse, legisseve, aut mente concepissee: nec puto, similia unquam, nedum mirabiliora a condito Orbe Solem lustrasse, indem est Magnorum Principum, Virorumq, doctissimorum, quibus ea cummunicavi, atque explicavi, judicium“ aus Caspar Schott, *Technica curiosa, sive mirabilia artis*, Nürnberg 1664, 3.

⁹⁰⁶ Inwood, *The Man Who Knew Too Much*, 20.

⁹⁰⁷ Shapin, *Pump and Circumstance*, 78.

⁹⁰⁸ Engelhard Weigl, *Instrumente der Neuzeit. Die Entdeckung der modernen Wirklichkeit*, Stuttgart 1990, 53.

⁹⁰⁹ John B. West, *Essays on the History of Respiratory Physiology*, New York 2015, 52.

⁹¹⁰ Cohen, *Die zweite Erschaffung der Welt*, 199.

Luftpumpen waren eine der Schwerpunkte der europäischen Experimentalkultur des 17. Jahrhunderts. Die Phänomene im luftverdünnten oder -verdichteten Raum des Glaskörpers brachten Erscheinungen hervor, welche im Alltag nicht beobachtet werden konnten.⁹¹¹

Mit seiner Luftpumpe machte Boyle zwei wesentliche Feststellungen, die auch für das Gerätetauchen Relevanz besitzen.⁹¹² Zunächst ermittelte er, dass Luft ein messbares Gewicht hat, da der Receiver leichter war, wenn er mit normaler Luft gefüllt ist, als wenn er mit komprimierter Luft gefüllt wird. Seine zweite wichtige Feststellung durch Tierversuche war, dass Luft eine „vital Quintessence“⁹¹³ enthält, die für das Leben unerlässlich ist.

Anfang des 17. Jahrhunderts lagen bereits Erfahrungen über die Wirkung des Luftdruckes auf den Organismus vor.⁹¹⁴ Effekte konnten beispielsweise beobachtet werden, wenn Forscher hohe Berge bestiegen, und sich damit einem reduzierten Umgebungsdruck aussetzten. Konquistadoren die in Südamerika Andenpässe von über 4.500 Meter Höhe überschritten haben, berichteten bereits 1590 über Effekte des sich ändernden Luftdruckes auf den menschlichen Körper.⁹¹⁵

Die Konquistadoren litten unter vielerlei Beschwerden und der mitgereiste spanische Jesuit José de Acosta (1540-1600) äußerte in seinen Beschreibungen bereits die Vermutung, „that the element of the aire is there so subtile and delicate, as it is not proportionable with the breathing of man, which requires a more grosse and temperate aire ... [and] ... that the grieffe wee feele comes from the qualitie of the aire which wee breathe“⁹¹⁶.

Zwischen 1660 und 1662 führten Boyle und Hooke pneumatische Experimente durch, die zu der heute „Boyleschen Gesetz“ genannten Erkenntnis führten.⁹¹⁷ Es ist, wie später noch ausgeführt wird, für das Tauchen von großer Bedeutung. Dieses Gasgesetz beschreibt, wie der Druck eines Gases bei konstanter Temperatur und Menge bei abnehmendem Volumen tendenziell zunimmt ($p \cdot v = \text{const.}$ wobei p den Druck und v das Volumen bezeichnet). Hooke

⁹¹¹ Peter Schimkat, Denis Papin und die Luftpumpe, in: Frank Tönsmann / Helmuth Schneider (Hg.), Denis Papin. Erfinder und Naturforscher in Hessen Kassel, Kassel 2009, 50-67, 50-51.

⁹¹² Fulton, The Honourable Robert Boyle, 124.

⁹¹³ Robert Boyle, New Experiments Physico-Mechanical, touching on the Spring of the Air and its effects made, for the most part in a new pneumatical engine [1660], in: Thomas Birch (Hg.), The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 1, London 1772, 1-117, 107.

⁹¹⁴ Hermann von Schrötter / Wilhelm Mager / Richard Heller, Luftdruck-Erkrankungen mit besonderer Berücksichtigung der sogenannten Caissonkrankheit, Wien 1900, 22.

⁹¹⁵ Siehe José de Acosta, The Natural and Moral History of the Indies by Father Joseph De Acosta, Volume I: The Natural History (Books I, II, III and IV), Übers. Edward Grimeston, Hg. Clements R. Markham, London 1604. - Reprint Farnham 2010, 130-132.

⁹¹⁶ Acosta, The Natural and Moral History, 131-132.

⁹¹⁷ Siehe Charles Webster, The Discovery of Boyle's Law, and the Concept of the Elasticity of Air in the Seventeenth Century, in: Archive for History of Exact Sciences 2 (1965) 441-502.

erläuterte das Gesetz in seinem Buch *Micrographia* (1665) mit dem Fazit, dass „the Elater of the Air is reciprocal to its extension, or at least very neer“⁹¹⁸.

Boyle bezeichnete den Zusammenhang selbst nie als Gesetz, sondern immer nur als Hypothese⁹¹⁹ oder als „Mr. Townley’s Theory“⁹²⁰, denn neben der technischen Mitarbeit durch Hooke stützte Boyle sich auf die Arbeiten von Richard Towneley (1629-1707), der 1661 gemeinsam mit Henry Power (1623-1668) wichtige Anregungen zur Entdeckung dieses Gasgesetzes geleistet hat.⁹²¹

1662 publizierte Boyle den Zusammenhang zwischen dem Druck und Volumen eines Gases in seinem Buch *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and Weight of the Air*.⁹²² In einer Tabelle präsentierte er seine Messergebnisse zur Verdichtung von Luft und ihrer Volumenänderung und bestätigte damit die Richtigkeit seiner Hypothese, wonach „the pressure and expansions to be in an reciprocal proportion“⁹²³. Dies hat eine besondere Bedeutung beim Tauchen mit Taucherglocken (Abbildung 16).

Boyle benutzte für seine pneumatischen Untersuchungen der Phänomene den Begriff „spring of Air“ und nicht die Worte „Volumen“ oder „Druck“, denn er wusste noch nicht, welche Effekte bei seinen Experimenten zu erwarten waren. Stattdessen schrieb er 1662 das „the same air being brought to a degree of density about twice as that it had before, obtains a spring twice as strong as formerly“⁹²⁴. Die Bezeichnungen „degree of density“ und „spring of the air“ sind nicht einfach nur ein archaisches Vokabular für dieselbe zugrunde liegende Sache. Was Boyle unter der „spring of the air“ versteht, ist weder das, was wir heute unter „Druck“ verstehen, noch sind die zugrunde liegenden Modelle identisch. Eine sinngemäße Übersetzung von „spring of the Air“ wäre etwa „Elastizität der Luft“ oder „Verformbarkeit der Luft“.

⁹¹⁸ Robert Hooke, *Micrographia: or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses*, London 1665, 227.

⁹¹⁹ John R. Milton, The origin and development of the concept of the ‘laws of nature’, in: *European Journal of Sociology / Archives Européennes de Sociologie* 22 (1981) 173-195, 182.

⁹²⁰ Robert Boyle, *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and Weight of the Air* [1662], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 1*, London 1772, 1-185, 160.

⁹²¹ Middleton, *The history of the barometer*, 71; Kevin C. de Berg: Revisiting the pressure-volume law in history - what can it teach us about the emergence of mathematical relationships in science?, in: *Science & Education* 4 (1995) 47-64, 51.

⁹²² Boyle, *Defence of the Doctrine*, 156-163.

⁹²³ Boyle, *Defence of the Doctrine*, 158.

⁹²⁴ Boyle, *Defence of the Doctrine*, 157.

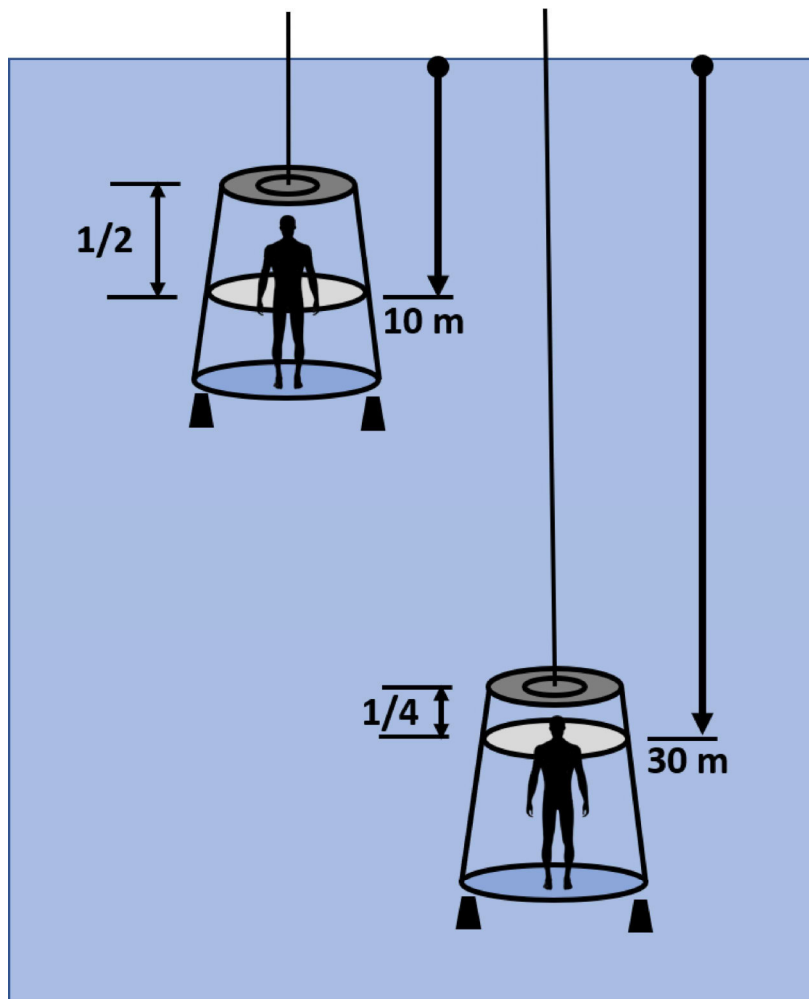


Abbildung 16: Vergleichende Darstellung des „Boyleschen Gesetzes“ bei einer Taucherglocke in 10 m und 30 m Wassertiefe. Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bauer, *Beyond Bells*, 24.

Der schottische Professor an der Universität Glasgow, George Sinclair (auch Sinclar, 1630-1696), bestätigte das Boyle'sche Gesetz 1665 durch praktische Experimente in einer Taucherglocke unter Wasser.⁹²⁵ 1687 zeigte Isaac Newton in *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* auf mathematischem Weg, dass in einer elastischen Flüssigkeit, die aus ruhenden Teilchen besteht, zwischen denen Abstoßungskräfte umgekehrt proportional zu ihrem Abstand sind, die Dichte direkt proportional zum Druck ist. Damit bewies er Boyles und Sinclairs experimentelles Ergebnis auf mathematischem Weg (Abbildung 17).⁹²⁶

⁹²⁵ Siehe hierzu Kapitel 4.7.

⁹²⁶ Isaac Newton, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, London 1687, 298-301, Sec. V, prop. XXI, Theorem XVI.

Prop. XXII. Theor. XVI.

Sit Fluidi cujusdam densitas compressioni proportionalis, & partes ejus a gravitate quadratis distantiarum suarum a centro reciproce proportionali deorsum trabantur: dico quod si distantie sumantur in progressione Musica, densitates Fluidi in his distantis erunt in progressione Geometrica.

Designet S centrum, & SA, SB, SC, SD, SE distantias in Progressione Geometrica. Erigantur perpendiculara $AH, BI, CK, \&c.$ quæ sint ut

Fluidi densitates in locis $A, B, C, D, E, \&c.$ & ipsius gravitates specifica in iisdem locis erunt $AH, BI, CK, \&c.$ Fin-

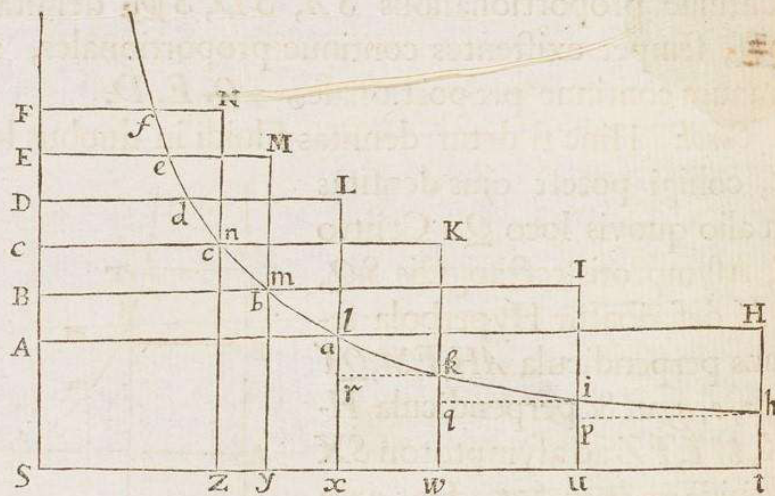


Abbildung 17: Mathematische Darstellung des „Boyleschen Gesetzes“ von Isaac Newton, 1687. Quelle: Isaac Newton, Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica, London 1687, 298.

Eine Weiterentwicklung des Boyleschen Gesetzes gelang Jacques Alexandre César Charles (1746-1823), der 1787 den Einfluss der Temperatur auf das Volumen erkannt hat. Das Gesetz von Charles besagt, dass das Volumen idealer Gase bei gleichbleibendem Druck und gleichbleibender Menge direkt proportional zur Temperatur ist. Ein isobares Gas dehnt sich also bei Erwärmung aus und zieht sich bei Abkühlung zusammen. Seine Erkenntnis spielte vor allem bei der Entwicklung der Ballonluftfahrt eine wichtige Rolle, aber auch beim Tauchen. Bei der Kompression erhitzt sich ein Gas und dehnt sich aus, bei Abkühlung zieht es sich zusammen und der Druck sinkt. 1802 entdeckte auch Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) diesen Zusammenhang und arbeitete ihn zu einer thermischen Zustandsgleichung aus, die als Gay-Lussacsches Gesetz bezeichnet wird.⁹²⁷

⁹²⁷ Maurice P. Crosland, Gay-Lussac: Scientist and Bourgeois, Cambridge 2004, 27.

Fast zeitgleich mit Boyle formulierte Blaise Pascal ein anderes Gasgesetz, das heute nach ihm den Namen „Pascalsches Gesetz“ trägt: dass der Druck, der an einem beliebigen Punkt auf eine inkompressible Flüssigkeit ausgeübt wird, unvermindert in alle Richtungen durch die Flüssigkeit übertragen wird und auf jeden Teil des Behälters im rechten Winkel zu dessen Innenflächen und gleichermaßen auf gleiche Flächen wirkt.⁹²⁸ Daraus lässt sich der sogenannte hydrostatische Druck ableiten, dem ein Taucher ausgesetzt ist. Sowohl Pascal als auch Boyle machten damit zwei wichtige Prinzipien der Tauchphysik bekannt.

Pascals publizierte in seinem Buch *Traitez de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air* (1663) neben den neuen Gasgesetzen eine Anzahl von ihm erdachter Experimente zur Hydrostatik. Einige sollten direkt unter Wasser von Taucher durchgeführt werden.⁹²⁹ Pascal visualisierte beispielsweise den Unterschied zwischen dem atmosphärischen Druck und dem Umgebungsdruck unter Wasser (Abbildung 18) beim Tauchen.⁹³⁰

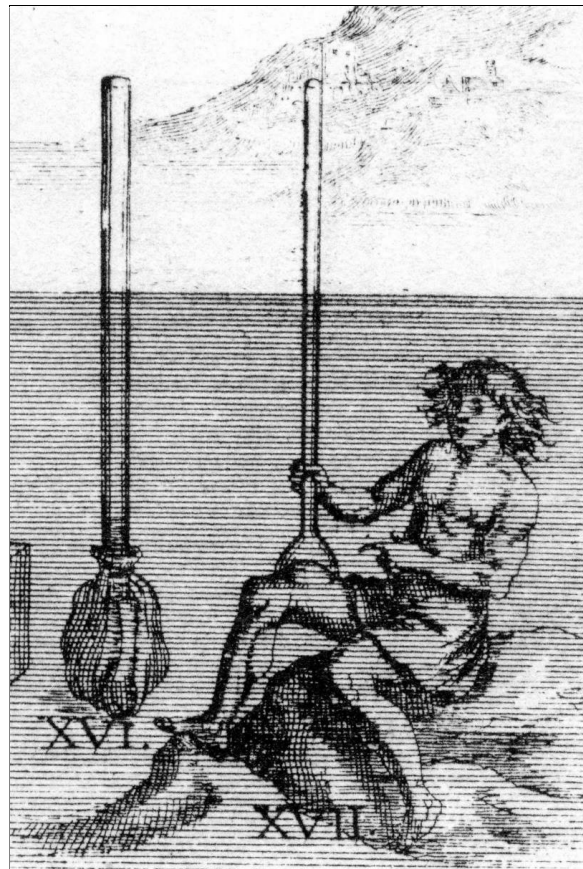


Abbildung 18: Hydrostatisches Experiment von Blaise Pascal, das von einem Taucher ausgeführt werden sollte. Quelle: Blaise Pascal, *Traitez de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*, Paris 1663, Fig XVII.

⁹²⁸ Siehe Blaise Pascal, *Traitez de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*, Paris 1663, 20-21.

⁹²⁹ Pascal, *Traitez de l'équilibre*, 19-23.

⁹³⁰ Pascal, *Traitez de l'équilibre*, 32, Fig XVII.

Ein Taucher setzte ein Schröpfglas, das mit einem langen Rohr versehen war, auf seinen Oberschenkel und tauchte damit etwa 6 Meter tief ab. Die Öffnung des Rohres bleibt über der Oberfläche. Unter Wasser wird dadurch das Gewebe des Oberschenkels wegen des Druckunterschiedes von 0,6 bar nach oben gesaugt. Der Taucher zeigt auf der Abbildung mit seiner Hand auf dieses Phänomen, das sich als eine Beule darstellt. Dies war unter anderem die Erklärung dafür, weshalb semi-athmosphärische Tauchgeräte eine große Gefahr darstellen.⁹³¹

Robert Boyle berichtete 1664 über diese Erkenntnisse von Pascal und bezweifelte, dass Pascal dieses Experiment tatsächlich selbst durchgeführt habe, denn es ist sehr schwer bis unmöglich, in dieser Körperhaltung abzutauchen. Unzufrieden war er auch damit, dass Pascal keine Erläuterung beigefügt hat, wie man das Experiment reproduzieren kann, denn „he neither teaches us, how a man shall be enabled to continue under water, nor how, in a great cistern full of water, twenty foot deep, the experimenter shall be able to discern the alterations, that happen to mercury, and other bodies at the bottom“⁹³².

Boyles Kritik ist verständlich, denn der Taucher müsste fußabwärts, mit einem angewinkelten Bein auf den Grund in 6 Meter Tiefe abtauchen, was ein sehr schwieriges Manöver ist. Dabei darf er das Glasrohr nicht vom Oberschenkel absetzen, denn sonst läuft Wasser hinein und das Experiment ist nicht mehr durchführbar. Nur ein sehr geübter Taucher kann dieses Experiment durchführen.

Boyle leistete neben seinen Forschungen zu den Gasgesetzen auch wichtige Grundlagenforschung in Bezug auf die Hydrostatik, und insbesondere auf Fragen zu dem Auftriebsverhalten von Körpern in Flüssigkeiten. Mit der Hydrostatik beschäftigte er sich erst nach seiner Lektüre von Pascals Werk ausführlicher⁹³³. Er erkannte die besondere Problematik dieses Forschungsgebietes: „Hydrostaticks is a part of philosophy, which I confess I look upon as one of the ingeniosest doctrines that belong to it“⁹³⁴.

Eines seiner Experimente bezog sich auf das Verhalten eines Luftvolumens unter sich veränderndem Umgebungsdruck unter Wasser.⁹³⁵ Dies ist beispielsweise bei Taucherglocken der Fall. Boyle schloss in eine wassergefüllte Phiole hohle Glaskugeln ein (Abbildung 19).

⁹³¹ Siehe hierzu Kapitel 5.2.

⁹³² Boyle, *Hydrostatical Paradoxes*, 746.

⁹³³ Alan Chalmers, Robert Boyle's mechanical account of hydrostatics and pneumatics: fluidity, the spring of the air and their relationship to the concept of pressure, in: *The Archive for History of Exact Sciences* 69 (2015) 429-454, 430.

⁹³⁴ Boyle, *Hydrostatical Paradoxes*, 739; Albert Malet, *Between Mathematics and Experimental Philosophy: Hydrostatics in Scotland about 1700*, in: Dan Garber / Sophie Roux (Hg.), *The Mechanization of Natural Philosophy*, Boston 2013, 159-187, 169-175.

⁹³⁵ Boyle, *Hydrostatical Paradoxes*, 756.

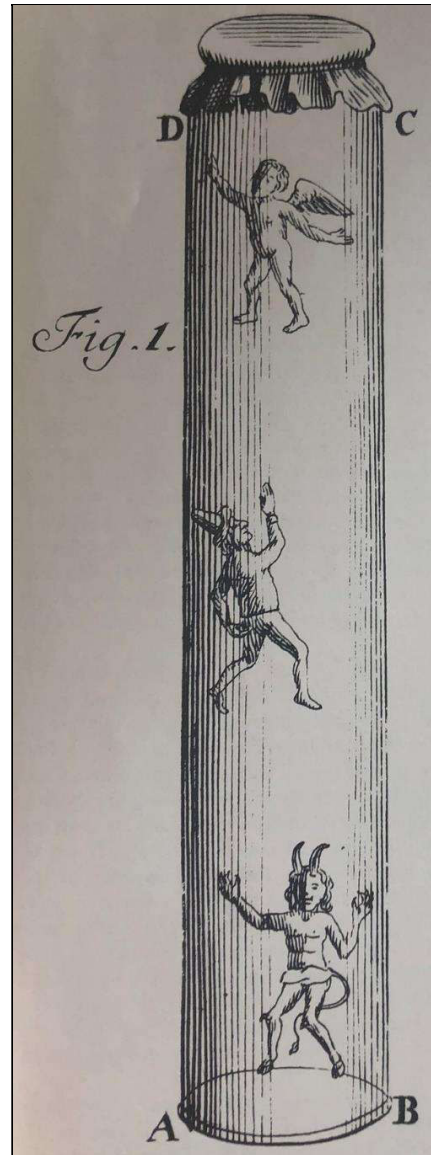
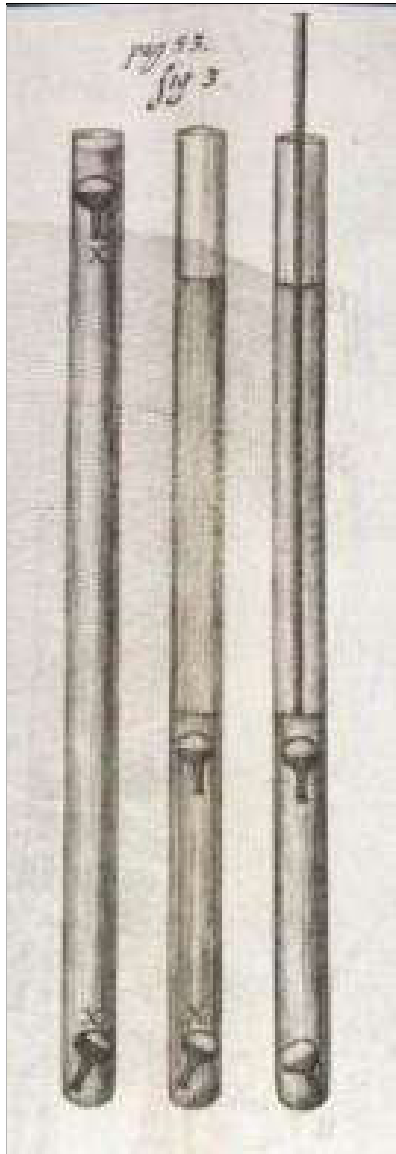


Abbildung 19 (links): Laborexperiment von Robert Boyle zu Darstellung des Auftriebs in Abhängigkeit des Volumens. Quelle: Robert Boyle, *Hydrostatical Paradoxes made Out by New Experiments* (1666), in: Thomas Birch, *The Works of the Honourable Robert Boyle*, Vol. 2. London 1772, Pl. 4.

Abbildung 20 (rechts): Schauexperiment mit kartesischen Tauchern von Martin Triewald (1736). Quelle: Martin Triewald, *År 1728 och 1729 håldne föreläsningar, på Riddarhuset i Stockholm, ofwer nya Naturkunnigheten*, Band 2, Stockholm 1736, Tab VII.

Erhöhte er den Umgebungsdruck, in dem er beispielsweise mit dem Daumen auf eine Membrane über der Phiolen drückte, sank die Glaskugel, da ihr Luftvolumen durch die Druckerhöhung komprimiert wurde und damit einen kleineren Raum einnahm und weniger Wasser verdrängte. Die Kugel schwebte auf einer gewissen Höhe oder stieg auf, wenn man den Druck entsprechend variierte.

Diese Erkenntnis erklärt unter anderem, warum Taucherglocken mit zunehmender Tiefe ihren Auftrieb verlieren. Sie hat besondere Bedeutung bei der Methode des Schwimmtauchens.⁹³⁶ Für Schwimmtaucher ist es beim „Tariere“ das Ziel, ein Gleichgewicht zwischen Auftriebskraft und Abtriebskraft herzustellen und so schwerelos im Raum zu schweben. Geübte Taucher können dies alleine durch ihre Ein- und Ausatmung erreichen und damit über die Veränderung ihres Lungenvolumens, oder durch Verwendung einer sogenannten „Tariereweste“ mit variablem externen Luftvolumen.

Boyle bezeichnete die sich bewegenden Glaskugeln in der Phiole als „instrument“⁹³⁷, das er erfunden habe. Das Experiment mit den pendelnden Glaskugeln wurde jedoch bereits 1648 von dem Mathematiker und Astronom Raffaello Magiotti (1597-1656) publiziert⁹³⁸. Der Jesuit und Universalgelehrte Athanasius Kircher (1602-1680) hatte es 1654 in *Magnes Sive De Arte Magnetica Opus Tripartitum* (1654)⁹³⁹ dargestellt, der Diplomat Balthasar de Monconys (1611-1665) in *Journal des voyages* (1665)⁹⁴⁰, und ebenso Caspar Schott in *Mechanica hydraulico-pneumatica* (1657)⁹⁴¹.

Das Experiment wurde seitdem immer wieder bei Vorlesungen und öffentlichen Demonstrationen mit unterschiedlich geformten Glaskörpern (Figuren) vorgeführt, wie etwa von Giovanni Alfonso Borelli in *De Motionibus naturalibus a Gravitate Pendentibus* (1670)⁹⁴², und vielen anderen. Für dieses Schauexperiment hat sich der Begriff „kartesischer Taucher“ etabliert, obwohl René Descartes (1596-1650) nicht, wie oft fälschlich angenommen wird, der Urheber war.⁹⁴³ Oftmals spiegelten die Glasfiguren in der Wassersäule die herrschende göttliche Ordnung wieder: Oben schwebte eine Engelsfigur, unten eine Teufelsfigur, und in der Mitte eine Menschenfigur (Abbildung 20). Je nachdem, wie groß das jeweilige Luftvolumen der Figuren waren, und wo sich die Austrittsbohrung im Glaskörper befand (unten oder seitlich tangential) konnten die Figuren sich bei der Bewegung auch um sich selbst drehen.

Bei den Schauexperimenten mit kartesischen Tauchern wurde der zusätzlich Druck auf die Membrane nicht immer für das Publikum sichtbar aufgebracht. John Theophilus Desaguliers (1683-1744) skizzierte eine Vorrichtung, in der ein für das Publikum verdeckter Mechanismus

⁹³⁶ Jung, *Scientific diving*, 6-12, 11.

⁹³⁷ Boyle, *Hydrostatical Paradoxes*, 756.

⁹³⁸ Raffaello Magiotti, *Renitenza certissima dell' Acqua alla Compressione, dichiarata con varij scherzi, in occasione d' altri Problemi curiosi*, Rom 1648.

⁹³⁹ Athanasius Kircher, *Magnes Sive De Arte Magnetica Opus Tripartitum*, Edition Tertia, Rom 1654, 131.

⁹⁴⁰ Balthasar de Monconys, *Journal des voyages*. Vol. 1, *Voyage de Portugal, Provence, Italie, Egypte, Syrie, Constantinople et Natolie*, Lyon 1665, 173.

⁹⁴¹ Siehe Schott, *Mechanica hydraulico-pneumatica*, 293-299.

⁹⁴² Giovanni Alfonso Borelli, *De Motionibus naturalibus a Gravitate Pendentibus*, Bologna 1670, 42-43.

⁹⁴³ J. Douglas Adler, *The Cartesian Diver*, Vancouver 1997, 5.

den Druck aufbrachte, und so der Vortragende einen vermeintlichen Zaubereffekt erzeugte.⁹⁴⁴ Bei dieser Art von Schauexperiment verwischte die Grenze zwischen naturwissenschaftlicher Lehre und populärer Effekthascherei.

Das Boylesche Gesetz gilt als wichtiges Grundwissen für alle Taucher, denn dadurch, dass sie dem mit zunehmender Tiefe steigenden Umgebungsdruck ausgesetzt sind, reduziert sich unter anderem auch ihr mitgenommener Atemluftvorrat. Bereits in zehn Metern Tiefe wird die doppelte Luftmenge verbraucht, wie an der Oberfläche. In zwanzig Metern ist es schon drei Mal so viel. Besonders beim Tauchen mit Taucherglocken ist dies relevant.

Die theoretischen Ergebnisse von Boyle drangen allerdings kaum bis in die Tauchpraxis durch. Es sollte bis 1671 dauern, bevor sein Gasgesetz von der Royal Society auf ein praktisches Niveau transferiert wurde, das von den Tauchern der damaligen Zeit verstanden und angewendet werden konnte.⁹⁴⁵

1670 machte Boyle bei seinen pneumatischen Versuchen eine zweite wichtige Entdeckung, deren große Tragweite in Bezug auf die Taucherphysiologie, aber auch für die Luftfahrt, er damals noch nicht abschätzen konnte. Durch Tierversuche untersuchte er die Wirkung von Unter- und Überdruck.⁹⁴⁶ Er setzte dafür Schlangen, Frösche, Mäuse und Heuschrecken in seine Druckkammer und seziierte sie anschließend. Bei der Untersuchung einer Viper bemerkte er eine Gasblase im Auge: „I shall add on this occasion ... what may seem somewhat strange, what I once observed in a Viper, furiously tortured in our Exhausted Receiver, namely, that it had manifestly a conspicuous Bubble moving to and fro in the waterish humour of one of its Eyes“⁹⁴⁷. Bei weiteren Experimenten an Aalen bemerkte Boyle denselben Effekt, nämlich dass sich bei Druckentlastung Gasblasen aus dem Gewebe schaumartig lösten. Er vermutete, das Gas würde aus dem Rückenmark (Medulla spinalis) stammen - was nicht richtig ist, denn es war zuvor im Blut gelöst. 1672 beschäftigte sich Boyle erneut mit dem Thema und folgerte

⁹⁴⁴ John Theophilus Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 2, London 1744, 210-211.

⁹⁴⁵ Siehe hierzu Kapitel 4.6.4.

⁹⁴⁶ Siehe zu frühen Druckluftexperimenten Kerstin Petersen, *Die Entwicklungsgeschichte der Überdruckkammer und Indikationen für die Hyperbare Sauerstoff-Therapie*, Dissertation, Medizinische Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf 2002, 15. Siehe zur Entwicklung der „pneumatic medicine“ auch Jan Golinski, *Science as Public Culture: Chemistry and Enlightenment in Britain, 1760-1820*, Cambridge 1992, 105-117.

⁹⁴⁷ Robert Boyle, *New pneumatical experiments about respiration*, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 5 (1670) 2011-2056, 2044.

richtig, dass dieser Effekt der Gasblasenbildung ernsthafte gesundheitliche Probleme bereiten kann.⁹⁴⁸

Diese physikalische Eigenschaft der Löslichkeit von Gasen wurde 1802 von dem Chemiker William Henry (1774-1836) wissenschaftlich beschrieben und erklärt.⁹⁴⁹ 1805 entdeckte der englische Naturforscher John Dalton (1766-1844) das zugehörige Gasgesetz über Partialdrücke, weshalb es auch als Henry-Dalton-Gesetz bezeichnet wird. Das Gesetz behandelt die Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten, wobei die Konzentration eines Gases in einer Flüssigkeit direkt proportional zum Partialdruck des entsprechenden Gases ist.

Die Löslichkeit von Gasen im Blut spielt eine große Rolle in der Tauchmedizin. Setzt man eine Flüssigkeit einem erhöhten Umgebungsdruck aus, so dringen Gasmoleküle in sie ein, man spricht von Absorption. Wird der Druck jetzt wieder erniedrigt, dann verlassen die Gasmoleküle die Flüssigkeit wieder, was eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt. Ist der Unterschied zwischen Flüssigkeit und Umgebung zu groß und geschieht die Druckentlastung zu schnell, kommt es zur Bildung von Gasblasen in der Flüssigkeit.⁹⁵⁰

Daraus ergeben sich bedeutende Konsequenzen für Taucher. Mit steigendem Partialdruck nehmen die in den Körpergeweben gelösten Gase zu und wirken dabei zunehmend toxisch. Außerdem kann es bei zu schneller Druckentlastung zu der Dekompressionskrankheit kommen. Beides kann tödlich sein.

4.4 Tauchexperimente der Royal Society 1661-1663

Im November 1662 schied Robert Hooke aus seinem Arbeitsverhältnis mit Boyle aus und wurde Kurator für Experimente bei der Royal Society. Er hatte neben den pneumatischen Experimenten vielversprechende Arbeiten mit dem Mikroskop sowie dem Teleskop durchgeführt, und zählte zu den führenden technischen Experten in Bezug auf eine der wichtigsten, damaligen Forschungsapparaturen: der Luftpumpe. Auch schon vor seinem Wechsel in diese Position hatte er viele Experimente bei den Meetings der Royal Society vorgeführt.

⁹⁴⁸ Robert Boyle, A new experiment, concerning an effect of the varying weight of the atmosphere upon some bodies in the water, in: Philosophical Transactions of the Royal Society 7 (1672) 5156-5159, 5156.

⁹⁴⁹ William Henry, Experiments on the Quantity of Gases Absorbed by Water, at Different Temperatures, and under Different Pressures, in: Philosophical Transactions of the Royal Society, 93 (1803) 29-42, 274-276.

⁹⁵⁰ Siehe Marées, Sportphysiologie, 604-605.

Hooke war als Kurator ein rangniedriger Bediensteter der Royal Society, der im wöchentlichen Rhythmus drei bis vier neue Experimente für ihre Mitglieder vorbereitete und durchführte. Eine systematische Forschungsarbeit gab es in den Anfangsjahren der Royal Society noch nicht, weshalb viele halbfertige Forschungen übrigblieben, die später andere aufgriffen und unter ihrem Namen zur Perfektion oder in die Praxis brachten - wie noch ausgeführt wird unter anderem von dem Astronom und Mathematiker Edmond Halley (1656-1742) der die Idee der Luftversorgung von Taucherglocken durch pendelnde Fässer in der Praxis anwandte und als seine eigene Erfindung propagierte.⁹⁵¹

Anfänglich betrafen Hookes Experimente und Ausführungen Fragen zur Pneumatik, vor allem Anwendungen der Luftpumpe. Sie wird in den Sitzungsprotokollen „Boyle’s engine“⁹⁵² genannt. Es ging hauptsächlich in den ersten Jahren um die Fortführung und den Ausbau von Experimente, die Hooke bereits früher unter Boyle begonnen hatte. Es war unter anderem auch wichtige Grundlagenforschung für das Tauchen.

Hookes Forschungen sind inzwischen in weiten Teilen aufgearbeitet worden, insbesondere auch anlässlich seines 300sten Todestages 2003. Die Würdigung fand in den Räumen der Royal Society während eines zweitägigen Symposiums statt. Erstaunlicherweise fanden Hookes wichtige Arbeiten in Bezug auf das Tauchen dort jedoch keinerlei Erwähnung.⁹⁵³ Auch Stephen Inwood streift in seiner umfassenden Biografie über Hooke dieses Thema ebenfalls nur am Rande, ohne es in einen größeren Zusammenhang zu stellen und zu bewerten.⁹⁵⁴ So sind bislang Robert Hookes grundlegende Forschungen auf dem Gebiet der Tauchphysiologie, also der Einwirkung des erhöhten Umgebungsdruck auf den Körper, kaum bekannt.

Diese Forschungen der Royal Society zur Tauchtechnik und der menschlichen Atmung sind zwei der wenigen Beispiele, bei denen die Royal Society eigene Forschungen angestoßen und betrieben hat. Auf den Sitzungen der Gesellschaft wurden in den ersten Jahren vor allem Experimente repliziert und diskutiert, die Mitglieder bereits durchgeführt hatten, oder über die Berichte an die Gesellschaft gesandt wurden.

Aus heutiger Sicht mag es überraschen, dass aus den Experimenten und Erkenntnissen der Royal Society keine oder kaum Privilegien erzeugt wurden. Viele Erkenntnisse wären es durchaus Wert gewesen. Ausnahmen bilden das Privileg des damaligen Schatzmeisters der

⁹⁵¹ Siehe hierzu Kapitel 5.3.

⁹⁵² Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 26, 40, 76.

⁹⁵³ Siehe den Tagungsband von Michael Cooper / Michael Hunter, Robert Hooke: Tercentennial Studies, Abingdon 2006.

⁹⁵⁴ Siehe Stephen Inwood, The Man Who Knew Too Much: The Strange and Inventive Life of Robert Hooke 1635-1703, London 2002, 42.

Royal Society, Abraham Hill (1633-1721) von 1664, das mehrere Erfindungen der Royal Society zu der Längengradbestimmung, Pferdekutschen und der Textilbearbeitung zusammenfasst⁹⁵⁵ sowie das Privileg von Edmond Halley von 1691.⁹⁵⁶ Insgesamt reichten nur etwa 20 Mitglieder bis Anfang des 18. Jahrhunderts Privilegiengesuche ein. Der Grund dafür könnte in der Bacon'schen Grundhaltung ihrer Mitglieder liegen. Das Ziel des Naturphilosophen sollte es nach Bacon sein, das Leben der Menschen zu verbessern.⁹⁵⁷ Darin impliziert war die Missbilligung des Privilegiensystems, das den Einzelnen auf Kosten der Gemeinschaft belohnte, und der eine gemeinnützige Verbreitung verhinderte. In dieser gegen Privilegien gerichteten Grundhaltung schlägt sich die Bacon'sche Wissenschaftsprogrammatik deutlich nieder, dass Wissenschaft nicht geheim sein sollte, sondern öffentlich. Aber möglicherweise kann es ebenso für Robert Hooke als rangniedriger Angestellter der Royal Society nicht statthaft gewesen sein, sein Wissen schützen zu lassen, um es zu kommerzialisieren.

Aus den Aufzeichnungen der Royal Society lässt sich entnehmen, dass in den Anfangsjahren die Mitglieder, einschließlich Boyle und Hooke, von der Frage fasziniert waren, wie man Taucher Luft zum Atmen unter Wasser zuführen oder dort auf chemischem Weg aufgefrischte Luft produzieren kann, um die Aufenthaltszeit unter Wasser zu verlängern.

Diese Frage wurden in mehreren Meetings und Experimenten immer wieder aufgegriffen, wobei Robert Hooke eine entscheidende, und heute immer noch nicht ausreichend gewürdigte, Rolle einnimmt. Nachfolgend wird untersucht, wie diese Entwicklung stattgefunden hat, welche Probleme Hooke zu bewältigen hatte und wie seine Ideen zum Tauchen von seinen Zeitgenossen aufgenommen wurden.

Die Forschungen von Hooke mit Bezug zur Tauchtechnologie in den 1660er Jahre sind in den Quellen weit verstreut und schwer zu finden, weshalb sie möglicherweise übersehen wurden. Hookes Tagebücher beginnen erst Anfang 1672, können deshalb nicht herangezogen werden. In den *Philosophical Transactions of the Royal Society* befindet sich - laut der Bibliografie von Hookes Schriften von Geoffrey Keynes⁹⁵⁸ und dem General Index⁹⁵⁹ - zu den Lebzeiten Hookes bis 1703 kein namentlich gekennzeichnete Hinweis auf von ihm

⁹⁵⁵ Bennet Woodcroft, *Titles of patents of invention: chronologically arranged from March 2, 1617 (14 James I.) to October 1, 1852 (16 Victoriae)*. Part 1: Subject Matter index A to M, London 1854, No. 143 [3. März 1664].

⁹⁵⁶ Siehe hierzu Kapitel 5.3.

⁹⁵⁷ Siehe Charles Webster, *The Great Instauration. Science, Medicine and Reform 1626-1660*, 2. Auflage, Bern 2002, 326-333.

⁹⁵⁸ Geoffrey Keynes, *A Bibliography of Dr. Robert Hooke*, Oxford 1960.

⁹⁵⁹ Paul Henry Maty, *A General index to the Philosophical Transactions, from the first to the end of the seventieth volume*, London 1787, 140.

durchgeführte Tauchexperimente. Ebenso ist kein Eintrag mit Bezug zur Tauchtechnik in dem Standardwerk *Philosophical Experiments and Observations of the late eminent Dr. Robert Hooke* (1726) verzeichnet.⁹⁶⁰

Die folgende Untersuchung stützt sich im Wesentlichen auf die Protokolle der Meetings der Royal Society, die in vier Bänden 1756 und 1757 von Thomas Birch unter dem Titel *History of the Royal Society*, veröffentlicht wurden. Birch war Sekretär der Gesellschaft, und fasste für seine Darstellung die Originale von Journalen, Registern, Notizbüchern, sowie die Sitzungsprotokolle seit Gründung der Royal Society zusammen. Sein Werk enthält sehr vieles, was über die *Philosophical Transactions of the Royal Society* hinausgeht, vor allem, weil diese erst ab dem 6. März 1665 einsetzen, also die Anfangsjahre, in denen die wesentlichen Experimente zum Tauchen stattfanden, nicht mit einschließt. Birch bietet einen Fundus an Details zu Hookes zentraler Rolle, seinen Vorträgen und Experimenten. Die dortige Auflistungen offenbart auch die damaligen Verhältnisse, wie unsterk sehr oft Themen aufgegriffen, unfertig fallengelassen und dann erst nach Jahren fortgeführt werden.

Das Interesse der Royal Society an Tauchtechnologie entsprang nicht nur wissenschaftlichem Beweggründen: „Diving engines and underwater technologies should be understood within the context of quests for knowledge *and* profit, raising the question whether the two can really be disentangled“, so Hellowell.⁹⁶¹

Dass Tauchen und die Verwendung von speziellen Hilfsmitteln ein fester Bestandteil des Interessensgebietes der Royal Society war, zeigt auch das „Ballad of Gresham College“ genannte Gedicht aus dem Zeitraum zwischen Ende 1662 und Anfang 1663. Als Autor gilt der Schriftsteller Joseph Glanvill (1636-1680), der selbst ein frühes Mitglied der Royal Society war. Er beschreibt in 28 Strophen die vielfältigen Tätigkeiten der Gesellschaft.⁹⁶² In Strophe 16 finden Tauchversuche Erwähnung:

„A wondrous Engine is contriveing
In forme, t'is said, much like a Bell,
Most usefull for the Art of Diveing.
If 't hitt, 't will prove a Miracle;
For, gentlemen, 't is no small matter
To make a man breath under water.“⁹⁶³

⁹⁶⁰ Robert Hooke, *Philosophical experiments and observations of the late eminent Dr. Robert Hooke*, S. R. S. and Geom. Prof. Gresb. and other eminent virtuoso's in his time, Hg. William Derham, London 1726.

⁹⁶¹ Philippa Hellowell, *Diving engines*, 94.

⁹⁶² Dorothy Stimson, „Ballad of Gresham College“, in: *Isis* 18 (1932) 103-117, 105.

⁹⁶³ Stimson, *Ballad of Gresham College*, 113.

Die Möglichkeit des Atmens unter Wasser wird als Wunder und Geheimnis betrachtet, für das offenbar noch keine schlüssige Erklärung gefunden wurde, und mit der Beschreibung „If't hitt“ der Hoffnung Ausdruck gegeben, dieses Rätsel durch zukünftige, erfolgreiche Experimente zu lösen.

Für England hatte die Tauchtechnologie nicht nur eine große Bedeutung in Bezug auf ihre Anwendung im Meer, sondern auch in den Binnengewässern im Landesinneren. Die Wasserstraßen und Kanäle spielten insbesondere in England eine bedeutende Rolle bei der Entwicklung des Handels und der Wirtschaft. Ohne ihren Ausbau und die durchgehende Instandhaltung „wäre das durch die steigende landwirtschaftliche Produktion, durch das Wollgewerbe und die Kohlenförderung erhöhte Transportaufkommen trotz der leistungsfähigen Küstenschifffahrt nicht mehr zu bewältigen gewesen“⁹⁶⁴. Hinzu kam das Interesse vieler Gewerbebezüge am Zugang zu den Kohlerevieren im Landesinneren um Leicester, Sheffield und Manchester.

Neben wirtschaftlichem Interesse standen auch ozeanografische Fragen, die zumindest indirekt militärische Bedeutung hatten, im Vordergrund: „in the work of people like Moray and Boyle, both of whom took an interest in the sea much beyond the ordinary, research is seen as having a double motive; to know what goes on in the sea is both interesting for its own sake and is expected to lead to improvements in methods of seamanship and of deep-sea diving“⁹⁶⁵. Robert Moray (1609-1673) war einer der Gründer der Royal Society und ein wissenschaftlich vielseitig interessierter, in Adelskreisen vernetzter schottischer Freimaurer und Militarist.

Die Nachrichten über die erfolgreiche Verwendung einer Taucherglocke bei Bergungsarbeiten 1658 in Schweden und 1660 in Holland durch Hans Albrecht von Treileben erreichten auch England.⁹⁶⁶ Möglicherweise angeregt durch diese Berichte gab die Royal Society „as soon as possible“⁹⁶⁷ am 1. Mai 1661 den Bau oder Kauf einer eigenen Taucherglocke in Auftrag, mit der eigene Erfahrungen gesammelt werden sollten. Vermutlich wurde diese Taucherglocke Matthew Rochford abgekauft, der in Schweden gemeinsam mit James Maule und Hans Albrecht von Treileben gearbeitet hatte, denn Rochford scheint auch die bald folgenden Versuchstauchgänge der Royal Society durchgeführt zu haben. Er wird auch mehrfach von Robert Boyle zu seinen Erfahrungen befragt.⁹⁶⁸

⁹⁶⁴ Paulinyi, Die Umwälzung der Technik, 434.

⁹⁶⁵ Deacon, Scientists and the Sea, 88.

⁹⁶⁶ Siehe hierzu Kapitel 4.4.

⁹⁶⁷ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 21, 29.

⁹⁶⁸ Phillips, Diving and Underwater Technology, 205; Deacon, Scientists and the Sea, 123.

In dieser Glocke konnte bereits wenige Wochen später, am 22. Juli 1661, ein Insasse während eines Versuchs in Deptford, der königlichen Werft am südlichen Ufer der Themse in der Nähe von London, fast eine halbe Stunde verweilen, wie John Evelyn (1620-1706), einer der ersten Mitglieder der Royal Society, in seinem Tagebuch am 19. August 1661 vermerkte: „A report was made of the trial of the diving engine at Deptford on Friday preceding, by the amanuensis; who stayed in it eight and twenty minutes underwater“⁹⁶⁹. Dies scheint gleichzeitig die erste nachweisbare Verwendung des Begriffes „diving bell“ zu sein. Bis dahin sind nur die Begriffe „diving engine“ und „tube“ zu finden, woraus man schließen kann, dass das eingesetzte Gerät anfänglich möglicherweise eher tonnen- als glockenförmig gewesen war.

Im Juni 1662 wurden mit der wärmer werdenden Themse, und später in einem Glasaquarium die Experimente zum Tauchen und der Brenndauer von Kerzen unter Wasser fortgeführt:

11. Juni 1662: „The amanuensis was ordered to inquire about the depth of the water under the arches of London-bridge“⁹⁷⁰.

16. Juli 1662: „The amanuensis was ordered to write an account of the particularities of his diving underwater in Sweden“⁹⁷¹.

23. Juli 1662: „The amanuensis was ordered to deliver in his account of diving at the next meeting“⁹⁷².

6. August 1662: „It was ordered, that the diving engine be prepared for use by the operator and amanuensis“⁹⁷³.

1. Oktober 1662: „The experiment of lifting up bellows under water was made; and Dr. Goddard, Dr. Whistler, and Dr. Wren, were desired to prosecute the same“⁹⁷⁴.

8. Oktober 1662: „Dr. Goddard and Dr. Wilkins were appointed curators, for the experiment proposed at the last meeting, how long a lamp will continue to burn under water“⁹⁷⁵.

22. Oktober 1662: „The operator was appointed to provide for the experiment of the burning of a lamp under water at the next meeting“⁹⁷⁶.

29. Oktober 1662: „Dr. Wilkins and Dr. Goddard gave an account of the experiment, which had been made of a lamp burning under water in a vessel of four gallons, the ellychnium being one single thread of cotton, and the lamp wholly under water; the flame lasted eleven minutes. They were desired to repeat the experiment several times; as also to try it with some live creatures“⁹⁷⁷.

⁹⁶⁹ Wiliam Bray, *The Diary of John Evelyn from 1641 to 1705-06*, London 1889, 277; Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 35.

⁹⁷⁰ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 85.

⁹⁷¹ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 102.

⁹⁷² Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 102.

⁹⁷³ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 104.

⁹⁷⁴ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 114.

⁹⁷⁵ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 115.

⁹⁷⁶ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 118.

⁹⁷⁷ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 118.

12. November 1662: „Dr. Wilkins and Dr. Goddard were reminded to prosecute the experiment of burning lamps under water, and to try it as well with spirit of wine as with oil“⁹⁷⁸.

19. November 1662: „Dr. Wilkins being called upon for a farther account of his experiments of making lamps burn under water, promised to give it in at the next meeting, and to add what he had lately tried about a way-wiser“⁹⁷⁹.

26. November 1662: „Dr. Wilkins brought some farther account of the lamps burning under water in tile midst of the glass-vessel: and was desired to prosecute the same, and to bring in the whole in writing“⁹⁸⁰.

Bei den in den Protokollauszügen erwähnten Personen handelte es sich zunächst um das Gründungsmitglied und den ersten Sekretär der Royal Society, den Theologen und Naturphilosophen John Wilkins (1614-1672). In den 1650er Jahren war Robert Hooke als sein Assistent bei ihm angestellt, bevor er zu Robert Boyle wechselte. Wilkins engagierte sich besonders bei den Tauchtechnikforschungen der Royal Society. Sein Werk *Mathematical Magic* (1648) besteht aus einer Sammlung von Vorschlägen und Ideen für praktische mechanische Geräte, arbeitssparende Erfindungen und Automaten. Es enthält auch einen Vorschlag für „a ship, wherein men may safely swim under water“⁹⁸¹. Inspiriert worden war er von den Ausführungen, die Marin Mersenne dazu 1644 in *Cogitata Physico Mathematica* publizierte.⁹⁸² Die Wiederauffrischung warmer, und damit seiner Ansicht nach verbrauchter Luft soll, laut Wilkins, durch ihre Abkühlung mit Blasebälgen erfolgen, was ein unbrauchbarer Vorschlag war. John Wilkins war sehr daran interessiert, das Tauchen und die Unterwasserfahrt voranzubringen, denn sie brachte großen Nutzen für die Kriegsführung.⁹⁸³

Der Astronom und Architekt Christopher Wren (1632-1723) war ebenfalls ein Gründungsmitglied der Royal Society. Jonathan Goddard (1617-1675) war Parlamentsmitglied und Professor für Medizin am Gresham College in London. Daniel Whistler (1619-1684) war Arzt und Präsident des College of Physicians.

In den Protokollen der Royal Society werden nicht immer die konkreten Namen der Helfer benannt, denen Aufträge erteilt wurden. Sie wurden damals als nachgeordnete, niedrigrangige Personen betrachtet. Entsprechend ihrem subalternen Status als Arbeiter wurden die Helfer in den Beschreibungen regelmäßig ausgeklammert oder nur am Rande erwähnt. Deshalb sind die Identitäten all derjenigen, die der Gesellschaft zu dieser frühen Zeit als „Amanuensis“ (von lat.

⁹⁷⁸ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 225.

⁹⁷⁹ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 226.

⁹⁸⁰ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 231.

⁹⁸¹ Siehe John Wilkins, *Mathematical Magick, or, The wonders that may be performed by mechanichal geometry*, Vol. 2, London 1648, 101-111.

⁹⁸² Mersenne, *Cogitata physico mathematica*, Lib. II., 228, 251-159.

⁹⁸³ Merton, *Science, Technology and Society*, 539.

manus, die Hand, „Handarbeiter“) oder „Operator“ dienten, nicht bekannt, sondern können allenfalls vermutet werden.

Laborangestellte spielten, ähnlich dem rangniedrigen Personal wohlhabender Haushalte, in der englischen Klassengesellschaft eine untergeordnete Rolle. Sie waren ohne Bedeutung und unsichtbar im Hintergrund. Wie Shapin schreibt, wurden sie allenfalls erwähnt, wenn etwas schief lief: „Time after time in Boyle’s texts, technicians appear as source of trouble. They are unnamed ones responsible for pumps exploding, materials being impure, glasses not being ground correctly, machines lacking the required integrity”⁹⁸⁴.

Aus dem Protokollzitat der Sitzung vom 16. Juli 1662 lässt sich folgern, dass das erste tauchtechnologische Knowhow der Royal Society offenbar aus Schweden stammte. Mit großer Wahrscheinlichkeit kam es von einer Person, die mit den Bergungsarbeiten an der *Vasa*, die in diesen Jahren stattfand, beschäftigt war, und zwar entweder Matthew Rochford oder, etwas weniger wahrscheinlich, James Maule. Beide fertigten 1662 bzw. 1664 Berichte von ihren Taucharbeiten in Schweden an, die im Archiv der Royal Society erhalten geblieben sind.⁹⁸⁵

Matthew Rochford fertigt über die Taucharbeiten an dem Wrack der *Sancta Sophia* vor Göteborg einen vierseitigen Bericht⁹⁸⁶ an, in dem er erläuterte, wie die eingesetzte Taucherglocke hergestellt wird. Er berichtet auch darüber, wie er „some sea bottom fruits“⁹⁸⁷ vom Meeresgrund aufsammlte, und dass sie unter Wasser wesentlich größer aussahen, als sie tatsächlich waren. Ein Exemplar davon hatte er der Royal Society zur Untersuchung zugesandt und so den Kontakt zu ihr hergestellt. Möglicherweise wurde dieses Seegras von Robert Hooke mit seinem neuen Mikroskop untersucht, denn er publizierte 1667 eine Beschreibung.⁹⁸⁸ Robert Boyle berichtete 1671 von dieser Aufsammlung und den „fruits“ in seiner Schrift *Relations about the bottom of the sea*.⁹⁸⁹

Am Ende seines Berichtes legt Rochford dar, auf welchem Weg experimentell ermittelt werden kann, wie hoch das Wasser in der Glocke steigt.⁹⁹⁰ Dieses Verfahren würde eingesetzt, bevor zum ersten Mal ein Taucher mit einer neuen Glocke hinabsteigt. Das Experiment verläuft

⁹⁸⁴ Steven Shapin, The house of experiment in seventeenth-century England, in: *Isis* 79 (1988) 373-404, 395; Siehe auch Steven Shapin, The invisible technician, in: *American Scientist* 77 (1989) 554-563; Klaus Hentschel, Unsichtbare Hände in der Wissenschaft. Auf der Suche nach den ungewürdigten Helfern der Forschung, in: *Physik-Journal* 8 (2009) 37-40, 37.

⁹⁸⁵ Siehe Matthew Rochford, A relation of M. Rochfords going downe under water at Gottenburg in Sweden, read to the Royal Society on 23 March 1663 and 13 March 1689 [1662], Collections, Classified Papers, vol. VI, no. 28; James Maule, Notes concerning dyving & working under water from Mr. Mawle [1664], Collections, Classified Papers, vol. VI, no. 15.

⁹⁸⁶ Rochford, A relation, vol. VI, no. 28.

⁹⁸⁷ Rochford, A relation, 2.

⁹⁸⁸ Hooke, *Micrographia*, 140.

⁹⁸⁹ Boyle, *Relations about the bottom of the sea*, 781.

⁹⁹⁰ Rochford, A relation, 2.

dergestalt, dass im Inneren der Glocke ein Papierstreifen mit Wachs an die Wand angeklebt wird. Die Glocke wird dann einige Meter hinabgelassen, und nach dem Wiederhochziehen erkennt man an der Wassermarke auf dem Papierstreifen, wie hoch das Wasser stieg. Dieses Verfahren wird mehrmals in immer größeren Tiefen bis zum Meeresgrund wiederholt. Daraus ließe sich ermitteln, bis zu welcher maximalen Tiefe die Glocke einsetzbar wäre. Rochfords Bericht hat in der Geschichte des Tauchens eine besondere Bedeutung: „This is a first-hand account, written in the first person, of one oft the earliest dives in a bell for the purpose of salvage, and of the modern period“, so Phillips.⁹⁹¹

Beim Treffen der Royal Society am 28. Januar 1663⁹⁹² ergab sich eine erste, ausgiebige Diskussion über das Tauchen. Der Chemiker und Naturforscher Christopher Merret (1614-1695) erwähnte, dass es nach seiner Kenntnis viele Taucher gäbe, die sehr lange ohne zu atmen unter Wasser bleiben könnten, und er deren Berichte gerne sammeln und in einer Übersicht zusammenfassen würde, um herauszufinden, ob es körperliche Merkmale gibt, die lange Tauchzeiten positiv beeinflussen. Darauf erwiderte Robert Boyle, dass eine Viper bei einem seiner Experimente in einem Glasgefäß fünf Stunden unter Wasser gelebt hat, und man die Atemorgane von Amphibien, insbesondere Fröschen, genauer untersuchen sollte, um Besonderheiten an ihnen festzustellen.

Die Glastaucherglocke, die Boyle verwendete, war ein wissenschaftliches Forschungsinstrument, ähnlich seiner Luftpumpe. Da es damals noch keinen eingeführten Begriff für diese Kategorie gab, nannte Boyle sie „philosophical apparatus“⁹⁹³. Die Bezeichnungen „wissenschaftliches Instrument“ bzw. „scientific instrument“ kamen erst ab den 1830er Jahre in Gebrauch und änderten ihre Bedeutung seit dem 16. Jahrhundert und dem Kontext.⁹⁹⁴ Glas und Glasinstrumente waren eine „research enabling technology“ und leisteten „zwischen dem Ende des 16. und dem Anfang des 17. Jahrhunderts nicht bloß einen materiellen, sondern auch einen konzeptionellen Beitrag zur damaligen Naturforschung“⁹⁹⁵.

Bei dem Meeting am 28. Januar 1663 finden sich die ersten Hinweise für Robert Hookes direkte Verbindung mit dem Tauchen. Eines seiner besonderen Interessengebiete waren Experimente zur Atmung von vorgegebenen Luftvolumina und zum Wasserdruck. Konkret

⁹⁹¹ Phillips, *Diving and Underwater Technology*, 211.

⁹⁹² Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 180.

⁹⁹³ Deborah Jean Warner, *What Is a Scientific Instrument, When Did It Become One, and Why?* *The British Journal for the History of Science* 23 (1990) 83-93, 83.

⁹⁹⁴ Warner, *Scientific Instrument*, 87; Liba Taub, *Reengaging with Instruments*, in: *Isis* 102 (2011) 689-696, 694.

⁹⁹⁵ Arianna Borelli, *Glasinstrumente und Naturforschung bei Giovanni Battista della Porta - Ein Beispiel von ‚transverse regime‘ der Wissensproduktion in der frühen Neuzeit?*, in: Klaus Hentschel (Hg.), *Zur Geschichte von Forschungstechnologien: Generizität, Interstitialität & Transfer*, Diepholz 2012, 92-109, 104.

wurde untersucht, wie oft aus einer Blase ein- und ausgeatmet werden konnte. Dieses Experiment zielte darauf ab, die Tauchgerätevorschläge in den mittelalterlichen Bilderhandschriften auf ihre Praxistauglichkeit zu untersuchen.

Beim nächsten Meeting am 2. Februar 1663 versuchten Hooke und zwei weitere Mitglieder beispielsweise, aus einem untergetauchten Glas und einem Ledersack solange wie möglich zu atmen⁹⁹⁶ wobei sie feststellten, dass es eine erhebliche Varianz zwischen den Probanden gab. Eine konkrete Erklärung dafür fanden sie nicht.

Hooke verlas am 28. Januar 1663 einen selbst verfassten Bericht, der sich mit den Druckverhältnissen in Taucherglocken beschäftigte und eine eigene Methode zur Bestimmung der maximalen Tauchtiefe einer Taucherglocke mit Hilfe von einfachen Messreihen mit Glasbehältern und des Boyle'schen Gesetzes enthielt.⁹⁹⁷ Hooke schlug vor, das Boyle'sche Gesetz durch praktische Experimente in einer Taucherglocke zu überprüfen, um auch noch unbekannte Einflüsse wie die Temperatur oder den Salzgehalt des Wassers zu erfassen: „For though there seems to be no doubt, but that the water there does proportionally press according to its perpendicular height, yet it is not easy to predict, how much it may vary from this hypothesis; which deviation may be caused, either by the extreme cold at the bottom of the sea, which may weaken the spring of the air; or from the differing gravity of the upper and lower parts of the salt-water; or from somewhat else, whereof we may be yet ignorant“⁹⁹⁸. Mit diesen Gedanken war Hooke der Forschung um über 100 Jahre voraus, denn der Einfluss der Temperatur auf das Gasvolumen wurde erst 1787 von Jacques Charles entdeckt.

Hooke wurde beauftragt, diese Versuche „in Dr. Goddard's long wooden tube“⁹⁹⁹, also der Taucherglocke der Royal Society, durchzuführen. Dies erfolgte allerdings aus unbekanntem Grund nicht. Vermutlich war die Themse in Januar noch zu kalt. Stattdessen wurden die Versuche mit einem an einer Leine versenktem Messgerät durchgeführt.

Um aufwendige Versuche in einer Glocke auf See einzusparen, schlug Hooke eine einfache Messvorrichtung vor, die an Gewichten in verschiedene Tiefen abgesenkt werden kann. Ein an einem Ende gebogener skaliertes Glaszylinder, vergleichbar einer Torricellischen Röhre, sollte in verschiedene Wassertiefen mit Gewichten abgesenkt werden. Die Wassermenge, die sich in der Glasröhre ansammelt, kann in Proportion zum Druck gesetzt werden.¹⁰⁰⁰

⁹⁹⁶ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 192.

⁹⁹⁷ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 182.

⁹⁹⁸ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 182.

⁹⁹⁹ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 182.

¹⁰⁰⁰ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 182.

Robert Moray, William Brouncker und der schottische Politiker und Erfinder Alexander Bruce (1629-1680) führten am 11., 12. und 13. März 1663 eine Reihe von ozeanografischen Experimenten, darunter auch dieses, an der Küste bei Queenborough durch.¹⁰⁰¹ Mit dem Glasrohr, das an einem Ende verschlossen und am anderen Ende umgebogen war, maßen sie das Wasservolumen, das in den Apparat in Tiefen von 8 bis 97 Fuß (1 bis 30 Meter) eintrat. Die in einer Tabelle festgehaltenen Ergebnisse zeigen, dass das Volumen eines Gases umgekehrt proportional zum Druck variiert, aber diese Schlussfolgerung wurde nicht explizit in dem Versuchsbericht gezogen.¹⁰⁰² Ähnliche Experimente wurden mit Glasflaschen durchgeführt. Sie wurde auf unterschiedliche Tiefen hinabgelassen und für einige Zeit an einer Boje aus einem Bündel von Korken befestigt. Die Messungen wurden mehrfach wiederholt. Geringfügige Unterschiede in den Ergebnissen aus einer bestimmten Tiefe führte man auf den Einfluss von Wellen zurück. Eine umfangreichere und detaillierte Wiederholung dieser Versuche fand 1671 bei Sheerness, einem Ort an der Themsemündung unweit Queenborough, statt.¹⁰⁰³

Am 23. März 1663 wurde der Bericht von Matthew Rochford über seine Bergungsarbeiten in Schweden erneut verlesen, aber es erfolgten keine weiteren Konsequenzen daraus.¹⁰⁰⁴ In den nächsten Monaten sind keine weiteren Experimente in Bezug auf Tauchen oder Atemforschung in den Protokollen der Royal Society verzeichnet. Die Taucherglocke der Royal Society, die in Deptford eingelagert war, wurde im Juli 1663 wieder verkauft, und zwar mit erheblichem Verlust.¹⁰⁰⁵

4.5 Robert Hookes Tauchgerätekonzepte 1663-1689

Kurz nach dem Verkauf der Taucherglocke setzte im November 1663 wieder das Interesse der Royal Society an der Tauchtechnik und Tauchphysiologie ein. Das lässt sich möglicherweise auf einige, vorwiegend wirtschaftliche Gründe zurückführen.

Ende 1663 zeichnete sich der zweite Englisch-Niederländische Seekrieg ab. 1652 bis 1654 hatten Großbritannien und die Vereinigten Provinzen der Niederlande den ersten Englisch-

¹⁰⁰¹ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 208-211; Robert Hooke, Philosophical experiments and observations of the late eminent Dr. Robert Hooke, S. R. S. and Geom. Prof. Gresb. and other eminent virtuoso's in his time, Hg. William Derham, London 1726, 100-106.

¹⁰⁰² Deacon, Scientist and the Sea, 77.

¹⁰⁰³ Siehe hierzu Kapitel 4.6.4.

¹⁰⁰⁴ Siehe Matthew Rochford, A relation of M. Rochfords going downe under water at Gottenburg in Sweden, read to the Royal Society on 23 March 1663 and 13 March 1689 [1662], Collections, Classified Papers, vol. VI, no. 28.

¹⁰⁰⁵ Phillips, Diving and Underwater Technology, 209.

Niederländischen Seekrieg geführt. Es ging dabei vor allem um die Dominanz im Welthandel. Auch bei dem zweiten Englisch-Niederländische Seekrieg (1665-1667) spielten wirtschaftliche Gründe eine gewichtige Rolle. Seit dem Waffenstillstand 1654 hatten die kriegerischen Auseinandersetzungen der beiden Länder nie aufgehört. Englische Kaperfahrer brachten in großem Stil holländische Handelsschiffe auf. Als 1663 verlautbar wurde, dass englische Bürger in den niederländisch-ostindischen Kolonien ungerecht behandelt wurden, bot dies einen Anlass, um Kampfhandlungen auch im größeren Rahmen zu eröffnen.¹⁰⁰⁶ Es war folglich mit einer großen Anzahl von Wracks zu rechnen, bei deren Bergung Taucherglocken eingesetzt werden.

Wie aus den Tagungsprotokollen der Royal Society zu entnehmen ist, scheinen konkret die Arbeiten am Bau einer neuen Mole in Tanger der Anlass für die Royal Society gewesen zu sein, sich wieder verstärkt dem Thema Tauchen zu widmen.¹⁰⁰⁷ Diese strategisch wichtige, marokkanische Hafenstadt war erst im Vorjahr durch die Heirat von Charles II. mit der portugiesischen Prinzessin Katharina von Braganza (1638-1705) in den Besitz der englischen Krone gelangt. Der Bau der etwa 10 Meter breiten und 160 Meter langen Mole zählt zu den ambitioniertesten zivilen Tiefbauprojekten Englands im 17. Jahrhundert. Die Verantwortung für das Bauprojekt hatte Jonas Moore (1617-1679), Mitglied der Royal Society und Civil Engineer.¹⁰⁰⁸

Bei dem Meeting der Royal Society am 11. November 1663 erwähnte der Kaufmann und Politiker Thomas Povey (1614-1705) die Arbeiten an der Mole, und dass Moore für das Legen der Fundamente eine „engine“ verwendete, „for staying two or three hours under water“.¹⁰⁰⁹ Povey wurde beauftragt, eine genauere Beschreibung der Maschine zu liefern.

Im Anschluss an Povey sprach Robert Hooke „of a way of carring air down to the bottom of the sea at any depth, and of bringing it up, under a bell. He was desired to give in a particular description of it“¹⁰¹⁰. Diese zwei kurzen, eher unscheinbaren Sätze im Protokoll bezeichneten ein völlig neuartiges Konzept, nämlich das der paternosterartig von der Oberfläche zur Glocke und wieder zurück kreisenden Luftfässer. In den nächsten Meetings führte es Hooke weiter aus.

¹⁰⁰⁶ Siehe Torsten Reimer, *Before Britannia ruled the Waves. Die Konstruktion einer maritimen Nation*, Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, Fakultät für Geschichts- und Kunstwissenschaften, München 2006, 243-249.

¹⁰⁰⁷ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 370.

¹⁰⁰⁸ Margarete Lincoln, *Samuel Pepys and Tangier, 1662-1684*, in: *Huntington Library Quarterly* 77 (2014) 417-434, 419.

¹⁰⁰⁹ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 330.

¹⁰¹⁰ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 331.

Bei dem Meeting am 13. Januar 1664 erfuhr die Royal Society zunächst näheres zur Taucherglocke, die in Tanger eingesetzt wurde, denn auf Wunsch von Admiral John Lawson (1615-1665) besuchte Jonas Moore das Meeting, um die Glocke vorzustellen, mit der die Fundamente der Mole in Tanger gelegt werden sollten.¹⁰¹¹ Sie stammte von Ralph Greatrix (oder Greatorex, 1625-1712), einem Londoner Instrumentenbauer.¹⁰¹² Er fertigte noch vor Robert Hooke die erste Luftpumpe für Robert Boyle. Hooke verurteilte sie als unbrauchbar - „too gross to perform any great matter“¹⁰¹³ - und baute eine neue, bessere Luftpumpe für Boyle.

Greatrix Taucherglocke fand offenbar nicht nur ihren Einsatz in Tanger, sondern wurde auch weiterentwickelt, denn sechs Jahre später, am 6. Mai 1669, berichtete Robert Moray der Royal Society „that Mr. Greatrix had improved his engine for going under water with; and that by means thereof he could sink himself ten fathoms under water, and stay there with ease enough as long as he pleased, going up and down, stooping and working; but at a much greater depth he found an intolerable pressure“¹⁰¹⁴.

Spätestens Anfang Februar 1664 schien die Royal Society erkannt zu haben, dass das Tauchen nicht nur aus wissenschaftlicher Sicht sehr interessant ist, sondern auch wirtschaftlichen Nutzen versprach. Bei dem Meeting am 10. Februar 1664 wurde ein Komitee gebildet, das sich mit diesem Aspekt befassen sollte. Der aktuelle Präsident der Royal Society, William Brouncker regte an, „that the business of diving might be taken into consideration as a thing, that would be, at that time especially, very acceptable, if it could be reduced to practice“¹⁰¹⁵. Damit bekam das Thema Tauchen für die Royal Society wieder einen neuen Schub. Dem Fachkomitee gehörten neben Brouncker auch Robert Moray, William Petty, John Wilkins, Jonathan Goddard, Henry Oldenburg und Robert Hooke an.

Es musste wohl Eile geboten sein, denn das erste Treffen des Fachkomitees fand bereits am darauf folgenden Samstag im Haus von Brouncker statt. Das Protokoll des Meetings vom 17. Februar 1664 gibt einen Einblick, welche Experimente durchgeführt wurden: „The experiment for applying a bell or hogshead with air underwater by means of two buckets was tried and succeeded. Whereupon Mr. Hooke was ordered to get a model made against the next meeting of the bag, which was to be about the body of the diver for continual inspiration; which bag being emptied, he was to repair into the bell, as a magazine for new supply of air to fill the bag

¹⁰¹¹ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 370.

¹⁰¹² Eva G. R. Taylor, The Mathematical Practitioners of Tudor & Stuart England 1485-1714, Cambridge 1954, 218.

¹⁰¹³ Robert Theodore Gunther, Early science in Oxford, Vol. VI, The life and work of Robert Hooke (Part I), Oxford 1930, 9.

¹⁰¹⁴ Birch, History of the Royal Society, Volume 2, 363.

¹⁰¹⁵ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 384.

with. For seeing underwater, Mr. Hooke proposed a pair of deep convex spectacles”¹⁰¹⁶. Ein Hogshead ist ein rund 250 Liter großes Fass aus Eichenholz, das auch zur Reifung von Whiskey verwendet wird. Dieses Faß wurde als Taucherglockenmodell eingesetzt.

Offenbar beschäftigte sich das Komitee nicht nur mit der Atmung unter Wasser, sondern auch mit der Frage, wie das Sehvermögen des Tauchers verbessert werden kann. Wie später noch ausführlicher dargelegt wird, zeugt der Auftrag, eine konvexe Brille für den Taucher herzustellen, von einer Unkenntnis der optischen Verhältnisse unter Wasser.

Wie man dem Protokoll weiter entnehmen kann, hat Hooke seine neue Methode im Modell vorgeführt. Es handelte sich hierbei um zwei umgedrehte Kübel (Buckets), die ähnlich einem Paternoster von der Oberfläche zur Taucherglocke und zurück pendelten. Waren sie unten angelangt, wurden sie unter die Glocke gezogen und umgedreht, so dass die darin befindliche, frische Oberflächenluft in die Glocke strömte. Der luftleere, wassergefüllte Kübel stieg anschließend wieder nach oben, während ein luftgefüllter Kübel parallel nach unten wanderte. Es ging bei diesem Verfahren also darum, die Atemluft in der Glocke durch die Zufuhr von unverbrauchter Frischluft in Einzelportionen aufzufrischen. Die Problematik von undichten Luftzuführungsschläuchen wurde so vermieden, und störungsanfällige Apparaturen bis auf eine einfache Winde entfielen. Hooke hatte ein einfaches, praktikables Verfahren entwickelt, ganz nach der Vorgabe des Präsidenten „reduce to practice“¹⁰¹⁷.

Die erste praktische Anwendung dieser Idee geschah möglicherweise kurz danach bei den Bergungsarbeiten an der *Vasa* im Frühjahr 1664.¹⁰¹⁸ Ob dies unabhängig von Hookes Idee geschah, oder ob man dort über Kontaktpersonen wie Rochford und Maule davon erfahren hat, lässt sich anhand der aktuellen, unzureichenden Quellenlage nicht beantworten.¹⁰¹⁹

Mit dem Luftfass-Paternoster wurde zweierlei erreicht: Die Atemluft konnte unter der Glocke beliebig lang erneuert und das Luftvolumen nahezu auf den gesamten Glockeninnenraum ausgedehnt werden. Dies war aber nur ein Teil von Hookes Lösung. Die zweite Verbesserung betraf die Verlängerung der Tauchzeit des Tauchers, wenn er sich außerhalb der Glocke bewegte. Er sollte einen luftgefüllten Beutel („bag“¹⁰²⁰) an seinem Körper tragen, aus dem er weiteratmen konnte, wenn er die Glocke verließ. War der Beutel

¹⁰¹⁶ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 385.

¹⁰¹⁷ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 384.

¹⁰¹⁸ Cederlund, *Vasa*, 87

¹⁰¹⁹ Siehe Alison McLeay, *The Tobermory Treasure. The True Story of a Fabulous Armada Galleon*, London 1986, 41-43.

¹⁰²⁰ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 385.

leergeatmet musste er zum Wiederauffüllen mit Luft in die Glocke („magazine“¹⁰²¹), bevor er sie erneut verließ. Aus dieser Schilderung lässt sich mit großer Wahrscheinlichkeit schließen, dass Robert Hooke im Februar 1664 ein autonomes, von der Oberflächenversorgung unabhängiges, Tauchgerät erfunden hatte.

Hooke wurde beauftragt, ein Modell des Luftbeutels für das nächste Treffen zu besorgen, aber in den Sitzungsprotokollen findet sich dazu kein Vermerk. Allerdings beschäftigte man sich zwei Wochen später, am 2. März 1664 nicht mit diesen Luftbeuteln, sondern mit einem Versuch, aus der Glocke heraus durch Betätigen eines Blasebalges frische Luft von der Oberfläche herab zu saugen. Dieses Verfahren wurde aber zugunsten des ersten, von Hooke vorgeschlagenen, fallengelassen, denn dies war „better and safer than that with bellows, viz., with two cylinders open at one end, and having two pipes, by which air is taken out of one and put into the other. It was ordered, that two such cylinders be made, and when ready a waterman hired to try the experiment“¹⁰²². Dass ein Herabsaugen von Oberflächenluft mittels Blasebalg von der Taucherglocke aus nicht funktionieren kann, hat bereits Blaise Pascal ein Jahr zuvor beschrieben: „Wenn ein Blasebalg mit einer sehr langen Spitze [...] so eingetaucht wird, dass nur die Düsen Spitze herauskommt, dann [...] lässt er sich nur schwer öffnen, obwohl er in der Luft leicht zu öffnen wäre [...] Und je tiefer er im Wasser ist, desto schwerer ist er zu öffnen, weil eine größere Wassersäule zu überwinden ist“¹⁰²³. Dieser tatsächlich vorhandene Effekt konnte nur durch praktische Versuche unter Wasser von Pascal erkannt worden sein.

Neben eigenen Experimenten beschäftigte sich die Royal Society auch mit den Entwicklungen, die im Ausland zum Tauchen gemacht wurden. In der Sitzung vom 16. März 1664 berichtete Robert Moray „that he was informed by the Ambassador of France, that there was at that time a diver in Dieppe able to stay under water an hour or two and even more and even get valuables out of the wreckage. Thus he had recovered from a wrecked ship a chest containing 40.000 guilders, using a hood open only around the mouth and a watertight leather dress, well laced. Sir Robert [Boyle] felt that this diver was probably using a sponge soaked with oil held in his mouth.“¹⁰²⁴

¹⁰²¹ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 385.

¹⁰²² Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 389.

¹⁰²³ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Si un soufflet qui à le tuyau fort long, comme de vingt pieds, est dans l'eau, en sorte que le bout du fer forte hors de l'eau; il sera difficile à ouvrir si on a bouche les petits trous qui sont à l'une des aïles; au lieu qu'on l'ouvreroit sans peine, s'il estoit en l'air; à cause-que l'eau le comprime de tous costez par son poids ... Aussi plus il est auant dans l'eau, plus il est difficile à ouvrir; parce qu'il y a une plus grande hauteur d'eau à supporter“ in Pascal, Traitez de l'équilibre, 30-31.

¹⁰²⁴ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 396.

Neuere Untersuchungen legen die Vermutung nahe, es könnte sich bei diesem Taucher um den Franzosen Jean Barrié handeln, der am 9. Januar 1641 ein 12 Jahre gültiges Privileg von Ludwig XIII. (1601-1643, reg. 1610-1643) für ein „Geheimnis, das bislang noch nicht praktiziert wurde, nämlich 6 Stunden auf dem Meeresgrund zu bleiben“¹⁰²⁵ erhielt. Im Januar 1650 wurde das Privileg durch Anna von Österreich (1601-1666, reg. 1615-1651), die die Regierungsgeschäfte für ihren minderjährigen Sohn Ludwig XIV. (1638-1715, reg. 1651-1715) führte, in einem Schreiben an Jean Barrié bestätigt.¹⁰²⁶ Diesem Schreiben ist zu entnehmen, Barrié hätte 1645 erfolgreich am Wrack des im Hafen von Dieppe gesunkenen Schiffes *Aurinus* gearbeitet.¹⁰²⁷

Robert Moray scheint zu dieser Zeit neben Hooke das aktivste Mitglied der Royal Society in Bezug auf Forschungen zur Tauchtechnik gewesen zu sein. Am 23. März 1664 verlas er den vierseitigen Bericht von James Maule, der neben Matthew Rochford in Schweden an den Bergungsarbeiten teilgenommen hat.¹⁰²⁸ Maule beschreibt darin unter anderem, dass Glockentaucher oft nach etwa einer halben Stunde Tauchdauer in Schlaf verfallen, und sie dann an der Oberfläche wieder aufgeweckt werden müssen. Die Ursache – wie man heute weiß, eine Kohlendioxidvergiftung - ist ihm unbekannt. Maules Ratschlag lautet, die Taucher in diesem Fall an der Oberfläche dadurch aufzuwecken, indem man ihnen die Nasenlöcher zuhält. Maule berichtet ebenfalls über gescheiterte Versuche, luftgefüllte, geschlossene Fässer in größere Tiefe an Wracks zu befestigen, damit ihr Auftrieb das Wrack zum Steigen bringt. Die Fässer würden ab einer bestimmten Tiefe jedes Mal implodieren. Die am Ende des Berichtes festgehaltene Beobachtung Maules dürfte für Robert Boyle, der gezielt nach Hinweisen auf die Wirkung des Wasserdruckes suchte, besonders aufschlussreich gewesen sein.

Maule bekräftigte außerdem, dass „an expert diver can stay under water a long while, without any other help for respiration than a piece of sponge dipt in oil, which he holds in his mouth, having his nostrils stopt; believing, that by means of the oiled sponge he can suck air enough out of the water to serve him for divers respirations“¹⁰²⁹.

¹⁰²⁵ Eigene Übersetzung vom Originaltext „a un secret qui n'a point encores ete pratique, qui est de demeurer 6 heures dans le fonds de le eau“ in Lettres patentes du Roy par lesquelles sa Majeste a accorde a Jean Barrier, dict de Pradine, le privilege pendans 12 annees, pour retrier et pescher dans le fonds de la mer toutes et chacunes le marandises, et autres choses qui s'y trouveront, Saint Germain en Laye 9 janvier 1641, Archives nationale Paris, Fonds Marine, Série G: Documents divers, G 111.

¹⁰²⁶ Lettre manuscrite signee de la main de la Anne de Austriche, contresignee de son Conseiller et Serviteur de res Commandaments de Ministre Hugues de Lionne, 31 janvier 1650, Archives nationale Paris, Fonds Marine, Série G: Documents divers, G 111.

¹⁰²⁷ Daniel David, Les précurseurs de la plongée autonome, 1771-1853, Saint-Brieuc 2008, 30.

¹⁰²⁸ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 399-401; James Maule, Notes concerning dyving & working under water from Mr. Mawle [1664], Collections, Classified Papers, vol. VI, no. 15.

¹⁰²⁹ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 401.

Der Vermutung von Robert Boyle, der Taucher von Dieppe könnte einen ölgetränkten Schwamm im Mund gehabt haben und deshalb lange unter Wasser aushalten - ein seit Aristoteles überlieferter Fehlglaube - und deren Bestätigung von Maule führte bei Robert Hooke zu einem Selbstversuch in einer großen Wasserschüssel. Er berichtete darüber in seinem Buch *Micrographia* und stellt richtig die Unbrauchbarkeit der Methode fest: „...having made trial of it my self, by dipping a small piece of it in very good Sallet-oyl, and putting it in my mouth, and then keeping my mouth and nose under water, I could not find any such thing; for I was as soon out of breath, as if I had no Sponge, nor could I fetch my breath without taking in water at my mouth“¹⁰³⁰.

Selbstversuche waren für Hooke, anders als für Boyle, keine standesgemäße Unmöglichkeit. Im Februar 1671 führte Hooke einen weiteren Selbstversuch in der „Air-Vessel“¹⁰³¹ genannten Unterdruckkammer durch und berichtete, er „felt no other inconvenience but that of some pain in his ears at the breaking out of air included in them, and the like pain upon the re-admission of the air pressing the ear inwards“¹⁰³².

Um herauszufinden, ob und wie lange ein Lebewesen in komprimierter Luft, wie sie in einer versenkten Taucherglocke vorliegt, atmen kann, wurde bei dem Meeting am 9. März 1664 zunächst ein Versuch unternommen, bei dem ein Vogel in einen Glasbehälter mit zweifach komprimierter Luft eingeschlossen wurde. Der Vogel zeigte keinerlei Beschwerden, so dass beschlossen wurde, dies mit dem dreifachen sowie mit dem vierfachen Druck zu wiederholen. Anschließend berichtete Hooke den anwesenden Mitgliedern, er besäße nun „lead boxes to be used underwater for furnishing of air by a couple of pipes, whilst the diver comes out of the bell or tub, and walks up and down working: which air being spent, the diver enters again into the tub or bell for a fresh supply“¹⁰³³. Vermutlich handelte es sich um Blechkisten, die wegen ihres Gewichtes und größerer Dichtigkeit besser geeignet waren als Holzkübel, die einen sehr großen Auftrieb hatten und deshalb unter Wasser den Taucher zu sehr nach oben zogen.

Ein Experiment mit den Blechkisten wurde angeordnet, und „Mr. Evelyn inquire after the diver about Deptford for this purpose“¹⁰³⁴. Der Taucher sollte unter der Direktive von Hooke den Versuch in der Praxis durchführen „as soon as the season would permit“¹⁰³⁵. Die Absicht Hookes war, die Luft in den Bleheimern für einen Unterwasserausstieg aus der Glocke aus der

¹⁰³⁰ Hooke, *Micrographia*, 139-140.

¹⁰³¹ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 2, 467.

¹⁰³² Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 470.

¹⁰³³ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 392.

¹⁰³⁴ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 392.

¹⁰³⁵ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 396.

großen Menge an frischer Luft der Glocke zu ergänzen, wann immer es notwendig wurde. Da die Glocke wie die Blecheimer unten offen waren, und damit die Luft unter Umgebungsdruck stand, hätte dieses Verfahren auch in größeren Tiefen funktionieren können, auch wenn über die konkreten Konstruktionsdetails von Zylinder und Schlauch keine Informationen oder Zeichnungen vorliegen.

Nach diesen Vorbereitungen schien aber jegliche Dringlichkeit zunächst verschwunden zu sein, oder das Wetter ließ noch keinen Versuchstauengang zu. Es dauerte fast zwei weitere Monate, bis am 11. Mai 1664 ein neues Komitee einberufen wurde, „to see the experiment made of diving with the leaden box and pipe“¹⁰³⁶. Mitglieder des Komitees waren Robert Moray, Paul Neile, William Petty, John Wilkins, Jonathan Goddard, Nathaniel Henshaw, Henry Oldenburg und Robert Hooke. Das erste Experiment verlief leider nicht erfolgreich, die Methode schien aber dennoch vielversprechend zu sein, denn es wurde dem Taucher aufgetragen, die Sache unter der Leitung von Hooke weiterzuverfolgen, um mehr Erfahrung zu sammeln.¹⁰³⁷

Was auch immer das Problem gewesen war, es schien schnell gelöst worden zu sein, denn bereits eine Woche später wurde angeordnet, dass das Experiment in der Themse und in einer Glaswanne vor der Gesellschaft durchgeführt werden sollte: „sinking the leaden boxes with air underwater and letting the operator respire the air by a pipe [...] with his nose stopped“¹⁰³⁸. Es war erfolgreich am 1. Juni 1664 von dem Taucher absolviert worden, und er hatte sich vier Minuten in der Themse unter Wasser aufhalten können, „but might have continued longer, if the operator had stood in as more convenient posture“¹⁰³⁹.

Ein neuer Versuch in der Themse wurde erst drei Wochen später am 22. Juni 1664, wiederum mit einem positiven Ergebnis, unternommen: „The diver had been underwater with the new instrument a pretty good while; but that he wanted some fitted glasses for his eyes“¹⁰⁴⁰. So erfolgreich dies auch gewesen sein mag, die Thematik Tauchen schien nun zugunsten anderer Experimente für fast ein Jahr in den Hintergrund zu rücken, denn es finden sich keine weiteren Erwähnungen mehr in den Protokollen, und Robert Hooke ging zu anderen Experimenten über.

Am 22. März 1665 wurden bei einem Meeting Experimente zur chemischen Luftgeneration „useful for divers“¹⁰⁴¹ durchgeführt, denn die Frage, wie Cornelius Drebbel die Luft in seinem

¹⁰³⁶ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 424.

¹⁰³⁷ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 425.

¹⁰³⁸ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 433.

¹⁰³⁹ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 433.

¹⁰⁴⁰ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 433.

¹⁰⁴¹ Birch, History of the Royal Society, Volume 2, 25.

Tauchboot regenerierte, war weiterhin ungelöst. Zunächst wurden nacheinander ein Vogel, einen Maus und eine Katze in einen Glasbehälter eingeschlossen. War die Luft nach einiger Zeit verbraucht, öffnete man darin zunächst eine Glasflasche mit Weinessig und danach mit Salpetersäure. Es wurde anschließend beobachtet, ob sich die Tiere nun wieder erholten. Dies wäre als ein Hinweis darauf zu deuten, dass die Flüssigkeiten die verbrauchte Luft im Glasbehälter regeneriert. Es wurden auch Experimente durchgeführt, um durch Auftröpfeln von Aquafortis auf Muschelschalen „Luft“ zu erzeugen. Das Gas, das durch diese Reaktion von Salpetersäure mit Kalziumcarbonat entstand, war Kohlendioxid. Die Versuche waren kein Erfolg, denn die Versuchstiere verendeten alle.

Das Komitee ordnete an, das „the air-boxes contrived for diving might be tried by the person bespoken by Mr. Pepys for that purpose; it was ordered that this diver should be sent to Mr. Hooke, to be instructed by him concerning the use of the said boxes under water“¹⁰⁴². Samuel Pepys (1633-1703) war Staatssekretär im englischen Marineamt und 1684 bis 1686 Präsident der Royal Society. Pepys war in Bezug auf ozeanographische Forschungen¹⁰⁴³ sehr aktiv und auch in die Bauarbeiten von Tangier¹⁰⁴⁴ involviert. Er finanzierte später den Druck des Werkes *Ichthyographia* (1685 posthum) des Naturforschers Francis Willughby (1635-1672), in dem erstmals eine naturwissenschaftlich fundierte Anordnung der Arten und Gattungen der Fische vorgenommen wird.¹⁰⁴⁵ Auch daraus kann man Pepys großes Interesse an der submarinen Welt ableiten.

Hooke wurde ebenfalls aufgegeben, eine Brille für den Taucher bereitzustellen. Der Tauchversuch sollte wie schon im letzten Jahr vor der St. Pauls Kathedrale unweit der London Bridge stattfinden. Als Mitglieder des Komitees zur Begutachtung der Versuche wurden William Brouncker, Robert Moray, William Petty, John Wilkins, Jonathan Goddard, Henry Oldenburg und Robert Hooke ernannt.

Ob die praktischen Tauchversuche wirklich stattgefunden haben, lässt sich nicht feststellen, denn in den Protokollen der Versammlungen finden sich keine Vermerke dazu. Erst drei Jahre später, im April 1668, finden sich wieder Vermerke¹⁰⁴⁶ in den Protokollen, dass Tauchexperimente durchgeführt werden sollen, aber ebenfalls ohne weiteren Hinweis auf eine tatsächliche Umsetzung. Nachdem das Interesse der Royal Society an Experimenten zum

¹⁰⁴² Birch, History of the Royal Society, Volume 2, 26.

¹⁰⁴³ Schotte, Sailing School, 102.

¹⁰⁴⁴ Siehe Margarete Lincoln, Samuel Pepys and Tangier, 1662-1684, in: Huntington Library Quarterly 77 (2014) 417-434.

¹⁰⁴⁵ Pierre De Latil / Jean Rivoire, Man and the Underwater World, London 1956, 108.

¹⁰⁴⁶ Birch, History of the Royal Society, Volume 2, 262-264.

Tauchen erloschen zu sein scheint, beschäftigte sie sich in den nächsten Jahren vorwiegend mit allgemeinen Untersuchungen zur Physiologie des Atmens und den Eigenschaften der Luft.

Ein Grund für das erlahmende Interesse der Royal Society am Tauchen kann daran liegen, dass Robert Moray, der in den Anfangsjahren der Royal Society die Meereswissenschaften stark gefördert hatte, 1673 gestorben war, und viele andere wie etwa Jonathan Goddard, die dies mit ihm gemeinsam durchgeführt hatten, ebenfalls.¹⁰⁴⁷

Nur bei zwei weiteren Meetings im März 1686 finden sich wieder Vermerke über Hookes neuartiges Tauchkonzept. Anlass war möglicherweise die Vorstellung des Buches *Collegii Experimentalis, sive Curiosi, pars Secunda* (1685) von Johann Christoph Sturm in den *Philosophical Transactions of the Royal Society*.¹⁰⁴⁸ Sturm beschreibt dort die Versuche von George Sinclair mit einer Taucherglocke.

Am 3. März 1686 hielt Hooke einen Vortrag „of conveying air under water for the use of diving by a chain of buckets inverted, which he had formerly brought in Februar 17. 1663“¹⁰⁴⁹. Es wurde daraufhin angeordnet, dass in den Dokumenten der Royal Society durchgesehen werden sollte, ob damals dazu etwas archiviert worden ist. Bei dem darauf folgenden Treffen am 10. März 1686 findet sich der Eintrag, dass „Mr. Hookes way of carrying air under water for use of divers by a chain of buckets inverted, brought in by him in the year 1663, was not entered there“¹⁰⁵⁰.

Möglicherweise hat man im falschen Jahrgang nachgeschlagen, denn der gesuchte Eintrag befindet sich im Protokoll des Meetings vom 17. Februar 1664, und nicht 1663.¹⁰⁵¹ 1686 war Edmond Halley Clerk der Royal Society und in dieser Funktion möglicherweise mit der Suche dieser Passage beauftragt worden.¹⁰⁵²

Erst drei Jahre später wurde diese schwebende Frage geklärt. Wie Hooke in seinem Tagebuch vermerkte, hielt Edmond Halley am 6. März 1689 bei einem Meeting der Royal Society einen Vortrag über „Walking under Water. The same with what I shewd the Society 25

¹⁰⁴⁷ Deacon, *Scientists and the Sea*, 154.

¹⁰⁴⁸ Anonymus, Review: Account of *Collegii Experimentalis, sive Curiosi, pars Secunda* by Jo. Christ. Sturmium, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 15 (1685) 1184-1186, 1184.

¹⁰⁴⁹ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 4, 463.

¹⁰⁵⁰ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 4, 464.

¹⁰⁵¹ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 385.

¹⁰⁵² Sydney Chapman, Edmond Halley, F.R.S. 1656-1742. A commemorative lecture given on 21 November 1956, at the Royal Society's celebration of Halley's tercentenary, in: *Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science* 12 (1957) 168-174, 171.

years since. Hoskins belged me, as he does every time”¹⁰⁵³. John Hoskyns (1634-1705) war ein Gründungsmitglied der Royal Society und von 1682 bis 1683 ihr Präsident.

Hooke bat den bei diesem Meeting ebenfalls anwesenden Naturforscher Richard Waller (1650-1715), in seiner Funktion als neuer Clerk bis zum nächsten Meeting erneut in den Aufzeichnungen der Royal Society nach entsprechenden Vermerken zu suchen. Dies tat Waller, und in der darauf folgenden Woche, am 13. März 1689, vermerkte Waller in dem *Journal Book* der Royal Society, er „turned to the several places, where Mr. Hooks Inventions for continuing Long under water are recorded, as ... the Chaine of Buckets to carry fresh Air under a Receptacle under water”¹⁰⁵⁴. Damit war Hookes Priorität dieser Erfindung formal innerhalb der Royal Society zunächst festgestellt, aber wie sie später in der Öffentlichkeit und bis in unsere Zeit wahrgenommen wird, ist eine andere. Sie wird in der Regel Edmond Halley zugeschrieben.¹⁰⁵⁵

Der Altertumsforscher und Autor John Aubrey (1626-1697) verfasste eine Sammlung von Kurzbiografien und persönlichen Eindrücke zu seinen Zeitgenossen. Ein Absatz widmete er Robert Hooke, und preist darin nicht nur seine Kenntnisse, sondern stellt in verschlüsselter Form auch die Priorität seiner Erfindung dar: „Now when I have sayd his inventive faculty is so great, you cannot imagine his memory to be excellent, for they are like two bucketts, as one goes up, the other goes downe. He is certainly the greatest mechanick this day in the world“¹⁰⁵⁶.

Robert Hooke fasste am 23. Dezember 1696 am Ende eines Vortrages seine Errungenschaften in Bezug auf die Tauchtechnologie zusammen:

„I shew’d a Way ... how to supply [a man] with fresh Air from above, to whatever depth he should be able to descend, without prejudicing his Health or Life: I shew’d also how to accommodate him for seeing with Spectacles, and acting freely in the Water as he could do in the Air, by Means of other Accoutrements, whenever he was able to endure the Pressure. And I have many other Experiments, which would be not only instructive, but useful for these and other Designs, but I want an Apparatus and Assistance to perform them.”¹⁰⁵⁷

¹⁰⁵³ Robert Theodore Gunther, *Early science in Oxford*, Vol. X, *The life and work of Robert Hooke (Part IV)*. Tract on capillary attraction, 1661. *Diary*, 1688-1693, Oxford 1935, 103.

¹⁰⁵⁴ *Journal Book of the Royal Society*, Volume 8, 1685-1690. Royal Society of London, JBO/8, Minutes of meeting 13th March 1689, o. S..

¹⁰⁵⁵ Siehe beispielsweise Mallinckrodt, *Tauchen*, 281; Carpenter, *John Theophilus Desaguliers*, 191.

¹⁰⁵⁶ John Aubrey, *Brief Lives*, chiefly of contemporaries, set down by John Aubrey, between the years 1669 & 1696, Vol. 1, Hg. Andrew Clark, Oxford 1898, 411.

¹⁰⁵⁷ Robert Hooke, *Some farther Observations relating to the Nautilus, and other Shell-Fish*, in: Robert Hooke, *Philosophical experiments and observations of the late eminent Dr. Robert Hooke, and Geom. Prof. Gresb. and other eminent virtuoso's in his time*, Hg. William Derham, London 1726, 311-314, 313-314.

Zwischen November 1663 und Juni 1664 hatte Hooke einige bemerkenswerte Fortschritte gemacht: er hatte mit der Anwendung eines Blasebalgs unter Wasser experimentiert, eine Verlängerung des Blasebalgs unter Verwendung eines flexiblen Luftreservoirs um den Körper des Tauchers entworfen, und eine alternative Methode, bei der ein autonomer Atemluftvorrat vom Taucher in „leaden boxes“ getragen wurde. Er hatte auch das Problem, dass der Sauerstoff in der Taucherglocke abgeatmet und sie stattdessen mit Kohlendioxid gefüllt war, gelöst, indem er frische Luft in umgekehrten Eimern nach unten schickte - was auch die Unannehmlichkeiten des in der Glocke aufsteigenden Wassers beseitigte. In Summe bedeutet dies, dass er ein komplett neues Tauchsysteem entworfen hat, mit der ein Taucher in der Lage war, sich nahezu unbegrenzt auf dem Meeresboden aufzuhalten - und all dies entsprang wissenschaftlichen Vorüberlegungen.

Thomas Sprat gab 1667 bereits einen stichwortartigen Überblick über die bisherigen Arbeiten und Experimente der Royal Society im Zusammenhang mit dem Tauchen:

1. „A Bell for diving under water to a great depth, wherein a man has continued at a considerable depth under water, for half an hour, without the least inconvenience.
2. Another instrument for a Diver, wherein he may continue long under water, and may walk to and fro, and make use of his strength, and limbs, almost as freely in the Air.
3. A new sort of Spectacles, whereby a Diver may see anything distinctly under Water.
4. A new way of conveying the Air under Water, to any Depth, for the use of Divers.”¹⁰⁵⁸

Der erste Punkt stellte zu diesem Zeitpunkt keine Neuerung mehr dar, denn Tauchgänge bis zu einer halben Stunde Dauer war zu dieser Zeit bereits Stand der Technik. Die weiteren Punkte, die von Robert Hooke initiiert wurden, sollen nachfolgend ausführlicher diskutiert werden.

4.6 Bewertung der Tauchexperimente der Royal Society 1661-1686

4.6.1 Autonome Atemluftversorgung für „lockout diving“

Robert Hooke erwähnte bei dem Meeting am 17. Februar 1664 eine neue Methode, mit der ein Taucher außerhalb der Glocke längere Zeit arbeiten könne. Freischwimmende Taucher, die ihren Atem anhalten und für kurze Zeit die Taucherglocke verlassen, und dorthin zurückkehrten, um vom Luftvolumen des umgedrehten Kessels zu atmen, waren bereits von

¹⁰⁵⁸ Sprat, The History of the Royal Society, 249.

Aristoteles in seinen *Problemata physica* erwähnt worden.¹⁰⁵⁹ Der heutige Fachterminus für diese Methode ist „lockout diving“. Darunter versteht man einen Ausstieg eines Tauchers aus einer untergetauchten Kammer für einen kurzfristigen Arbeitseinsatz, vergleichbar mit dem Ausstieg eines Astronauten aus seinem Raumschiff. Dort verwendet man dafür umgangssprachlich den Begriff „Weltraumspaziergang“ (fachsprachlich „Extra-Vehicular Activity“ oder EVA), wobei auch hierbei in der Regel eine Arbeit verrichtet wird.

Robert Boyle hatte sich bereits mit der Frage befasst, wie lange Taucher bei einem solchen Ausstieg den Atem unter Wasser anhalten können. In seinem Buch *New experiments, physico-mechanical, touching the spring of air* (1660) berichtet er von einem Gespräch mit einem erfahrenen Taucher, der die Methode, kurzfristig seine Glocke für einen Arbeitseinsatz zu verlassen, bei der Wrackbergung anwandte.¹⁰⁶⁰ In einer Tiefe von 50 bis 60 Foot (etwa 20 Meter) konnte er nur etwa zwei Minuten aushalten, bevor er wieder in die Glocke zum Atemschöpfen zurück musste.

Die Protokolle der Royal Society ergeben zur autonome Atemluftversorgung für Hookes „lockout diving“ leider nur eine sehr lückenhafte Darstellung der Gedanken von Hooke: Am 9. März 1664 hatte er den anwesenden Mitgliedern berichtet, er besäße „leaden boxes to be used underwater for furnishing of air by a couple of pipes, whilst the diver comes out of the bell or tub, and walks up and down working: which air being spent, the diver enters again into the tub or bell for a fresh supply“¹⁰⁶¹.

Die Absicht Hookes war offensichtlich, die Luft in den Bleheimern für einen Unterwasserausstieg aus der großen Menge an frischer Luft der Glocke zu ergänzen, wann immer es notwendig wurde. Er ging damit möglicherweise den umgekehrten Weg seiner Eimerketten-Methode: Während dort die Luft aus den Eimern in die Glocke geströmt wurde, sollte bei den „leaden boxes“ Luft aus der Glocke dort hineinströmen, und dem Taucher für einen Unterwasserausflug als autonomes Atemgasreservoir dienen.

Mitte Mai 1664 wurde angeordnet, dass ein Experiment in der Themse und in einer Glaswanne vor der Gesellschaft durchgeführt werden sollte: „sinking the leaden boxes with air underwater and letting the operator respire the air by a pipe [...] with his nose stopped“.¹⁰⁶² Es wurde erfolgreich am 1. Juni 1664 von dem Taucher absolviert, und er hatte sich vier Minuten

¹⁰⁵⁹ Siehe hierzu Kapitel 2.1.

¹⁰⁶⁰ Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical*, 111.

¹⁰⁶¹ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 392.

¹⁰⁶² Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 433.

unter Wasser in der Themse aufhalten können, „but might have continued longer, if the operator had stood in as more convenient posture.“¹⁰⁶³

Ein neuer Versuch in der Themse wurde erst drei Wochen später am 22. Juni 1664, wiederum mit einem positiven Ergebnis unternommen: „The diver had been underwater with the new instrument a pretty good while; but that he wanted some fitted glasses for his eyes“¹⁰⁶⁴. Obwohl in den darauffolgenden Jahren immer wieder die Idee aufkam, die Versuche zu wiederholen, finden sich keine weiteren Hinweise auf ihre tatsächliche Durchführung.

Bei Richard Waller, dem langjährigen Sekretär der Royal Society und Hookes ersten Biografen, findet sich eine aussagekräftigere Beschreibung, welchen Zweck die „leaden Box“ hat: „In Feb. 1664 he contriv'd a way to supply fresh Air to the Urinator under the Diving Bell by a Chain of Buckets and a Leaden Box for his Head, when he went out of the Bell to be supply'd with fresh Air from the Bell“¹⁰⁶⁵.

Nach diesen Informationen ist die wahrscheinlichste Konstruktion, dass Hookes Taucher einen offenen Taucherhelm aus Blei („leaden box“) auf dem Kopf trug, in den ein Schlauch aus einem zweiten, luftgefüllten Blechgefäß mündete. Dieser zweite Atemluftvorrat muss etwas tiefer, auf Gürtelhöhe angeordnet gewesen sein, damit die Luft ja nach Bedarf - regulierbar durch ein Ventil im Schlauch - in den Helm hineinströmen konnte. Dies würde ein funktionierender, autonomer offener Taucherhelm ergeben - ähnlich dem von Karl Heinrich Klingert 1822 publizierten Konzept.¹⁰⁶⁶

Es lässt sich resümieren, dass Hooke durchaus auf dem richtigen theoretischen Weg gewesen war, um die Aufenthaltsdauer von Taucher durch das Mitführen eines Atemgasvorrates zu verlängern. Selbst wenn sein Taucher bei dem Versuch im Juni 1664 in der Themse mit seiner neuen Erfindung nur vier Minuten unter Wasser bleiben konnte, so stellte dies immerhin noch eine Verdopplung gegenüber den von Boyle aufgeführten maximalen Arbeitszeit eines Lockout Divers dar.

4.6.2 Sehen unter Wasser mit einer Brille

Während Hooke anfangs dachte, er könne das verschwommene Bild, das die Augen dem Gehirn unter Wasser bieten, mit einer stark konvexen Brille korrigieren, hätte er bald entdeckt,

¹⁰⁶³ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 433.

¹⁰⁶⁴ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 442.

¹⁰⁶⁵ Richard Waller, The Posthumous Works of Robert Hooke, London 1705, X.

¹⁰⁶⁶ Siehe Michael Jung, Tauchgeschichtekompandium Karl Heinrich Klingert, Merzig 1998.

dass einfache Glasbrillen unter Wasser nicht funktionieren. Taucher sehen mit geöffneten Augen die Unterwasserwelt nur sehr unscharf. Der physikalische Grund liegt darin, dass Hornhaut, Kammerwasser, Linse und Glaskörper welche auch als „die brechenden Medien des Auges“ bezeichnet werden, nur für das Medium Luft eine scharfe Wiedergabe der Umwelt bieten. Da Wasser einen anderen Brechungsindex¹⁰⁶⁷ als Luft hat, wird unter Wasser die Brechkraft des Auges (Refraktion) aufgehoben, und die Lichtwellen fallen erst hinter der Netzhaut zusammen. Die Folge ist eine extrem starke Weitsichtigkeit. Man müsste eine Linse der Stärke 100, d.h. eine Linse mit einer Brennweite von 1 cm verwenden.¹⁰⁶⁸ Um die normale Refraktion des Auges wiederherzustellen, ist es daher erforderlich, zwischen Hornhaut und Wasser eine Luftschicht zu legen, die von einer ebenen Glasscheibe begrenzt wird. Nach diesem Prinzip funktionieren Taucherbrillen und Tauchermasken. Eine normale Brille, auch wenn ihr Glas noch so stark gewölbt wäre, hätte keinerlei Effekt. Eine weitere Besonderheit unter Wasser sind die scheinbaren Veränderungen von Größen und Entfernungen. Es erscheinen mit einer Maske Gegenstände näher (auf 3/4 verkürzte Entfernung) und größer (4/3 ihrer wahren Größe).¹⁰⁶⁹

Die Anforderung des Tauchers an Hooke im Juni 1664, ihm eine Brille für die Augen anzufertigen, hätte nur dann einen positiven Effekt, wenn Hooke eine kompakte und leichte Tauchbrille angefertigt hätte, wie sie einer zeitgenössischen Abbildung zufolge von Schwammtauchern benutzt wurde.¹⁰⁷⁰ Hooke hätte bei einem Versuchstauchgang auch festgestellt, dass die beiden unabhängigen Okulare vor den Augen, die durch ein flexibles Glied verbunden waren, zwar ein ausreichend großes Luftvolumen zum scharfen Sehen enthielten, dass sie aber in genau derselben Ebene planparallel zueinander gehalten werden mussten, um zu vermeiden, dass der Taucher doppelt oder verzerrt sieht.

4.6.3 Luftversorgung durch eine „Chain of Buckets“

Selbst mit den begrenzten Informationen aus den Protokollen der Royal Society ist es möglich, nachzuvollziehen, dass Hooke einige innovative Überlegungen zu den Problemen der Atemluftzufuhr unter Wasser angestellt hat. Während fast alle seine Zeitgenossen an der falschen Überzeugung festhielten, dass Luft wieder geatmet werden kann, wenn sie abgekühlt

¹⁰⁶⁷ Abhängig von der verringerten Lichtgeschwindigkeit gegenüber Luft besitzt Wasser einen Brechungsindex von 1,33.

¹⁰⁶⁸ Marcel Minnaert, Licht und Farbe in der Natur, Basel 1992, 128.

¹⁰⁶⁹ Marées, Sportphysiologie, 608.

¹⁰⁷⁰ Siehe beispielsweise Jan van der Straet (genannt Stradanus), Venationes Ferarum, Avium, Piscium, Antwerpen 1578, Tafel Nr. 27.

wird, scheint Hooke erkannt zu haben, dass mit den lückenhaften Kenntnissen und unzureichenden technischen Verfahren dieser Zeit der bessere und sicherer Weg darin bestand, den Taucher kontinuierlich mit frischer Luft zu versorgen. Eine chemische Auffrischung der Luft, wie sie Drebbel erfolgreich durchgeführt zu haben scheint, konnte bei Experimenten am 22. März 1665 nicht erreicht werden. Sie wurde erst 1727 von Stephen Hales (1677-1761) publiziert. Er setzte den ersten Kohlendioxid-Absorber für die Verwendung im Bergbau ein.¹⁰⁷¹

Hooke schlug bei dem Meeting der Society am 17. Februar 1664 vor, eine Taucherglocke von der Oberfläche aus durch eine „Chain of Buckets“¹⁰⁷² mit Frischluft zu versorgen. Mit Hilfe einer Winde sollten entsprechend schwere, luftgefüllten Kübel von einem Schiff aus an einem nach unten führenden Seil zur Taucherglocke hinabgezogen werden. Der Transportweg war nicht das zentrale Problem dieses Verfahrens. Es bestand vielmehr darin, die Luft aus den Kübeln möglichst verlustfrei in die Glocke strömen zu lassen.

Hooke hatte dieses spezielle Problem erkannt und vermutlich eine Lösung, denn er sprach bereits bei dem Meeting am 11. November 1663 „of a way of carrying air down to the bottom of the sea at any depth, and of bringing it up, under a bell“¹⁰⁷³. Die Lösung hat sehr wahrscheinlich darin bestanden, die Luft aus dem Kübel über einen Luftschlauch in die Glocke strömen zu lassen. Dazu musste der Kübel ein Stück tiefer als der Wasserspiegel in der Glocke nach unten gezogen werden, so dass nach dem Prinzip der kommunizierenden Gefäße der Umgebungsdruck des Kübels größer als der innerhalb der Taucherglocke war. Aufgrund des geringen Druckunterschiedes war eine Leckage der Schlauchnaht unwahrscheinlich. Aus welchem Grund auch immer, trotz seines erfolgreichen Experiments im Februar 1664 wurden diese Ideen nicht weiterverfolgt. 1691 wurde diese Idee wiedererfunden und in die Praxis umgesetzt, als Edmond Halley Fässer mit frischer Luft zu einer Taucherglocke hinunterbrachte.¹⁰⁷⁴

¹⁰⁷¹ Hales, *Vegetable Staticks*, 262-278, Fig. 39.

¹⁰⁷² Birch, *History of the Royal Society*, Volume 4, 464.

¹⁰⁷³ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 331.

¹⁰⁷⁴ Siehe Edmond Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, Hg. Eugene Fairfield MacPike, London 1937, 150-155; Siehe hierzu Kapitel 5.3.

4.6.4 Tabelle für die Volumenbestimmung

1671 führte die Royal Society eine umfangreiche Messreihe durch, um das Boylesche Gesetz für die Anwendung in der Praxis in eine leicht verständliche Tabellenform zu bringen. Die Tabellenform war ein seit langem eingeführtes und bewährtes Hilfsmittel in der Seefahrt, wie etwa bei den Tide tables.¹⁰⁷⁵ Hooke hatte dies bereits im Januar 1663 bei einem Meeting der Royal Society vorgeschlagen¹⁰⁷⁶, und es waren am 4. März 1663 erste Versuche nördlich von Queenborough durchgeführt worden.¹⁰⁷⁷

Zunächst wurde am 26. Januar 1671 ein Versuch im Labor durchgeführt.¹⁰⁷⁸ Anfang Juli 1671 traf sich ein Komitee der Royal Society in Sheerness an der Mündung der Themse in die Nordsee. Hier senkten sie einen 50 Zoll (ca. 1,3 m) hohen Zylinder mit einem Einweg-Ventil im Boden auf verschiedene Tiefen bis zu 19 Faden (114ft/35m) ab. Das Ventil wurde in der Tiefe geschlossen, wobei Wasser und Druckluft im Inneren eingeschlossen wurden, und wieder an die Oberfläche gebracht, wo die Luftkompression gemessen werden konnte.

Dies war ein einfaches Gerät, das mit großer Wahrscheinlichkeit von Hooke entworfen und gebaut wurde, der sehr versiert in der Herstellung von Einwegventilen war und auch ein großes Interesse an der physikalischen Meereskunde hatte.

Die Experimente in Sheerness erlaubten es, eine Tabelle der Luftkompression zu erstellen, die zeigte, dass bei 33ft/10m die Hälfte des Luftvolumens, bei 66ft/20m ein Drittel des Luftvolumens usw. übrig blieb. Wir wissen heute durch Berechnungen, dass diese Werte korrekt sind. Diese Ergebnisse wurden von der Royal Society bis zu einer Tiefe von 1947 feet bzw. 600 m extrapoliert und in tabellarischer Form in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* veröffentlicht (Abbildung 21).¹⁰⁷⁹ Die Berechnung der Werte bis in eine solch große Wassertiefe lässt darauf schließen, dass das Interessengebiet der Royal Society nicht in den flachen Küstengewässern endete, sondern auch die Tiefsee einschloss.

¹⁰⁷⁵ Schotte, *Sailing School*, 54; Reidy, *Tides of History*, 25.

¹⁰⁷⁶ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 182.

¹⁰⁷⁷ Gunther, *Early science in Oxford*, Vol. VI, 116-120.

¹⁰⁷⁸ Gunther, *Early science in Oxford*, Vol. VI, 373.

¹⁰⁷⁹ Siehe Anonymus, *A Table Shewing, to What Degree Air is Compressible in Sea-Water*, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 6 (1671) 2192-2195.

(2194)
The TABLE it self.

Depth in water.		Air Compress.		Depth in water.		Air Compress.	
In Feet.	In Fath.	to parts.	to Inches.	In Feet.	In Fath.	to parts.	to Inches.
1	0	$\frac{33}{34}$	$58\frac{1}{17}$	24	4	$\frac{33}{37}$	$34\frac{22}{37}$
2	0	$\frac{33}{35}$	$56\frac{1}{7}$	25	0	$\frac{33}{38}$	$34\frac{1}{39}$
3	$\frac{1}{2}$	$\frac{33}{37}$	55	26	0	$\frac{33}{39}$	$33\frac{31}{39}$
4	0	$\frac{33}{37}$	$53\frac{19}{37}$	27	4	$\frac{33}{40}$	33
5	0	$\frac{33}{38}$	$52\frac{19}{38}$	28	0	$\frac{33}{41}$	$32\frac{18}{41}$
6	1	$\frac{33}{39}$	$50\frac{10}{41}$	29	0	$\frac{33}{42}$	$31\frac{16}{41}$
7	0	$\frac{33}{40}$	$49\frac{2}{40}$	30	5	$\frac{33}{43}$	$31\frac{3}{43}$
8	0	$\frac{33}{41}$	$48\frac{3}{41}$	31	0	$\frac{33}{44}$	$30\frac{15}{44}$
8 $\frac{1}{2}$	0	$\frac{4}{5}$	48	32	0	$\frac{33}{45}$	$30\frac{30}{45}$
9	$1\frac{1}{2}$	$\frac{33}{44}$	$47\frac{1}{4}$	33	$5\frac{1}{2}$	$\frac{33}{46}$	30
10	0	$\frac{33}{45}$	$46\frac{2}{45}$	66	11	$\frac{33}{47}$	20
11	0	$\frac{33}{46}$	45	99	$16\frac{1}{2}$	$\frac{33}{48}$	15
12	2	$\frac{33}{49}$	44	132	22	$\frac{1}{5}$	12
13	0	$\frac{33}{47}$	$43\frac{1}{3}$	165	$27\frac{1}{2}$	$\frac{1}{6}$	10
14	0	$\frac{33}{47}$	$42\frac{1}{47}$	198	33	$\frac{1}{7}$	$8\frac{1}{7}$
15	$2\frac{1}{2}$	$\frac{33}{49}$	41 $\frac{1}{5}$	231	$38\frac{1}{2}$	$\frac{1}{8}$	$7\frac{1}{8}$
16	0	$\frac{33}{47}$	$40\frac{20}{47}$	264	44	$\frac{1}{9}$	$6\frac{4}{9}$
16 $\frac{1}{2}$	0	$\frac{2}{3}$	40	297	$49\frac{1}{2}$	$\frac{1}{10}$	6
17	0	$\frac{33}{50}$	39 $\frac{3}{5}$	330	55	$\frac{8}{11}$	$5\frac{8}{11}$
18	3	$\frac{33}{51}$	$38\frac{31}{51}$	363	$60\frac{1}{2}$	$\frac{1}{12}$	5
19	0	$\frac{33}{52}$	$38\frac{1}{52}$	396	66	$\frac{1}{13}$	$4\frac{1}{13}$
20	0	$\frac{33}{53}$	$37\frac{19}{53}$	429	$71\frac{1}{2}$	$\frac{1}{14}$	$4\frac{1}{7}$
21	$2\frac{1}{2}$	$\frac{33}{54}$	36 $\frac{1}{9}$	462	77	$\frac{1}{15}$	4
22	0	$\frac{33}{55}$	36	495	$82\frac{1}{2}$	$\frac{1}{16}$	$3\frac{3}{4}$
23	0	$\frac{33}{56}$	$35\frac{3}{14}$	528	88	$\frac{1}{17}$	$3\frac{2}{17}$

Depth

(2195)

Depth in water.		Air Compress.		Depth in water.		Air Compress.	
In Feet.	In Fath.	to parts.	Inch.	In Feet.	In Fath.	to parts.	Inches.
561	$93\frac{1}{2}$	$\frac{1}{18}$	$3\frac{1}{2}$	1353	$225\frac{1}{2}$	$\frac{1}{48}$	$1\frac{3}{7}$
594	99	$\frac{1}{17}$	$3\frac{3}{19}$	1386	231	$\frac{1}{43}$	$1\frac{7}{43}$
627	$104\frac{1}{2}$	$\frac{1}{20}$	3	1419	$236\frac{1}{2}$	$\frac{1}{44}$	$1\frac{1}{11}$
660	110	$\frac{1}{21}$	$2\frac{6}{7}$	1452	242	$\frac{1}{45}$	$1\frac{1}{3}$
693	$115\frac{1}{2}$	$\frac{1}{22}$	$2\frac{8}{11}$	1485	$247\frac{1}{2}$	$\frac{1}{46}$	$1\frac{2}{13}$
726	121	$\frac{1}{23}$	$2\frac{11}{23}$	1518	253	$\frac{1}{47}$	$1\frac{1}{13}$
759	$126\frac{1}{2}$	$\frac{1}{24}$	$2\frac{1}{2}$	1551	$258\frac{1}{2}$	$\frac{1}{48}$	$1\frac{1}{4}$
792	132	$\frac{1}{25}$	$2\frac{2}{5}$	1584	264	$\frac{1}{49}$	$1\frac{1}{9}$
825	$137\frac{1}{2}$	$\frac{1}{26}$	$2\frac{1}{13}$	1617	$269\frac{1}{2}$	$\frac{1}{50}$	$1\frac{1}{5}$
858	143	$\frac{1}{27}$	$2\frac{2}{9}$	1650	275	$\frac{1}{51}$	$1\frac{1}{51}$
891	$148\frac{1}{2}$	$\frac{1}{28}$	$2\frac{1}{7}$	1683	$280\frac{1}{2}$	$\frac{1}{52}$	$1\frac{1}{13}$
924	154	$\frac{1}{29}$	$2\frac{2}{29}$	1716	286	$\frac{1}{53}$	$1\frac{1}{53}$
957	$159\frac{1}{2}$	$\frac{1}{30}$	2	1749	$291\frac{1}{2}$	$\frac{1}{54}$	$1\frac{1}{9}$
990	165	$\frac{1}{31}$	$1\frac{29}{31}$	1782	297	$\frac{1}{55}$	$1\frac{1}{11}$
1023	$170\frac{1}{2}$	$\frac{1}{32}$	$1\frac{9}{16}$	1815	$302\frac{1}{2}$	$\frac{1}{56}$	$1\frac{1}{14}$
1056	176	$\frac{1}{33}$	$1\frac{9}{11}$	1848	308	$\frac{1}{57}$	$1\frac{1}{49}$
1089	$181\frac{1}{2}$	$\frac{1}{34}$	$1\frac{13}{34}$	1881	$313\frac{1}{2}$	$\frac{1}{58}$	$1\frac{1}{58}$
1122	187	$\frac{1}{35}$	$1\frac{5}{7}$	1914	319	$\frac{1}{59}$	$1\frac{1}{59}$
1155	$192\frac{1}{2}$	$\frac{1}{36}$	$1\frac{2}{3}$	1947	$324\frac{1}{2}$	$\frac{1}{60}$	1
1188	198	$\frac{1}{37}$	$1\frac{23}{37}$				
1221	$203\frac{1}{2}$	$\frac{1}{38}$	$1\frac{19}{38}$				
1254	209	$\frac{1}{39}$	$1\frac{7}{13}$				
1287	$214\frac{1}{2}$	$\frac{1}{40}$	$1\frac{1}{4}$				
1320	220	$\frac{1}{41}$	$1\frac{19}{41}$				

Abbildung 21: Tabelle der Royal Society of London zur Bestimmung des Luftvolumens in Abhängigkeit von der Wassertiefe (1671). Quelle: Anonymus, A Table Shewing, to What Degree Air is Compressible in Sea-Water, in: Philosophical Transactions 6 (1671) 2194-2195.

Die Royal Society war der Ansicht, dass „these Trials may not be thought to have been made out of meer [sic] curiosity, they will, by considering and practical men, be found useful for these, who have occasion to dive for recovering things lost in water, for as much as by those Experiments they may afore hand know, to what depth they may, when they sink in the Diving Bell or other fit Instruments, endure the Compression of the Air for respiration also, how they may furnish themselves with air in a fit vessel for supply”¹⁰⁸⁰.

Die Tabelle war von großer praktischer Bedeutung, denn nunmehr konnten die Glockentaucher unter anderem im Voraus berechnen, wie hoch das Wasser in der Glocke in Abhängigkeit der Tiefe stieg. Daraus ergab sich das verbliebene Atemluftvolumen, sowie das

¹⁰⁸⁰ Anonymus, A Table Shewing, 2193.

Maß, wie sehr die Taucher im Wasser standen, also die maximal mögliche Tauchtiefe. Dieses Beispiel zeigt sehr anschaulich, dass ein von Boyle und Hooke im Experiment erworbenes theoretisches Wissen 1671 der Praxis in anwendungsgerechter Tabellenform zur Verfügung stand. Die Tauchtechnik ist ab 1661 verwissenschaftlicht und zur Tauchtechnologie weiterentwickelt worden.

Der von Matthew Rochford 1662 in seinem Bericht aufgezeigte Weg, die Steighöhe des Wassers in einer Taucherglocke experimentell zu ermitteln, war sehr aufwendig und konnte nunmehr entfallen.

Die Publikation dieser Tabelle in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* spricht für eine bereits relativ weite Verbreitung der Taucherglockentechnik in England.

4.7 George Sinclair: Die Taucherglocke als Ort der Wissensproduktion

4.7.1 Sinclairs „Diving Ark“

Der schottische Naturphilosoph George Sinclair (oder Sinclar) (ca. 1630-1696) publizierte 1669 in seinem Werk *Ars nova et magna gravitatis et levitatis* in lateinischer Sprache eine umfassende und detaillierte Abhandlung über die Taucherglocke und die Arbeit mit ihr. Sinclair war mit Robert Boyle einer der frühesten britischen Autoren auf dem Gebiet der Hydrostatik. Er besuchte im August 1662 London und traf dort unter anderem Robert Moray und Robert Boyle.

George Sinclair war zunächst Privatlehrer an der Universität St. Andrews bevor er 1654 Professor der Philosophie an der Universität Glasgow wurde.¹⁰⁸¹ 1666 musste Sinclair seine Stelle an der Universität Glasgow verlassen, da er als überzeugter Presbyterianer nicht bereit war, einen kürzlich eingeführten Treueeid auf den König abzulegen und die Autorität der Episkopalkirche zu akzeptieren. Um dies zu vermeiden, hatte er sich 1665 um eine gleichwertige Stelle an der Universität Edinburgh bemüht. Er erhielt sie auch, konnte sie jedoch 1666 aus dem gleichen Grund nicht antreten. In der Folge schlug sich Sinclair mehr als zwanzig Jahre lang mit verschiedenen Beschäftigungen in der Umgebung von Edinburgh durch.¹⁰⁸² Sinclair arbeitete unter anderem als Schullehrer, beaufsichtigte den Bau einer Wasserleitung für die Wasserversorgung von Edinburgh, lokalisierte Kohleflöze und beriet Unternehmen bei der Entwässerung von Bergwerken.

Am 16. November 1670 erhielt Sinclair vom Stadtrat von Edinburgh die Erlaubnis, öffentliche Vorträge über neue Erkenntnisse in der Pneumatik, Hydrostatik, Mechanik, Mathematik, Geographie, Vermessung und Navigation zu halten. Die Erforschung der Tauchtechnologie und ihre Nutzbarmachung werden explizit eingeschlossen: „the causes of the severall Phaenomina that ar mett with in the use of the diving bell are demonstrativer discovered, and ane new and more comodious way of diving is made knowen, and some secreits hitherto neither knowen nor practised relating to the advantage that may be made by this airt are laid open“¹⁰⁸³. Um seine Vorlesungen zu illustrieren, wollte Sinclair Torricellis Experiment wiederholen und eine Luftpumpe sowie andere Instrumente einzusetzen. 1690 wurde Sinclair

¹⁰⁸¹ Alexander D. D. Craik, The hydrostatical works of George Sinclair (c.1630-1696): their neglect and criticism, in: Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science 72 (2018) 239-273, 241.

¹⁰⁸² Alexander D. D. Craik / Danielle Spittle, The hydrostatical work of George Sinclair (c. 1630-1696): an addendum, in: Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science 73 (2019) 125-130, 127.

¹⁰⁸³ Extracts From the Records of the Burgh of Edinburgh 1665 to 1680, Vol. 10, Hg. Marguerite Wood / James David Marwick, Edinburgh 1869, 92.

Gründungsprofessor für „Mathematicks and Experimental Philosophy“ an der Universität Glasgow, ein Amt, das er bis zu seinem Tod 1696 innehatte.

Sinclair unterstützte 1665 Archibald Campbell, 9th Earl of Argyll (1629-1685) bei dem Einsatz einer Taucherglocke aus Blei, um Kanonen von einem Schiff der spanischen Armada zu bergen, das 1588 in der Bucht von Tobermory, der Hauptstadt der Insel Mull, Schiffbruch erlitten hatte. Vermutlich handelte es sich um das Handelsschiff *San Juan de Sicilia*. James Maule hatte die Taucherglocken aus Schweden nach Schottland gebracht¹⁰⁸⁴ und gemeinsam mit Sinclair bedient.¹⁰⁸⁵ Sinclair beschreibt in seinem Werk *Ars nova et magna gravitatis et levitatis* (1669), dass sie drei Kanonen bergen konnten. 1676 arbeitete auch der Bruder von George Sinclair, John Sinclair (mancherorts auch bezeichnet als John Saint Clare, „Sohn des Ministers von Ormiston“) als Taucher an dem Wrack.

Die Wracks der spanischen Flotte, die 1588 von Philipp II. zum Angriff auf England ausgeschiedt wurde, waren schon sehr früh Anziehungspunkt für Bergungsunternehmen und Wracktaucher. Eines der Schiffe sank vor der Küste Westirlands bei Donegal. Bereits 1589 wurde ein Taucher zur Bergung der Kanonen eingesetzt. Am 22. Juni 1589 schrieb der Diplomat Georg Carew (?–ca. 1612) an den Lord Deputy of Ireland, William FitzWilliam (1526-1599): „Our diver was nearly drowned, but Irish aqua vitae hath such virtue as I hope of his recovery. If the diver of Dublin with his instruments were here, I would not doubt to bring good store of artillery from hence; for if I be not deceived, out of our boats we did plainly see four pieces more“¹⁰⁸⁶ Bislang konnten keine Einzelheiten dazu gefunden werden, mit welchen „instruments“ der Taucher arbeitete.

Sinclair's *Ars nova et magna gravitatis et levitatis* (1669) besteht aus sechs großen Kapiteln, in denen sich Sinclair mit dem „Gewicht“ von Luft aus den verschiedensten Perspektiven auseinandersetzt. Sinclair wurde unter anderem von Jean Pecquets *New Anatomical Experiments* (1653), Marin Mersennes *Novarum observationum physico-mathematicarum* (1647) und Caspar Schotts *Mechanica hydraulico-pneumatica* (1657) beeinflusst.¹⁰⁸⁷

Sinclair beschreibt ausführlich die bei Tobermory von James Maule - „der Erfahrenste von allen in der Tauchkunst in ganz Europa“¹⁰⁸⁸ - eingesetzte, pyramidenförmige Bleiglocke und die physikalischen Effekte.¹⁰⁸⁹ Anschließend demonstriert er mit einem Glasbecher in einer

¹⁰⁸⁴ McLeay, *The Tobermory Treasure*, 40.

¹⁰⁸⁵ Craik, *The hydrostatical works*, 241.

¹⁰⁸⁶ *Calendar of the Carew Manuscripts: 1589-1600*, Hg. John Sherren Brewer / William Bullen London 1869, 8.

¹⁰⁸⁷ Craik, *The hydrostatical works*, 254.

¹⁰⁸⁸ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Omnium totius Europa, artis urinandi est peritissimus“ in Georg Sinclair, *Ars nova et magna gravitatis et levitatis*, Rotterdam 1669, 220.

¹⁰⁸⁹ Siehe Sinclair, *Ars nova*, 220-244.

Wasserschale, dass der Wasserspiegel in der Glocke mit der Erhöhung des Wasserdrucks steigt, wenn der Becher tiefer eintaucht, und umgekehrt der Pegel wieder sinkt, wenn der Becher angehoben wird. Sinclair kommt zu dem richtigen Schluss, dass sowohl Luft als auch Wasser einen Druck haben, der Luftdruck dem Wasserdruck in der Glocke entspricht und dass der gesamte Körper des Tauchers, sowohl die Beine im Wasser als auch der Oberkörper in der Luft, dem gleichen Druck ausgesetzt ist.

Sinclair bekräftigt, dass die Luft in der Glocke für einen Taucher lange ausreicht, und er trotz des erhöhten Druckes keine Schwierigkeiten hat, sie einzuatmen. Sinclair lässt einen fiktiven Lehrer in einer Wasserschale demonstrieren, dass eine luftgefüllte Blase beim Untertauchen durch den Wasserdruck zusammengestaucht wird, und sie wieder ihre ursprüngliche Gestalt annimmt, wenn man sie zurück zur Oberfläche bringt. Verschlussene Flaschen würden hingegen durch den Wasserdruck implodieren.

Sinclair schlägt auch vor, dass die Luft in der Glocke erneuert und ergänzt werden könnte, indem Luft in Flaschen oder Blasen von der Oberfläche nach unten geschickt wird, und dies unabhängig von der Wassertiefe funktionieren würde:

„...indem man mit frischer Luft gefüllte Glas- oder Steingefäße mit festen Seiten hinunterschickt; ihre Stopfen werden im Innern der Glocke herausgezogen, oder ihre Seiten werden einfach zerbrochen, was ich für viel besser halte, und die ganze eingeschlossene Luft kommt heraus und mischt sich mit der Luft in der Glocke. Dies kann viel leichter geschehen, indem man mit Luft gefüllte Blasen hinunterschickt, denn wie tief das Wasser auch sein mag, es zerbricht nicht ihre Seiten, während die Seiten von Flaschen und Ampullen oft durch den Druck des Wassers zusammengedrückt werden“¹⁰⁹⁰.

Diese Methode, die von Robert Hooke am 11. November 1663¹⁰⁹¹ bei einem Meeting der Royal Society vorgestellt und am 17. Februar 1664¹⁰⁹² im Modell erprobt wurde, findet sich damit, sechs Jahre später, erstmals in einer Publikation wieder. Sinclair könnte die Kenntnis über die pendelnden Frischluftfässer von James Maule erhalten haben, der mit Hans Albrecht von Treileben in Schweden tätig war.

¹⁰⁹⁰ Eigene Übersetzung vom Originaltext „eudem tamen quàm facillimè suppleri posse, demittendis nimirum ampullis vitreis, vel lapideis robustorum laterum, nudo aëre repletis, quarum obthuramenta ... totus inclusus aër egressus, Campane aëri sese commiscebit. Idem multò faciliùs fieri potest, demittendo vesicas aëre distentas: nam quantacunque sit aquæ profunditas & altitudo“ in Sinclair, *Ars nova*, 224.

¹⁰⁹¹ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 331.

¹⁰⁹² Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 385.

Eine besondere Bedeutung hat Sinclairs Schilderung von Experimenten mit Torricelli Barometern, die er vermutlich selbst in der Glocke durchgeführt hat.¹⁰⁹³ In keinem seiner Werke schreibt Sinclair explizit, er habe selbst getaucht. Dies lässt sich aber aus seinen vielen detaillierten Schilderungen und Kenntnissen nicht anders deuten. Beispielsweise erwähnt Sinclair, dass der Taucher beim Tiefergehen mit der Glocke einen immer kleiner werdenden Teil des Grundes durch die Öffnung sieht, und beim Aufsteigen sich dieses Sichtfeld wieder vergrößert.¹⁰⁹⁴ Ebenso könne der Taucher, wenn er am Grund angelangt ist, sich dort durch Gehen mit der Glocke über dem Kopf ein Stück seitwärts bewegen.

Indem Sinclair ein mit Quecksilber gefülltes Torricelli Barometer in der Glocke nach unten nimmt, demonstriert er, dass der Luftdruck bei 34 Fuß (ca. 10 Meter) um den Faktor zwei, bei 68 Fuß (ca. 20 Meter) um drei, und entsprechend weiter ansteigt.¹⁰⁹⁵ Sinclairs Messungen waren akkurat, denn er ermittelte, dass die Quecksilbersäule statt 29 dort 58 inch hoch war, also doppelt so hoch. In 10 Meter Tiefe ist der Druck das zweifache wie an der Oberfläche. Sinclair hat das Boylesche Gesetz durch praktische Versuche in situ bestätigt. Er kann als einer der ersten, selbst tauchenden Wissenschaftler bezeichnet werden, der sein Labor unter die Meeresoberfläche verlegte.

Sinclair wurde damit zu einem Gründer einer neuen Forschungsmethode, nämlich die des Scientific Diving, bei dem sich der Wissenschaftler vor Ort begibt, um dort an realen Gegebenheiten Experimente durchzuführen und Kenntnisse zu erlangen. Er setzte damit die Forderungen von Robert Boyle um.¹⁰⁹⁶ Im Gegensatz dazu standen bisher Berichte von Laien, die ausgewertet und interpretiert wurden, oder nachgestellte Situationen in einem Labor. Die Taucherglocke wird zu einem Unterwasserlabor, und kann, vergleichbar mit einem Forschungsschiff, bei entsprechender Anwendung als ein wissenschaftliches Instrument gesehen werden.¹⁰⁹⁷

Diese Abhandlung von Sinclair ist die erste theoretische Abhandlung über die Taucherglocke nach Niccolò Tartaglia, und sie legt detailliert die physikalischen Prinzipien dar, nach denen sie funktioniert. Sie ist in Latein, der Sprache der Wissenschaft, geschrieben und enthält die erste Verwendung des Begriffs „campana urinaria“ für „Taucherglocke“. Alle Arbeiten über die Taucherglocke vor Sinclair (mit Ausnahme von Jean Taisniers kurzem

¹⁰⁹³ Craig, *The hydrostatical works*, 255.

¹⁰⁹⁴ Sinclair, *Ars nova*, 225.

¹⁰⁹⁵ Sinclair, *Ars nova*, Book II, Dialogue V., 230; Craik, *The hydrostatical works*, 254, 258; Phillips, *Diving and Underwater Technology*, 231.

¹⁰⁹⁶ Boyle, *New Experiments about the Differing Pressure*, 648.

¹⁰⁹⁷ Siehe Richard Sorrenson, *The Ship as a Scientific Instrument in the Eighteenth Century*, in: *Osiris* 11 (1996) 221-236.

Bericht 1562) sind in der jeweiligen Landessprache verfasst. Das Gleiche gilt für fast alle anderen Schriften über das Tauchen vor Sinclair, da sie entweder von oder für Militärs und Praktiker geschrieben wurden, nicht für Wissenschaftler.

Henry Oldenburg besprach Sinclairs Buch *Ars nova et magna gravitatis et levitatis* (1669) in den *Philosophical Transactions of the Royal Society*, und stellte es als Plagiat von Boyles Arbeiten dar, denn Sinclair hätte „many things taken out of his Manuscript“¹⁰⁹⁸. Sinclair wehrte sich in einer achtseitigen Druckschrift gegen die Vorwürfe.¹⁰⁹⁹ Neuere Untersuchungen zeigen, dass die Vorwürfe von Oldenburg nicht stichhaltig sind. Wie der Historiker Alexander D. D. Craik in seiner Untersuchung schreibt, kam Sinclair offenbar „toto coelo different“¹¹⁰⁰ und zeitgleich wie Boyle zu seinen Forschungsergebnissen: Boyle mit Hilfe seiner Luftpumpe, und Sinclair unter Verwendung eines Torricelli-Barometers.

Sinclair präsentiert in seinem zweiten Werk zur Hydrostatik *The Hydrostaticks* (1672), das diesmal für eine breitere Leserschaft in englischer Sprache abgefasst wurde, weitere Experimente. In seinem Experiment XVIII führt er einige Verbesserungen gegenüber der herkömmlichen Taucherglocke an, die bereits mit Erfolg eingesetzt worden wären. Diesem verbesserten Modell gibt er die Bezeichnung „Diving Ark“¹¹⁰¹ (Abbildung 22). Sie ähnelt stark dem bereits 1597 von Lorini vorgeschlagenem Modell (siehe Abbildung 10 auf S. 88). Die Taucherglocke aus Holz soll viereckig und innen und außen zur Abdichtung mit Pech bestrichen werden. Während die bisherigen Taucherglocken aus Blei sind, argumentiert Sinclair, dass diese hölzerne, viereckige Glocke kostengünstiger herzustellen und einfacher mit Glasfenstern ausgestattet werden könnte. Dies ist richtig und ein weiterer wichtiger Faktor, um die Technologie in die breite Praxis zu bringen.

Sinclair beschreibt richtig, dass der Auftrieb der Glocke mit steigender Tiefe abnimmt, da das Luftvolumen in der Glocke komprimiert und damit kleiner wird. Diese Gewichtszunahme könne durch die Befestigung einer Reihe von hohlen Holzgefäßen oder luftgefüllten Blasen an der Glocke ausgeglichen werden.¹¹⁰² Dies war eine neue und intelligente Idee zur Erhöhung der Sicherheit, die bis dahin noch nicht vorgeschlagen wurde.

¹⁰⁹⁸ Anonymus, Reviewed Work: Georgii Sinclari Ars Nova & Magna Gravitatis et Levitatis, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 4 (1669) 1017-1018, 1017.

¹⁰⁹⁹ Siehe Georg Sinclair, A vindication of the preface of the book intituled *Ars nova et magna gravitatis et levitatis*, from the challenges and reflections of the publisher of the *Philosophical transactions of the Royal Society*, Edinburgh 1669.

¹¹⁰⁰ Craik, *The hydrostatical works*, 246.

¹¹⁰¹ Georg Sinclair, *The Hydrostaticks; or, The Weight, Force, and Pressure of fluid Bodies, made evident by Physical, and Sensible Experiments*, Edinburgh 1672, 154.

¹¹⁰² Sinclair, *The Hydrostaticks*, 163.

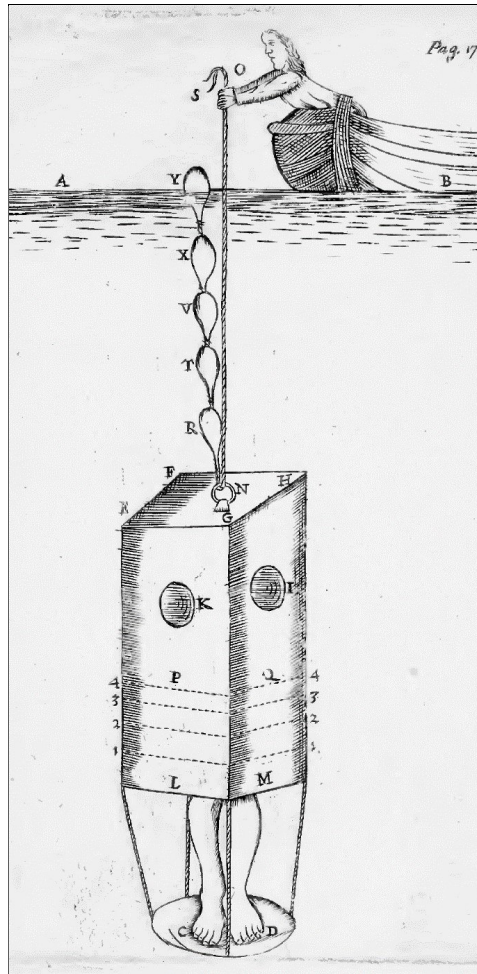


Abbildung 22: Taucherglocke „Diving Ark“ von Georg Sinclair (1672). Quelle: Georg Sinclair, *The Hydrostaticks*. Edinburgh 1672, 179.

Sinclair schlägt acht Experimente vor, die unter Wasser in der Taucherglocke durchgeführt werden können, und beschreibt sie im Detail: „In such a Vessel many trials might be made. As first, that of the Torricellian-Experiment“¹¹⁰³. Es handelt sich vorwiegend um Experimente, an denen man die Wirkung der komprimierten Luft in der Glocke erkennen kann, die Übertragung von Schall von der Oberfläche zur Glocke, sowie die Veränderung der Wassertemperatur mit der Tiefe. Die Beschreibung der Experimente und vor allem ihre detailliert aufgeführten, richtigen Ergebnisse lassen folgern, dass sie Sinclair selbst durchgeführt hat.

Über mehrere Buchseiten erstrecken sich mathematische Berechnungen, wie sich die Luftvolumina und das Glockengewicht mit der Tiefe verändern. Sinclair berechnet, dass ein Mensch in seiner Glocke in einer Tiefe von 10 Faden (ca. 18 Meter) bis zu zwei Stunden lang atmen könnte - was allerdings weit überhöht ist - und diskutiert die Gefahren für Gesundheit

¹¹⁰³ Sinclair, *The Hydrostaticks*, 173.

und Leben, die mit einem zu langen oder zu tiefen Tauchen verbunden sind. Als Ursache für die nach einer gewissen Zeit verbrauchte Luft in der Glocke sieht er schlechte Dämpfe an, die beim Ausatmen aus dem Magen des Tauchers kommen, weshalb er vor dem Tauchgang wenig essen und keinen Alkohol trinken soll. Er schlägt erneut die Möglichkeit vor, die Luft in der Glocke durch das Heruntersenden von Flaschen oder Blasen aufzufüllen: „Fresh Air might be sent down from above, in bottles or bladders, even as much as might fill up the place deserted by the contracted Air“¹¹⁰⁴. Er thematisiert aber nicht die Möglichkeit¹¹⁰⁵, kontinuierlich Luft durch einen Blasebalg und einen Schlauch von oben zuzuführen. Dies erfolgt erst in Sinclairs Buch *The Principles of Astronomy and Navigation* (1688) zum Füllen von Holzkästen mit Luft, um Wracks zur Oberfläche zu tragen.¹¹⁰⁶

Sinclairs würfelförmige Taucherglocke ermöglicht aufgrund des größeren Luftvolumens eine längere Aufenthaltsdauer als eine pyramidenförmige Glocke. Ihrer Geometrie mit geraden Seitenwänden ist aber nicht die optimale Form, denn die Steighöhe des Wassers ist abhängig von der geometrischen Form der Glocke. In einer Taucherglocke mit geraden Wänden steigt das Wasser bei gleicher Tiefe höher als in einer glockenförmigen Glocke (siehe Abbildung 11 auf S. 88). Sinclair ging es aber in erster Linie um die kostengünstige Produktion der Glocke für ihre weite Verbreitung. Aus diesem Blickwinkel betrachtet ist sein Vorschlag passend.

Sinclair markiert die jeweilige Steighöhe des Wassers in der Glocke in seiner Zeichnung für verschiedene Tiefen richtig. Daran, dass die Abstände zwischen den einzelnen Markierungen geringer werden, ist zu erkennen, dass er die richtige physikalische Fachkenntnis besaß, denn der Druck verdoppelt sich zwar auf den ersten zehn Metern (von 1 auf 2 bar), aber dann erst wieder bei 30 Meter Tiefe (von 2 auf 4 bar), so dass zwischen zehn und 30 Meter Tiefe das Wasser nicht mehr so schnell steigt wie auf den ersten zehn Meter. Taucht man von 30 Meter auf 40 Meter, dann erhöht sich zwar der Druck erneut um 1 bar (von 4 auf 5 bar), die prozentuale Druckzunahme ist nur noch 25%. Das Wasser steigt also in diesen 10 Metern nur noch ein Viertel so hoch, wie auf den ersten 10 Metern. Die ideale Form einer Taucherglocke würde folglich so aussehen, dass sie an ihrem unteren Rand eine breite, pyramidenartige Form hat, die dann etwa auf Kniehöhe in gerade Seitenwände weiterverläuft. Dadurch würde der Wasserspiegel auf den ersten 20 oder 30 Meter wenig steigen, und darüber hinaus auch ein

¹¹⁰⁴ Sinclair, *The Hydrostaticks*, 169.

¹¹⁰⁵ Papin, *Excerpta ex litteris*, 485-489, Fig. 2 u. 3 Tab. XI.

¹¹⁰⁶ Georg Sinclair, *The principles of astronomy and navigation, as also A New Proposal for Buoying up a Ship of any Burden from the Bottom of the Sea*, Edinburgh 1688, Postscript, 7.

größeres Sichtfeld nach unten bieten. Diese ideale Glockenform wurde Anfang des 19. Jahrhunderts eingeführt.

Bei der Berechnung der Steighöhe unterläuft Sinclair ein Denk- oder Druckfehler, wenn er schreibt, „a man might continue under the Water many hours, and yet not one part of his body wet; for if the Ark be 8 foot high, and the man 5 foot in stature, at the deepness of 10 fathom, the Water can scarce rise 3 foot in it“¹¹⁰⁷. Bereits in 10 Meter Tiefe verdoppelt sich der Druck und damit halbiert sich das Luftvolumen in der Glocke. Dann ist die Steighöhe bereits 4 foot, und in 10 fathom Tiefe (ca. 18 Meter und 2,8 bar Druck) ist sie 5,15 foot. Der Taucher steht also doch im Wasser. Das zugrundeliegende Boylesche Gesetz gibt er jedoch richtig wieder: „the more that the Air is bended, it is the more difficult to bend it; and consequently, that the diminution of the quantity, is according to unequal proportion“¹¹⁰⁸.

Ein weiterer Fehler unterläuft Sinclair in der Einschätzung, dass der Luftdruck im Inneren der Oberseite der Taucherglocke dem Umgebungsdruck des Wassers entspricht, und deshalb ein kleines Loch dort keine Luft hinaus oder Wasser hinein lässt.¹¹⁰⁹ Der Luftdruck im Inneren der Glocke ist größer als der Wasserdruck über der Oberseite, und diese Differenz ist abhängig von der Tauchtiefe und der Höhe der Glocke. Sinclair übersieht hierbei ebenfalls, dass Luft eine geringere Dichte hat als Wasser und alleine schon deshalb aufsteigt.

Diese Fehleinschätzung rührt möglicherweise daher, dass Sinclair seine Kenntnisse zum Luftdruck, die er aus seinen Torricelli Experimente hat, auch auf die Verhältnisse unter Wasser anwendet. Die Luft in einer Taucherglocke hat aber, anders als an der freien Oberfläche, im gesamten Innenraum den gleichen Druck, nämlich den auf der Höhe des Wasserspiegels geltenden Wasserdruck.

Sinclair schätzt allerdings richtig ein, dass der Druckunterschied an der Oberseite der Glocke nicht sehr groß ist - er wird mit zunehmender Tauchtiefe immer geringer - so dass ohne Risiko eine Glasscheibe an der Oberseite der Glocke angebracht werden kann: „If a man were curious, he might have a window not only in the sides, but in the roof above, covered with a piece of pure thin Glass, thorow which he might look up, after he is down two or three fathom, and see whether there appeared any alteration in the dimensions of the body of Sun or not, or seemed

¹¹⁰⁷ Sinclair, *The Hydrostaticks*, 172.

¹¹⁰⁸ Sinclair, *The Hydrostaticks*, 178.

¹¹⁰⁹ Sinclair, *The Hydrostaticks*, 177.

nearer“¹¹¹⁰. Diese Idee wurde zwei Jahrzehnte später von Edmond Halley in der Praxis umgesetzt.¹¹¹¹

Gegen Ende der fast 30 Buchseiten, die Sinclair seiner „Diving Ark“ genannten Taucherglocke gewidmet hat, sagt er: „As the Ark is a most useful device for profit, so 'tis excellent for pleasure and recreation, if a man were disposed to see the ground and channels of deep waters, or were inclined to find out hydrostatical conclusions, a knowledge very profitable, and what few have attained to“¹¹¹². Nach Mersenne, der 1634 ein Unterseeboot für die wissenschaftliche Erforschung des Meeresgrunds einsetzen wollte¹¹¹³, wird diese Aufgabenstellung hier erstmals explizit auch für Tauchglocken vorgeschlagen.

Auch der an der Universität Kiel lehrende Wissenschaftsphilosoph und Theologe Georg Pasch (1661-1707) erfasste diese neuen Möglichkeiten, vor Ort wissenschaftlich zu forschen, und vermerkte 1695 in seinem Lexikon über neue Erfindungen weitblickend: „Wir steigen aus der Luft nun in die Gewässer, wo sich herausragende Entdeckungen zeigen, über welche diese gegenwärtige Welt mit Recht triumphiert“¹¹¹⁴.

Henry Oldenburg attackiert auch dieses Werk von Sinclair in den *Philosophical Transactions of the Royal Society*, und bezeichnet seine Darlegungen als Alltagswissen.¹¹¹⁵ Sinclairs physikalische Beschreibungen zur Tauchphysik waren allerdings, trotz einiger Fehler, für ihr Zeitalter überragend, und zieht man in Betracht, dass Sinclair vermutlich auch selbst getaucht ist, und dabei wissenschaftlich gearbeitet hat, ist dies eine ganz besonders zu würdigende Leistung.

Sinclair war ein früher wissenschaftlicher Taucher und geht weit über die theoretischen Darstellungen von Taucherglocken seiner Zeitgenossen hinaus, wie etwa Caspar Schott in seiner *Technica curiosa, sive mirabilia artis* (1664).¹¹¹⁶ „The really scientific study of diving can be said to begin with Sinclair. It is the triumph of the *ars urinatoria*“ urteilen Pierre de Latil und Jean Rivoire.¹¹¹⁷ Phillips stuft Sinclairs Buch *Ars nova et magna gravitatis et levitatis* (1669) als „the most important book on the diving bell of the seventeenth century“¹¹¹⁸ ein, und

¹¹¹⁰ Sinclair, *The Hydrostaticks*, 177.

¹¹¹¹ Siehe hierzu Kapitel 5.3.

¹¹¹² Sinclair, *The Hydrostaticks*, 172.

¹¹¹³ Siehe Marin Mersenne, *Questions inouyes ou Récréation des sçavans*, Paris 1634, 86.

¹¹¹⁴ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Ex aere descendimus jam ad AQUAS, ubi non minus se offerunt inventa egregia, de quibus praesens hoc seculum merito triumphat“ in Pasch, *Schedisma de curiosis hujus seculi inventis*, 249-250.

¹¹¹⁵ Anonymus, *An Accompt of two Books*, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 8 (1673) 5197-6006, 6000.

¹¹¹⁶ Schott, *Technica curiosa*, Libri XII, 393-394.

¹¹¹⁷ De Latil / Rivoire, *Man and the Underwater World*, 138.

¹¹¹⁸ Phillips, *Diving and Underwater Technology*, 236.

Craig sieht die dortigen Darstellungen zur Taucherglocke als „the most complete and perceptive yet published in English“¹¹¹⁹. Das Buch wurde trotz seines Stellenwertes nie in eine andere Sprache übersetzt oder neu aufgelegt - möglicherweise haben Henry Oldenburgs Zerriss und eine kurz zuvor öffentlich ausgetragene Kontroverse hier ihre Wirkung entfaltet.

Alexander D. D. Craik fasst zusammen, „Sinclair’s exposition of hydrostatics, still then much misunderstood, stands comparison with those of his contemporaries Robert Boyle and John Wallis, and is in marked contrast to the philosophical speculations of several critics of Boyle’s interpretation of his famous air-pump experiments [...] Sinclair, rather more than Boyle, was concerned with practical applications, particularly the diving bell“¹¹²⁰.

Boyle kann als ein geschickterer Experimentator und Theoretiker als Sinclair bezeichnet werden, aber Sinclairs Ziel war es, von einem allgemeinen gebildeten Leser verstanden zu werden, der sowohl an der Wissenschaft der Hydrostatik als auch an praktischen Dingen wie Taucherglocken und Kohlebergwerken interessiert war.¹¹²¹ Neben einer praxisorientierten Darbietung verwende Sinclair eine der breiten Öffentlichkeit zugewandte Sprache bei der Darstellung seiner Forschungsergebnisse.

4.7.2 Kontroverse zu Sinclairs „Diving Ark“

Sinclairs Werk wurde nicht nur durch Henry Oldenburg, sondern auch durch schottische Wissenschaftler heftig angegriffen.¹¹²² Wie Sinclair im Postscript seines Buches *Hydrostatics* (1672) schreibt, sandte er vor dem Erscheinen im Dezember 1671 Manuskriptabschriften an einige Bekannte, „whom I judged would encourage it [and] in whose kindness I had confidence, and whom I judge my real friends [...] but instead of a kindly return from them, [...] they superciliously condemn the purposes of this Book, before ever they had seen them“¹¹²³.

Sinclair druckte im Anhang des Buches *Hydrostaticks* mehrere dieser harschen Schreiben, die wahrscheinlich von William Sanders, dem Leiter des St. Leonards College an der Universität St. Andrews und dem an der Universität lehrenden Mathematiker und Astronom James Gregory (1638-1675) verfasst wurde, ab. Darin ist unter anderem zu lesen, die

¹¹¹⁹ Craig, *The hydrostatical works*, 258.

¹¹²⁰ Craik, *The hydrostatical works*, 261.

¹¹²¹ Craik, *The hydrostatical works*, 262.

¹¹²² Craik, *The hydrostatical works*, 239.

¹¹²³ Sinclair, *The Hydrostaticks*, 305.

Hydrostatik wäre „Science long ago perfected“¹¹²⁴, und es gäbe keine bessere Taucherglocke als die von James Maule. Sinclair möge die Universität St. Andrews mit „abstruse Theorems and surprizing Experiments“¹¹²⁵ verschonen, und keine Exemplare des fertigen Buches dorthin senden.

Einige weitere, immer hitziger werdende Schriftwechsel folgten, und schließlich wurde Sinclairs Buch von einem „Patrick Mathers“, dem „Arch-Bedal to the University of S. Andrews“ subskribiert, was eine besondere Herabwürdigung darstellte. Als Bedel oder Beadal war ein niedriger, ungelernter Bediensteter bezeichnet, vergleichbar einem Hausmeister der Universität. Subskribenten eines Buches wurden oft im Anhang in einer Liste genannt, auch um den Wert des Werkes anhand möglichst angesehenen Vorbesteller und damit ihrer Reputation zu demonstrieren.

Sanders und Gregory gaben sich nicht mit Schriftwechsel zufrieden, sondern publizierten unter dem Pseudonym „Patrick Mathers“ noch im gleichen Jahr die Schmähchrift *The great and new art of weighing vanity: A discovery of the ignorance and arrogance of the great and new artist, in his pseudo-philosophical writings* (1672). Der Titel ist eine Parodie auf das Buch *Ars nova et magna gravitatis et levitatis* (1669) von Sinclair. Als sein Hauptautor gilt Gregory. In einem an den damaligen Sekretär der Royal Society und Mathematiker John Collins (1625-1683) gerichteten Schreiben berichtet Gregory von seinem Buchvorhaben, und erbittet Informationen, die gegen Sinclair verwendet werden können. „We resolve to make excellent sport with him“¹¹²⁶, so Gregory zu Collins. Gregory war seit 1668 Mitglied der Royal Society, und betrachtete seine Kontroverse mit Sinclair nicht nur unter dem fachlichen Gesichtspunkt, sondern auch als eine gute Gelegenheit zur Zerstreung.

In der Schrift voller Polemik von Sanders und Gregory wird, nach einer langen Kommentierung des von Sinclair abgedruckten Schriftwechsels, Sinclairs Buch *Hydrostaticks* (1672) auf 23 Buchseiten besprochen, und dann sein Werk *Ars nova et magna gravitatis et levitatis* (1669) auf 33 Buchseiten beleuchtet. Am Ende der Schrift wird eine Abhandlung über die Bewegung von Pendeln und Projektile beigelegt. Diese Erstveröffentlichung stammte von Gregory und sollte vermutlich die wissenschaftliche Kompetenz des Autors belegen. Die einzelnen Abschnitte sind in Englisch oder Latein abgefasst, passend zu den Sprachen der jeweiligen Werke Sinclairs.

¹¹²⁴ Sinclair, *The Hydrostaticks*, 305.

¹¹²⁵ Sinclair, *The Hydrostaticks*, 306.

¹¹²⁶ James Gregory, *Tercentenary Memorial Volume*, Edinburgh 1939, 239.

Mit emotionaler Sprache wird zunächst die Besorgnis über die vermeidlich fehlerhaften Werke Sinclairs zum Ausdruck gebracht: „I see my bountiful Mother, this ancient and famous University, and all her beautiful Daughters, the other Universities of this Kingdom, in hazard to be murdered by one of their unnatural children“¹¹²⁷.

Sinclair hatte im Vorwort seines Buches *The Hydrostaticks* das Problem angesprochen, versunkene Gegenstände vom Meeresboden zu heben, aber die Lösungen dazu nicht publiziert. Sanders und Gregory sehen darin kein wirkliches Problem, sondern erläutern gleich drei Methoden, mit denen dies möglich wäre.¹¹²⁸ Die erste ist die Verwendung eines Luftbehälters, die zweite ist ein sogenannten Gezeitenlift unter Verwendung einer Anzahl von Fässern mit Luft unter Ausnutzung der Flut, die der ersten Methode vorzuziehen wäre. Die Fässer sollen bei Ebbe an dem zu hebenden Gegenstand befestigt werden, und die Flut hebt die Fässer mit dem Gegenstand an, so dass er abtransportiert werden kann. Die dritte Methode ist das archimedische Verfahren, das zu hebende Objekt an mit Ballast gefüllten Schiffen festzuzurren, und anschließend den Ballast zu entladen, so dass sich die Schiffe mit dem Gegenstand anheben. Wie die Hebeseile an dem Wrack befestigt werden sollen, wird allerdings nicht erläutert.

Der Kritik an Sinclairs Taucherglocke widmen Sanders und Gregory ein eigenes Kapitel: „There is nothing in which our Author is more mistaken, then in his Diving Ark; for in all his discourse, he not only contradicts himself, (which is ordinar, and no great matter) but also the general doctrine of the Hydrostaticks“¹¹²⁹. Anschließend wird sehr detailliert und richtig dargelegt, dass nicht, wie von Sinclair beschrieben, an der Glockenoberseite der gleiche Druck innen in der Glocke und außen im Wasser herrscht, sondern die Höhe der Glockendecke zum Wasserspiegel in der Glocke den Unterschied ausmacht. Folgerichtig kommen sie zu dem Schluss, dass dieser Druckunterschied auf den ersten Metern in die Tiefe am größten ist, und er dann abnimmt, entsprechend der sich immer mehr verkürzenden Luftsäule in der Glocke. Aufgrund dieser Druckunterschiede an der Glockenoberseite könne auch, so die Autoren, dort kein Fenster aus dünnem Glas eingebaut werden. Dies ist eine nur bedingt richtige Aussage, denn wenn das Glas und die Dichtung stark genug sind, ist der Einbau eines Dachfensters möglich. Der Druckunterschied zwischen den beiden Seiten des Glases ist kaum mehr als maximal 0,2 bar.

¹¹²⁷ Patrick Mathers [Pseud. James Gregory], *The great and new art of weighing vanity: A discovery of the ignorance and arrogance of the great and new artist, in his pseudo-philosophical writings*, Glasgow 1672, 3.

¹¹²⁸ Siehe Mathers, *The great and new art*, 24-28.

¹¹²⁹ Siehe Mathers, *The great and new art*, 47-48.

Am Ende ihrer Ausführungen zur Diving Ark wird Sinclair als Theoretiker, der sich zu Unrecht praktischer Kenntnisse rühmt, herabgewürdigt: „Are these the great matters, which our practical Mathematicians invent, whilst others are nibbling at petty Demonstrations?“¹¹³⁰ Insgesamt haben Sanders und Gregory aber, anders als in ihrer Ankündigung, nur diesen einen fachlichen Kritikpunkt an Sinclairs Diving Ark.

In Bezug auf die Tauchtechnologie ist das Wissen von Sanders und Gregory lückenhaft. In einem von ihnen abgedruckten Brief an Sinclair gehen sie auf die Luftversorgung des Tauchers in der Glocke ein.¹¹³¹ Sie kennen neben der herkömmlichen Taucherglocke mit endlichem Luftvolumen nur die Verbindung der Taucherglocke mit einem Luftschlauch an die Oberfläche, was zu einem Barotrauma führen würde. Für den letztgenannten Fall raten sie Sinclair richtig, er „must also have some Chirurgical invention to apply to your Dyver at his return, if he go to any great deepness“¹¹³². Die Versorgung einer Taucherglocke mit einzelnen, von oben herabgesandten Luftbehältern, oder ein Herabpumpen von Luft mit Blasebalg ist ihnen offenbar unbekannt.

Warum Sanders und vor allem Gregory diese große Härte und Abneigung gegen Sinclair zeigten, lässt sich aus heutiger Sicht kaum beurteilen. Gregory scheint von seinem Naturell her sehr streitbar gewesen zu sein, denn es wird auch von langwierigen Streitigkeiten mit Kollegen und der Universitätsleitung in St. Andrews berichtet. Möglicherweise war Gregorys Kontroverse mit Sinclair die bewusste oder unbewusste Übertragung einer traumatischen Erfahrung, da Gregory 1668 etwas vergleichbar Negatives widerfuhr. Er hatte dem niederländischen Astronom und Mathematiker Christiaan Huygens (1629-1695), der auch der aktuelle Direktor der Académie royale des sciences de l'Institut de France war, eine Kopie seines Werkes *Vera Circuli et Hyperbolae Quadratura* (1667) mit mathematischen Berechnungen zum Kreis und der Hyperbel zugesandt, und dieser hatte daraufhin eine Kritik veröffentlicht, in der er Gregorys Überlegungen als falsch bezeichnet, vorhandene Fehler in seinem Werk aufdeckt, vor allem aber - wie man heute weiß zu Unrecht - behauptet, dass Gregory einige Überlegungen von ihm plagiiert habe.¹¹³³

Der Physiker John Leslie (1766-1832) schrieb über Sanders und Gregorys Pamphlet: „It is painful to observe, that James Gregory [...] who, although endowed with talents of the highest

¹¹³⁰ Mathers, *The great and new art*, 49.

¹¹³¹ Mathers, *The great and new art*, 6-7.

¹¹³² Mathers, *The great and new art*, 7.

¹¹³³ Siehe Christoph J. Scriba, *Gregory's Converging Double Sequence. A new Look at the Controversy between Huygens and Gregory over the „Analytical“ Quadrature of the Circle*, in: *Historia Mathematica* 10 (1983) 274-285.

order, yet appears to have had a keen temper, and to have imbibed an hereditary attachment to royalism and episcopacy, should have stooped to attack an unoffending and less fortunate rival“¹¹³⁴. Seine Schmähchrift wäre „a piece full of low scurrility, and memorable only for a very short Latin paper appended to it“¹¹³⁵.

1688 erschien unter dem Titel *The principles of astronomy and navigation* ein drittes Buch von Sinclair, das sich auch mit Tauchen beschäftigt. Im Anhang geht es, möglicherweise auch inspiriert durch den Erfolg von William Phips Anfang 1687, vor allem um Verfahren zur Bergung von gesunkenen Schiffen.¹¹³⁶

Wie Sinclair schreibt, habe er vor einigen Jahren „to try the Invention and Wit of some National Men“¹¹³⁷ die Rätselaufgabe gestellt, „how to make an vessel sail below the water“¹¹³⁸. Obwohl sich einige Personen daran versucht haben, hätte niemand die Lösung dazu gefunden.

Sinclair beschreibt zunächst die verschiedenen Ansätze und Methoden, die bei den Bergungsarbeiten an der Galeone in Tobermory eingesetzt wurden. Nachdem er die physikalischen Grundlagen zum Auftrieb von Gegenständen im Wasser erläutert hat, macht er Vorschläge, wie man mit Hilfe von luftgefüllten Holzkästen, die er in Anlehnung an seine Taucherglocke „Arks of Wood“¹¹³⁹ nennt, ein Wrack heben kann. Die unten offenen Holzkästen sollen an dem Wrack durch Taucher befestigt werden, und könnten über drei verschiedene Methoden mit Luft gefüllt werden. Die erste Methode, die er anführt, erfolgt nach der Methode von Hooke durch Herabsenden einer Reihe von Fässer, deren Luft nacheinander in die Kästen überströmen gelassen wird, bis sie voll sind. „This is so shure an Experiment, that none needs to call it in question“¹¹⁴⁰, so Sinclair. Man könne aber auch durch einen ledernen Luftschauch mit Blasebälge von der Oberfläche aus, oder durch einzelne, luftgefüllte Blasen, die in die Holzkästen eingelegt werden, Auftrieb und damit ausreichend Zugkraft der Holzkästen erzeugen. Der Vergleich mit „Segeln“ („sail“) in der Rätselaufgabe ergibt sich daher, dass das Wrack auch hier durch Luft („Wind“) unter Wasser vertikal bewegt wird.

Die Berechnung der erforderlichen Größe der Holzkästen sei „the great secret“¹¹⁴¹ dieser Bergemethode, so Sinclair. Diese Vorgehensweise präsentiert er anschließend über mehrere

¹¹³⁴ John Leslie, Barometrical Measurements, in: Encyclopaedia Britannica, Supplement to the fourth, fifth and sixth editions, Vol. II, Edinburgh 1824, 130-136, 130.

¹¹³⁵ Leslie, Barometrical Measurements, 130.

¹¹³⁶ Siehe Sinclair, *The principles of astronomy and navigation*, Postscript, 1-14.

¹¹³⁷ Sinclair, *The principles of astronomy and navigation*, Postscript, 1.

¹¹³⁸ Sinclair, *The principles of astronomy and navigation*, Postscript, 1.

¹¹³⁹ Sinclair, *The principles of astronomy and navigation*, Postscript, 5.

¹¹⁴⁰ Sinclair, *The principles of astronomy and navigation*, Postscript, 7.

¹¹⁴¹ Sinclair, *The principles of astronomy and navigation*, Postscript, 10.

Buchseiten hinweg. Man müsse nur das Gesamtgewicht nichtschwimmender Gegenstände wie Anker, Kanonen und Nägel ermitteln, um daraus den notwendigen Auftrieb zu berechnen. Das Holz des Schiffes könne unberücksichtigt bleiben, dass es von sich aus schwimmen würde. Dieser Gedanke war richtig.

Anschließend korrigierte Sinclair die in seinem Buch *Hydrostaticks* (1672) gemachte und von Sanders und Gregory aufgedeckte Fehlannahme, es gäbe keinen Druckunterschied an der Taucherglockenoberseite: „From this unequal pressure, which the top of the Ark suffers, it follows of necessity, that if there be any Rift, or Leck in it, the whole Air will go out by degrees, and so render the Ark useless.“¹¹⁴² Damit zeigt Sinclair, dass Gregorys Schmähchrift trotz aller Polemik einen Lerneffekt bei ihm bewirkt hatte.

4.8 Wissenschaftliche Rezeptionen

Neben Boyle und Hooke in England und Sinclair in Schottland ist im Heiligen Römischen Reich in diesem Zeitraum ein weiterer Naturphilosoph hervorzuheben, der die experimentelle Methode verwendete und sich intensiv mit den pneumatischen Phänomenen der Taucherglocke beschäftigte: der Mathematiker, Naturphilosoph und Theologe Johann Christoph Sturm (1635-1703) von der Universität Altdorf bei Nürnberg. Sturm wird als der „beste Kenner [der Tauchtechnik] jener Zeit“ bezeichnet.¹¹⁴³

Sturms Ziel war es, die bemerkenswertesten wissenschaftlichen Experimente der damaligen Zeit aufzuzeigen und die dabei auftretenden Phänomene zu erklären. Dadurch verbreitete Sturm das neue naturkundliche Wissen und viele neue Entdeckungen, die bis dahin gemacht worden sind. Sturms Werk *Collegium Experimentale, Sive Curiosum* (1676) war auch das erste Lehrbuch zur Funktionsweise der Taucherglocke in Deutschland, allerdings noch in lateinischer Sprache.¹¹⁴⁴

Sturms war einer der ersten experimentellen Physiker, der gleichzeitig auch als Wissenschaftskommunikator bezeichnet werden kann. Seine Ausführungen haben ein großes Publikum erreicht, und er war weithin in Wissenschaftskreisen bekannt und anerkannt. Dass sein wissenschaftlicher Ruf hoch gewesen war erkennt man daran, dass die Royal Society 1684,

¹¹⁴² Sinclair, *The principles of astronomy and navigation*, Postscript, 12.

¹¹⁴³ Heller / Mager / Schrötter, *Luftdruckerkrankungen*, 17.

¹¹⁴⁴ Siehe Johann Christoph Sturm, *Collegium Experimentale, Sive Curiosum*, 2 Bd., Nürnberg 1676/1685.

noch zu Sturms Lebzeiten, ein großes Porträtbild von ihm - wahrscheinlich als das erste eines deutschen Gelehrten überhaupt - in ihren Räumen aushing.¹¹⁴⁵

Sturm korrespondierte ausgiebig mit Mitgliedern der Royal Society, wie dem Mathematiker John Wallis (1616-1703), Robert Hooke und Robert Boyle. Sturm war ein bekennder Bewunderer von Boyle und verteidigte ihn 1698 in der *Acta Eruditorum* im Rahmen einer Debatte mit Gottfried Wilhelm Leibniz¹¹⁴⁶ (1646-1716). Es gibt bemerkenswerte Ähnlichkeiten zwischen Sturms Philosophie und den Ideen von Robert Boyle.¹¹⁴⁷ Beide teilten eine ähnliche Abneigung gegen spekulative Argumente, die nicht durch experimentelle Beweise verifiziert werden konnten. Was nicht verifiziert werden konnte, gehörte zu einer Kategorie von Wissen, die Boyle oft als „metaphysical“¹¹⁴⁸ bezeichnete.

Sturm war eine der wenigen Personen, die Sinclairs Ausführungen zur Taucherglocke nicht kritisierten.¹¹⁴⁹ Im ersten Teil seines Werks *Collegium Experimentale, Sive Curiosum* (1676) beschreibt er Sinclairs Experimente und Taucherglocke lobend und ausführlich.¹¹⁵⁰

Sturm gibt Einzelheiten zu den wichtigen Aspekten von Sinclairs Glocke wieder und berichtet dann von der Herstellung eines verkleinerten Modells für Experimente (Abbildung 23 und Abbildung 24). Aus Experimenten, die er mit dem Modell durchgeführt hat, zieht er Rückschlüsse auf den Druck von Luft und Wasser. Er erkennt richtig, dass je tiefer ein Objekt eingetaucht ist, desto mehr Wasser lastet auf ihm. Ebenso, dass die Luft nicht unter dem Rand der Glocke austreten kann, weil sie leichter ist als das Wasser, und das Wasser nicht in die Glocke eindringen kann, weil die Luft nicht austreten kann. Außerdem steigt das Wasser mit zunehmender Tiefe in der Glocke, weil die Luft in ihr komprimiert wird.¹¹⁵¹

¹¹⁴⁵ Johann Christoph Sturm, Biografie mit Werksverzeichnis, in: Johann Heinrich Zedler: Grosses vollständiges Universal-Lexicon Aller Wissenschaften und Künste, Band 40, Leipzig 1744, 1417–1424, 1423.

¹¹⁴⁶ Gottfried Wilhelm Leibniz, On Nature Itself, or on the Inherent Force and Actions of Created Things (1698), in: Leroy E. Loemker (Hg), Philosophical Papers and Letters. The New Synthese Historical Library, Dordrecht 1989, 498-508, 498.

¹¹⁴⁷ Heribert M. Nobis, Die Bedeutung der Leibnizschrift „De ipsa natura“ im Lichte ihrer begriffsgeschichtlichen Voraussetzungen, in: Zeitschrift für Philosophische Forschung 20 (1966) 525-538, 526.

¹¹⁴⁸ Boyle, New Experiments Physico-Mechanical, 38.

¹¹⁴⁹ Alexander D. D. Craik, George Sinclair's neglected Treatises: some influences and reactions, in: British Journal for the History of Mathematics 35 (2020) 43-51, 45.

¹¹⁵⁰ Sturm, Collegium Experimentale, Pars Prima, 1-6.

¹¹⁵¹ Sturm, Collegium Experimentale, Pars Prima, 1-6.



Abbildung 23 (links): Skizze eines Glasmodells einer Taucherglocke mit Figur von Johann Christoph Sturm. Quelle : Johann Christoph Sturm, *Collegium Experimentale Sive Curiosum Pars 1*, Nürnberg 1676, 3, Fig 11.

Abbildung 24 (rechts): Glastaucherglocke (Höhe 14 cm) mit Zinnfigur aus der Sammlung der Universität Academia Ernestina in Rinteln (Niedersachsen). Vermutlich hielt die Figur im Experiment eine kleine brennende Kerze in der rechten Hand. Quelle: Museum Eulenburg Rinteln.

Ist die Luft in der Glocke verbraucht, so soll frische Luft von oben in Glasbehälter nach unten geschickt werden: „Weil nach einem bemerkenswerten Zeitraum jene sehr geringe Luftmenge innerhalb der Glocke entweicht, ziemlich ungeeignet zum Atemholen, könne sie selbst gleich darauf dennoch und leicht aus gläsernen und steinernen Ampullen wiederaufgefüllt werden, nachdem diese zur Luftkugel der Glocke hinabgelassen und dort zurückgebracht worden sind“¹¹⁵². Im Supplement des Buches *Collegium Experimentale, Sive Curiosum* geht er erneut darauf ein, wie einfach dieses Verfahren ist: „Aber auch an dieser Stelle muss angemerkt werden, dass es, wenn die Glocke etwas breiter gewesen wäre, nicht schwierig gewesen wäre, Luft in einigen kleinen Gefäßen durch das Wasser hinunterzuschicken und diese unter der

¹¹⁵² Eigene Übersetzung vom Originaltext „Cum pauculus ille intra campanam aer post notabile temporis spatium evadat ineptior ad respirandum subinde tamen ac facile suppleri ipsum posse e vitreis aut lapideis ampullis ad campanae sphaeram aeream demissis ibique referatis“ in Sturm, *Collegium Experimentale, Pars Prima*, 3.

Glocke zu öffnen“¹¹⁵³. Nach Hooke, der sie 1663 der Royal Society vorstellte, und Sinclair, der diese Methode 1669 und 1672 publizierte, erscheint sie damit bei Sturm 1676 ein weiteres Mal.

Trotz seiner vielen Kenntnisse ist Sturm der irrigen Ansicht, dass ein in Wasser getauchtes Objekt von einer Wassersäule direkt unter dem Objekt getragen wird, und das umgebende Wasser dieser Wassersäule Platz machen muss, damit das Objekt absinkt. Dies wäre auch der Grund, weshalb es so schwer wäre, ein umgedrehtes Glas unter Wasser zu drücken. Sturm erkennt hier das Pascalsche Gesetz der allseitigen Druckausbreitung, obwohl es bereits 13 Jahre zuvor publiziert wurde.¹¹⁵⁴

Sturms Werk wurde 1675 in den *Philosophical Transactions of the Royal Society*¹¹⁵⁵ und 1678 im *Journal des Sçavans*¹¹⁵⁶ vorgestellt. Die Vorstellung im französischen Journal veranlasste den Mediziner und Professor am Collegium in Lyon, Jean-Baptiste Panthot (1640-1707), einen Leserbrief einzusenden.¹¹⁵⁷ Darin äußert er die Befürchtung, dass die Frischluft aus den Glasgefäßen, sobald sie mit der verbrauchten Luft in der Glocke gemischt wird, ebenso verdorben wird, und nicht umgekehrt die verdorbene Luft in der Glocke auffrischt. Panthot schildert auch seine etwa 20 Jahre zuvor gemachten Beobachtungen beim Einsatz einer großen Taucherglocke anlässlich Bergungsarbeiten vor Cadaqués (Gerona) in Spanien. Die Holzglocke war zwischen zwei Booten aufgehängt. Panthot schließt seinen kurzen Bericht mit der bereits bekannten Beobachtung, dass Geräusche von der Oberfläche zwar in der Glocke gehört werden können, eine Ton-Wahrnehmung aber nicht umgekehrt stattfindet. Man habe bei einem Experiment in der Glocke ein Jagdhorn so laut und kräftig geblasen, dass der Taucher fast ohnmächtig wurde. Trotzdem war an der Oberfläche nichts zu hören.¹¹⁵⁸

Sturm kommentiert 1685 im zweiten Teil seines Werkes diesen Leserbrief und widerspricht die Ansicht von Panthot.¹¹⁵⁹ Ebenso behandelt er erneut das Problem des aufsteigenden Wassers in der Glocke und weist auf Sinclairs Lösung hin, Frischluft in Blasen oder Flaschen nach unten zu schicken: „...hatten wir mit Sinclair erklärt, dass die Abhilfe darin bestehen könnte, dem

¹¹⁵³ Eigene Übersetzung vom Originaltext, „Est autem hoc loco illud quoque notandum, siseric Campana vitrea paulo amlior, non difficulter aërem intra quaedam vascula per aquas demitti, ibidemque, reclusis hisce sub Campana“ in Johann Christoph Sturm, *Tentaminum Collegii Curiosi Quaedam Appendices sive Auctaria*, Nürnberg 1676, 8.

¹¹⁵⁴ Pascal, *Traitez de l'équilibre*, 20-21.

¹¹⁵⁵ Anonymus, Review: An Account of Collegium Experimentale Sive Curiosum, Johannes Christophorus Sturm, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 10 (1675) 509-512.

¹¹⁵⁶ Anonymus, Présentation du livre Collegium Experimentale Sive Curiosum, in: *Journal des sçavans* 14 (1678) 36-43.

¹¹⁵⁷ Panthot, *Extrait d'une lettre*, 137-140.

¹¹⁵⁸ Panthot, *Extrait d'une lettre*, 139.

¹¹⁵⁹ Siehe Johann Christoph Sturm, *Collegium Experimentale, Sive Curiosum. Pars Secunda*, Nürnberg 1685, 1-10.

Taucher neue, frische Luft in Blasen und Ampullen zuzuführen, und der Luftkugel in der Glocke hinzugefügt wird“¹¹⁶⁰.

Sturm stellt richtig fest, dass die neue Luft unten in der Glocke im gleichen Maße komprimiert wird wie die in der Glocke, dass die neue Luft aber das Gesamtvolumen der Luft in der Glocke vergrößert und sie auffrischt. Das Problem von Rissen oder Löchern in der Glocke, das bereits Sinclair angesprochen hat, wird von Sturm durch die Herstellung eines Glockenmodells mit einem kleinen Loch in der Glocke getestet, worauf Sturm das Problem als nicht brisant erachtet. Hier ist anzumerken, dass ein Vergleich zwischen einem Modell und der Originalgröße nicht zulässig ist, denn der Druckunterschied an der Öffnung in der Decke ist bei einem Modell wesentlich geringer als an dem Original. Für das Phänomen, dass der Schall von der Oberfläche in der Glocke hörbar ist, aber nicht umgekehrt kann, findet Sturm keine schlüssige Erklärung.

Sturm berichtet von einem Experiment, bei dem mehrere tierische und pflanzliche Lebensmittel eine Woche lang in eine Glocke unter Wasser mit leicht erhöhtem Luftdruck gelagert werden, und sie offenbar besser erhalten blieben, als ähnliche Objekte im Freien, die schneller faulen.¹¹⁶¹ Auch dieses zweite Werk von Sturm wurde in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* besprochen.¹¹⁶²

Neben Sturm wurde die Taucherglockentechnologie auch von anderen Gelehrten rezipiert, und zwar insbesondere von Medizinern. Tauchen hielt damit auch Einzug in die medizinische Forschung. 1677 beschäftigte sich der Arzt Johann Conrad Glaser unter dem Vorsitz des Leipziger Professors Gottlob Friedrich Seligmann (1654-1707) in seiner Dissertation mit dem Glockentauchen.¹¹⁶³ Die zehnsseitige Abhandlung in lateinischer Sprache ist weltweit die erste, die sich eingehend mit den Phänomenen beim Tauchen aus medizinischer Sicht beschäftigt.¹¹⁶⁴ Sie ist ebenso das erste Werk, das seit der Publikation *Regola generale* von Tartaglia 1551 das Tauchen als eigenständige Problematik in einer Monographie behandelt.

Viele Angaben sind hauptsächlich von Caspar Schott (*Technica Curiosa*, 1664), George Sinclair (*Ars nova et magna gravitatis et levitatis*, 1669) und Johann Christoph Sturm (*Collegium experimentale*, 1676) übernommen, aber es wird auch auf eine große Anzahl

¹¹⁶⁰ Eigene Übersetzung vom Originaltext „... credideramus cum Sinclaro, remedio hic esse posse novum ac recentem aerem intra vesicas & ampullas Urinatori submittendum sphaeraeque aerea, quae intra campanam est, superaddendum“ in Sturm, *Collegium Experimentale*, Pars secunda, 1.

¹¹⁶¹ Sturm, *Collegium Experimentale*, Pars secunda, 7.

¹¹⁶² Anonymus, Review: Account of Collegii Experimentalis, sive Curiosissimi, pars Secunda by Jo. Christ. Sturmium, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 15 (1685) 1184-1186.

¹¹⁶³ Siehe Gottlob Friedrich Seligmann / Johann Conrad Glaser, *De Campana urinatoria*, Leipzig 1677.

¹¹⁶⁴ Michael Jung, Die Entwicklung der Tauchtechnik in Deutschland bis zum 20. Jahrhundert, *Merzig* 2000, 14.

anderer Autoren verwiesen. Glaser merkt an, dass man in dem Fall, dass die Luft in der Glocke unatembare geworden ist, frische Luft mit von ihm so wie auch von Sturm als „Ampullen“ bezeichnete Gefäße nach unten gesendet werden kann.¹¹⁶⁵ Hookes Methode, mit der möglicherweise auch bereits die Tauchgruppe von Treileben in Schweden gearbeitet hatte, war inzwischen nicht nur in Schweden, England und Schottland sondern auch in Deutschland bekannt geworden.

Eine 1675 von dem im Fürstentum Breslau praktizierenden Mediziner Gottfried Schubart (1634-1691) eingereichte medizinische Abhandlung über das Ertrinken, die 1677 in den von der Academia Imperialis Leopoldina Naturae Curiosorum herausgegebenen *Miscellanea curiosa medico-physica* erschien, beschäftigt sich unter anderem auch mit Apnoetauchern aus medizinischer Sicht, geht aber nicht auf Taucherglocken ein.¹¹⁶⁶

In seiner 1727 an der medizinischen Fakultät der damals noch von den Jesuiten geleiteten Universitas Carolino-Ferdinanda in Prag abgefassten Dissertation über die medizinischen Ursachen des Ertrinkungstodes und mögliche Wiederbelebungsmaßnahmen befasst sich Petrus Paulus Helffer in einem eigenen Kapitel ausführlich mit dem Tauchen in Apnoe und in Taucherglocken, sowie den Möglichkeiten und Risiken Druckluft zu atmen.¹¹⁶⁷ Helffer schließt in seiner Zusammenfassung richtig die bei vielen Zeitgenossen gängige medizinische Erklärung, dass manche Menschen wegen eines nicht geschlossenen Foramen ovale im Herz länger als andere den Atem unter Wasser anhalten können, aus.¹¹⁶⁸ Er bezieht sich, wie bereits Seligmann, in vielen seiner Aussagen auf die Forschungen von Joel Langelott (1617-1680), Arzt und Alchemist am Hofe Herzog Friedrich III. von Schleswig-Holstein-Gottorf (1597-1659), einem Förderer von Wissenschaft, Kunst und Kultur.

In der Folgezeit wurde die Taucherglocke und die „artis urinariae“¹¹⁶⁹ zunehmend Gegenstand wissenschaftlicher Abhandlungen, wie etwa 1743 in der physikalischen Dissertation von Karl Prohasca.¹¹⁷⁰ Betreut wurde sie von dem schottischen Benediktinermönch Andreas Gordon (1712-1751), der ab 1737 Professor für Philosophie und

¹¹⁶⁵ „facile ampullis ad campanae sphaeram demissis, ibique reseratis supplebitur“ in Seligmann / Glaser, *De Campana urinaria*, Kapitel II Absatz IV, o. S..

¹¹⁶⁶ Siehe Godofredi Schubarti, *Aqua submersis*, in: *Miscellanea curiosa medico-physica anni 1675 & 1676* 6-7 (1677) 104-107.

¹¹⁶⁷ Petrus Paulus Helffer, *Disquisitio inauguralis physico medico-legalis, de submersorum morte*, Prag 1727, 92-124.

¹¹⁶⁸ Helffer, *Disquisitio inauguralis physico medico-legalis*, 124.

¹¹⁶⁹ Johann Nicolaus Frobes, *Magni Pegelii, Erh. Hoffmanni, Simonis Mencii et Francisci Parcovii, primorum academiae Iuliae mathematicorum memoriae*, Helmstädt 1746, 16.

¹¹⁷⁰ Siehe Carolus Prohasca, *Dissertatio Physica de Campana urinaria, quam un a cum pareergis ey universa Philosophia depromptis*, Erfurt 1743.

Experimentalphysik an der Universität Erfurt und war. Als Quellen verwendet Prohaska vorwiegend George Sinclairs *Ars nova et magna gravitatis et levitatis* und die Publikationen von Edmund Halley.

Nicolaus Landerbeck berechnete 1763 in seiner an der Universität Uppsala abgefassten Dissertation den Verlauf der Steighöhe des Wassers in einer Taucherglocke mit zunehmender Tiefe, und führte sie auf eine mathematische Gesetzmäßigkeit zurück.¹¹⁷¹ Damit waren die wesentlichen physikalischen Fragen zur Technologie von Taucherglocken auf mathematischer Basis beschrieben.

4.9 Denis Papins „instrumentis ad flammam sub aqua“

Neben Robert Hooke beschäftigte sich ein weiterer Assistent von Robert Boyle und Mitglied der Royal Society mit der Frage, wie Menschen länger tauchen können, und wie die Luft in einer Taucherglocke erneuert werden kann: Der Franzose Denis Papin (1647-1712?) war zunächst ab 1671 Assistent von Christiaan Huygens in Paris. Dort arbeiteten sie an der Verbesserung der Luftpumpe, führten Vakuum-Experimente mit ihr durch und entwickelten einer Vorstufe der Dampfmaschine.¹¹⁷² Eine weitere wichtige Entwicklung Papins war der Dampfkochtopf.¹¹⁷³ In Paris lernte Papin Gottfried Wilhelm Leibniz kennen, mit dem er bis zu seinem Tod im regen Briefwechsel stand.

Anfang 1675 zog Papin nach London und wurde Mitarbeiter von Robert Boyle. Auch hier unterstützte er bei Publikationen und pneumatischen Experimenten. Sie unterschieden sich anfänglich wenig von denen, die er bereits in Paris für Huygens durchführte. Der Schwerpunkt der Luftpumpenexperimente von Papin bezog sich auf Fragen zur Atmung und der Geschwindigkeit der Verwesung von Lebensmitteln im Vakuum.¹¹⁷⁴ 1680 wurde Papin auf Vorschlag von Robert Boyle zum Mitglied der Royal Society ernannt.

Zwei Erfindungen von Papin, und zwar eine zweizylindrige Luftpumpe, und ein „Windbüchse“ genanntes Luftgewehr, fallen in seine Assistentenjahre bei Robert Boyle.¹¹⁷⁵ Die

¹¹⁷¹ Siehe Nicolaus Landerbeck, *Dissertatio physica de campana urinatoria*, Uppsala 1763.

¹¹⁷² Siehe Helmuth Schneider, *Zur Archäologie der Dampfmaschine: Heron von Alexandria*, in: Helmuth Schneider / Frank Tönsmann (Hg.), *Denis Papin. Erfinder und Naturforscher in Hessen Kassel*, Kassel 2009, 14-32.

¹¹⁷³ Denis Papin, *A New Digester or Engine for Softening Bones*, Paris 1681.

¹¹⁷⁴ Siehe Schimkat, *Denis Papin und die Luftpumpe*, 55.

¹¹⁷⁵ Ernst Gerland / Friedrich Traumüller, *Geschichte der physikalischen Experimentierkunst*, Leipzig 1899, 206.

Entwicklung von Windbüchsen hatte auch Einfluss auf die Tauchtechnik, da ihr Druckluftbehälter eine Vorstufe der Druckluftflaschen von autonomen Tauchgeräten war.¹¹⁷⁶

Die ersten Windbüchsen („Sclopetum Pneumaticum“ genannt) lassen sich bis zur Mitte des 15. Jahrhunderts zurückverfolgen. Der Nürnberger Erfinder Hans Lobsinger (ca. 1510-1584) soll um 1560 eine verbesserte Variante hergestellt haben.¹¹⁷⁷ Er baute auch Kirchenorgeln, und verwandte dafür statt der bisher üblichen Leder-Blasebälge die ersten hölzernen und kupfernen Blasebälge. Die erste Windbüchse, die einen separaten Druckluftvorrat in einem Reservoir besaß, wurde etwa um 1600 erprobt. Sie wurde von dem französischen Büchsenmacher Marin le Bourgeois (ca. 1550-1634) aus Lisieux in der Normandie hergestellt.¹¹⁷⁸ Der Abenteurer und Diplomat Kenelm Digby (1603-1665) beschrieb 1644 eine Windbüchse, und dies gleichzeitig zum ersten Mal in Englisch.¹¹⁷⁹

Papins Windbüchse hatte einen kugelförmigen Behälter, der die komprimierte Luft enthielt. 1679 und 1686 führte Papin sie Mitgliedern der Royal Society vor und zeigte, dass er die Luft mit seiner Pumpe auf bis zu 1/60 ihres Volumens zusammendrücken konnte. Dies entspricht etwa 60 bar und ist, für die damalige Zeit, eine sehr hohe Leistung.¹¹⁸⁰

Dass Papin in der Lage war, eine starke Pumpe zu bauen, bewies er 1691 bei einem Besuch im Labor von Huygens.¹¹⁸¹ Dort befüllten beide ein Gefäß aus dickem Glas mit so hohem Luftdruck, bis es zerbarst. Der Knall war so laut, dass Personen aus dem ganzen Haus zusammenliefen, um zu sehen, was im Labor geschehen war.

In London war Papin ab 1684 vier Jahre lang als Kurator für Experimente bei der Royal Society tätig, und unterstützte Robert Hooke. Die nächsten zehn Jahre war die „Zeit seiner größter Produktivität“¹¹⁸². Papin war so kreativ, dass „seine Ideen über die Fassungskraft seiner Zeit hinausgingen“¹¹⁸³. Er konnte unter anderem nachweisen, dass in einem Vakuum kein Schall übertragen wird. Die 1680er Jahre in London waren so sehr mit neuen pneumatischen Experimenten angefüllt, dass zwar manches davon in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* veröffentlicht wurde, Papin aber erst 1689 wieder dazu kam, umfangreicher

¹¹⁷⁶ Michael Jung, Tauchgeschichtekompendium Joseph August Schultes, Merzig 1998, 59.

¹¹⁷⁷ Franz Maria Feldhaus, Zur Geschichte der Windbüchsen, in: Zeitschrift für historische Waffenkunde 3 (1904) 271-272, 368-369.

¹¹⁷⁸ Siehe Rivault D. de Flurance, Les éléments de l'artillerie à feu, 2. Auflage, Paris 1608, 15.

¹¹⁷⁹ Kenelm Digby, Two treatises: In the one of which, the nature of bodies; in the other, the nature of mans soule; is looked into: in way of discovery, of the immortality of reasonable soules, Paris 1644, 104.

¹¹⁸⁰ Birch, History of the Royal Society, Volume 3, 504, 518; Birch, History of the Royal Society, Volume 4, 459-461.

¹¹⁸¹ Papin, Recueil de diverses Pieces, 118.

¹¹⁸² Denis Papin, Leibnizens und Huygens Briefwechsel mit Papin, nebst der Biographie Papins und einigen zugehörigen Briefen und Actenstücken [1675-1712], Hg. Ernst Gerland, Berlin 1881, 33.

¹¹⁸³ Papin, Leibnizens und Huygens Briefwechsel mit Papin, 5.

Ergebnisse zu publizieren, als er seine neue Stelle an der Universität in Marburg angetreten hatte.

Eine für die Tauchtechnik bedeutende Publikation Papins ist der 1689 in der Leipziger wissenschaftlichen Zeitschrift *Acta Eruditorum* erschienene Artikel über ein Instrument, eine Flamme unter Wasser am Leben zu halten.¹¹⁸⁴ Papin hatte bereits vier Jahre zuvor, am 21. Januar 1685 bei einem Meeting der Royal Society diese technische Konstruktion vorgestellt.¹¹⁸⁵

Diese Problematik war nicht neu, aber die Art ihrer technische Ausführung durch Papin und ihren Zweck hingegen schon. Bereits Boyle hatte vor, durch eine Unterwasserlaterne den Fischern einen ergiebigeren Fang zu sichern. Boyle wollte dazu das auch unter Wasser sehr hell abbrennende Phosphor verwenden.¹¹⁸⁶ Es brannte jedoch nur eine kurze Zeit.

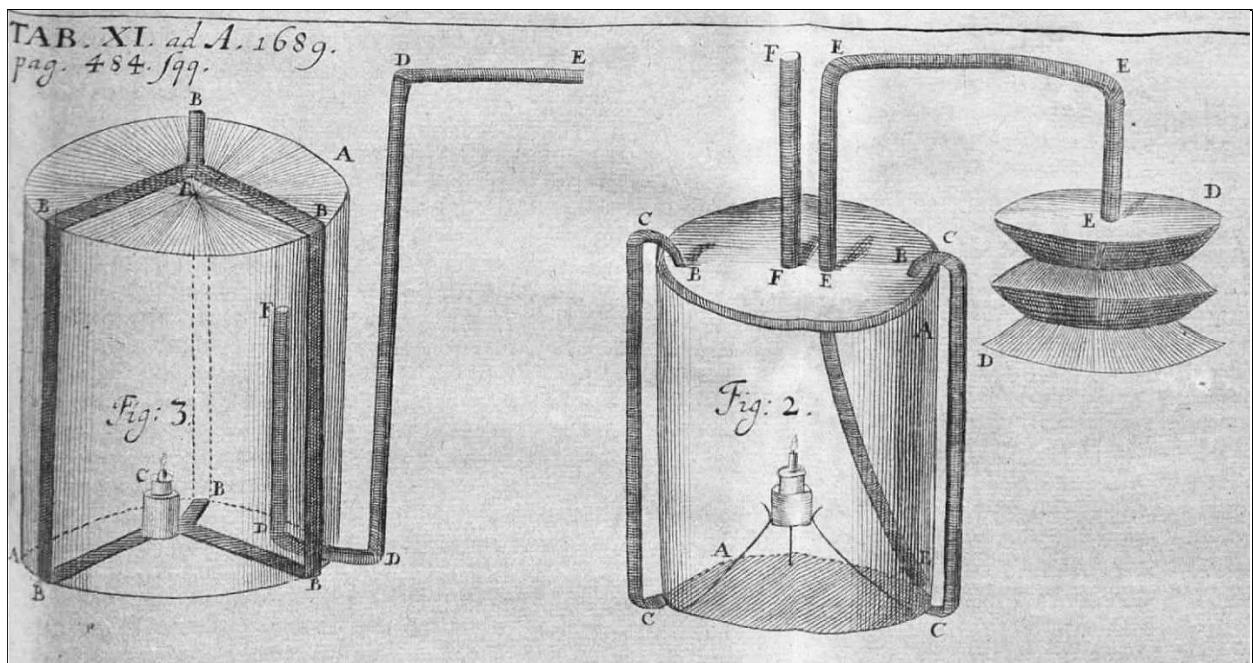


Abbildung 25: Denis Papins Konzept zur Luftversorgung einer Kerze unter Wasser, rechts mit einem ziehharmonikaartigen Blasebalg. Quelle: Denis Papin, Excerpta ex litteris Dn. Dion. Papini ad de Instrumentis ad flammam sub aqua conservandam, in: *Acta Eruditorum* 8 (1689) 485-489, Tab. XI Fig. 2-3.

Papin schlug hingegen vor, eine Kerze in einen geschlossenen Glasbehälter zu befestigen, und diesen Behälter durch einen Schlauch mit einem Blasebalg von oben ständig mit frischer Luft zu versorgen (Abbildung 25). Durch ein zweites Rohr könnte die verbrauchte Luft

¹¹⁸⁴ Papin, Excerpta ex litteris, Tab. XI Fig. 2-3.

¹¹⁸⁵ Birch, History of the Royal Society, Volume 4, 360.

¹¹⁸⁶ Papin, Excerpta ex litteris, 486.

entweichen. Wurde die Glaslampe in das Meer versenkt, war die maximale Tiefe nur durch die Wandstärke des Glases und die Länge des Luftschlauches begrenzt. Unten könnte die Kerze dann mehrere Stunden abbrennen und den Meeresgrund für Arbeiter und Fischer beleuchten. Ein sehr ähnlicher Vorschlag findet sich in der Handschriftensammlung *Fischbüchlein vom Bodensee* aus der Mitte des 15. Jahrhunderts, allerdings wird die Luftversorgung durch einen Blasebalg nicht erwähnt.¹¹⁸⁷

Diese Methode sollte laut Papin auch für die Taucherglocke nutzbar sein. Durch Zuführen von frischer Oberflächenluft könnte man gleichzeitig, so Papin, das Wasser aus der Glocke völlig zurückdrängen, und Licht und Feuer darin brennend erhalten, ohne dass sie den Tauchern Atemluft entziehen. Der Taucher hätte dann nicht nur frische Luft, sondern auch gute Sicht und Wärme.

Papin hatte festgestellt, dass eine Glocke, die ständig mit Druckluft versorgt wird, immer das maximal mögliche Luftvolumen enthält und damit auch manövrierfähiger ist, um den Meeresgrund zu untersuchen.¹¹⁸⁸ Falls der Blasebalg nicht ausreichen würde, um die Taucherglocke in einer größeren Wassertiefe mit Luft zu versorgen, so müsste man stärkere Druckpumpen aus Metall anwenden. In diesem Fall sollte man auch stärkere Schläuche in der Art verwenden, wie sie für Feuerlöschpumpen eingesetzt werden. Die stärkeren Schläuche hätten auch den Vorteil, dass sie einen geringeren Durchmesser haben könnten, und dadurch weniger anfällig für Beschädigungen seien. Papin spricht damit ein Thema an, das viele Erfinder vor ihm nicht im Blick hatten: Den Weg der Luft von der Oberfläche bis hinunter zum Taucher. Dies ist alles andere als trivial, denn an den Schlauch werden besondere Anforderungen gestellt.¹¹⁸⁹

Eine Pumpe musste aber zur Versorgung eines Tauchers nicht nur Luft verdichten, sondern dies auch über einen langen Zeitraum ermöglichen, ohne heiß zu werden, und durfte nicht durch einen Kolbenklemmer plötzlich versagen. Ebenso musste die Luft atembar bleiben, und durfte nicht durch Schmierölbestandteile, die in den Kompressionsraum gelangen, kontaminiert werden. Dies war Ende des 17. Jahrhunderts noch nicht zu bewältigen. Deshalb verwendeten Hooke und seine Nachfolger bis zum Ende des 18. Jahrhunderts den Umgebungsdruck des Wassers in der Funktion als Luftverdichter. Die war einfach, fehlersicher und funktionierte ohne Hilfsmannschaft.

¹¹⁸⁷ Hoffmeister, Fischer- und Tauchertexte vom Bodensee, 270; siehe hierzu Kapitel 3.2.

¹¹⁸⁸ „Nec dubito quin hac ratione maxima impensarum pars devitari queat, dum aedificia. aliqua in aquis extruenda sunt“ in Papin, Excerpta ex litteris, 489.

¹¹⁸⁹ Siehe hierzu Kapitel 4.10.

1690 erschienen in der *Acta Eruditorum* Einwände zu Papins Beschreibungen durch den in Königsberg lebenden englische Kaufmann John Scarlett.¹¹⁹⁰ Er kritisierte zunächst die generelle Ausführung aus Glas, und regte an, stattdessen ein Kupfergefäß mit Glasscheiben zu verwenden, so wie es bereits Caspar Schott 1664 in seiner *Technica Curiosa* vorschlug.¹¹⁹¹ Weitere Kritikpunkte waren die Luftzuführung mit Blasebälgen, die seiner Meinung nach zu arbeitsintensiv für Fischer wäre, und dass die komprimierte Luft zu viel Feuchtigkeit mit in die Glaslampe führen würde, so dass sich Dunst als Niederschlag in dem Schlauch und dem Gefäß ansammeln würde. Kerzenlicht hält Scarlett als zu schwach, und empfiehlt wie Boyle die Verwendung von flüssigem Phosphor, dass viel heller brennt. Die Möglichkeit der Verwendung des gleichen Prinzips für Taucherglocken wurde hingegen nicht von ihm angezweifelt. Papin antwortete Scarlett 1695 in seinem Werk *Recueil de diverses Pieces touchant quelques nouvelles Machines* und entkräftete alle Kritikpunkte.¹¹⁹²

Papin beschäftigte sich ebenfalls mit dem Nachbau des Tauchbootes von Cornelius Drebbel.¹¹⁹³ Im August 1691 misslang ein erster Versuch vor einer großen Zuschauermenge, als beim Einsetzen des Tauchbootes in die Fulda bei Kassel der Kran brach. Dabei wurde das Boot, das aus Eisenblech bestand, beschädigt. Am 1. Juni 1692 fand ein zweiter, erfolgreicher Versuch vor wenigen Zuschauern mit einer verbesserten, fassähnlichen Holz-Konstruktion statt. Papin und ein Helfer tauchte mehrmals mit seinem Boot ab und wieder auf und demonstrierten dadurch die Tauchfähigkeit. Unter Wasser schien es sich jedoch nicht fortbewegt zu haben, und auch über die Dauer des Tauchganges ist nichts bekannt. Im Inneren des Bootes befand sich eine Zentrifugalpumpe, mit deren Hilfe durch einen Schnorchel frische Luft von der Oberfläche in das Boot hinabgesaugt wurde. Nach diesem Versuch wurde das Projekt nicht mehr fortgeführt, da der Karl von Hessen-Kassel (1654-1730) keine praktische Verwendung für ein Tauchboot zur Verteidigung seines Landes oder für Bergungsarbeiten sah.¹¹⁹⁴

Bei seinem Tauchgang machte Papin eine wissenschaftlich interessante Beobachtung, die er bereits bei früheren pneumatischen Versuchen in seinem Labor sah: Als er auftauchte und die komprimierte Luft aus dem Tauchboot entweichen ließ, befand er sich schlagartig in dichtem Nebel. In einem Brief vom 16. August 1691 berichtete er Christiaan Huygens davon, der aber

¹¹⁹⁰ John Scarlett, Epistola ad exponens dubia quaedam, circa inventum Dn. Papini, in: *Acta Eruditorum* 9 (1690) 531-536; siehe dazu auch Fritz Gause, *Die Geschichte der Stadt Königsberg in Preussen*. Band 1: Von der Gründung der Stadt bis zum letzten Kurfürsten, Köln 1965, 523.

¹¹⁹¹ Schott, *Technica curiosa, sive mirabilia artis*, 395.

¹¹⁹² Denis Papin, *Recueil de diverses Pieces touchant quelques nouvelles Machines*, Kassel 1695, 114-127.

¹¹⁹³ Siehe Papin, *Recueil de diverses Pieces*, 127-143.

¹¹⁹⁴ Siehe Papin, *Leibnizens und Huygens Briefwechsel mit Papin*, 55-65.

ebenso keine schlüssige Antwort darauf fand.¹¹⁹⁵ 1740 beschäftigte sich auch der französische Experimentalphysiker Jean-Antoine Nollet (1700-1770) bei Experimenten mit der Luftpumpe mit diesem Phänomen, ohne jedoch die Antwort zu finden.¹¹⁹⁶

Die systematische Erforschung der Ursache dieses Nebels blieb lange unbeachtet und es dauerte noch viele Jahrzehnte, bis die Thermodynamik ein Erklärungsmodell für dieses Phänomen gab. Wasserdampf ist ein Bestandteil der atmosphärischen Luft. Dessen Gehalt wird als Luftfeuchtigkeit und umgangssprachlich auch als Feuchte bezeichnet. Die höchstmögliche Luftfeuchtigkeit (Sättigungsmenge) ist temperatur- und volumenabhängig. Bei der Kompression verringert sich das Luftvolumen, wodurch eine Kondensation stattfinden müsste. Allerdings führt die Verdichtung zu einer steigenden Temperatur, womit die Sättigungsmenge vergrößert wird. Zu einer Kondensation kommt es erst bei der anschließenden Abkühlung. Bei einer schlagartigen Expansion kommt es zu einer Rückkühlung, die zu einer Kondensation des Wasserdampfes führt. Der gleiche Effekt tritt auf, wenn die warme Ausatemluft an einem kalten Wintertag als weißer Nebel vor dem Mund erscheint.

4.10 Luftversorgung durch Blasebalg oder Pumpe

Die 1689 publizierte Überlegung von Denis Papin, mit einem Blasebalg oder einer Pumpe Luft von der Oberfläche zu der Taucherglocke hinab zu pumpen, war ein erfolgversprechendes Verfahren, das Jerónimo de Ayanz y Beaumont bereits 1606 in seinem spanischen Privileg skizzenhaft illustrierte (siehe Abbildung 14 auf S. 138), aber nie publizierte oder umsetzte. Auch George Sinclair sprach bereits 1688 von dem Herabpumpen von Luft durch einen Lederschlauch durch einen Blasebalg.¹¹⁹⁷ Dass Druckluft Wasser aus einer untergetauchten Glocke verdrängt, war bereits in der Antike bekannt und wurde beim Bau von Wasserorgeln praktisch eingesetzt.¹¹⁹⁸ Papins Idee war also nicht grundlegend neu.

Das Konzept der Luftversorgung durch Schlauch und Blasebalg umfasst die wesentlichen Elemente, um das Tauchen mit einer Taucherglocke zu verbessern. Eine Glocke, die mit Druckluft versorgt wird, stößt das gesamte Wasser aus, so dass die Menschen im Trockenen und mit brennenden Kerzen oder Fackeln arbeiten können. Diese verbrauchen zwar auch Luft, was aber bei einer ständigen Zufuhr unbedeutend ist. Durch Zwischenschalten eines

¹¹⁹⁵ Papin, Leibnizens und Huygens Briefwechsel mit Papin, 64-65.

¹¹⁹⁶ Gerland / Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst, 313.

¹¹⁹⁷ Sinclair, The principles of astronomy and navigation, Postscript, 7.

¹¹⁹⁸ Siehe Thekla Schneider; Organum Hydraulicum, in: Die Musikforschung 7 (1954) 24-39.

Windkessels als Puffer und Reservoir konnte man einen weitgehend ununterbrochenen Frischluftstrom sicherstellen.

Zum Pumpen von Luft wäre eine Luftpumpe erforderlich, da ein Blasebalg nicht für größere Tiefen ausreicht. Blasebälge sind für den Einsatz mit Taucherglocken generell weniger geeignet. Sie finden ihren sinnvollen Einsatz bei Schmiedefeuern und Kirchenorgeln, wo es wichtiger ist, ein großes Luftvolumen zu erzeugen, als hohen Druck. Blasebälge arbeiten mit Hebelwirkung, und damit sie einfach zu bedienen sind, müssen die Hebel lang sein. Dadurch nimmt der Blasebalg einen großen Raum ein.

Während man mit Luftbehältern nur ein geringes Volumen pro Behälter hinab transportieren konnte - die Luft in den Behältern stand unter Oberflächendruck, und das Volumen wurde beim Hinabziehen in der gleichen Art reduziert wie das in der Taucherglocke - war mit Druckluft ein deutlich höherer Volumenstrom möglich.

Über Robert Hooke zu Denis Papin nahm die Frage der Luftzufuhr zu einer Taucherglocke die gleiche technologische Entwicklung wie beim Feuerlöschwesen ein: Von Einzelbehältern (Eimern) zu Schläuchen. Da die Schlauchtechnologie für die Entwicklung der Tauchtechnik sehr bedeutsam ist, wird sie hier ausführlich dargestellt. Luftdichte Schläuche waren der Schlüsselfaktor in der Entwicklung der Tauchtechnologie in der Frühen Neuzeit.

1420 bildete der Mediziner Johannes de Fontana von der Universität Padua in seinem Tractat *Bellicorum instrumentorum liber cum figuris* über Kriegsgeräte einen Lederschlauch ab.¹¹⁹⁹ Er war aus langen Fellstreifen gefertigt, durch kurze, fassartige Rohrstücke miteinander verbunden und sollte als bewegliche, stabile Wasserleitung unter anderem bei der Brandbekämpfung eingesetzt werden.

Im Mittelalter wurden zur Brandbekämpfung jedoch keine Schläuche, sondern Löscheimer verwendet. Die Fellschläuche waren zu empfindlich im Gebrauch und der Pflege, sie konnten an Kanten aufreißen oder durch Funkenflug brennen. Kannen-, Becher- oder Eimerketten sind auch aus dem Mittelalter für die Wasserhebung im Bergbau bekannt.

Mit langen Eimerketten (der englische Begriff „Chain of Buckets“¹²⁰⁰ wird von Hooke oft verwendet) wurde das Wasser vom Brunnen oder Teich mit Eimern von Hand zu Hand zum Feuer transportiert. Während des Weiterreichens dieser Eimer ging eine große Menge Wasser verloren, bevor es auf das eigentliche Feuer geworfen werden konnte. Erst mit der Erfindung der leistungsfähigen Druckspritze 1655 durch Hans Hautsch (1595-1670) in Nürnberg konnte

¹¹⁹⁹ Johannes de Fontana, *Bellicorum instrumentorum liber cum figuris* [1420-1430], Bayerische Staatsbibliothek München, Cod. icon. 242, Bild Nr. 26.

¹²⁰⁰ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 4, 464.

man auch Dachbrände im Frühstadium effektiv löschen.¹²⁰¹ Das Spritzventil war hierbei jedoch direkt am Wasserkessel angeschlossen, enthielt also noch keinen Schlauch.

Mit der Erfindung eines genähten Druckwasserschlauches 1672 durch den Holländer Jan Van der Heyden (1637-1712) und seinem Bruder Nicolaes aus Amsterdam kam man dem Feuerherd noch näher. Auch Innenangriffe waren nunmehr mit langen Schläuchen möglich.¹²⁰² Am 12. Januar 1673 wurde Van der Heydens Schlauchspritze erstmals bei einem Brand in Amsterdam angewendet. Van der Heyden entwickelte auch den ersten Saugschlauch, indem er einen Draht durch ihn hindurchführte, um ihn vor dem Zusammenfallen zu bewahren. Er bezeichnete solche, durch einen Draht verstärkte Schläuche, als „Serpent“¹²⁰³. Mit Saugschläuchen konnte das Wasser aus den Kanälen bei Bränden genutzt werden.

Die ersten Schläuche oder „Schlangen“, wie sie damals in Deutschland genannt wurden, hat Van der Heyden vermutlich aus zusammengenähtem Segeltuch gemacht, aber schon bald ersetzte er das Tuch gegen Leder.¹²⁰⁴ Es war wesentlich widerstandsfähiger gegen Hitze und Funken, allerdings auch viel schwerer, steifer und damit sperriger. Ein Lederschlauch war auch teuer und sehr pflegeintensiv, denn Leder trocknete aus und bekam dann Risse. Der Schlauch musste nach jeder Nutzung gewaschen, getrocknet und mit Kabeljau- und Walfischöl oder Rindertalg als Konservierungsmittel haltbar gemacht werden. Nach dem Auftragen von Öl wird Leder allerdings klebrig, so dass sich Schmutzpartikel anheften, und es führt zu einem starken Geruch. Die bis zu 2 Meter langen Lederstücke wurden ineinandergesteckt und zusammengenäht.

Wegen der vielen Nachteile von Lederschläuchen erfand 1720 der Leinenweber Johann Christoph Beck aus Leipzig nahtlos gewebte Wasserschläuche erstmals aus Zwirn und mit Hanffaden für den Einsatz beim Feuerlöschen. Das durchfließende Wasser dichtete zusätzlich durch die Quellfähigkeit des Fadens. Solche Wasserschläuche aus Hanf wurden bis weit in das 20. Jahrhundert bei Feuerwehren eingesetzt. Für eine Verwendung beim Tauchen waren sie jedoch nicht geeignet, da der Stoff zu luftdurchlässig war.¹²⁰⁵

Die nächste Entwicklungsstufe bestand Anfang des 19. Jahrhunderts aus genieteten statt genähten Lederschläuchen. Diese Erfindung soll auf den Hofkupferschmid Christian Carl

¹²⁰¹ Siehe Ernst Hautsch, Der Nürnberger Zirkelschmied Hans Hautsch (1595-1670) und seine Erfindungen, in: Mitteilungen des Vereins für Geschichte der Stadt Nürnberg 46 (1955) 533-556.

¹²⁰² Conrad Dietrich Magirus, Das Feuerlöschwesen in allen seinen Theilen nach seiner geschichtlichen Entwicklung von der frühesten Zeit bis zur Gegenwart, Ulm 1877, 39.

¹²⁰³ Peter C. Sutton, Jan van der Heyden (1637-1712), Greenwich 2006, 25.

¹²⁰⁴ Magirus, Das Feuerlöschwesen, 40.

¹²⁰⁵ Siehe Johann Christoph Beck, Neue Nachricht von Feuer, Rohr- und Schlangen-Spritzen, Leipzig 1720, 12-16.

Gottlob Pflug (1747-1825) aus Jena im Jahr 1809 zurückgehen.¹²⁰⁶ Pflug beschäftigte sich auch mit der Bergungstechnik und hatte vor, Wracks mit großen luftgefüllten Ballonen zu heben.¹²⁰⁷

In Bezug auf das Fördermedium und den daraus resultierenden Bedingungen an einen Schlauch gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen Löschwasser und Luft: Wasser hat eine 840fach größere Dichte als Luft. Die Dichte ändert sich mit der Temperatur, und bei kompressiblen Materialien wie z. B. Gasen auch mit dem Druck. Daher ist beispielsweise die Dichte der Atmosphäre ortsabhängig und nimmt mit der Höhe ab.

Durch die geringere Dichte von Luft und den höheren Pumpendruck müssen Schläuche und ihre Nähte bei dieser Anwendung wesentlich dichter sein als bei der Förderung von Wasser. Die Abdichtung der Sticlöcher im Lederschlauch wurde von den frühen Produzenten als handwerkliches Geheimnis gehütet, das bis heute nicht völlig gelöst ist. Die geheimen Rezepturen der Dichtmasse bestand hauptsächlich aus den drei Komponenten Talg, Bienenwachs und Pech.

Edmond Halley beschrieb sein Verfahren zum Abdichten von Schläuchen 1721 etwas ausführlicher¹²⁰⁸: Er zog dünnes Leder über eine Spirale aus Messingdraht, das dann in eine Mischung aus heißem Öl und Bienenwachs getaucht wurde. Dann wurden mehrere Lagen von Schafsdarm darüber gezogen, der nach dem Trocknen mit einem unbekanntem Mittel angestrichen wurde. Anschließend wurde es außen wieder mit Leder ummantelt, damit es nicht durchscheuert. Der Schlauch bestand also aus den drei Schichten Leder-Darm-Leder.

Leder blieb bis zur Entwicklung der gummierten Leinwand im Jahr 1825 das einzige verfügbare Material zur Herstellung von Luftschläuchen. Aufgrund der hohen Undichtigkeit der Luftschläuche konnte bis dahin Luft nur mit wenigen bar Druck zu einem Taucher in geringe Tiefe gepumpt werden. Alle Arten von Tauchgeräten waren bis dahin durch das Fehlen einer ausreichenden Versorgung mit Frischluft eingeschränkt.¹²⁰⁹

¹²⁰⁶ Siehe Christian Carl Gottlob Pflug, Verfahren lederne Schläuche mit kupfernen Nägeln möglichst dauerhaft zusammen zu nieten, in: *Dinglers Polytechnisches Journal* 7 (1822) 206-208. Das Stadtmuseum Jena und die Klassik Stiftung in Weimar besitzen etliche von Pflug gearbeitete Stücke.

¹²⁰⁷ Siehe Christian Carl Gottlob Pflug, Vorschlag, wie ein auf der See untergegangenes Schiff mit 2 Wasserluftballons wieder herauszuheben sey, wenn es anders, wegen der Tiefe, nicht von Tauchern erreicht werden kann, in: Christian August Vulpius (Hg.), *Curiositäten der physisch-literarisch-artistisch-historischen Vor- und Mitwelt: zur angenehmen Unterhaltung für gebildete Leser*, Weimar 1821, 251-252.

¹²⁰⁸ Siehe Edmond Halley, An addition to the description of the art of living under water, publish'd in *Phil. Transact. No. 349*, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 31 (1721) 177-180, 178; Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, 224-225.

¹²⁰⁹ Nigel Phillips, The Path to the Standard Dress, in: *Proceedings of the Twentieth-Ninth Annual Conference of the Historical Diving Society*, Sutton 2019, 38-48, 45.

Hooke und Papin verfolgten beide das gleiche Ziel der Zuführung von Frischluft zur Taucherglocke von oben. Hooke schlug den für die damalige Zeit einzigen, praktikablen Weg mit einer Behälterkette vor. De Ayanz, Sinclair und Papin hatten das technologisch innovativste Konzept aufgezeigt, es konnte aber noch nicht umgesetzt werden, da betriebssichere Pumpen und luftdichte Schläuche fehlten. Wären diese Methode aufgegriffen worden und als alltagstaugliche Technologie einsetzbar gewesen, hätte Papin die Tauchtechnologie sprunghaft um fast hundert Jahre weiterentwickelt. Erst 89 Jahre später setzte John Smeaton als erster eine Pumpe zur Versorgung einer Taucherglocke in England ein.¹²¹⁰

Als Papin vorschlug, zur Luftversorgung von Taucherglocken Lederschläuche wie bei der Brandbekämpfung¹²¹¹ zu verwenden, wusste er offenbar nicht, dass diese kürzlich erfundenen Feuerwehrschräume zwar für Löschwasser einsetzbar war, aber dem Luftdruck nicht standhalten würden, und deshalb nicht für seine Methode in der Praxis verwendet werden konnten. Ebenso wenig, wie es in der Antike möglich war, trotz den entsprechenden Grundkenntnissen eine Dampfmaschine zu bauen - hierfür fehlte es an Rohre für hohe Drücke und Befestigungsschrauben aus Eisen - konnte in der Frühen Neuzeit eine Frischluftversorgung mittels Schlauch erfolgen. Ein Erfinder kann seine Idee nicht weiter in die Praxis umsetzen, als es die technischen Möglichkeiten seiner Zeit zulassen.

4.11 Zwischenfazit: Die experimentelle Methode befördert die Tauchtechnologie

In den Generalstaaten war die Taucherglocke mindestens ab dem frühen 17. Jahrhundert bekannt, allerdings wurde sie nur sehr vereinzelt eingesetzt. Durch die flache Küstenlinie gab es vermutlich zu wenig Anwendungsfälle für Taucherglocken, so dass im Bedarfsfall das Knowhow importiert wurde, wie etwa 1660 aus Schweden zur Bergung eines Wracks vor der Küste Zeelands. In den Generalstaaten wurden aber wichtige theoretische Grundlagen zur Hydrostatik erarbeitet, wie etwa von Simon Stevins und Isaac Beeckman.

Der schwedischen Tauchgesellschaft unter Leitung von Hans Albrecht von Treileben gelang 1658 im Zusammenhang mit Bergungen an dem Wrack der *Sancta Sophia* vor Göteborg eine bedeutende Weiterentwicklung der Tauchtechnologie. Es konnten lange, erfolgreiche Bergungstauchgänge bis in 33 Meter Tiefe durchgeführt werden. Das Jahr 1658 markiert damit ein Meilenstein in der Entwicklung des Gerätetauchens. Zu dem dabei verwendeten

¹²¹⁰ Siehe hierzu Kapitel 6.3.1.

¹²¹¹ „quandoquidem in machinis ad incendia restinguenda comparatis reperiuntur tubi coriacei“ in Papin, Excerpta ex litteris, 489.

Luftversorgungssystem gibt es bislang nur Indizien, es wurde - wie damals oft üblich - als Betriebsgeheimnis behandelt.

1658 markiert für die Entwicklung der Tauchtechnologie aus zweierlei Gründen ein wichtiges Jahr. Erstmals fanden längere, tiefe Bergungsarbeiten mit einer Taucherglocke statt. Sodann erfuhr die Tauchtechnologie mit den pneumatischen Versuchen, die von Robert Boyle und Robert Hooke mit ihrer neuen Luftpumpe ab 1658 angestellt wurden, einen besonderen Fortschritt. Die Wertigkeit der Erfindung der Luftpumpe für die Naturwissenschaft lässt sich in vielerlei Hinsicht mit der des Teleskops vergleichen.

Neben Vakuum- und Druckversuchen war insbesondere das 1662 formulierte Boyle'sche Gesetz, das den Zusammenhang zwischen dem Druck und Volumen eines Gases beschreibt, für das Tauchen bedeutsam. Es wurde 1671 von der Royal Society of London nach einer Versuchsreihe im Meer in Tabellenform publiziert und bot fortan wichtige Hilfestellung für das Tauchen.

1670 machte Boyle eine zweite wichtige Entdeckung in Bezug auf die Taucherphysiologie, als er erkannte, dass sich Gas unter Druck in Flüssigkeiten wie Blut löst. Beide Entdeckungen von Boyle gehören heute zum unverzichtbaren Grundlagenwissen jedes Tauchers. Sie bestimmen die Art des Tauchgangs und haben auch Einfluss auf die Technik.

Die Tauchtechnik ist ab 1661 verwissenschaftlicht und zur Tauchtechnologie weiterentwickelt worden. Neben Robert Boyle beschäftigte sich auch die Royal Society of London ab 1661, vermutlich angeregt durch die Bergungserfolge der schwedischen Gruppe um Hans Albrecht von Treileben, mit Tauchen. Eine eigene Glocke wurde angeschafft und Versuchstauchgänge in der Themse durchgeführt. Zu Neuerungen kam es jedoch erst, als 1663 Robert Hooke Kurator der Royal Society wurde, und er wichtige Grundlagenversuche zum Tauchen durchführte.

Hooke schlug im November 1663 eine neue Methode vor, um die Taucherglocke mit Frischluft zu versorgen. Bislang war der begrenzte Luftvorrat der limitierende Faktor beim Tauchen. Hookes Vorschlag bestand darin, durch ein Paar auf und ab pendelnde Fässer Frischluft von der Oberfläche zur Taucherglocke hinab zu transferieren. Im Februar 1664 führte er dieses Verfahren erfolgreich im Modell vor. Dies wurde im entsprechenden Tagungsprotokoll der Royal Society festgehalten.

Hooke machte auch einen Vorschlag, wie sich ein Taucher für einige Zeit außerhalb der Glocke auf dem Meeresboden bewegen und arbeiten könnte. Dabei sollte er einen autonomen Luftvorrat mitnehmen, der von Zeit zu Zeit aus dem Glockenvolumen aufgefrischt wird. Eine

detaillierte Beschreibung des Geräteaufbaus ist nicht überliefert, die Methode wurde jedoch im Juni 1664 erfolgreich in der Themse erprobt. Damit hat Hooke zwischen November 1663 und Juni 1664 ein komplett neuartiges Tauchsystem entwickelt. Seine Forschungen zur Tauchtechnologie wurden jedoch nicht von der Royal Society weiterverfolgt, da andere Themen in den Fokus rückten. Generell war die Arbeit der Royal Society in den Anfangsjahren sehr sprunghaft.

Hooke hat bislang wenig öffentliche Anerkennung für seine Arbeit auf dem Gebiet des Tauchens erhalten, obwohl seine Lösungen bereits 1663/1664 für die Tauchprobleme seiner Zeit, die aus der Frischluftzuführung und dem Ausgleich des Umgebungsdrucks bestanden, sehr fortschrittlich waren. Eine Ursache ist möglicherweise darin zu suchen, dass Teile der Royal Society ein größeres Interesse an der Wiederauffrischung verdorbener Luft auf chemischem Weg hatten, als an ihrer Erneuerung.

Nach der Analyse von Hookes Arbeit kann kaum ein Zweifel daran bestehen, dass er auf dem besten Wege war, viele weitere tauchtechnische Probleme zu lösen, als er schließlich zu anderen Experimenten überging und die Thematik des Tauchens verließ.

Die Taucherglocke wurde durch George Sinclair zu einer neuen experimentellen Technologie, vergleichbar mit der Luftpumpe. Eine Taucherglocke kann als eine „natürliche Luftpumpe“ betrachtet werden, mit der relative Druckzunahme und -abnahme simuliert werden kann. Der Receiver einer Luftpumpe ist vergleichbar mit dem Innenraum der Glocke. Eine Taucherglocke hat im Vergleich zu der Luftpumpe den Vorteil, dass man Selbstversuche durchführen kann, also die Wirkungen verschiedener Drucksituationen am eigenen Körper erfahren und untersuchen kann. Eine Taucherglocke ermöglichte damit ein völlig neues Setting für Experimente – durchaus vergleichbar wie es heute die International Space Station im Orbit darstellt.

Sinclair führte allem Anschein nach wissenschaftliche Tauchgänge durch, in denen er sich mit der Erforschung des Druckes, der Schallverbreitung und Temperaturschwankungen beschäftigte. Er funktionierte die Taucherglocke in ein Unterwasserlabor und damit als ein Ort der Wissensproduktion um.

Neben Sinclair, der 1669 und 1672 Hookes Methode publizierte, Taucherglocken mit Frischluft durch pendelnde Fässer zu versorgen, wurde sie auch 1676 sowie 1685 durch Johann Christoph Sturm in dessen Werken publiziert. Sie scheint jedoch, soweit es sich aus der Quellenlage beurteilen lässt, noch nicht praktisch eingesetzt worden zu sein. Nur Vermutungen weisen bislang auf eine Verwendung bei den Bergungsarbeiten an der *Vasa* ab 1664 hin.

Denis Papin beschäftigte sich ebenfalls mit dem Tauchen, und publizierte 1689 den Vorschlag, Unterwasserlaternen und Taucherglocken von der Oberfläche aus mit Pumpen und Schläuchen zu versorgen. Dieser Vorschlag war eine Wiedererfindung und bereits 1606 von Jerónimo de Ayanz y Beaumont in einem Essay geäußert worden. Die praktische Umsetzung war jedoch im 17. Jahrhundert noch nicht möglich, und zwar vorwiegend, da es noch keine ausreichend luftdichten Schläuche gab.

Am Ende des 17. Jahrhunderts waren in England alle bekannten theoretischen Probleme, die damit verbunden waren, einen Taucher für eine längere Zeit in eine beträchtliche Wassertiefe zu schicken, überwunden worden. Durch die Arbeiten von Boyle, Hooke und anderen Zeitgenossen wussten die Praktiker nun, *wie und warum* ihre Tauchermaschine funktionierte, und hatten damit die Ansatzpunkte zur erfolgreichen Verbesserung und Perfektionierung der Technik gefunden.

5 Popularisierung der Taucherglocken (1680-1780)

5.1 Englische Tauchgeräteprivilegien im „Projecting Age“ 1687-1720

Als der Kapitän William Phips im Juni 1687 mit seinem geborgenen Silberschatz aus der Karibik in London einlief, griff, vergleichbar einem Bergeschrei in Deutschland, eine Goldrauschartige Stimmung um sich. Sie kulminierte im „great Treasure Hunting Boom“¹²¹².

Eine nicht unbedeutende Rolle in diesem Aufschwung, aber auch der Naturwissenschaft im Gesamten, kann die kulturelle Öffnung und gesellschaftliche Neubewertung von Handlungsmotiven und Emotionen wie Staunen und Neugier gespielt haben. Wurde Neugier noch im Mittelalter verachtet, als schlechte Eigenschaft eingestuft und mit Wollust gleichgesetzt, was ein erster Schritt hin zu der Todsünde des Stolzes bedeutete, kam es im 15. und 16. Jahrhundert zu einem allmählichen Wandlungsprozess und einer Neubewertung, die zu einer gesellschaftlich legitimierten Emotion führte.¹²¹³ Es vollzog sich ein Wechsel der Bewertung von Neugier aus der Nachbarschaft von Wollust und Stolz hin zu Habsucht und Gier. Neugier verwandelte sich damit in ein aktives Streben¹²¹⁴, das gekoppelt mit Habsucht und Gier eine starke Antriebsfeder für das nun aufkommende „wreckfishing“-Fieber darstellte.

Angeheizt wurde die Stimmung auch durch Zeitungen. Schiffsnachrichten waren im späten 17. Jahrhundert eine feste Kategorie von Informationen, die in jeder Ausgabe aller großen Londoner Zeitungen erschienen.¹²¹⁵ Immer wieder enthielten sie Berichte von Schiffsuntergängen mit wertvoller Ladung, die - den Schilderungen zufolge - verhältnismäßig leicht zu bergen sein könnten. Die Berichte waren „mouth-watering reports“¹²¹⁶ für Spekulanten.

Die gesunkenen spanischen Galeonen mit ihren Schätzen an Bord inspirierten viele Erfinder, aber auch windige Geschäftsleute, ihr Glück zu versuchen. Dies wird besonders deutlich an der nach Spanien nun in England stattfindenden, zweiten, zeitlich dichten und reichen Privilegienwelle für Tauchgeräte, die Ende der 1680er Jahre begann, und um die

¹²¹² Earle, *Treasure Hunt*, 75.

¹²¹³ Jochen Gläser, *Wissenschaftliche Produktionsgemeinschaften. Die soziale Ordnung der Forschung*, Frankfurt a. M. 2006, 208.

¹²¹⁴ Eamon, *Court, Academy, and Printing House*, 33-35; Lorraine Daston, *Wunder, Beweise und Tatsachen: zur Geschichte der Rationalität*, Frankfurt a. M. 2001, 77-97.

¹²¹⁵ Michael Harris, *Shipwrecks in print; representations of maritime disaster in the late seventeenth century*, in: Michael Harris / Robin Myers, *Journeys through the market: travel, travellers, and the book trade*, Kent 1999, 39-64, 41.

¹²¹⁶ Harris, *Shipwrecks in print*, 51.

Jahrhundertwende in einer platzenden Spekulationsblase endete.¹²¹⁷ Waren es zwischen 1632 und 1680 nur fünf Patentanmeldungen, so verdreifachte sich die Anmeldezahl zwischen 1687 und 1694.¹²¹⁸ Viele davon waren gleichzeitig mit Projektideen verbunden, um sie gewinnbringend einzusetzen.

- 1632 No. 56 Richard Norwood *Raising Goods Lost by Shipwreck*. Making and using engines or instruments for diving, and for raising or bringing out of the sea or other deep waters any goods lost or cast away by shipwreck or otherwise.
- 1634 No. 73 Bulmer *Raising ships and goods from the sea*. Engines an Invencons for the Takeinge upp of Shippes and Goods Suncke in the Sea. Bulmer hatte bereits 1628 eine Lizenz für Bergungsarbeiten an dem Schiff *Vasa* bei Stockholm erhalten, und 1631 eine 10 Jahre gültige Lizenz zur Bergung von Wracks vor der Küste Dänemarks.¹²¹⁹
- 1671 No. 163 Custis *Raising Sunken Goods, &c.* Discovery of wrecks and vessels sunk: also taking out of them goods, treasures, merchandise, guns and ships' furniture.
- 1675 No. 185 Wharton, Perkins & Innes *Buoying and Raising up Ships, Ordnance, &c. from the Sea, &c.* New way of diving and living several hours under the water, by curing the air conveyed down for sustenance so as to make it fit for respiring whilst beneath the water.
- 1680 No. 210 Harrington, Degelder & Sowton *Raising Sunken Ships' Guns, &c.* A new Invention, being several tools, Engines, or Instruments (to be wrought without Diving) for the weighing or recovering from under water, ship guns and goods, by any accident shipwreckt or lost in harbor or sea.
- 1686 wurde das Privileg von William Harrington, Richard Pendarves, Cornelius Degelder and Samuel Souton, alle Händler aus London, erneuert und auf die Küstengewässer von Schottland erweitert.¹²²⁰
- 1687 No. 256 Ayscogh *Working under Water*. An ablution enabling persons to walk and remain under water three hours with no covering over their heads.
- 1689 No. 262 Smartfoot *Raising Sunken Ships, Guns, &c.* Engine or "sea-crab" to enable a man to breathe under water with a pair of lungs fixed to his back as he swims.
- 1691 No. 279 Evance, Tyssen, Holland & Halley *Apparatus for Working under Water*. Engine for conveying air into a diving-vessel, to enable several persons at the

¹²¹⁷ Siehe William Robert Scott, *The Constitution and Finance of English, Scottish and Irish Joint-Stock Companies to 1720*, Volume II, *Companies for foreign Trade, Colonization, Fishing and Mining*, Cambridge 1912, 484-489; Christine MacLeod, *The 1690s Patents Boom: Invention or Stock-Jobbing?*, in: *The Economic History Review* 39 (1986) 549-571.

¹²¹⁸ Bennet Woodcroft, *Titles of patents of invention: chronologically arranged from March 2, 1617 (14 James I.) to October 1, 1852 (16 Victoriæ)*. Part 1: Subject Matter index A to M, London 1854, 239-240.

¹²¹⁹ Hafström, *Örlogsskeppet*, 831.

¹²²⁰ David Laing, *Notice of a Scheme, with the Warrant of King James VII. and the Lords of Privy Council, for a Patent to be granted to certain Merchants in London, for Weighing up and Recovering Ships in the Scottish Seas*, dated 26 May 1686, in: *Archaeologia Scotica or Transactions of the Society of Antiquaries of Scotland* 4 (1857) 428-439.

same time to work under water for many hours, for the purpose of finding gold, silver, bullion, money, and goods lost at sea.

- 1691 No. 280 Trefusis, J. & N. Honychurch & Williams *Apparatus for Working under Water*. Engine, consisting of covering vessels and pipes, to enable men to work under water for several hours without any want of air.
- 1691 No. 283 J. Hooke, Atkinson, Weale & Nicholls *Apparatus for Working under Water*. Engine made of timber, with glass windows, door, air-pipes, leather sleeves, and braces affixed, to enable a man to work under water for many hours.
- 1692 N. 294 Rosse & Johnson *Apparatus for Working under Water*. Invention whereby one or more men may continue and work under water for a quarter of an hour with freedom and clearness of sight, and, with the assistance of others that can swim, may recover and take up any bullion, plate &c., without diving.
- 1692 No. 297 Poyntz *Apparatus for Working under Water*. New Inventions for the taking up ships wrecked, overset sunk, or foundered, or any goods, merchandizes, or Bullion, out of the seas and rivers.
- 1692 No. 298 Thomson, Graves, Joell & Cuthbert *Apparatus for Working under Water*. Diving habitat and engines, for enabling a man to work one hour under water, by means of an airpump.
- 1692 No. 302 Overing *Apparatus for Working under Water*. Engine to convey air into pipes by means of bellows, and having plates covered with leather for securing the head and retaining air about the upper part of the body, for the purpose of enabling a man to see, walk, and work a considerable time, under the water.
- 1692 No. 308 Williams *Diving Apparatus*. Engine for carrying four men fifteen fathoms or more under the surface of the sea, and in which they can work for twelve hours together.
- 1693 No. 318 Stapleton *Apparatus for Working under Water*. Engine contrived so as to admit of a person enclosed in it to walk under water; method of forcing air into the depth of water to supply the said person, and to cause a lamp to burn while under water; also an engine which will float on the water in the most violent storms, but if inverted and supplied with air, will enable a person enclosed therein to sink to the bottom and ascend again without injury: purifying the air to make the same again serviceable for respiration, so that a man in either of the said engines may remain a long time under water without other air than what the engine contain.
- 1693 No. 320 Poyntz *Removing Mud, Sand, &c. from Rivers, Harbors, &c.* Several Inventions never practiced before under water, for scowling rivers, harbors, creeks, roads, rivulets, milldams, c., which are dammed, cloaked, and almost filled up with sand, mud, gravel, &c.
- 1693 No. 321 Bushnell *Machine for Draining Mines, &c.* A Mathematical machine that will effectually drain all manners of mines and Mares, and consequently produce a desirable profit to our subjects... and will also dexterously raise up any ship sunk at sea, ... much exceeding any device heretofore used in such cases.
- 1694 No. 333 Winball *Apparatus for Working under Water*. Machine of metal and other material, whereby persons may descend twenty fathoms or more in the sea and remain twenty-four hours.

- 1715 No. 398 Becker *Machine for Raising Sunken Ships*. A new machine for raising ships, that have been wrecked, from the bottom of the sea.
- 1720 No. 431 Rowe *Machine for Diving*. Instrument for Taking Altitudes at Sea, and Apparatus for Diving more practicable and in greater depths of water than any other yet in use.

Es gab in dieser Zeitperiode auch Erfindungen, die nicht als Privileg im Register verzeichnet worden sind. Die Londoner Zeitung *Post Boy* berichtete beispielsweise am 25. Juni 1695 von einer Tauchvorführung von John Stephens und Martin Hopkins aus Topsham bei Exeter, die in London bei Blackwall in der Themse ihre neue Tauchmaschine vorführten. Stephens tauchte eine halbe Stunde lang in 4 Fathom (etwa 8 Meter) Tiefe und „danced, sung, and answered several Questions through the Pipes that reached into the Boat, and was so active that he could do any Business that reason can require, to the great satisfaction of a numerous resort of Spectators that were present“¹²²¹. Vermutlich handelte es sich um ein semi-atmosphärisches Tauchgerät, wie es zahlreiche in dieser Zeit gab.

Die große Menge an Erfindungen und Privilegien bedeutet nicht, dass damit gleichzeitig ein Technologie- und Innovationsschub einsetzte. Der Erfolg von Phips geschah in einer Zeit, in der ein allgemeines, spekulationsfreudiges Klima für riskante Unternehmen, die hohen Profit versprachen, in England herrschte. MacLeod schreibt dazu: „There was a spectacular outburst of patenting, but not necessarily in inventing; the ready availability of capital promoted both worthless „projects“ and a few technically valuable experiments“¹²²².

Das Patentsystem im Königreich war im Vergleich zu anderen europäischen Ländern in der Frühen Neuzeit noch weit davon entfernt, tatsächliche Innovationen und Erfindungen auszuweisen. Der Begriff „erfinden“ war sehr großzügig ausgelegt. 1624 hatte James I. (1566-1625, reg. 1603-1625) zwar die „Statute of Monopolies“ verabschiedet, die die Monopolvergabe stark einschränkten und reglementierten. Weiterhin brauchte aber die Erfindung nur in sehr groben Zügen beschrieben werden, es genügte vollauf zu erklären, was sie bezwecken sollte. Es ging nicht darum, wie, also mit welcher technischen Vorrichtung und auf welchem Weg der Erfinder dies erreichen wollte. Deshalb enthielten die englischen Patentschriften bis zum Beginn des 18. Jahrhunderts keine technischen Angaben oder Zeichnungen. Ob der Einreicher sein Vorhaben auch tatsächlich umsetzen konnte, blieb ebenfalls offen. Die Krone prüfte auch nicht, ob eine eventuelle Verletzung eines anderen

¹²²¹ Anonymus: Diving demonstration, in: *The Post Boy*, An Historical Account with Foreign and Domestick News, No. 20, Tuesday 22 June 1695, 1.

¹²²² MacLeod, *The 1690s Patents Boom*, 550.

Patentes vorlag. War dies der Fall, so hatten dies die beiden Parteien unter sich vor Gericht auszufechten. Das Englische Patentamt behielt noch bis in das 19. Jahrhundert die Rolle einer reinen Registrierungs- und nicht auch einer Begutachtungs- und Bestätigungsbehörde.¹²²³

Ein Patent auf ein „Apparatus for Working under Water“ war oftmals nur Mittel zum Zweck um an eine begehrte Konzession für die Wracksuche in einem bestimmten Gebiet zu gelangen. Unter diesem Aspekt erstaunt es nicht, wenn man heute bei der Begutachtung einer patentierten „Erfindung“ feststellt, dass sie in der Substanz überhaupt nichts Neues enthält, oder sogar sinnlos ist - dafür aber im Patentgesuch gleichzeitig um eine wesentlich wertvollere Konzession gebeten wird. Und darin ist dann auch der Grund zu suchen, weshalb sich Kaufleute oder andere Berufsgruppen als Patenteinreicher entpuppten, obwohl sie bislang nie etwas mit dieser technischen Thematik zu tun hatten. Tatsächlich gab es in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts unter den Patenteinreichern eine deutlich größere Menge an Bankiers und Finanziers als Handwerker.

Patenturkunden dienten so vorwiegend als Werbeschriften für potentielle Investoren und Kunden mit wenig juristischer Absicherung. In England waren Patente noch viele Jahrzehnte lang hauptsächlich eine willkommene Geldeinnahmequelle für die Krone und ein Lockmittel für Spekulanten, die mit einer Scheinfirma Anteile („Shares“, „Joint-Stock“) an der Verwertung einer neuen Erfindung verkauften. „Oh, a patent gives a reputation to it, and cullies in the company“¹²²⁴ wusste man schon 1695. Die hohen Kosten für eine Anmeldung können auf dem umgekehrten Weg auch ein Grund dafür sein, dass Erfindungen in der Frühen Neuzeit in England nicht als Patent angemeldet wurden, obwohl sie neuartig und innovativ waren.

Viele Patente wurden gleich nach der Gewährung in Anteile an der Börse versilbert, oder an den Höchstbietenden verkauft. Ein besonders hervorstechendes Beispiel findet man in der Person von Thomas Neale (1641-1699). Neale war an einer großen Zahl von Projekten beteiligt, unter anderem auch an Schiffsbergungen. Trotz seiner vielen Beteiligung an Bergungsprojekten sowohl auf den Britischen Inseln als auch auf den Karibischen Inseln gibt es keine Aufzeichnungen darüber, dass er oder seine Partner jemals tatsächlich etwas aus dem Meer geborgen hätten.¹²²⁵

Das königliche Siegel auf dem Papier ebnete den Weg für sogenannte „Projektmacher“. Die „Projektmacher“ der Frühen Neuzeit sind inzwischen zu einem eigenen

¹²²³ MacLeod, *The 1690s Patents Boom*, 560.

¹²²⁴ Anonymus, *Angliae Tutamen*, 23.

¹²²⁵ Siehe Peter Dick / Michael Fardell, *Thomas Neale - A Late 17th Century Projector's Story*, in: *International Journal of Diving History* 10 (2018) 43-48.

kulturwissenschaftlichen und wirtschaftshistorischen Forschungsgegenstand geworden.¹²²⁶ Projektmacher waren das Gegenbild des Ingenieurs, der seriöse, wissenschaftlich fundiert und eher konservativ-sichere Konstruktionen und Projekte durchführt.¹²²⁷

„There was a fever of speculation“¹²²⁸, beschreibt MacLeod den Zeitraum des in der Fachliteratur bezeichneten „projecting age“¹²²⁹ Ende des 17. Jahrhunderts, und von diesem Fieber wurde auch das Bergungstauchen erfasst. Die Unsichtbarkeit der Meerestiefen schien perfekt zur Kunst des Projektors zu passen, der den Anlegern Visionen von schillerndem Reichtum vorgaukelte. Doch wie so oft in dieser Zeit verpuffte der Erfolg in einer geplatzten Blase.

In dieser Zeit allgemeiner Spekulationen, in der Projektoren das Tauchen als mögliche Wertschöpfung entdeckten, kam es zu vielen finanziellen Verlusten und Konkursen unter denjenigen, die in verschiedene Pläne einbezogen wurden. Einer der bekanntesten Personen war der Schriftsteller Daniel Defoe (1660-1731). Er ließ sich auf riskante Unternehmungen ein, wie etwa Bergungsvorhaben mit Taucherglocken. Desillusioniert beschrieb 1697 Defoe seine negativen Erfahrungen in seinem Buch *An Essay upon Projects*.¹²³⁰

Eine der ersten Publikationen, die das Thema der Tauchgeräte-Projektmacherei in England aufgriff und kritisierte, war das 1695 anonym erschienene *Angliae Tutamen*. Der Autor schildert die Situation in all ihren Facetten: „and then came up Diving-Engines of various make, [...] People were taken with Noise, led by Phancy, and so hook'd: Patents were also gain'd for the sole Use of these Gimcracks [...] the Patentees got Money, and every Body else lost, and so there was an end of that Matter“¹²³¹. Auch der Poet Aaron Hill (1685-1750) beschrieb die Reaktionen auf Phips spektakulären Erfolg: „a thousand Families have been since undone, by sending their estates a Diving after shipwrecked Treasure“¹²³².

¹²²⁶ Siehe beispielsweise Markus Krajewski (Hg.), *Projektmacher. Zur Produktion von Wissen in der Vorform des Scheiterns*, Berlin 2004; Jessica Ratcliff, *Art to Cheat the Common-Weale: Inventors, Projectors, and Patentees in English Satire, ca. 1630-70*, in: *Technology and Culture* 53 (2012) 337-365; Stefan Brakensiek, *Projektmacher: Zum Hintergrund ökonomischen Scheiterns in der Frühen Neuzeit*, in: Stefan Brakensiek / Claudia Claridge (Hg.), *Fiasko - Scheitern in der Frühen Neuzeit. Beiträge zur Kulturgeschichte des Misserfolgs*, Bielefeld 2015, 39-59; Markus Krajewski, *Projektmacher*, in: Benjamin Bühler / Stefan Willer (Hg.), *Futurologien. Ordnungen des Zukunftswissens*, Paderborn 2016, 209-220; Eva Brugger, *Die Produktivität des Scheiterns. Das Projektmachen als ökonomische Praktik der Frühen Neuzeit*, in: Marian Füssel / Philip Knäble / Nina Elsemann (Hg.), *Wissen und Wirtschaft: Expertenkulturen und Märkte vom 13. bis 18. Jahrhundert*, Göttingen 2017, 79-96; Kristina Zekonyte, *Projectors in Seventeenth Century England and their Relevance to the field of Project Management*, Dissertation, University of Brighton, 2018.

¹²²⁷ Krajewski, *Projektmacher*, 20.

¹²²⁸ MacLeod, *The 1690s Patents Boom*, 557.

¹²²⁹ Daniel Defoe, *An Essay upon Projects*, London 1697, 1.

¹²³⁰ Daniel Defoe, *An Essay upon Projects*, London 1697.

¹²³¹ Anonymus, *Angliae Tutamen*, 20-21.

¹²³² Aaron Hill, *An Account of the Rise and Progress of the Beech-Oil Invention*. London 1715, 13.

Hans Sloane fasst die Reise von Phips und die Auswirkungen in seinem Buch von 1707 zusammen: „Though the Money brought to England from the first Wreck was considerable, yet much more was lost on Projects of the same nature“¹²³³.

Obwohl Projektemacher zu vielen finanziellen Zusammenbrüchen geführt haben, so trugen sie doch dazu bei, Tauchmaschinen und die Kunst des Tauchens im Allgemeinen ins Licht der Öffentlichkeit zu rücken. Der Naturhistoriker und Arzt John Woodward (1665-1728) veröffentlichte 1696 eine Auflistung, welche Beobachtungen von Reisenden durchgeführt werden sollten. Dieser enthielt für Reisen in Küstenregionen auch die Fragen, „at what distance from the shores the diveing is made [and] to what depth and how long the dyvers can endure under water“¹²³⁴.

Die geplatze Spekulationsblase sollte nicht nur für viele Aktionäre große finanzielle Verluste mit sich bringen, sondern auch der dadurch sehr populär gewordenem Gerätetauchen indirekt einen Imageschaden zufügen. Für fast 60 Jahre, zwischen 1716 und 1775, kam es zu einem Stillstand in der Weiterentwicklung des Gerätetauchens in England.¹²³⁵

5.2 Semi-athmosphärische Tauchgeräte

5.2.1 Allgemeine Grundlagen

Taucherglocken verlängerten die Zeit, die Taucher unter der Oberfläche bleiben konnten, im Vergleich zu Apnoetauchern, hatten aber Einschränkungen. Sie waren teuer und unhandlich und erforderten ein großes Unterstützungsteam an der Oberfläche. Der Taucher war am Grund weiterhin gezwungen, sich auf Haken oder Greifer an langen Stangen zu verlassen, um versunkene Gegenstände an Seilen zu befestigen, und konnte nur wenige, sehr kurze Ausstiege aus der Glocke mit angehaltenem Atem durchführen.

Angefacht von der Hoffnung, versunkene Schätze auf dem Meeresgrund zu heben, entstand im Zuge der Privilegienwelle gegen Ende des 17. Jahrhunderts eine neue Gattung von Tauchgeräten. John Bevan prägte 1999 für sie den Begriff „Semi-atmospheric diving systems“ um damit schuf einen zentralen Oberbegriff für einen vorübergehenden, aber in dieser Zeit

¹²³³ Hans Sloane, A voyage to the islands Madera, Barbados, Nieves, S. Christophers and Jamaica. Teil 1, London 1707, lxxxii.

¹²³⁴ John Woodward, Brief instructions for making observations in all parts of the world as also, for collecting, preserving, and sending over natural things, London 1696, 2.

¹²³⁵ Siehe hierzu Kapitel 6.1.3.

lukrativen Zweig der Tauchtechnik.¹²³⁶ Sie sind eine Weiterentwicklung der Saugrohrgeräte des Mittelalters.

Semi-atmosphärische Tauchsysteme sind Geräte, bei denen der Taucher Luft bei atmosphärischem Druck (mittlerer Luftdruck der Atmosphäre, auf Meereshöhe beträgt er normgemäß etwa 1 atm bzw. 101325 Pa) einatmet und ein Teil seines Körpers ebenfalls atmosphärischem Druck ausgesetzt ist, während der andere Teil seines Körpers dem höheren Umgebungsdruck des Wassers ausgesetzt ist. Es kommt damit zu Druckunterschieden in unterschiedlichen Körperregionen. Sie führen vor allem zu Blutstauungen und den damit verbundenen negativen Folgen wie Schmerzen, neurologischen Beschwerden, Taubheit und im schlimmsten Fall dem Absterben des Gliedmaßes. Dieser Effekt hatte Blaise Pascal bereits 1663 beschrieben und mit einer Gewebebeule illustriert.¹²³⁷

Ein einfacher Schnorcheltaucher ist nicht Teil dieser Gruppe, da er zwar Luft unter atmosphärischen Druck einatmet, aber sein gesamter Körper dem Umgebungsdruck ausgesetzt ist, und nicht nur ein Teil davon. Erst wenn er zum Beispiel seinen Kopf, oder Kopf und Brust bzw. Kopf, Brust und Beine in einen starren Behälter einkapselt, der den atmosphärischen Druck aufrechterhält, fällt er in die Kategorie der semi-atmosphärischen Taucher. Diese Tauchtechnik wurde für zwei Jahrhunderte, trotz mannigfaltiger Probleme, über die nachfolgend detaillierter eingegangen wird, mit unterschiedlichem Erfolg - vom Erwerb großen Reichtums bis zum plötzlichen Tod - angewendet.

Semi-atmosphärische Tauchsysteme gab es in zwei Varianten: Zunächst ein in sich geschlossenes System, in dem der Taucher seinen Luftvorrat unter atmosphärischem Druck mit auf den Meeresgrund nimmt, wie in einem Fass oder einer Tonne, und bei dem nur seine Arme in das Wasser herausragen.¹²³⁸

Die zweite Variante ist ein Saugrohratemgerät mit Panzeranzug. Diese Taucher konnten ihre Beine verwenden, um sich in unterschiedlichem Ausmaß, je nach Design des Anzugs, auf dem Grund zu bewegen. Durch den Schlauch war dies allerdings nur in einem begrenzten Radius möglich, und das Eindringen in Wracks oder Höhlen problematisch, da die Gefahr bestand, dass der Schlauch an Teilen der Wracks oder scharfen Felskanten beschädigt wurde und damit der Taucher in Lebensgefahr geriet und ertrinken konnte.

¹²³⁶ John Bevan, Semi-atmospheric Diving Systems, in: South Pacific Underwater Medicine Society Journal SPUMS 29 (1999) 167-173, 167.

¹²³⁷ Pascal, Traitez de l'équilibre, 32, Fig XVII.

¹²³⁸ Bevan, Semi-atmospheric Diving Systems, 169.

Bevor auf die technischen Details dieser Konstruktionen eingegangen wird, soll hier die physiologischen Auswirkungen von Druckunterschieden im menschlichen Körper näher erläutert werden. Der durchschnittliche arterielle Blutdruck bei einem gesunden Mann ist etwa 120 mmHg. Der Umgebungsdruck beim Tauchen im Meerwasser entspricht bei etwa 1,6 Meter Tiefe diesem Wert (1 bar = 0,750062 mmHG). Daraus folgt, dass bei einer äußeren Beaufschlagung des Körpers mit Umgebungsdruck und gleichzeitigem atmosphärischem Druck innerhalb des Körpers, bei Tiefen größer als 1,6 Meter die Tendenz zunimmt, dass Venen zusammengedrückt werden, die arterielle Blutzirkulation verhindert und das Blut aus den Extremitäten in die Arterien zurückgedrängt wird. Ein Druckunterschied von mehr als 0,05 bar führt bereits zu einem lebensgefährlichen Flüssigkeitsaustritt in den Alveolen der Lungen.¹²³⁹ Dem Taucher droht ein Lungenödem und damit der Tod durch Ersticken.

Da ein Druckunterschied zwischen der Innen- und Außenseite des Taucheranzuges besteht, war auch mit der Gefahr von eindringendem Wasser zu rechnen. Dem Versagen einer Dichtung würde das sofortige Entweichen der Luft und die vollständige Überflutung des Anzuges folgen. Der Fachterminus für diese gefürchtete Art von Tauchunfall ist „Tauchsturz“ oder „Blaukommen“. Durch den höheren Wasserdruck wird der Körper des Tauchers komprimiert, im ungünstigsten Fall regelrecht in den Helm „gequetscht“, und sein Blut in den Kopf gedrückt. Dadurch färbt sich der Hals und das Gesicht des verunfallten Tauchers blau. Im schlimmsten Fall führt es zum Tod des Tauchers.¹²⁴⁰

Um eine starke und zuverlässige Abdichtung an den Trennstellen zwischen atmosphärischem Innenraum und dem Umgebungswasser, wie etwa um einen Arm oder ein Bein, zu gewährleisten, wurden sehr enge Bindungen verwendet, die sich in der Praxis mit zunehmender Tiefe zu Aderpressen verwandelten und ähnlich einem Folterinstrument die dem Umgebungsdruck ausgesetzten Arme und Beine immer schmerzhafter abschnürten.

William Tracey (1735-?), der mit einem Kupferpanzer tauchte, der nur seinen Kopf und seine Brust bedeckte, gibt dies in eigenen Worten wieder: „in which undertaking of going down under water, the first time, the pressure of the water occasioned my great injury, as it was from that pressure I am now a cripple.“¹²⁴¹ Tracey scheint versucht zu haben, zu tief zu tauchen und erlitt infolgedessen ein sehr ernstes neurologisches Problem. „Despite all these impositions, for several centuries, the inevitable pain, physical trauma and risk of a horrible death were justified

¹²³⁹ Marées, Sportphysiologie, 628.

¹²⁴⁰ Siehe Hermann Roer, Über das Blaukommen der Taucher (Morbus caeruleus), in: Deutsche Zeitschrift für die gesamte gerichtliche Medizin 39 (1949) 378-420, 380.

¹²⁴¹ Matthew Cox, Memorial to the Navy Board [1782], National Maritime Museum Greenwich, London, ADM/A/2790.

by the significant opportunities (either real or imagined) to accumulate great wealth“¹²⁴², so John Bevan. Das Spekulationsfieber ließ offensichtlich alle gesundheitlichen Bedenken schwinden.

Innerhalb der beiden Ausführungsformen gibt es nur unwesentliche Varianten, und da mehrere Entwürfen bereits ausführlich erforscht wurde, wie etwa die Konstruktionen von Christian Caspar Hoppenstedt (1717)¹²⁴³, Jürgen C. Weiss (1785)¹²⁴⁴ Karl Heinrich Klingert (1797)¹²⁴⁵ und Peter Kreeft (1805)¹²⁴⁶ sollen hier nur einige Beispiele exemplarisch aufgezeigt werden.

5.2.2 Semi-atmosphärische, oberflächenversorgte Panzeranzugtaucher

Die Grundidee eines semi-atmosphärischen Tauchgerätes geht bis in das späte Mittelalter zurück, als Taucher mit Rüstungen oder Lederanzügen, die an Beinen und den Armen verschnürt waren, dargestellt wurden.¹²⁴⁷ Da Lederhelme Luft aus den Nähten verlieren, setzten sich später Kupferhelme durch. Sie waren nur für geringe Tiefen geeignet.

Die meisten Erfindungen während der Privilegienwelle in England scheinen semi-atmosphärische Tauchanzüge gewesen zu sein. Die ausführlichste Beschreibung findet sich im Patenttext von Thomson, Graves, Joell und Cuthbert vom 31. Mai 1692: Sie patentierten „a new engine, whereby a man may be let down under water [...] by the assistance of a certain diving-habit which does well secure them from the pressure of the water, and leaves their arms and legs naked and at liberty; with the help of another engine for pumping air, the said person so let down may safely continue for an hour at least under water, with great freedom and clearness of sight“¹²⁴⁸.

Auch bei dem Patent des deutschstämmigen Erfinders Andreas Becker (?-1717), dass er 1715 in England für seine „Machine for Raising Sunken Ships“¹²⁴⁹ erhielt, handelte er sich um einen semi-atmosphärischen Tauchanzug. Über Beckers Anzug findet sich in Jacob Leupolds

¹²⁴² Bevan, Semi-atmospheric Diving Systems, 167.

¹²⁴³ Siehe Michael Jung, Christian Caspar Hoppenstedt, a Previously Unknown Pioneer, in: Historical Diving Times 35 (2005) 20.

¹²⁴⁴ Siehe Alexander Ritter, „Dieses Glück“ einer „neu erfundenen Tauch Machine“! G. Chr. Lichtenberg, J. G. Müller, der deutsche Tauchpionier Jürgen C. Weiss und seine Itzehoer Unterwasseraktionen im holsteinischen Flusse Stör 1785-1792, in: Steinburger Jahrbuch 2011 55 (2010) 225-265.

¹²⁴⁵ Siehe Michael Jung, Tauchgeschichtekompendium Karl Heinrich Klingert, Merzig 1998.

¹²⁴⁶ Siehe Michael Jung, Meeresgrundwanderer. Der vergessene Tauchpionier Peter Kreeft aus Barth, Kückenshagen 1997.

¹²⁴⁷ Johannes Wiener, Kriegsbuch [um1437], Österreichische Nationalbibliothek, Wien, Cod. 3062, fol. 232r.

¹²⁴⁸ Patent No. 298 (31. Mai 1692) in Woodcroft, Titles of patents of invention, 58.

¹²⁴⁹ Patent No. 398 (10. Februar 1715) in Woodcroft, Titles of patents of invention, 72; siehe auch Michael Jung: Die frühen deutschen Erfinder, in: Divemaster 4 (2002) 57-60, 60.

*Pontificale*¹²⁵⁰ von 1726 eine kurze Notiz. Danach bestand er aus einem Kupferhelm mit zwei Gläsern für die Augen. Von dem Helm, an dem ein geschlossener Lederanzug angenäht war, gingen drei Rohre an die Wasseroberfläche: Eines zum Atmen, eines zum Sprechen und eines zum Hören. Wie einer Zeitungsnotiz zu entnehmen ist, führte Becker am 31. August 1715 seinen Anzug König Georg I. (1660-1727, reg. 1714-1727) in London vor.¹²⁵¹ Er ging etwa 45 Minuten lang in der Themse unter Wasser von Whitehall Richtung Somerset House und legte dabei etwa eine halbe Meile (ca. 750 Meter) zurück.

Beckers Versuch mit seinem Gerät wurde in einer Chronik aufgezeichnet, und dort wurde ebenfalls vermerkt, dass der Anzug nicht zufriedenstellend war: „A Person having invented a Diving Engine, made an Experiment of it, and walk'd some Space under Water; but it appears to be subject to many Inconveniences“¹²⁵².

Über eine praktische Anwendung der meisten semi-atmosphärischen Konstruktionen ist nichts bekannt geworden. Anders ist dies bei dem Design des französischen Marineoffiziers Pierre de Rémy, Chevalier de Beauve (?-1739) dessen ausführliche Konstruktionspläne im Archive National in Paris aufbewahrt werden.¹²⁵³

Aus den Zeichnungen geht hervor, dass die Tauchausrüstung aus einem leichten Metallhelm und einem Brustpanzer bestand, der vom Hals abwärts von einer unten offenen Lederjacke mit Armen und Handschuhen bedeckt war. Am Helm waren zwei mit Drahtspiralen versteifte Atemschläuche angebracht, und zwar einer für die Luftzufuhr mit einem Blasebalg, der andere zum Entweichen der Ausatemungsluft.

De Beauve soll 1711 in seinem Anzug bei Rio de Janerio bei Bergungsarbeiten getaucht haben. Dort hatte im September 1711 eine Schlacht zwischen der französische Flotte unter dem Kommando von René Duguay-Trouin (1673-1736) und einem portugiesischen Geschwader stattgefunden. De Beauve befehligte in der Schlacht die französische Fregatte *La Mutine*.¹²⁵⁴

Der von De Beauve konstruierte Tauchanzug ist möglicherweise auch König Ludwig XIV. (1638-1715, reg. 1643-1715) zur Kenntnis gebracht worden war, nachdem er von einem

¹²⁵⁰ Jacob Leupold, *Theatrum Pontificale*, Oder: Schau-Platz der Brücken und Brücken-Baues. *Theatrum Machinarum* Band 6, Leipzig 1726, 10.

¹²⁵¹ Anonymus, Account of a man walking under the Thames using Major Becker's apparatus, in: *The Exeter Mercury, or, Weekly Intelligence of News* (2nd September 1715) 6.

¹²⁵² Charles Brockwell: *A chronological history of Great Britain: or an impartial abstract of the most remarkable transactions, and the most considerable Occurrences, Year the second*, London 1716, 852.

¹²⁵³ Pierre Remy de Beauve, *Machine ou Armement pour des plongeurs proposée au Conseil de Marine en 1715 par Mons. Le Chevalier de Beauve. Dessiné par le Sr de Beauvilliers Gentilhomme Servant du Roy et son ingénieur [1715], Mémoires et plans relatifs aux fonderies, aux travaux immobiliers et maritimes, à la propulsion des navires, aux engins portuaires, à des inventions diverses 1672-1860*, Paris, Archives Nationales, MAP 6JJ/89 II, B-119.

¹²⁵⁴ René Duguay-Trouin, *Mémoires de Monsieur Du Guay-Trouin, lieutenant-général des armées navales de France*, Hg. Pierre-François Godard de Beauchamps, Paris 1740, 276.

Fachausschuss begutachtet wurde. Dieser Hinweis ist einem Brief des Königs an De Beauve vom 12. Juni 1715 zu entnehmen, der im Archives Nationales in Paris aufbewahrt wird.¹²⁵⁵ Der Anzug wurde nach der Begutachtung in Paris eingelagert und nicht weiter verwendet.¹²⁵⁶

Am 13. April 1763 erhielt die Royal Society of Arts im Rahmen ihres „Premium-Award Scheme“ eine Bewerbung aus Dänemark, die eine kolorierte Zeichnung und eine Beschreibung zu einem Tauchgerät enthielt, das ein Heinrich Schultz 1760 erfunden haben soll.¹²⁵⁷ Schultz wird in diesem Bericht als Mechaniker und Modellmacher des Königs von Dänemark Friedrich V. (1723-1766, reg. 1746-1766) bezeichnet. Dem Bericht zufolge führte Schultz 1760 in Kopenhagen seinen Anzug persönlich bei einem mehrstündigen Tauchgang in etwa 11 Meter Tiefe der Admiralität erfolgreich vor.¹²⁵⁸ Wie der Bericht weiter ausführt, erfolgte im April 1762 unter der Christianshavn-Brücke von Kopenhagen ein weiterer Tauchgang. Die Wassertiefe beträgt dort heute 7 Meter.¹²⁵⁹ Diese Leistung erscheint mit dem heutigen Hintergrundwissen als kaum vorstellbar. Möglicherweise hat sich Schultz im flacheren Uferbereich aufgehalten.

Die große Fachkenntnis des Einreichers der Bewerbung lässt sich daran erkennen, wie ausführlich er die Konstruktion skizziert und die beiden Luftschläuche beschreibt: „The serpentine, must likewise be made of Leather well tvined with good Brass Wire, and trimmed with Linnen strongly sewed to this wire wherewith their shrinking or giving Way is to be prevented, as its opening must always have one form“¹²⁶⁰ Die Druckdichtigkeit der Schläuche stellte einen besonders problematischen Punkt dar. Waren die Stichlöcher der Naht zu groß konnte die wertvolle Frischluft auf dem Weg in die Tiefe entweichen. Der Einreicher verwendete die Bezeichnung „Serpentine“ für seinen Schlauch, ebenso wie es bereits um 1660 erstmals Jan van der Heyden getan hatte.¹²⁶¹

Der Anzug von Schultz wurde nicht nur praktisch eingesetzt, sondern war der erste Tauchanzug, der kommerziell, wenn auch in Kleinstserie, hergestellt wurde. Der Bericht spricht von vier weiteren Anzügen, die nach diesem Modell auf Anweisung der Admiralität in

¹²⁵⁵ Florence Prudhomme, Early 18th Century French Diving Equipment, in: The International Journal of Diving History 6 (2013) 59-65, 59.

¹²⁵⁶ Jean-Paul Bignon, Table des Machines en bareval. Listes des Modelés des Machines et Instrumens du Cabinet de l'Observatoire, qui out raport a la Marine [1716], Mémoires et plans relatifs aux fonderies, aux travaux immobiliers et maritimes, à la propulsion des navires, aux engins portuaires, à des inventions diverses 1672-1860, Paris, Archives Nationales, MAP 6JJ/89 I or A, 49A.

¹²⁵⁷ Description of an experiment with a diving dress by Mr. Favier v. Mills April 13 1763, London, Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce, PR.GE/110/14/149.

¹²⁵⁸ Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce, PR.GE/110/14/145.

¹²⁵⁹ Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce, PR.GE/110/14/147.

¹²⁶⁰ Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce, PR.GE/110/14/147.

¹²⁶¹ Sutton, Jan van der Heyden, 25.

Kopenhagen hergestellt worden sind, um im kommenden Sommer (1763) eine russische Fregatte mit 40 Kanonen bei der dänischen Ostseeinsel Bornholm zu bergen.

Die Bewerbung von Schultz wurde vom zuständigen Committee of Mechanics am 19. Mai 1763 begutachtet. Der lehnte eine Prämierung ab: „It appears to this committee that the method proposed by Mr. Schultz of Diving in Armour is not new, having been long Practised on the Coasts of England and Elsewhere – and that it is liable in Deep Water to many great and Hazardous Inconveniencies“¹²⁶².

Auf den ersten Blick scheint Schultzes Anzug gut funktioniert zu haben, wenn man die Begeisterung der Dänischen Admiralität, die 1763 vier Stück bestellte, als Maßstab nimmt. Allerdings war die fachliche Kompetenz der Society of Arts groß genug gewesen um zu dem Urteil zu gelangen, dass dieser Anzug tatsächlich in vielerlei Beziehungen rückständig war, denn es handelte sich auch hierbei um einen semi-atmosphärischen Anzug, wie er bereits mehrfach gebaut und eingesetzt worden ist. Er hatte keinen Neuheitswert. Der Anzug hebt sich nur in unwesentlichen Details von seinen Vorgängern ab.

5.2.3 Semi-atmosphärische, autonome Fasstaucher

Die Unterwasserarbeiten in den semi-atmosphärischen Tauchgeräten waren sehr gefährlich und schmerzhaft, wenn der Taucher bereits wenige Meter hinabstieg. Eine Sonderform des semi-atmosphärischen Tauchgerätes, die sogenannten Fasstaucher, erhöhte dieses Risiko. Darunter versteht man ein Tauchgerät, bei dem der Taucher in einer allseits geschlossenen Holztonne liegt, und nur die Arme durch Öffnungen im Wasser frei bewegen kann. Vor dem Gesicht des Tauchers befindet sich eine runde Sichtscheibe aus Glas. Die Tonne hat keine Luftverbindung zur Oberfläche, so dass der Taucher nur die Luft veratmen kann, die sich im Innenraum befindet. Über einen seitlichen Kran auf einem Boot wird die Tonne mit einem Seil auf den Meeresgrund abgesenkt, wo der Taucher in einem eng begrenzten Radius Gegenstände greifen und sie in ein Netz unterhalb der Tonne deponieren kann. Auf dem Grund konnte er sich in einem Radius von etwa vier Meter durch Festhalten an dem Wrack vorwärtsziehen. In einer Hand hielt der Taucher ein Signalseil, mit dem er die Anweisung, ihn hochzuziehen, an die Deckmannschaft geben konnte. Dies musste früh genug erfolgen, ansonsten wurden die Arme durch die reduzierte Blutzirkulation taub und es war keine ausreichende Kraft für die Betätigung des Seiles mehr vorhanden.

¹²⁶² Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce (Hg.), Minutes of Committees 1762-63, Committee of Mechanics, London 1763, 116.

Der Erfinder dieser Konstruktion, und gleichzeitig der erfolgreichste Anwender war John Lethbridge (1675-1759) aus Newton Abbot im Südwesten Englands. Seine Leistungen waren so herausragend, dass ihm Attribute wie „greatest diver among the great“¹²⁶³ oder „one of the most successful salvors of the eighteenth century“¹²⁶⁴ verliehen wurden. Da sein Leben und sein Wirken¹²⁶⁵ inzwischen gut erforscht sind kann die Darstellung hier auf die wesentlichsten Eckdaten und Ereignisse beschränkt werden.

Lethbridge schrieb 1749 einen Leserbrief¹²⁶⁶ an das *Gentlemen's Magazin* in London, um seinen Prioritätsanspruch als „the first inventer of a diving engine in England, without communication of air from above“¹²⁶⁷ geltend zu machen. Er beschrieb darin auch seine Motivation: „Necessity is the parent of invention, and being, in the year 1715, quite reduced, and having a large family, my thoughts turned upon some extraordinary method, to retrieve my misfortunes; and was prepossessed, that it might be practicable to contrive a machine to recover wrecks lost in the sea“¹²⁶⁸.

Das zentrale Problem war es bei dieser Art von Konstruktion, die Oberarme gut genug abzudichten, ohne die Blutzirkulation in den Armen des Tauchers zu unterbrechen. Sie sollten für die Arbeiten auf dem Grund einsetzbar bleiben. Dies ermöglichte Lethbridge durch einen Kunstgriff, der bislang kaum wahrgenommen wurde. Im Gegensatz zu anderen zeitgenössischen Konstrukteuren von semi-atmosphärischen Taucheranzügen verwandte er keine Ringe, mit denen das Leder des Anzuges gegen die Haut gepresst wurde. Sie hatten zwar den Vorteil, dass sie mit zunehmender Tiefe immer fester gegen den Oberarm oder den Oberschenkel gepresst wurden, und sich damit die Dichtwirkung erhöhte, aber dies mit steigenden Schmerzen verbunden war, und die Blutzirkulation hemmte oder stoppte.

Lethbridge verwandte als Abdichtungen eine Form von Manschetten, die auch „Chinesischer Finger“ oder „Extensionshülse“ genannt werden.¹²⁶⁹ Die Manschette ist nicht kreisförmig ausgeschnitten, sondern bedeckt lappenartig den Oberarm, so dass sich der Wasserdruck auf eine wesentlich größere Dichtfläche verteilt und damit weniger schmerzhaft

¹²⁶³ Mark Jasinski, Meeting John Lethbridge, in: *Historical Diving Times* 46 (2009) 12-17, 12.

¹²⁶⁴ Ratcliffe, *Bells, Barrels and Bullion*, 48.

¹²⁶⁵ Als das Standardwerk gilt Mike Fardell, *John Lethbridge. The most successful treasure diver of the eighteenth century*, London 2010. Wissenschaftliche Untersuchungen zur maximalen Taucherdauer bei Trevor Newman, *John Lethbridge's diving barrel: how long could he remain underwater?*, in: *International Journal of Diving History* 7 (2014) 52-70; Trevor Newman, *Update on Lethbridge barrel dive times*, in: *Historical Diving Times* 61 (2015) 24. Details über die Bergungsarbeiten an dem Wrack der *Victory* finden sich in Trevor Newman, *John Lethbridge and the Loss of the Victory*, in: *Odyssey Marine Exploration Papers* 46 (2015) 1-15.

¹²⁶⁶ Siehe John Lethbridge, *Letter to the Editor Mr. Urban*, in: *The Gentleman's Magazine* 19 (1749) 411-412.

¹²⁶⁷ Lethbridge, *Letter*, 411.

¹²⁶⁸ Lethbridge, *Letter*, 411.

¹²⁶⁹ Bevan, *Semi-atmospheric Diving Systems*, 169.

ist als bei einer reinen Ringabdichtung. Diese Methode wird heute in der Medizintechnik verwendet. Auf Laien machten diese lappenartigen Manschetten den Eindruck einer Verzierung, wie man sie häufig an Jacken des 15. Jahrhunderts sah. Die gezackten Lappen („Zaddel“ genannt) deuteten damals auf eine Festkleidung und den höheren Stand hin.¹²⁷⁰ In der tauchtechnischen Praxis waren sie aber - neben seiner großen Nervenstärke - der Erfolgsfaktor von Lethbridges Design.

Neben der Abdichtung der Oberarme war das zweite Problem, den Taucher mit Luft zu versorgen, denn das Gerät war nicht mit der Oberfläche verbunden. Um die Luft aufzufrischen, musste die Tonne in gewissen Abständen an die Oberfläche gehoben und geöffnet werden. Dies geschah aber aus Zeitgründen nicht, in dem man den großen Einstiegsdeckel aufschraubte, sondern es konnten zwei Stopfen entfernt und ein Blasebalg verwendet werden, um die Luft in der Tonne zu spülen. Ein weiterer Stopfen am unteren Ende des Fasses wurde an Bord geöffnet, um eingedrungenes Wasser ablaufen zu lassen.

Lethbridge gab an, er habe in der Tonne oft mehr als sechs Stunden täglich, jeweils bis zu 34 Minuten lang, in Tiefen bis zu 18 Meter (10 Fathom) getaucht, „and have been 12 fathom, but with great difficulty“¹²⁷¹. Der Wahrheitsgehalt dieser Angabe ist oft angezweifelt worden, und gab Anlass zu Experimenten mit Nachbauten¹²⁷² in Wassertanks, und umfassenden theoretischen Berechnungen¹²⁷³. In Tiefen von 18 oder 22 Meter ist der Wasserdruck auf die Oberarme bereits so groß, dass ein Taucher es dort mit einer solchen Konstruktion nur wenige Minuten auszuhalten kann. Man geht heute davon aus, dass Lethbridge es zwar bis maximal 40 Minuten in der Tonne aushalten konnte bis der Sauerstoff veratmet war, aber kaum mehr als 3 bis 4 Minuten in der maximalen Tiefe.¹²⁷⁴ Bei einem Fassvolumen von etwa 300 Liter wäre dies ein Atemminutenvolumen von 10 l/min, was durchaus realistisch ist.

Lethbridge konnte 1717 den Angehörigen des britischen Hochadels und Mitglied der Royal Society Richard Arundell (ca.1696-1758) dazu bewegen, ihm das Recht zur Bergung der Ladung von Schiffswracks vor der Küste von Cornwall zu verschaffen. Neben einer Reihe von Wracks in dieser Region tauchte er im Sommer 1719 erfolgreich an einem Wrack in der Nähe von Baltimore, Irland, und einem holländischen Schiff in der Nähe von Plymouth.¹²⁷⁵

¹²⁷⁰ Jakob Heinrich von Hefner-Alteneck, Trachten, Kunstwerke und Gerätschaften vom frühen Mittelalter bis Ende des 18. Jahrhunderts, Band 5, Berlin 2020, Tafel Nr. 347.

¹²⁷¹ Lethbridge, Letter, 412.

¹²⁷² Sean Holland, Robert Sténuit, Salvor, Archeologist, in: Immersed, The international Technical Diving Magazine 10 (1999) 14-16, 14; Jasinski, Meeting John Lethbridge, 12-17.

¹²⁷³ Newman, Lethbridge's diving barrel, 58-60.

¹²⁷⁴ Newman, Update, 24.

¹²⁷⁵ Fardell, John Lethbridge, 11.

Im März 1720 reiste Lethbridge auf der Suche nach Kapitalgeber nach London, und um seine Erfindung öffentlich zur Schau zu stellen. Vom 29. bis 31. März (Karfreitag bis Ostersonntag) führte er drei Tage lang seine Tauchtonne in der Themse am Whitehall-Bootssteg vor. Londoner Zeitungen berichteten darüber.¹²⁷⁶ Dabei erregte er die Aufmerksamkeit der Britischen Ostindien-Kompanie, die ihn in den Folgejahren für die Bergung mehrerer versunkener Schiffe einsetzte. Diese Arbeiten führten Lethbridge bis Südafrika und auf die Kapverdischen Inseln. 1727/1728 arbeitete er vor Kapstadt für die Niederländische Ostindienkompanie, und 1734 barg er eine Fracht von einem Wrack im Hafen von Marseille.¹²⁷⁷

Lethbridge hatte einige wenige Nachahmer, wie Jacob Rowe¹²⁷⁸ und Edward Barlow¹²⁷⁹, aber keiner davon schien den gleichen Erfolg gehabt zu haben wie Lethbridge. Er war so erfolgreich, dass er mehrere seiner Tauchtonnen bauen und ein Team von Assistenten und Tauchern ausbilden konnte.

Obwohl Lethbridge 1715 als Autodidakt und Laie begonnen hatte, scheint er sich im Laufe der Jahre auch fachlichen Rat zur Weiterentwicklung seines Tauchgerätes eingeholt zu haben. In dem Nachtrag zu seinem Leserbrief im *Gentleman's Magazine* von 1749 schrieb Lethbridge: „Dr Halley, who frequently conversed with me [...] said, he never thought any man could invent a machine, to work about himself, in so small a quantity, as six ounces of confined air“¹²⁸⁰. Edmond Halley besaß große eigene Erfahrungen im Tauchen und über die Eigenschaften der Luft.¹²⁸¹

Nach dem verstärkten Aufkommen von semi-atmosphärischen Tauchgeräten Ende des 17. Jahrhunderts beschäftigten sich auch Wissenschaftler mit dieser neuen Art. Einer der ersten war Edmond Halley, der 1716 über sie schrieb: „This has indeed been found sufficient for small Dephts, not exceeding twelve or fifteen foot, but when the Dephts surpasses three Fathoms,

¹²⁷⁶ Anonymus, News and Comments, in: The Weekly Journal; or British Gazetteer, Saturday, 2nd April 1720, 1569.

¹²⁷⁷ Siehe Zelide Cowan, Early Divers. Underwater Adventures in the 17th and 18th Centuries, Great Yarmouth 1985, 29-38.

¹²⁷⁸ Woodcroft, Titles of patents of invention, Patent No. 431, 78.

¹²⁷⁹ Edward Barlow, The Submarine. An Engine for conveying Air under Water, 13th May 1736, British Library London, Add. MSS. 4433.

¹²⁸⁰ Lethbridge, Letter, 413. Eigene Nachforschungen und Anfragen in relevanten Archiven (National Archive London und Archiv der Royal Society London) auf der Suche von dieser Korrespondenz zwischen Lethbridge und Halley blieben bislang erfolglos.

¹²⁸¹ Edmond Halley, A Discourse of the Rule of the Decrease of the Height of the Mercury in the Barometer, in: Philosophical Transactions of the Royal Society 16 (1688) 104-116, 104; Edmond Halley, An Estimate of the Quantity of Vapour raised out of the Sea by the warmth of the Sun; derived from an Experiment shown before the Royal Society, in: Philosophical Transactions of the Royal Society 16 (1688) 366-370, 367; Siehe hierzu Kapitel 5.3.

Experience teaches us that this Method becomes impracticable“¹²⁸². Drei Nautische Faden sind etwa 5 Meter Wassertiefe, was bereits über die heute zumutbare maximale Tiefengrenze von zwei Metern hinausgeht.

John Theophilus Desaguliers urteilte ähnlich: „For great depths [...] these armour machines are quite useless, the Diver having bled at the Nose, Mouth and Eyes, and died soon after the Trial“¹²⁸³. Er stützt seine Aussagen auf Erfahrungsberichte: „Captain Irwin [...] was forced to keep his Bed six Weeks. And I have heard of another that died in three Days, for having ventured to go down 14 Fathom“¹²⁸⁴. 25 Meter ist weit über der maximalen Einsatztiefe, die andere semi-atmosphärische Taucher erreicht haben.

Seit dem Ende des 17. Jahrhunderts fanden keine nennenswerten Weiterentwicklungen der semi-atmosphärischen Konstruktion statt, denn diese Art Tauchgeräte stößt aus physikalischen und physiologischen Gründen schnell an konzeptionelle Grenzen. Es war eine technologische Sackgasse.

Bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts waren nur zwei Tauchgeräte-Typen in Verwendung: Die Taucherglocke und der semi-atmosphärischen Tauchanzug. Trotz ihrer Nachteile und Gefahren waren sie in flacheren Bereichen durchaus einsetzbar und ermöglichten eine größere Mobilität als Taucherglocken. Außerdem waren sie kostengünstiger herzustellen. Durch das Aufkommen des Helmtauchanzuges in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts endete die Phase der semi-atmosphärischen Taucheranzüge auch für geringe Tiefen endgültig.

5.3 Edmond Halleys Tauchkonzepte 1689-1696

Einer der ersten namhaften Wissenschaftler der Royal Society nach Robert Boyle und Robert Hooke, der sich dem Gerätetauchen zuwendeten, war Edmond Halley. Er war seit November 1678 Mitglied der Royal Society und hatte unter anderem großes Interesse an der Ozeanographie.¹²⁸⁵ Als im Februar 1686 ein neuer Clerk für die Royal Society gesucht wurde, gab es drei Kandidaten: Denis Papin, Hans Sloane und Edmond Halley, der die Wahl gewann.

¹²⁸² Edmond Halley, *The Art of Living under Water: Or, a Discourse concerning the Means of Furnishing Air at the Bottom of the Sea, in Any Ordinary Depths*, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 29 (1716) 492-499, 494.

¹²⁸³ Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 2, 214.

¹²⁸⁴ Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 2, 215.

¹²⁸⁵ Dieter B. Herrmann, *Biographien bedeutender Astronomen: eine Sammlung von Biographien*, Leipzig 1991, 65.

Halley behielt diese Position zehn Jahre lang.¹²⁸⁶ In dieser Funktion war er unter anderem auch für die Herausgabe der *Philosophical Transactions of the Royal Society* zuständig.

Wie im Folgenden aufgezeigt wird, hat das in diesen Jahren in England vorherrschende große Interesse an Schiffsbergungen auch Edmond Halley erfasst. Bis dahin war er vorwiegend an Astrologie interessiert. Seine Kenntnisse zum Tauchen hat er sich als Autodidakt durch das Studium einschlägiger Literatur erworben, und sie dann mit eigenen Ideen weiterentwickelt.

Im Juni 1687 war William Phips mit seinem geborgenen Silberschatz aus der Karibik in London eingetroffen. Am 6. März 1689 verlas Halley seine erste von insgesamt sieben Abhandlungen über das Tauchen bei einem Meeting der Royal Society unter dem Titel „A Method of Walking under Water“¹²⁸⁷. Bereits mit seinem ersten Vortrag bewies er weitreichende Kenntnisse der physikalischen Gegebenheiten unter Wasser. Er wollte dem Taucher auf dem Meeresgrund große Mobilität geben „as if one trodd upon the drie ground“¹²⁸⁸.

Zunächst beschreibt Halley, wie mühsam und unzureichend es für die Arbeit eines Tauchers ist, immer wieder zum Atemschnöpfen an die Oberfläche kommen zu müssen. Auch das von Aristoteles vorgeschlagene Verfahren, eine Taucherglocke als Atemluftreservoir abzusenken, in die der Taucher bei Bedarf hinein tauchen, frische Luft einatmen und wieder zum Arbeiter hinausschwimmen konnte, wäre nur sehr unvollkommen. Er schlug deshalb vor, eine halbkugelförmige oder zylindrische Taucherglocke unten an ihrem Rand mit vier Rädern zu versehen, damit sie auf dem Meeresgrund mobil werden würde und von dem Insassen zu dem jeweiligen Arbeitsplatz verschoben werden kann. In der Glocke sollte ein Kompass angebracht sein, um auch in trübem Wasser sicher navigieren zu können.

Auf die Möglichkeit, Räder zur Bewegung eines Unterwasserfahrzeuges einzusetzen, hatte bereits 1644 Marin Mersenne hingewiesen.¹²⁸⁹ Auch Mersenne hatte vorgeschlagen, Bullaugen für wissenschaftliche Beobachtungen einzubauen und einen Kompass für die Navigation zu verwenden.

Halley war sich bewusst, dass die Glocke mit zunehmender Tiefe durch die Kompression der Luft an Auftrieb verlor, und damit immer schwerer wurde. Dadurch wäre ihre Manövrierfähigkeit auf dem Meeresgrund auch mit Rädern nicht möglich. Deshalb sollte die Glocke genauso schwer sein, wie das von ihr verdrängte Wasservolumen, so dass sie bei dem

¹²⁸⁶ Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, 7.

¹²⁸⁷ Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, 144-145.

¹²⁸⁸ Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, 144.

¹²⁸⁹ Mersenne, *Cogitata physico mathematica*, Lib. II., 251-259.

Einsenken in das Wasser nahezu schwebt. Halley berechnete richtig, dass sich mit zunehmender Tiefe das Luftvolumen reduzierte.¹²⁹⁰

Um die Glocke nun wieder in ihren gewichtsneutralen Zustand wie nahe der Oberfläche, und damit auf dem Meeresgrund manövrierbar zu machen, sollte das Glockenvolumen mit Luft vollständig aufgefüllt werden. Dies könne durch eine Reihe luftgefüllter Behälter, die von der Oberfläche nach unten gesandt und unter der Glocke entleert werden, geschehen.¹²⁹¹ Da der Insasse bei dieser Methode nur knietief im Wasser stehen würde, genüge es, wenn er wasserdichte, hüfthohe Fischerstiefel anzöge.

Unsicher war sich Halley nur darüber, was die Atmung in der Glocke anbetraf, aber nach seinem Wissenstand dürfte auch dies keine Schwierigkeiten bereiten, „but it may be said that no experiment I know of concludes compressed Air to have any such ill quality“¹²⁹².

Aus dem Vortragstext lässt sich ableiten, dass Halley das Konzept der auf und ab pendelnden Behälter, das Hooke etwa 25 Jahre zuvor zur Erneuerung des Atemluftvorrates präsentiert hat, zunächst für einen anderen, neuen Anwendungsfall vorsah, und zwar dem Auffüllen des reduzierten Glockenvolumens, um damit das Wasser zu verdrängen und der Glocke größeren Auftrieb zu geben, damit sie auf dem Meeresgrund manövrierfähig wird. Diese Idee von Halley war in der Theorie richtig gedacht, aber dadurch, dass der Meeresgrund weich ist und die Räder darin einsinken, nicht in der Praxis umzusetzen. Je stärker sich der Insasse anstrengen und gegen den Meeresgrund anstemmen würde, umso tiefer würde er darin einsinken. Ein weiterer Aspekt, den Halley nicht bedachte war, dass eine Glocke, die auf dem Meeresgrund nahezu gewichtsneutral wäre, leicht von der Meeresströmung erfasst und unkontrolliert weggetrieben werden kann. Insofern ist es von größerem Vorteil, wenn die Glocke Abtrieb besitzt.

Robert Hooke zeigte sich bei dem Meeting von Halleys Ausarbeitung unbeeindruckt und erklärte, dass die zugrundeliegende Idee mit seiner von 1663/1664 identisch sei¹²⁹³. Dies wurde bei dem nächsten Meeting der Royal Society von Richard Waller bestätigt, der die entsprechende Passage in den damaligen Aufzeichnungen fand.¹²⁹⁴

Ab diesem Zeitpunkt scheint Halley seine Idee für eine Taucherglocke nicht weiter verfolgt zu haben, bis sich zwei Jahre später, Ende März 1691, an der Küste von Sussex nahe Portsmouth ein Schiffbruch ereignete, der eine Gelegenheit bot, seine Gedanken in der Praxis zu erproben:

¹²⁹⁰ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 145.

¹²⁹¹ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 145.

¹²⁹² Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 145.

¹²⁹³ Gunther, Early science in Oxford, Vol. X, 103.

¹²⁹⁴ Journal Book of the Royal Society, Volume 8, 1685-1690. Royal Society of London, JBO/8, Minutes of meeting 13th March 1689, o. S..

Das Schiff war die *Guiney*, eine Fregatte der Royal African Company. Sie kehrte Anfang 1691 aus Afrika zurück, nachdem sie Tropenholz, Bienenwachs, Elefantenzähne und Gold geladen hatte.¹²⁹⁵

Es ist nicht nachvollziehbar, was genau die Ursache für den Schiffbruch war, und es gibt keine Erwähnung von verlorenen Seeleuten. Auch das Gold scheint gerettet worden zu sein, das Elfenbein ging jedoch mit dem Schiff unter. Es ist auch nicht bekannt, ob die Royal African Company auf die Royal Society mit einem Hilfesuch zuging, oder ob Halley von sich aus diesen Bergungsauftrag anfragte. Möglicherweise hat er von Abraham Hill, Schatzmeister der Royal Society und zugleich Deputy Governor der Royal African Company, von dem Schiffbruch erfahren.

Halley betrachtete seine Tauchgänge aber nicht nur unter wirtschaftlichem, sondern ebenso unter wissenschaftlichem Gesichtspunkten, wie die Formulierungen „By experiment it is found“¹²⁹⁶ und „Experience teaches us“¹²⁹⁷ in der späteren Beschreibung seiner Erfahrungen verdeutlichen. Jeder Tauchgang hatte experimentellen Charakter, denn es lagen noch kaum gesicherte Erfahrungen im Gerätetauchen vor.

Halley begann umgehend damit, Tauchgeräte für den Einsatz an der *Guiney* zusammenzustellen. Wie er bei dem Meeting der Royal Society am 6. Mai 1691 erläuterte, plante er, eine zweizylindrige Pumpe für die Frischluftzufuhr einzusetzen.¹²⁹⁸ Halley griff damit den Vorschlag auf, den Denis Papin zwei Jahre zuvor publiziert hatte.¹²⁹⁹ Halley ließ aber die Idee zugunsten eines zuverlässigeren Fasssystems fallen, vielleicht auch weil er erkannt hatte, dass es noch keine brauchbaren Luftschläuche für sein Vorhaben gab.

Wie das Journalbuch der Royal Society, in dem die Meetings mitprotokolliert wurden, zeigt, erläuterte Halley in der darauffolgenden Woche weitere Details zu seinem Vorhaben.¹³⁰⁰ Halley plante danach zunächst, das gesamte Schiff zu heben, und nicht nur die Ladung zu bergen. Dieses Vorhaben schien er aber ebenfalls aufgegeben zu haben, denn in den nachfolgenden Abhandlungen geht es nur noch um die Bergung der Ladung.

Halley führte daraufhin erste Tauchversuche in der Praxis durch. Der Londoner Journalist Richard Laphorne berichtet in einem Briefwechsel über einen Tauchversuch am 31. Mai 1691, und das dabei Luftfässer zur Frischluftversorgung eingesetzt worden wären „The figure which

¹²⁹⁵ Alan H. Cook, Edmond Halley: Charting the Heavens and the Seas, Oxford 1997, 237.

¹²⁹⁶ Halley, The Art of Living under Water, 493.

¹²⁹⁷ Halley, The Art of Living under Water, 494.

¹²⁹⁸ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 224.

¹²⁹⁹ Papin, Excerpta ex litteris, 489.

¹³⁰⁰ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 224.

incloses the Diver is in the form of a Bell and an Expedient to carry with it barrells of ayre For the Divers better subsistence in the Deepe”¹³⁰¹.

Halleys Glocke wurde im Juli 1691 von fünf Personen eingesetzt, und zwar von Thomas Joell¹³⁰² und David Griell, beide Kaufmänner, William Clopton, einem Tuchhändler aus Bath, William Cuggley, einem Drechsler und Halley selbst. Clopton, Griell und Cuggley berichten am 16. Juli 1691 von ihren Tauchgängen und beglaubigten ihre Aussagen durch einen Eid.¹³⁰³ Nach diesen Dokumenten war Clopton einer von dreien, die „Three quarters of an hour“ (45 Minuten) lang zusammen tauchten. Clopton gingen mit zwei anderen hinunter und blieben trocken, während die beiden anderen auf dem Meeresgrund im Wasser standen und arbeiteten. Cuggley tauchte mehrere Male, einmal bis zu einer Tiefe von neun Faden (ca. 16 Meter) bei Flut mit einer weiteren Person für eine Stunde. Sie berichteten, dass das System, Luft in Fässern nach unten zu schicken, gut funktionierte, und sie noch deutlich länger unten hätten bleiben können.

Clopton, Griell und Cuggley gaben unter Eid ebenfalls zu Protokoll, dass die Taucherglocke von Halley in keiner Art der in Southwark hergestellten von Joseph Williams ähnelte. Der hatte zusammen mit drei Partnern fast zeitgleich mit Halley ein Privileg für eine Taucherglocke erhalten.¹³⁰⁴ Williams und seine Partner verkauften später Anteile an ihrem Unternehmen unter anderem an Daniel Defoe, der durch die Spekulationsblase viel Geld verlor.¹³⁰⁵

Vermutlich handelte es sich im Juni und Juli 1691 um die Besichtigung des Wracks und Versuchstauchgänge mit der neuen Glocke, also noch keinen direkten Arbeitseinsatz an der *Guiney*. Für diese Annahme spricht, dass es sich bei den vier Personen nicht um Praktiker aus dem maritimen Gewerbe gehandelt hat, sondern um Kaufleute und Händler. Es kann deshalb vermutet werden, dass Halley ihnen sein Verfahren praktisch vor Augen geführt hat, um sie als Geschäftspartner zu gewinnen. Ein weiteres Indiz für diese Annahme sind die eidesstattlichen Erklärungen selbst, die als unbezweifelbare Belege für die Funktionsfähigkeit von Halleys Methode herangezogen werden konnten, und zwar weit mehr noch als ein Privilegienzertifikat.

¹³⁰¹ Richard Laphorne, *The Portledge papers. Being extracts from the letters of Richard Laphorne, gent, of Hatton Garden, London, to Richard Coffin esq. of Portledge, [...] from December 10th, 1687-August 7th, 1697*, London 1928, 110.

¹³⁰² Thomas Joell erhielt am 31. Mai 1692 gemeinsam mit drei anderen Personen ein Privileg (No. 298) für einen „Apparatus for Working under Water“, siehe Woodcroft, *Titles of patents of invention*, 58.

¹³⁰³ NAL, *Chancery Affidavits, Trinity Term, 1691, Nos. 1132-1134. C 41/30.*

¹³⁰⁴ Privileg No. 280 vom 1691 für Trefusis, J. & N. Honychurch und Williams. Halleys Privileg hatte die Nummer 279, siehe Woodcroft, *Titles of patents of invention*, 55.

¹³⁰⁵ Paula R. Backscheider, *Daniel Defoe. His Life*, Baltimore 1989, 57.

Die Erklärungen sollten ebenfalls die Eigenständigkeit von Halleys Konstruktion zu anderen Taucherglockenprivilegien absichern.

Zurückgekehrt nach London berichtete Halley am 12. August 1691 der Royal Society „the success of his Experiments of going underwater in his diving bell, which he was ordered to bring in writing against the next meeting“¹³⁰⁶.

Es dauerte zwei Wochen, bis Halley am 26. August 1691 seine zweite Abhandlung über das Tauchen bei der Royal Society verlas.¹³⁰⁷ Aus dem Bericht war zu entnehmen, dass Halley seine Idee mit einer Taucherglocke auf Rädern zugunsten einem herkömmlichen Modell fallen gelassen hat. Sie war konisch geformt, bestand aus Blei, und hatte oben ein dickes Glasfenster, durch das Licht nach unten fiel. Oben war auch ein kleines Ventil angebracht, das man von innen öffnen konnte, „to let out the hott and effete air unfitt for farther respiration“¹³⁰⁸. In der Glocke befand sich eine umlaufende Sitzbank, wo sich die Insassen ausruhen konnten. Sie war hoch genug angebracht, damit die Insassen nicht nass wurden. Eine solch große Bleiglocke mit einem Glasfenster muss sehr teuer in der Herstellung gewesen sein.

Halley machte bereits bei seinem ersten Tauchgang die Erfahrung, dass der zunehmende Druck zu Beschwerden in den luftgefüllten Hohlräumen des Schädels und den Ohren führt, und schlug vor, die Schmerzen mit Einträufeln von Mandelöl in den Ohren zu bekämpfen.¹³⁰⁹ Dieser Schmerz tritt auf, wenn entweder der Abstieg zu schnell erfolgt, oder die Eustachische Röhre, die die Paukenhöhle im Innenohr mit dem Nasenrachenraum verbindet, durch eine Erkältung verengt oder verschlossen ist. Dann kann der Druckausgleich im Innenohr nur langsam oder gar nicht erfolgen. Der Schmerz lässt erst bei Druckausgleich nach. Das Einträufeln von Mandelöl in den äußeren Gehörgang als „Hausmittel“ hat keinen nachweisbaren Effekt auf diese Funktion.

Am 22. Februar 1722 beschäftigte sich Halley erneut bei einem Vortrag vor der Royal Society mit der Frage, woher der Schmerz im Ohr beim Abtauchen seinen Ursprung hat, ohne aber auf die organische Ursache zu kommen. Halley wusste von der Eustachischen Röhre und dass es keinen offenen Durchgang zwischen Außen- und Innenohr gab. Er war der irrigen Ansicht, dass im Ohr ein Einwegeventil saß, da nur beim Abtauchen, und nicht beim

¹³⁰⁶ Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, 224.

¹³⁰⁷ Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, 224.

¹³⁰⁸ Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, 151.

¹³⁰⁹ Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, 151.

Auftauchen ein Schmerz entstand.¹³¹⁰ Die richtige Ursache fand 1719 der Physiker Robert Sibbald (1641-1722), sie blieb aber noch lange unbeachtet.¹³¹¹

Beim erstmaligen Absenken der Glocke bemerkte Halley, dass das Wasser doch höher stieg, als er zunächst berechnet hatte, und dadurch für die Insassen die Gefahr bestand, dass sie auf der Bank nass wurden. Ein weiteres Absenken wurde erst möglich, als man die Glocke bereits während des Abtauchens mit zusätzlicher Luft auffüllte. Dieses Auffüllen, so Halley weiter, würde durch seine „principall invention I can bost of“¹³¹² ermöglicht.

Halley beschreibt, wie mit Bleiblech ummantelte Fässer wie kleine Taucherglocken durch einen Flaschenzug nach unten gezogen wurden, und dann unter der Glocke das Ventil an der Oberseite der Fässer geöffnet wurde. Die im Fass enthaltene frische Luft „rushed out with great force into the bell whilest the water entred by the bunghole in the bottom of the Cask“¹³¹³. Durch ein Leinensignal wurde das wassergefüllte Fass wieder nach oben gezogen, geleert und mit neuer Luft nach unten transportiert. Bevor man auf diese Weise Frischluft in die Glocke einströmen ließ, öffnete man kurz das Ventil an der Oberseite der Glocke, um verbrauchte Luft, die „unfitt for respiration“¹³¹⁴ war, abzulassen.

Halley beschrieb seine Beobachtung, dass jedes Mal, wenn die Glocke aus dem Wasser gehoben wurde, die Luft darin sich schlagartig in einen weißen Nebel verwandelt „which likewise would stink like our foggs here“¹³¹⁵. Denis Papin hatte bereits dieses Phänomen beobachtet und keine Erklärung gefunden.

Eine zweite, vielleicht noch wichtigere wissenschaftliche Beobachtung von Halley war, dass sich die Helligkeit und die Farben mit zunehmender Tiefe verändern.¹³¹⁶ Durch die Glasscheibe an der Decke der Glocke konnte Sonnenlicht in die Glocke einströmen. Hielt Halley seine flache Hand in das Sonnenlicht, hatte die Hand auf der Oberseite eine rötliche Farbe und auf der Unterseite, wo das Licht durch das Wasser vom Grund reflektiert wurde, eine grünliche Farbe.¹³¹⁷

¹³¹⁰ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 168-169.

¹³¹¹ Siehe Phillips, Diving and Underwater Technology, 472.

¹³¹² Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 151.

¹³¹³ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 151.

¹³¹⁴ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 151.

¹³¹⁵ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 152.

¹³¹⁶ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 152.

¹³¹⁷ Jung, Scientific diving, 9 Fig. 3.

Isaac Newton geht in seinem Werk *Opticks* (1704) auf diese Beobachtung von Halley ein.¹³¹⁸ Nach seiner Ansicht wird der rote Farbton von ungebrochenem Sonnenlicht mit zunehmender Tiefe immer stärker, das vom Grund reflektierte Sonnenlicht jedoch gebrochen und die Segmente grün, blau und gelb würden zusammen einen grünlichen Ton ergeben.

Newton zeigt zwar das richtige Grundverständnis, wonach Farben im Wasser selektiv gefiltert werden, aber seine Darstellung, wonach die grünen, blauen und gelben Spektralfarben reflektiert und nur die Farbe Rot das Wasser durchquert ist falsch. Die umgekehrte Aussage ist richtig: Rotes Licht wird zuerst absorbiert, dann orange, gelb, grün, blau und zuletzt violett. Die Dichte von Wasser ist etwa 840fach größer als die der Luft, was nicht nur Auswirkungen auf Auftrieb und Schall hat, sondern auch auf das Licht.

Das Werk *Opticks* von Newton, in dem er die grundlegende Natur des Lichts und seines Spektrums anhand der Lichtbrechung an Prismen und Linsen darstellt, spielt in der Wissenschaftsgeschichte eine besondere Rolle. Für Wootton ist es „the greatest triumph of the new experimental science“¹³¹⁹ und markiert für ihn das Ende der „Scientific Revolution“¹³²⁰. Und doch ist es in Bezug auf die Lichtbrechung unter Wasser fehlerhaft.

Möglicherweise hätte Newton diesen Fehler vermeiden können, wenn er selbst mit der Glocke abgetaucht und dort systematisch Experimente durchgeführt hätte. Er hätte dann erkannt, dass mit weiter zunehmender Tiefe auch die rote Färbung der Handoberfläche verschwindet und sie nacheinander eine blaue, dann eine dunkelgrüne Farbe annimmt.

Der französische Astronom und Physiker Pierre Bouguer (1698-1758) beschäftigte sich in den 1720er Jahre mit den Gesetzmäßigkeiten der Absorption von Lichtwellen in Flüssigkeiten, und beschrieb die Schwächung der Strahlungsintensität mit der Weglänge beim Durchgang durch eine absorbierende Substanz in einer mathematischen Formel (Bouguer-Lambert-Beer'sches Gesetz).¹³²¹ Damit schuf er auch die Erklärung der stufenweisen Abschwächungen von Sonnenlicht in Wasser.

Seinen Bericht vor der Royal Society beendete Halley mit einer verheißungsvollen Botschaft: „This method of keeping men under water has no limits, for if the bell be made greater and the Air Cask proportionable any number of men assigned may be supplyd with

¹³¹⁸ Isaac Newton, *Opticks: Or, a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light. Also Two Treatises of the Species and Magnitude of Curvilinear Figures*, London 1704, 139.

¹³¹⁹ Wootton, *The Invention of Science*, 417.

¹³²⁰ Wootton, *The Invention of Science*, 1.

¹³²¹ Siehe Pierre Bouguer, *Essai d'optique, Sur la gradation de la lumière*, Paris 1729, 16-22.

breath for as long time and at as great a depth as shall be desired and by what we have found at 10 fathom I see no reason to doubt but a man may be well enough in 20 or 30 fathoms without harm”¹³²².

Aus den nun in kurzen Abständen erfolgenden, weiteren Vorträgen von Halley bei den Meetings der Royal Society lässt sich ableiten, welche Begeisterung die neuen wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Möglichkeiten des Tauchens durch die Frischluftzufuhr bei ihm auslöste. Bereits am 23. September 1691 hielt er seinen dritten Vortrag, und bis zum 28. Oktober 1691 folgten drei weitere:

23. September 1691: *Of Conveying Air into the Diving Bell*.¹³²³

30. September 1691: *Of Sound under Water*.¹³²⁴

21. Oktober 1691: *Of Working under Water in the Diving Bell*.¹³²⁵

28. Oktober 1691: *An Account of Two Instruments (1) Shewing the Depth of the Water to Persons within the Diving Bell, (2) For Blowing Up the Decks of Ships under Water, or Houses in case of Fire*.¹³²⁶

Zunächst hatte sich Halley mit dem Problem befasst, wie er Arbeitern unter Wasser einen größeren Aktionsradius und längere Einsatzdauer geben kann. Dies war bislang nur möglich gewesen, wenn sie kurz aus der Glocke hinaustauchten. Wie Halley am 23. September ausführte, schien er eine bessere Methode gefunden zu haben. Der Taucher sollte mit einer miniaturisierten Taucherglocke für seinen Kopf ausgerüstet werden, der durch einen Blasebalg mit Luft aus der großen Taucherglocke versorgt wird, und damit in einem Radius von bis zu 9 Meter¹³²⁷ um die Glocke herum arbeiten können.

Halley berichtet, er sei zufällig auf eine Methode gestoßen, die es einem oder mehreren Menschen ermöglicht, in größerer Tiefe für einen langen Zeitraum außerhalb der Taucherglocke zu arbeiten, und tiefer als der Wasserspiegel in der Taucherglocke. Auch könnten sie eine Laterne zur Beleuchtung bei sich tragen.¹³²⁸

Diese Erfindung ist Halley so wichtig, dass er das Recht daran für sich reklamiert: „I do therby desire to conserve to myself the right of priority of Invention on your Testimony and Register, being as I conceive like to be of great Use, to myself and those that shall have occasion to recover anything from under water”¹³²⁹.

¹³²² Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 152.

¹³²³ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 152-153.

¹³²⁴ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 153-154.

¹³²⁵ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 154-155.

¹³²⁶ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 155-156.

¹³²⁷ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 224.

¹³²⁸ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 152.

¹³²⁹ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 153.

Halleys Unterwasserarbeiter soll einen wasserdichten, komplett geschlossenen Lederanzug tragen, der oben einen von Halley als „cap of Maintenance“¹³³⁰ bezeichneten Helm hat. Aus der Glocke heraus sollte dem Taucher mit einem Blasebalg ständig Frischluft zugepumpt werden.¹³³¹ Halley ist so sehr überzeugt von seinem Konzept, dass er am Ende seines Berichtes vermerkt, er habe nun die Kunst des Tauchens perfektioniert: „Nor do I believe any further thing can be hoped or desired in the art of going under Water“¹³³².

Eine handschriftliche Skizze mit lateinischer Bildlegende von Edmond Halley vom 30. September 1691 (Abbildung 26), die sich im Nachlass des Mathematikers und Astronomen David Gregory (1659-1708) im Archiv der Royal Society befindet, visualisiert diese Konstruktion.¹³³³ Gregory war der Neffe von James Gregory, der 1672 die Schmähschrift gegen George Sinclair verfasste.

Halley gibt in seiner Skizze eine kurze Beschreibung seiner Glocke mit ebenem Dach und kleinen Glasfenstern, die Gewichten und Abmessungen, seine „cap of Maintenance“, erläutert die Funktion des Fasses, um die Glocke mit Luft versorgt zu halten, und eine Methode, eine Flamme unter Wasser brennen zu lassen. Die Details unterscheiden sich von denen in Halleys früherem Papier in der Größe und dem Gewicht der Glocke, und es zeigt erstmals auch einen Blasebalg, um Luft zur „cap of Maintenance“ zu pumpen. Die Skizze zeigt ebenfalls ein Glasgefäß mit Kerze, mit der das Innere der Glocke beleuchtet werden soll. Ähnlich wie es bereits Papin vorgeschlagen hat, soll die Luftzirkulation in der Lampe durch getrennte Zu- bzw. Abflussrohre erfolgen.

¹³³⁰ Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, 153.

¹³³¹ Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, 153. Die dazugehörige Prinzipskizze vom 30. September 1691, die auch den Blasebalg in der Glocke zeigt, befindet sich in der Dokumentensammlung der Royal Society of London, Signatur MS/557/1/5.

¹³³² Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, 153.

¹³³³ Edmond Halley, *Diving bell. Campana urinaria Halleii*. 30th September 1691. Royal Society of London, MS/247, Image No. RS. 16734.

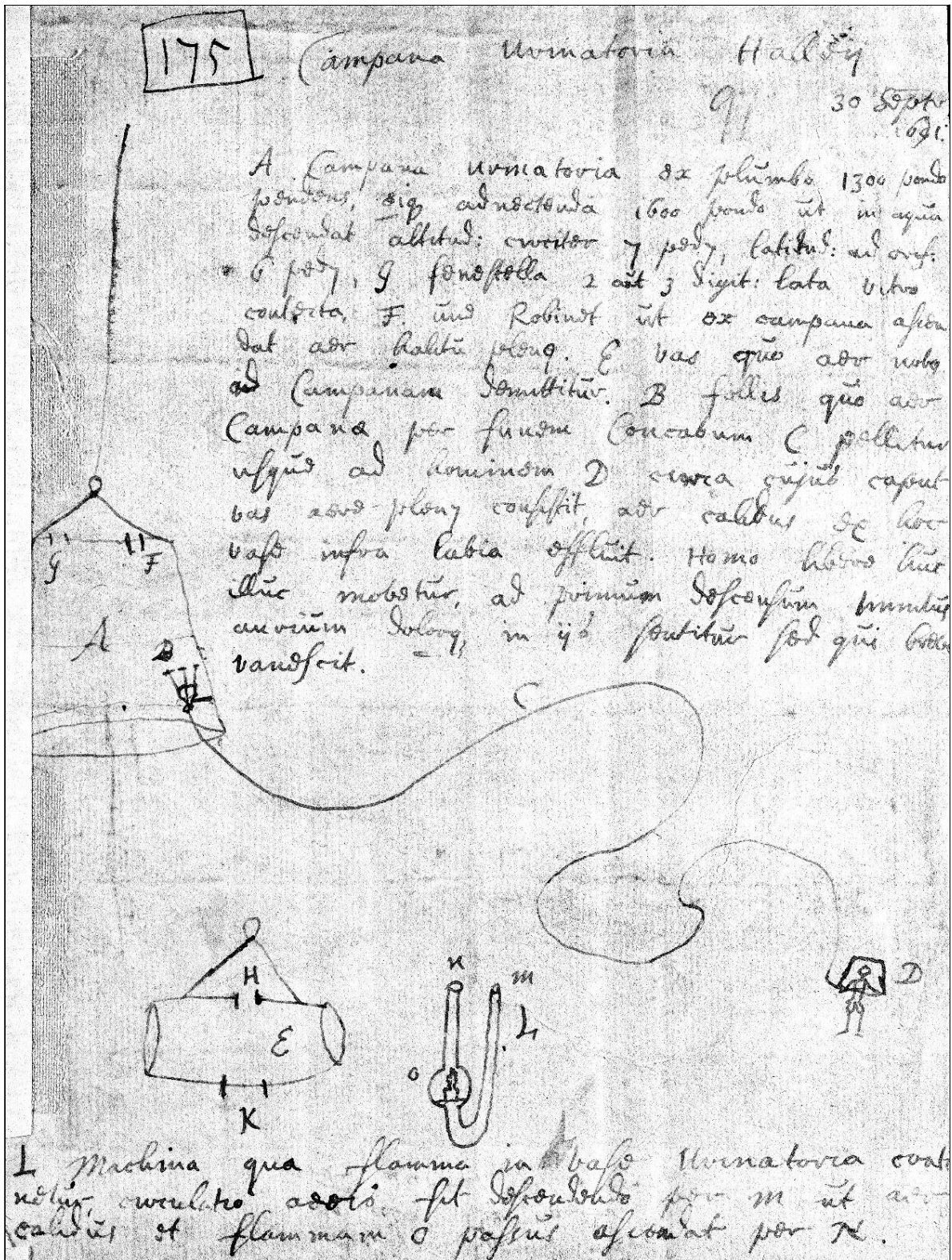


Abbildung 26: Handschriftliche Skizze mit Text von Edmond Halley (30. September 1691). (A = Glocke; B = Blasebalg; C = Luftschlauch; D = externer Taucher („homo libero“) mit nach unten offenem Taucherhelm; E = Fass zur Luftversorgung mit Ein- und Auslassöffnungen H und K; G = Glasfenster; F = Luftablassventil; L = Glasgefäß zur Versorgung einer Kerzen mit Luft). Quelle: Edmond Halley, Diving bell. Campana urinatoria Halleii, 30th September 1691, Royal Society of London, MS/247, Image No. RS.16734.

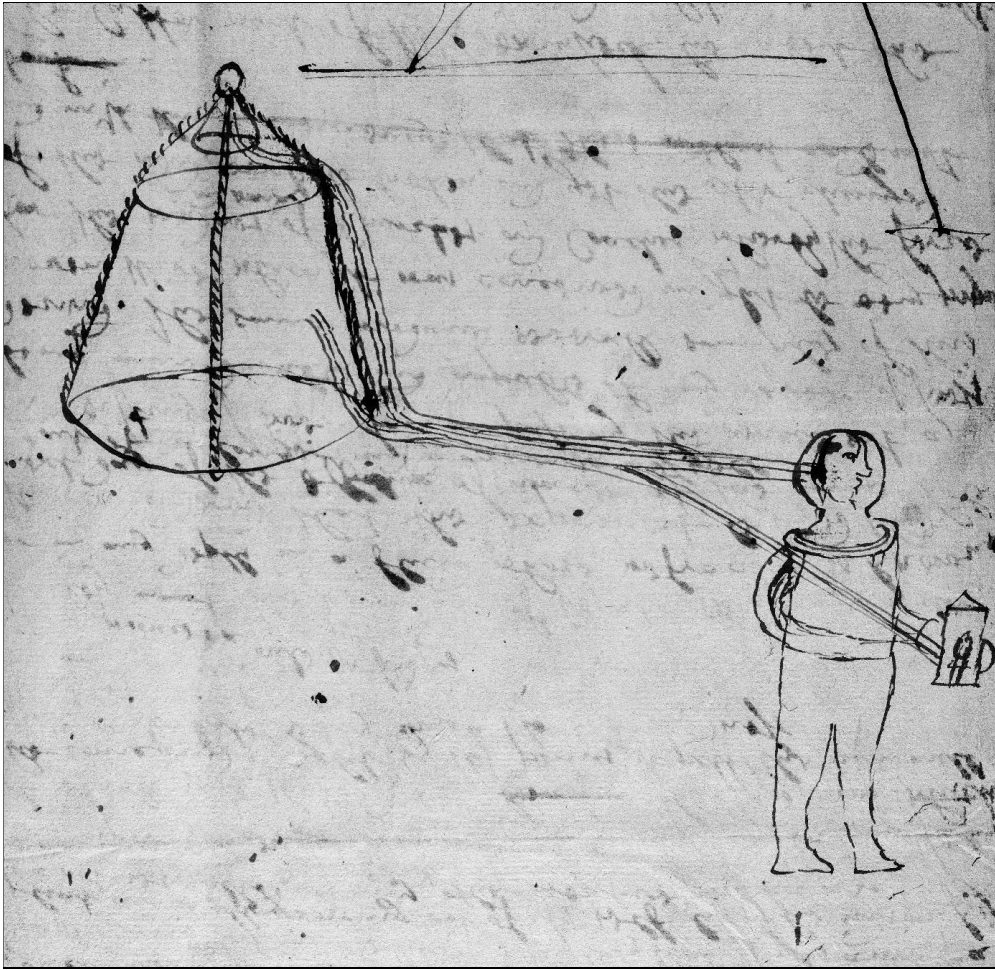


Abbildung 27: Handschriftliche Skizze des externen Tauchers von Edmond Halley (6. April 1692).
Quelle: Edmond Halley, Diving bell and suit, 6th April 1692, Royal Society of London, MS/557/1/5,
Image No. RS.16998.

Eine zweite Skizze ohne Bildlegende aus der Hand von Edmond Halley, die in einer Protokollmitschrift vom 6. April 1692 enthalten ist, aber nicht in die später gedruckten Protokollbücher aufgenommen wurde, zeigt ein alternatives Konzept zur Versorgung des externen Tauchers ohne den Blasebalg in der Glocke (Abbildung 27).¹³³⁴ Vom Helm des Tauchers gehen zwei Schläuche aus: Einer führt in das Innere der Glocke, und versorgt den Taucher mit Frischluft, und der andere führt die Ausatemluft vom Helm zu einem Behälter oberhalb der Glocke. Über diesen Kreislauf sollte der Taucher - analog der Kerze in seiner vorstehenden Skizze - versorgt werden. Ebenso sollte eine Kerze in einem Glasbehälter, den der Taucher in der Hand hielt, versorgt werden. Der externe Taucher scheint hierbei einen geschlossenen Anzug mit aufgesetztem, runden Glashelm zu tragen. Eine kugelige Gestalt des

¹³³⁴ Edmond Halley, Diving bell and suit (6th April 1692). Royal Society of London, MS/557/1/5, Image No. RS. 16998.

Helmes hat eine wesentliche größere Widerstandskraft gegen Außendruck als ein kastenförmiger Helm. Die optische Ähnlichkeit mit dem Konzept von Niccolò Tartaglia aus 1551 drängt sich dem Betrachter auf. Diese beiden Skizzen sind die einzigen zeitgenössischen Darstellungen des Konzeptes von Halley.

Bei dem Meeting der Royal Society am 30. September 1691 referierte Halley über das Hören unter Wasser, was ihn zu der allgemeinen Frage führt, wodurch Schall übertragen wird. Halley stellt die landläufige Meinung in Frage, dass Schall durch ein wellenförmiges Zittern der Luft entsteht. Er gibt an, dass an der Oberfläche erzeugte, laute Geräusche unter Wasser in der Glocke nicht gehört werden können. Dies wurde durch ein Experiment bei einem Tauchgang bestätigt, bei dem Halley in der Glocke saß. An Deck wurde eine Kanone abgefeuert, aber in der Glocke war der Schuss nicht zu hören.¹³³⁵

Im nächsten Schritt ging Halley dazu über, seinen neuen Tauchanzug für den Außeneinsatz zu bauen. Er stellte dazu der Royal Society am 7. Oktober 1691 einen von ihm entwickelten Schlauch vor, der zwischen der Taucherglocke und dem Taucher zur Luftversorgung eingesetzt werden sollte. Er war mit spiralförmigem Draht versteift und konnte verknotet werden, ohne seine Funktion zu verlieren. Bei dieser Gelegenheit führte Halley in einem großen Wasserbehälter seine Methode vor, eine Kerzenflamme unter Wasser am Brennen zu halten. Die Frischluft sollte, wie bei dem Taucher, durch einen Schlauch aus der Glocke zu dem Kerzenbehälter strömen, und über einen zweiten Schlauch die Abluft in ein Sammelgefäß oberhalb der Glocke strömen. Der Versuch misslang.¹³³⁶ Eine Kerze war viel zu schwach, um einen Luftzug aus der Glocke heraus zu initiieren. Im Prinzip war dies nichts anderes als ein überlanger Schnorchel, und somit galten analog die gleichen physikalischen Gesetzmäßigkeiten.

Trotz des Fehlschlages der Frischluftzufuhr war Halley der Überzeugung, alle wesentlichen, neuen Bestandteile seines Taucheranzuges für die Arbeit außerhalb der Taucherglocke erfunden zu haben. Einem praktischen Einsatz im nächsten Sommer schien nichts mehr im Wege zu stehen. Bei den geplanten Bergungsarbeiten war Halley nicht auf sich allein gestellt. Er hatte sich mit Stephen Evance und Francis Tyssen, beide Mitglieder der Royal African Company, sowie John Holland - einem Investor und dem späteren Gründer der Bank von Schottland - zusammengetan, und am 17. Oktober 1691 ein Privileg für eine „Engine for conveying air into a diving-vessel, to enable several persons at the same time to work under

¹³³⁵ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 154.

¹³³⁶ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 225.

water for many hours, for the purpose of finding gold, silver, bullion, money, and goods lost at sea“ mit einer Laufzeit von 14 Jahren erlangt.¹³³⁷ Stephen Evance (1654/5–1712), ein Goldschmied und Bankier, war einer der prominentesten Investoren seiner Zeit mit Interessen im Bergbau, sowohl in England als auch in den Kolonien, in der Kaperfahrt, und in der Fischerei.

Der Schutz einer Erfindung war für ein Mitglied der Royal Society ungewöhnlich, lässt sich aber möglicherweise dadurch erklären, dass Halley in diesen Jahren in großen Geldnöten war. Er hatte die Publikation des Buches *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687) von Isaac Newton finanziert.¹³³⁸ Aus Geldnot hatte er auch die Position des Clerks der Society angenommen. Da die Royal Society in diesen Jahren selbst nicht zahlungskräftig war, erhielt Halley sein Gehalt für 18 Monate in der Form von 70 Exemplare des Buches *De historia piscium* (1685), das die Royal Society herausgegeben hatte, und sich schlecht verkaufte.¹³³⁹

Halley wollte nicht mehr nur die Ladung der *Guiney* bergen, sondern darüber hinaus weitere Projekte angehen. Am 17. November 1691 gründeten die vier Privilegieninhaber Evance, Tyssen, Holland und Halley zusammen mit John Carter und Thomas Jett, der ein Freund von Halley war, die börsennotierte Aktiengesellschaft „Diving H.“¹³⁴⁰ Ein Gesellschaftsvertrag teilte das Tauchprivileg in sechshundert gleiche Anteile, wobei sechzig an Evance und jeweils einhundertacht Anteile an die fünf anderen Partner, einschließlich Halley, gingen.¹³⁴¹

Es gab zu dieser Zeit nur ein weiteres Tauchunternehmen an der Londoner Royal Exchange, und zwar das von John Williams („Diving W.“ genannt).¹³⁴² Diese beiden Unternehmen beschäftigten sich mit bereits lokalisierten Wracks „so that no Time may be lost in such Uncertainties, and Postage must be paid of Letters send on this Occasion“¹³⁴³. Ein weiteres börsennotiertes Unternehmen, „Wreck“ genannt, übernahm neben Taucherarbeiten auch die Suche nach untergegangenen Schiffen.

Die Aktienkurse - „Actions“ genannt - der Unternehmen werden regelmäßig in *John Houghton's Collection for Improvement of Husbandry and Trade* publiziert. Der Publizist und Verleger für Landwirtschaft und Handel John Houghton (1645-1705) war Mitglied der Royal Society und ein Freund Halleys. Abgesehen von einem kurzen Artikel in jeder Nummer bestand

¹³³⁷ Cook, Edmond Halley, 238.

¹³³⁸ Isaac Newton, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, London 1687.

¹³³⁹ Cook, Edmond Halley, 152.

¹³⁴⁰ NAL, Halleys Joint-stock Company. CSP, D, 1690-91, C111/192, packet 41.

¹³⁴¹ NAL, Halleys Joint-stock Company. CSP, D, 1690-91, C111/192, packet 41.

¹³⁴² John Houghton, Actions, in: *A Collection for Improvement of Husbandry and Trade* 4 (20 April 1692) 2.

¹³⁴³ John Williams, The Art of Diving by Engines, in: *Advertisements and Notices* 966 (2. November 1722) 2.

das ab März 1692 wöchentlich erscheinene, doppelseitige Blatt aus Preislisten, Sterbestatistiken und Werbung.

Halleys Unternehmen wurde erstmals in der Ausgabe vom 20. April 1692, und dann ununterbrochen über vier Jahre hinweg, aufgeführt. Wie nicht anders zu erwarten, stiegen besonders in den Sommermonaten die Aktienpreise, wobei beide Tauchunternehmen - möglicherweise aufgrund von Absprachen - immer auf dem gleichen Niveau waren. In der Ausgabe vom 20. Juli 1694 kommentierte Houghton diese Entwicklung und heizte die Hoffnung auf gute Rendite an: „Some good Effect has been of Diving; but if Mr. Halley's should succeed, of which (were the Wars at an end, and the Seas secure) he seems very sure; and, to my knowledge, has given such reasons for, as abundance of Learned and ingenious Men cannot gainsay, it would be very considerable“¹³⁴⁴.

Es blieb bis zum 11. Mai 1694 bei diesen zwei Tauchunternehmen und dem Unternehmen für die Wracksuche. Ab dann werden in *John Houghton's Collection for Improvement of Husbandry and Trade* weitere börsennotierte Unternehmen dieser Branche aufgezählt: Unter der Überschrift „Diving“ Edmond Halley, John Williams und Joseph Williams, und unter der Überschrift „Wreck“ Bermudas & Broadhaven, Neale und Tyzack.¹³⁴⁵ John Tyzack und Thomas Neale arbeiteten bei verschiedenen Projekten zusammen. Halleys Unternehmen wird letztmals in der Ausgabe vom 27. November 1696 aufgeführt. Nach dieser Sommersaison hatte er seine Tauchunternehmen nicht weiter fortgesetzt.

Am 21. Oktober 1691 verlas Halley eine fünfte Abhandlung zum Tauchen vor der Royal Society. Diesmal handelte es sich um Arbeitsbedingungen bei schlechtem Wetter und rauher See, sowie das richtige Verhalten von Taucher, die nicht schwimmen können.¹³⁴⁶ Halley schlägt vor, die Glocke auf dem Meeresgrund als permanentes Unterwasserhaus stehen zu lassen, damit sie nicht bei Arbeitsbeginn und -ende jedes Mal mit einem Kran bewegt werden muss. Dies wäre besonders bei starkem Wellengang sehr schwierig und aufwendig. Stattdessen solle nur der Taucher, ausgestattet mit seinem warmen und wasserdichten Tauchanzug, an einer Leine auf den Meeresgrund zur Glocke abtauchen und bei Arbeitsende so auch wieder zurück gelangen. Dies entsprach dem Grundgedanken der Unterwasserhabitate, die ab den 1970er Jahren einen Meilenstein in der Meeresforschung einläuteten.¹³⁴⁷ Halley beschreibt ebenfalls

¹³⁴⁴ John Houghton, Actions, in: A Collection for Improvement of Husbandry and Trade 103 (20 Juli 1694) 1.

¹³⁴⁵ John Houghton, Actions, in: A Collection for Improvement of Husbandry and Trade 93 (11. Mai 1694) 2.

¹³⁴⁶ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 154-155.

¹³⁴⁷ Michael Jung, Das Handbuch der Tauchgeschichte, Stuttgart 1999, 280.

eine Methode, wie ein vollständiges Schiff mit Hilfe von luftgefüllten Fässern in einem einzigen Arbeitsgang gehoben werden könne.

Eine Woche später schließt Halley seine Vorlesungsserie über das Tauchen mit der sechsten Abhandlung. Er schlägt dabei den Einsatz eines Instrument vor, mit dessen Hilfe in der Taucherglocke am Meeresgrund die aktuelle Tiefe bestimmt werden kann.¹³⁴⁸ Es handelt sich um ein Torricelli-Barometer, das den Luftdruck in der Glocke anzeigt. Durch dessen Kenntnis kann man die aktuelle Wassertiefe ableiten. Für größere Tiefen soll das Rohr des Barometers U-förmig gebogen sein, damit das Instrument nicht zu viel Platz wegnimmt. Dieser Vorschlag von Halley entspricht demjenigen, den Robert Hooke bereits am 1. November 1662 der Royal Society vorstellte, und George Sinclair praktisch ausführte, war also nichts neues.¹³⁴⁹ Halley führte dieses Verfahren am 31. Mai 1693 der Royal Society in einem Modell praktisch vor.¹³⁵⁰ Am Ende der Vorlesung beschreibt Halley eine Methode, wie man das Deck eines Schiffes unter Wasser wegsprengen kann, und so einfacher an die Ladung gelangt.

In seinem Schlussvortrag resümiert Halley, die Kunst des Tauchers perfektioniert zu haben: „By which I presume I have perfected the ars Urinatoria“¹³⁵¹. Halley scheint von seinem Gesamtkonzept, um zu Tauchen und Bergungen durchzuführen, so sehr überzeugt gewesen zu sein, dass er dies auch dem niederländischen Diplomaten Constantiyn Huygens Junior (1628-1697) gegenüber so ausdrückte. Der berichtete seinem Bruder, dem Astronomen und Mathematiker Christiaan Huygens (1629-1695) in einem Schreiben am 26. Januar 1692 davon: „Halley hat mir viel über ihre Erfindung erzählt, unter Wasser zu gehen und all die Arbeit zu erledigen, die man an Land macht. Er sagt, er sei seit über einer vollen Stunde in einer Tiefe von 18 Metern ohne die geringste Unannehmlichkeit dort gewesen, dass er sich in eine Holzglocke stecke, aus der er die unbrauchbar gewordene Luft herauspressen und dort frische Luft einbringen kann die er durch einen Hahn in Reserve hat, das er für seine Person einen mit Pelz gefütterten Wachstuchmantel trägt, der ihn vor Kälte schützt. Obwohl er unter Wasser ist, sieht er ganz deutlich, und dass er alle Arten von Fischen erkannt hat, in deren Gesellschaft er war“¹³⁵².

¹³⁴⁸ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 155-156.

¹³⁴⁹ Birch, History of the Royal Society, Volume 1, 182; Sinclair, Ars nova, Book II, Dialogue V., 230.

¹³⁵⁰ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 232.

¹³⁵¹ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 155.

¹³⁵² Eigene Übersetzung vom Originaltext „Haley me parla beaucoup de son invention pour aller sous l'eau et d'y faire tout le travail qu'on fait sur la terre. Il dit qu'il y a esté plus d'une heure entiere a la profondeur de 60. pieds sans la moindre incommodité, qu'il se met dans une Cloche de bois, dont il peut faire sortir l'air devenu inutile et y en faire entrer du frais qu'il a en reserve par un robinet que pour sa personne il est dans un habit de toile cirée doublé de fourrure qui l'empesche d'avoir froid. Qu'estant sous l'eau il voit tout distinctement, et qu'il avait reconnu

1692 trat Halley noch einige Male bei einem Meeting der Royal Society mit einem Vortrag zum Tauchen auf: Am 3. Februar verlas er seine Abhandlung vom 23. September 1691 ein zweites Mal, und am 16. März präsentierte er erneut den Schlauch, der die Glocke und den Taucher verbinden sollte. Am 6. April stellte er eine neue Berechnungsformel zur Bestimmung der scheinbaren Größe von Objekten, die unter Wasser gesehen werden, vor. Am 9. Juni verriet er sein Rezept für die Abdichtung des Lederanzuges. Seine Bestandteile waren Bienenwachs, Talg, Terpentin und heißes Öl.¹³⁵³

Am 26. Oktober 1692 präsentierte Halley ein Modell eines „Sea-Crab“ genannten Gerätes, um Gegenstände vom Meeresgrund zu heben, und merkt an, dass sein Einsatz in tieferen Regionen und bei trübem Wasser schwierig sei.¹³⁵⁴ Vermutlich handelte es sich um einen langen Greifer¹³⁵⁵, der von der Oberfläche aus mit einem Seil herabgelassen und von oben dirigiert werden musste. Solche Zweischaufelgreifer waren schon lange bekannt, und in mehreren Werken abgebildet worden.¹³⁵⁶

Halley arbeitete vom Mai 1691 bis Mitte 1696 jeden Sommer mit seiner Glocke an dem Wrack der *Guiney*, aber es gibt leider keine Aufzeichnung darüber, ob er dabei etwas Wertvolles geborgen hat oder überhaupt irgendeinen Erfolg hatte.¹³⁵⁷ Ein Grund dafür mag sein, dass an der Stelle, an der die *Guiney* lag, stets starke Strömung herrschte, und das Wrack schon bald in weiten Teilen mit Sand bedeckt wurde. Mit großer Wahrscheinlichkeit versuchte Halley aber auch über diese Jahre, seine Methode des externen Tauchers in der Praxis einzusetzen, und erkannte, dass dem vielfältige Schwierigkeiten im Wege standen, wie anschließend noch detaillierter ausgeführt wird.

toutes les sortes de poissons, dans la compagnie desquels il se trouvoit“ in Christiaan Huygens, *Oeuvres complètes*. Tome X: Correspondance 1691-1695, Hg. Johannes Bosscha, La Haye 1905, 237.

¹³⁵³ Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, 229.

¹³⁵⁴ Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, 230.

¹³⁵⁵ Privileg No. 262 (8. November 1689) von Francis Smartfoot: *Raising Sunken Ships, Guns, &c.*, siehe Woodcroft, *Titles of patents of invention*, 52.

¹³⁵⁶ Lorini, *Delle Fortificazioni*, 207; Veranzio, *Machinae Novae*, Fig. 41.

¹³⁵⁷ Cook, *Edmond Halley*, 240.

5.4 Edmond Halleys Publikationen 1716-1721 und ihre Wirkung

5.4.1 Halleys „Art of Living under Water“ 1716 und 1721

Die Aufsätze, die Halley 1691 Mitgliedern der Royal Society vorlas, hatten wenig öffentlichen Einfluss, da sie niemandem außerhalb der Gesellschaft bekannt gemacht wurden. Halley sollte jedoch mit der Veröffentlichung von zwei Abhandlungen über seine Taucherglocke in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* 1716 und 1721 einen wichtigen und nachhaltigen Einfluss auf das Tauchen haben. Die beiden Publikationen fassten im Wesentlichen die Referate zusammen, die Halley 1691 der Royal Society vorgestellt hat. Auf sie wird im Folgenden eingegangen.

Der Grund, weshalb Halley seine Kenntnisse und Erfahrungen erst 25 Jahre nach seinen Vorträgen und Taucharbeiten publiziert hat, liegt im Dunkeln. Er war 1716 an der Universität Oxford als Professor für Geometrie tätig. Halley scheint in diesem Jahr auch seine Taucherglocke in der Themse praktisch vorgeführt zu haben. Die einzige Quelle für dieses Ereignis und die einzige Person, von der bekannt ist, dass sie es miterlebt hat, ist der Schwede Marten Triewald (1691-1747), der kurz zuvor in London angekommen war.¹³⁵⁸ Für ihn war die Vorführung ein Initialerlebnis und regte ihn für eigene Taucharbeiten an. Der Zweck dieses Tauchgangs war nach Triewald, Verbesserungen an dem grundlegenden Entwurf zu demonstrieren.¹³⁵⁹ Dies könnte möglicherweise die Luftversorgung durch eine Pumpe von der Oberfläche aus gewesen sein. Da es keine Zeitungsberichte oder andere Notizen zu dem Tauchversuch gibt, könnte man folgern, dass sie nicht zu dem gewünschten Erfolg geführt haben, und deshalb der Mantel des Schweigens darüber gedeckt wurde.

Halley beschreibt in seiner Publikation von 1716¹³⁶⁰ zunächst die verschiedenen Methoden, die zum Tauchen eingesetzt werden, und ihre Nachteile. Er erkennt, dass durch die Atmung ein Bestandteil der Luft entfernt und in das Blut übertragen wird, obwohl ihm der genaue Vorgang noch unbekannt ist. Ausführlich beschreibt er eine typische Taucherglocke, und wie das Wasser in ihr steigt. Halley geht darauf ein, dass beim Abtauchen Ohrenscherzen auftreten, und rät dazu, die Glocke langsam abzusenken, damit sich die Ohren des Tauchers an den Druck anpassen können. Die Ursache, weshalb es zu dem Schmerz kommt, kennt er nicht.

¹³⁵⁸ Siehe hierzu Kapitel 6.1.1.

¹³⁵⁹ Marten Triewald, *Konsten at lefwa under Watn eller en kort Beskrifning om de Pafunder, Machiner och Redskap hwarpa Dykeri- och Bargni[n]gs-Societetens Privilegier aro grundade*, Stockholm 1734, 17.

¹³⁶⁰ Halley, *The Art of Living under Water*, 495.

Aus eigener Erfahrung stellte Halley fest, dass die Taucherglocke unter einem großen Nachteil litt: Da das Wasser in ihrem Inneren aufstieg, musste der Taucher in kaltem Wasser stehen oder sitzen und Luft atmen, die sich in dem verringerten Volumen aufgrund der Kompression schnell erwärmte. Dies machten das Arbeiten und Atmen mühsam. Als Lösung dieses Problems schlägt er ein System vor, das er erfunden habe.¹³⁶¹ Hooke war 1703 verstorben, und so brauchte Halley dieses Mal keinen Widerspruch von ihm zu fürchten. Mögliche Vorgänger schließt er aber nicht ganz aus: „This is effected by a Contrivance so easy, that it may be wondred it should not have been thought of sooner“¹³⁶².

Er beschreibt die Methode der pendelnden Fässern ausführlich, und auch, wie die Taucher in der Glocke die Fässer unter die Glocke ziehen und dort die Luft hineinströmen lassen. Halley gibt auch an, er sei einer von fünf Männern gewesen, die „at the Bottom in nine or ten Fathoms Water, for above an Hour and a half at a time, without any sort of ill consequence“, also etwa 18 Meter tief, getaucht sind.¹³⁶³ Um fünf Personen aufnehmen zu können, muss die Glocke sehr groß gewesen sein.

Nach der aktuellen Dekompressionstabelle des Verbandes Deutscher Sporttaucher VDST¹³⁶⁴ beträgt die „Nullzeit“¹³⁶⁵, bei der ein direktes Aufsteigen unproblematisch möglich, in 18 Meter Tiefe 45 Minuten. Halley war also bereits bei seinem tiefsten Tauchgang im dem Bereich, bei dem er Dekompressionsstopps beim Aufstieg hätte durchführen müssen. Allerdings wird er die von ihm angegebenen 90 Minuten nicht vollständig auf dieser Tiefe verbracht haben.

Halley beschreibt sein Methode der Luftnachfüllung als vollendete Lösung zum Tauchen: Die Kleider würden in der Glocke trocken bleiben, er könne auf dem Meeresboden stehen, ohne dass das Wasser über seine Schuhe lief, auf Bleitafelchen geschriebene Anweisungen zum Versetzen der Position der Glocke mit den Fässern auf und ab schicken, die Glocke bei Bedarf mit einer Kerze beleuchten und „continued there as long as I pleased“¹³⁶⁶. Er schlägt einige Verwendungszwecke für die Glocke vor, darunter die Perlenfischerei und das Unterwasserbauwesen. Bergungsarbeiten erwähnt er hingegen nicht. Im Text seines Privilegs von 1691 hatte er diesen Zweck noch deutlich hervorgeheben: „...for the retrieveing and

¹³⁶¹ Halley, *The Art of Living under Water*, 496.

¹³⁶² Halley, *The Art of Living under Water*, 496.

¹³⁶³ Halley, *The Art of Living under Water*, 498.

¹³⁶⁴ Siehe Verband Deutscher Sporttaucher, Dekompressionstabelle DECO 2000, Offenburg 2000.

¹³⁶⁵ Marées, *Sportphysiologie*, 623.

¹³⁶⁶ Halley, *The Art of Living under Water*, 498.

regaining of all such gold, silver, bullion, and coyned money, gunns, jewells, and all manner of other goods, merchandizes, and things as have bin and dayly are wreckt“¹³⁶⁷.

Möglicherweise wollte Halley diesen Einsatzzweck, der eindeutig auch aufgezählt hätte werden müssen, nicht offenlegen. „The generally accepted theory is that he build his bell primarily to try and recover sunken treasure“¹³⁶⁸, so Hart-Davis. Halley scheute sich möglicherweise auch, seine wirtschaftliche Eigeninteressen offen herauszustellen, da dies nicht der Baconschen Grundhaltung der Royal Society entsprach.

Halley deutete am Ende des Textes an, dass er eine technische Ergänzung der Taucherglocke kennt, mit der ein Taucher die Glocke für eine Zeitlang verlassen kann, und währenddessen von dort mit Luft versorgt wird.¹³⁶⁹ Erst fünf Jahre später geht Halley in einer zweiten Publikation ausführlicher auf dieses neue Verfahren ein.

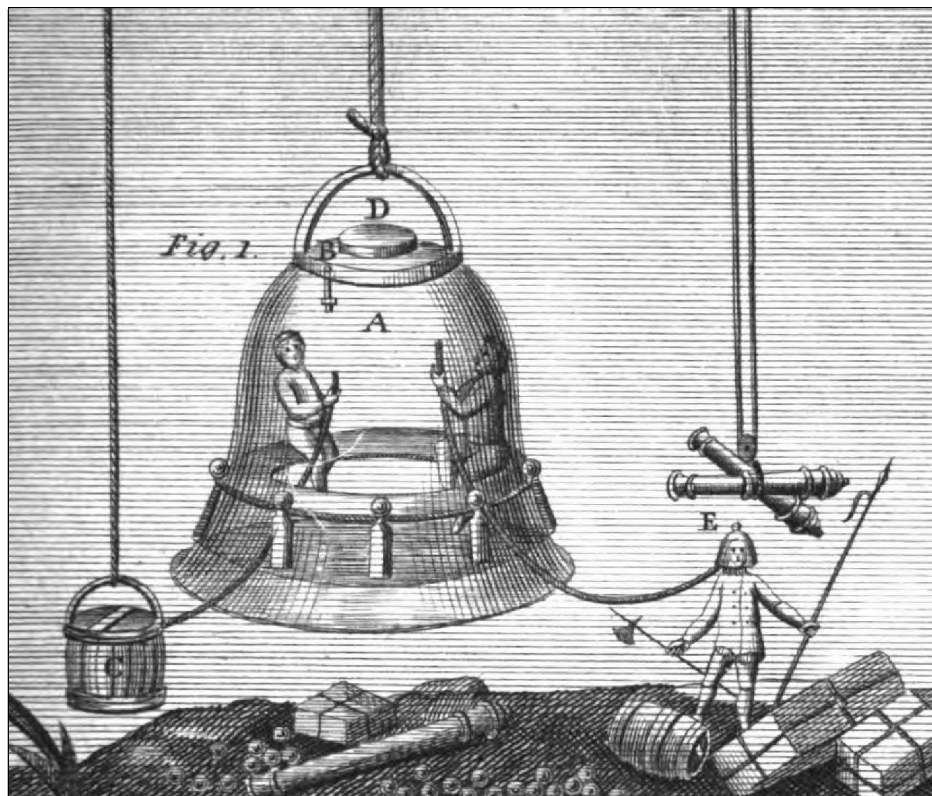


Abbildung 28: Die erste publizierte bildhafte Darstellung von Halleys Taucherglocke mit Luftversorgung. (A = Glocke; B = Ventil zum Luftablassen; C = Fass mit Frischluft; D = runde Glasscheibe; E = externer Taucher mit offenem Taucherhelm). Quelle: Martin Clare, *The Motion of Fluids, Natural and Artificial: In Particular That of the Air and Water*, London 1735, Tafel VIII.

¹³⁶⁷ Woodcroft, *Titles of patents of invention*, 55, Privileg No. 279.

¹³⁶⁸ Adam Hart-Davis, *What the Tudors and Stuarts Did for Us*, London 2003, 228.

¹³⁶⁹ Halley, *The Art of Living under Water*, 499.

Halley publizierte nur eine Beschreibung seiner Taucherglocke, und nie eine Illustration. Seine Taucherglocke wurde erstmals 1735 in dem Werk *The Motion of Fluids, Natural and Artificial* von Martin Clare¹³⁷⁰ (Abbildung 28) abgebildet, und diese Illustration wurde in vielen nachfolgenden Werken anderer Autoren entweder identisch reproduziert oder nachgezeichnet. Es fehlt in diesen Darstellungen der Blasebalg, mit dessen Hilfe Luft zu dem externen Taucher gepumpt wird. Da Halley ihn nie öffentlich erwähnte, konnte Clare ihn nicht zeichnen.

In seiner zweiten Publikation in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* (1721) erläutert Halley seine Methode zum Ausstieg eines Tauchers aus der Glocke mit einem offenen Taucherhelm. Er empfiehlt sie nun explizit für Bergungsarbeiten.¹³⁷¹ Warum Halley fünf Jahre gewartet hat, um die vier ergänzenden Seiten zu publizieren, kann nur vermutet werden. Halley war 1721, zur Zeit dieser Publikation, 65 Jahre alt, und hatte nun möglicherweise endgültig mit eigenen Bergungsvorhaben abgeschlossen. Sein Privileg, das er am 17. Oktober 1691 für ein Tauchgerät erhalten hatte, war bereits 1705 abgelaufen, und scheint nicht mehr erneuert worden zu sein.

Da es sich bei seiner Ausstiegsmethode um das neuartigste und ausgeklügelteste Verfahren dieser Zeit handelte, wollte er womöglich die Details ursprünglich geheim halten, und hat dies erst aufgegeben als er sah, dass immer mehr Taucheranzug-Erfindungen der Öffentlichkeit präsentiert wurden. Die zweite Publikation wäre dann also, wie damals bei vielen anderen Technikschriften auch, zur Wahrung seiner Priorität hilfreich gewesen.

Wie Halley schreibt¹³⁷², ist das Manövrieren einer Taucherglocke von einem Arbeitsplatz zum nächsten sehr aufwendig. Seine Lösung dieses Problems besteht darin, die Glocke am Platz zu belassen und den Taucher mobil zu machen. Taucher sollte mit einer „Bleikappe“ ausgestattet werden, also mit einem offenen Helm, der die Luft aus der Glocke durch flexible Rohre aufnimmt - vorausgesetzt, der Helm befand sich über dem Wasserspiegel der Glocke. Halley gibt eine detaillierte Beschreibung, wie die Rohre hergestellt wurden, einschließlich eines Hahns am Ende des Schlauches, der verhindert, dass die Luft in seinem Helm zurück in die Glocke strömt. Halley schreibt, dass seine Methode tatsächlich angewandt worden sei.¹³⁷³

Obwohl die beiden Texte inhaltlich wenig technische Neuigkeiten im Vergleich zu Halleys Vorlesungsskripten bieten, erkennt man aus ihnen doch deutlich, dass er die Methode mit dem

¹³⁷⁰ Martin Clare, *The Motion of Fluids, Natural and Artificial: In Particular That of the Air and Water*, London 1735, Plate VIII.

¹³⁷¹ Halley, *An addition to the description*, 177.

¹³⁷² Halley, *An addition to the description*, 179.

¹³⁷³ Halley, *An addition to the description*, 177.

außen arbeitenden Taucher praktisch eingesetzt und damit wertvolle Erfahrung gesammelt haben muss. Da der Taucher unter Wasser schwerelos war, rüstet er ihn mit einem schwereren Helm, Bleigürtel und Bleischuhen aus; und wegen der Kälte empfiehlt er das Tragen einer Wollweste. Halley sah aus Sicherheitsgründen ein Einwegventil im Schlauch vor: „The use of the Cock being to stop the return of the Air, whenever there was occasion to stoop down, or go below the Surface of the Air in the Bell, which was necessary as often as there was occasion to go out or return into the Bell“¹³⁷⁴. Ein solches Ventil ist essentiell, ohne es ist die Vorrichtung nicht funktionsfähig. Aus dieser Beschreibung ist zu entnehmen, dass sich Halley - vermutlich aus eigener Erfahrung - bewusst darüber war, welche Wirkung die zunehmende Tiefe auf den Wasserspiegel im Taucherhelm hatte.

Bei seinen Tauchgängen mit dem offenen Taucherhelm erkannte Halley auch, dass die Glasscheibe schnell durch die Ausatemluft von innen beschlägt und dies die Sicht behindert.¹³⁷⁵ Deshalb vergrößerte er die Sichtscheibe nach unten, und konnte damit auch sehen, was sich vor seinen Füßen befindet, und ohne den Kopf nach vorne beugen zu müssen, was mit einem offenen Helm beschwerlich war.

Halley nannte den offenen Taucherhelm aus Blei - mangels eines Begriffes für diesen neuen, von ihm erfundene Ausrüstungsgegenstand - „from their use cap of maintenace“¹³⁷⁶. Als „Cap of Maintanance“ wurde im Mittelalter eine Zierkappe bezeichnet, die die Ritter bei Turnieren auf ihrem Helm trugen, und die auch in der Heraldik eine Rolle spielt. Die Bedeutung von Halleys Bezeichnung ist aber eher eine andere, und zwar im Wortsinn von „Maintain“ als „Reparieren“, „Instandhalten“, „Bearbeiten“. Seine „Cap of Maintenace“ lässt sich entsprechend interpretieren als „Arbeitshut“ oder „Einsatzhut“. Dieser Gedanke von Halley würde dann dem entsprechen, was heute unter einem Außeneinsatz von Astronauten im Weltall verstanden wird. Der Fachterminus dafür lautet „Extra-Vehicular Activity“¹³⁷⁷.

Edmond Halleys 1716 und 1721 veröffentlichten Beiträge in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* hatten einen nachhaltigen Einfluss in ganz Europa, und wurden bis zum 20. Jahrhundert immer wieder als Sternstunde des Glockentauchens betrachtet. Sie wurden bald von anderen Autoren, insbesondere von Enzyklopädisten, aufgegriffen und im 18. und 19. Jahrhundert vielfach erwähnt. Halley wurde bald zugeschrieben, die Kunst des Tauchens

¹³⁷⁴ Halley, An addition to the description, 178.

¹³⁷⁵ Halley, An addition to the description, 180.

¹³⁷⁶ Halley, An addition to the description, 179.

¹³⁷⁷ Jung, Unterwassertrainingsprogramme für Astronauten, 58.

perfektioniert zu haben, und Vorgänger wie Hooke und Sinclair aus Unkenntnis nicht benannt. Dieses Bild hat sich bis in die heutige Zeit erhalten.¹³⁷⁸

In der Öffentlichkeit entstand das Bild, Halley habe das System der Luftzufuhr in Fässern erfunden - während es möglicherweise zuerst in Schweden um 1664 verwendet wurde, von Hooke bei der Royal Society im November 1663 vorgestellt und 1669 von Sinclair erstmals veröffentlicht wurde. Weiterer Autoren folgten. Die „chain of buckets“ mit Frischluftfässern war 1689, als sie Halley der Royal Society präsentierte, keine neue Idee mehr. Halleys mit Glockenluft versorgter, außen arbeitender Taucher hingegen war eine wesentliche Weiterentwicklung. Es ging Halley nicht nur um die Verlängerung der Aufenthaltsdauer unter Wasser, sondern auch um größere Mobilität.

Die besondere Wirkung der beiden Publikationen von Halley kann man darin sehen, dass er das physikalische und technische Knowhow der Taucherglocke der breiten Öffentlichkeit dargeboten hat. Aus diesem Grund sind sie eine der wichtigsten Publikationen in der Geschichte des Tauchens der Frühen Neuzeit.

5.4.2 Diskussion des Lockout-Konzeptes

Es ist davon auszugehen, dass Halley Denis Papins Publikation von 1689 kannte, in der vorgeschlagen wird, Pumpen zur Frischluftversorgung von Glocken zu verwenden.¹³⁷⁹ Beide kannten sich persönlich. Da die Pumpentechnologie aber noch nicht so weit war, und Halley - anders als Hooke und Papin - keine praktische Erfahrung mit der Luftpumpe besaß, war er selbst nicht in der Lage, eine Pumpe herzustellen, die eine Glocke oder einen Taucher mit Druckluft von der Oberfläche aus versorgen konnte. Er verwendete deshalb die Hauptglocke als zwischengeschalteten Luftverdichter für die Versorgung des externen Tauchers.

Halley wird möglicherweise bei seinem praktischen Taucheinsätzen zwischen 1691 und 1696 festgestellt haben, dass sein ursprüngliches Konzept vom 23. September 1691, bei dem der Taucher zwei Schläuche an seinem Helm befestigt hat, und die Luft automatisch von der Glocke durch den Helm in den oberen Luftbehälter strömt, nicht funktioniert hat, selbst wenn der Taucher oberhalb des Wasserniveaus in der Glocke arbeitete. Der Zuluftschlauch zum Taucher musste unter den Glockenrand geführt werden, und dadurch würde der Luftstrom

¹³⁷⁸ Siehe beispielsweise Mallinckrodt, Tauchen, 281.

¹³⁷⁹ Davis, Deep diving and submarine operations, 608.

durch den etwas höheren Umgebungsdruck am Glockenrand an dieser Stelle zum Stillstand kommen. Das Gleiche gilt für die Kerze, auch hier funktioniert dieses Konzept nicht.

Die Methode der Versorgung des von Halley „Homo libero“¹³⁸⁰ genannten externen Tauchers war in der Praxis nur mit Blasebalg umsetzbar, wobei der Aktionsradius des Arbeiters durch die Länge des Schlauches und die Stärke des Blasebalges limitiert war. Der Blasebalg würde in der Glocke die gleiche maximale Druckdifferenz bewältigen können, wie an Land. Geht man davon aus, dass ein Blasebalg zu dieser Zeit einen Druck von bis zu zwei bar erzeugen konnte, würde dies bedeuten, dass aus einer Glocke in 20 Meter Tiefe (3 bar Umgebungsdruck) ein Taucher bis in 50 Meter Tiefe (5 bar Umgebungsdruck) mit einem Blasebalg versorgt werden konnte. Dies stellte einen beachtlichen Fortschritt dar.¹³⁸¹

Halleys Konzept konnte nur funktionieren, wenn von der Glocke aus mit einem Blasebalg Frischluft dem Taucher zugepumpt wurde. Dadurch konnte auch der zweite Schlauch entfallen. Der Blasebalg wird jedoch in keiner seiner Publikationen erwähnt. Seine Prinzipskizze vom 30. September 1691 (siehe Abbildung 26 auf S. 278) zeigt den Blasebalg, allerdings erwähnt ihn Halley 1721 nicht in seinem Beitrag in den *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Ein Grund dafür könnte der Wunsch nach einem Rest von Geheimhaltung sein: Er publiziert zwar das Grundkonzept des „Divers-Lockout“, aber niemand kann es nachbauen, da er die Erfordernis eines Blasebalges nicht kennt. Da Denis Papin, der 1689 eine ähnliche Idee publiziert hatte, 1713 verstorben war, musste Halley keinen Prioritätsstreit von dieser Seite fürchten.

Die beiden Schlüsselfaktoren, die es bei Halley Methode zu beachten gilt, sind die Position des Tauchers relativ zum Wasserstand in der Glocke, und ob der Hahn im Schlauch offen oder geschlossen ist. Halley Konzept kann aber nur in der nachfolgenden Art funktioniert haben:

Neben dem extern arbeitenden Taucher musste die Besatzung der Glocke aus mindestens zwei weiteren Personen bestehen: Einer war für das Nachfüllen der Glocke mit Frischluftfässer verantwortlich, der zweite für die Betätigung des Blasebalges zur Versorgung des Tauchers. Die Glocke wurde bis etwa zwei Meter über dem Meeresgrund abgelassen. Zunächst wurde die Glocke mit Frischluftfässer soweit wieder mit Luft gefüllt, bis der Wasserspiegel auf der gleichen Höhe wie der Glockenrand war. Der Taucher, der bereits Bleischeuhe und Bleigürtel auf dem Schiff angezogen hatte, setzte seinen Helm auf und sperrte den Luftschlauch mit dem

¹³⁸⁰ Edmond Halley, Diving bell. Campana urinaria Halleii. [30th September 1691], Collections, MS/247, Image No. RS. 16734.

¹³⁸¹ Joe Bauer, Beyond Bells - Halley's Diving Helmet, in: The International Journal of Diving History 2 (2006) 20-35, 29.

Hahn ab. Von der Glocke wurde ein Führungsseil mit einem Gewicht auf den Grund abgelassen, an dem der Taucher sich nun langsam senkrecht nach unten absinken ließ und nicht von der Strömung weggetragen wurde. Bei diesem Absinken stieg durch den zunehmenden Wasserdruck der Wasserspiegel in dem Helm etwas an, allerdings nicht so viel, als dass sich der Mund des Tauchers bereits im Wasser befand. Würde der Taucher bereits jetzt den Hahn an dem Helm öffnen, wäre die Situation sofort eine andere: Das Wasser in dem Helm würde weiter steigen, den Helm und den Schlauch fluten bis auf das Niveau des Glockenwasserspiegels. Der Taucher würde ertrinken, denn er könnte zwar den Helm abwerfen, aber wegen seiner Bleischuhe nicht mehr schnell in die Glocke zurück. Diese bedrohliche Situation lässt sich nur verhindern, wenn ein Blasebalg am Schlauchende angebracht ist, der ein Druckhalteventil besitzt. Dadurch kann die Luft, selbst wenn der Taucher den Hahn am Helm öffnet, nicht aus dem Helm entweichen.

Am Grund angekommen kann sich der Taucher nun außerhalb der Glocke, abhängig von der Schlauchlänge, bewegen. Aus der Glocke bekommt er ständig Frischluft zugepumpt. Sie hat einen etwas höheren Druck als die Luft in der Glocke, weshalb sie das Wasser im Helm komplett verdrängt, bis sie unter dem Glockenrand entweicht. Der Taucher atmet nun Luft unter Umgebungsdruck und kann leichte Arbeiten außerhalb der Glocke verrichten, allerdings muss er dafür eine lange Stange mit sich führen. Er kann sich nämlich nicht stark nach vorne bücken, um eine Leine an einem Gegenstand zu befestigen, denn dann würde die Luft aus dem Helm am hinteren Rand entweichen und Wasser vorne hineinlaufen. Die Sichtscheibe und der Mund würden davon bedeckt. Der Taucher wird immer darauf achten müssen, dass er möglichst waagrecht auf dem Grund steht. Die Arbeitsweise ist zwar mühsam, aber für Sondierungen der Situation außerhalb der Glocke und einfache Tätigkeiten bei entsprechender Übung durchführbar.

Ein Schwachpunkt der Methode ist der Schlauch. Selbst wenn der innenliegende, spiralförmige Draht den Schlauch aufgespannt hält, besteht die Gefahr, dass er am Glockenrand oder an Felsen auf dem Meeresgrund scheuert und beschädigt wird. Würde er undicht, verliert der Helm Luft und der Wasserspiegel steigt. Der Taucher ist in Lebensgefahr und muss schnell in die Glocke zurück. Deshalb wäre eine vierte Person in der Glocke von Vorteil, die den Schlauch führt und darauf achtet, dass er nirgendwo scheuert. Er muss auch den Schlauch wieder in die Glocke einholen, wenn der Taucher sich auf dem Rückweg befindet. Anders als Schläuche, die Druckluft von der Oberfläche nach unten zu einer Taucherglocke befördern, muss dieser Schlauch zwischen der Glocke und dem Helm nicht solche hohen Anforderungen erfüllen, denn es ist kein Druckluftschlauch im eigentlichen Sinne. Er befördert zwar Luft unter

einem etwas höheren Druck, aber dieser ist nicht vergleichbar mit dem bei einer Frischluftzufuhr von der Oberfläche aus.

Ist der Taucher von seiner Arbeit zurückgekehrt und steht wieder unter der Glocke, so muss er von den Helfern nach oben gezogen werden, da er selbst zu schwer ist, um sich am Führungsseil hochzuziehen.

Aus dieser Schilderung lässt sich konstatieren, dass Halleys Idee unter Verwendung eines Blasebalges tatsächlich funktioniert haben kann, allerdings der Taucher und die Glockenbesatzung viel Übung und Erfahrung besitzen musste. Experimente mit Blasebälgen haben gezeigt, dass es sehr mühsam gewesen sein muss, den Blasebalg in der Glocke zu betätigen, wenn der Taucher mehrere Meter unterhalb des Wasserstandes in der Glocke war.¹³⁸² Deshalb wird diese Methode nur über einen kurzen Zeitraum funktioniert haben, und nur wenn der Taucher wenige Meter tiefer als die Glocke war. Unter dem Aspekt des großen Apparatenaufwandes stellt sich die Frage, ob dann nicht doch ein Apnoetaucher, der kurz aus der Glocke herauftaucht, die bessere Alternative darstellt.

Halleys „Lockout“-Methode war ein erfolgversprechender Gedanke, aber schlussendlich zu aufwändig und deshalb in der Praxis kaum durchführbar. Es gibt wenig Berichte darüber, dass sie jemals Anwendung gefunden hat. Ein Bericht stammt von dem Matrosen Samuel Kelly (1764-?), der über die Bergungsversuche an der vor Portsmouth gesunkenen *Royal George* 1782 schreibt, „the Lascar went out of the bell to inspect the situation of things on the deck, and received air from the bell by mean of a leather hood covering his head with a hose to the air in the machine“¹³⁸³. Als „Lascar“ wurde ein Seemann aus dem indischen Subkontinent, Südostasien, der arabischen Welt und anderen Gebieten östlich des Kaps der Guten Hoffnung bezeichnet. Ein Blasebalg findet auch hier keine Erwähnung.

In den meisten Fällen wurden weiterhin kurze Ausstiege aus der Glocke in Apnoe durchgeführt. Taucher, die unter Wasser Glocken verließen, mussten noch in den 1820er Jahren die Luft anhalten. Der Wissenschaftler Michael Faraday begleitete den britischen Bauingenieur Marc Isambard Brunel im Mai 1827 in einer Taucherglocke auf den Grund der Themse. Faraday beobachtete, dass Brunel zwei Minuten lang aus der Glocke im kalten, schwarzen und

¹³⁸² Marc J. Jasinski, The Diving Bell - A Legend Revisited, in: Historical Diving Times 61 (2015) 11-15, 13.

¹³⁸³ Samuel Kelly, An Eighteenth Century Seaman, Whose Days Have Been Few and Evil, to which is Added Remarks, etc., on Places He Visited During His Pilgrimage in this Wilderness, [1782], Hg. Garstin Crosbie, London 1925, 61-62.

verschmutzten Wasser der Themse verschwinden konnte. Brunel untersuchte das Flussbett an der Stelle, an der der Themse-Tunnel geflutet wurde.¹³⁸⁴

Erst als die Technologien von Luftpumpen und Schläuchen im 19. Jahrhundert verbessert werden konnten, wurden mobile Taucher mit Frischluft bei Umgebungsdruck von der Oberfläche aus versorgt.

5.5 Popularisierung der Tauchtechnologie im 18. Jahrhundert

5.5.1 Öffentliche Vorträge mit Modell-Taucherglocken

Taucherglocken waren mehr als „nur“ Luftreservoir unter Wasser. Sie waren wissenschaftliche Unterwasserlabore und dienten als Beobachtungsgondeln für die Erkundung einer unbekanntem Unterwasserlandschaft. Als verkleinertes Modell wurden sie bei Experimenten und der Wissensvermittlung eingesetzt.

Die Verwendung von Taucherglocken bei wissenschaftlichen Experimenten im Sinne einer „natürlichen Luftpumpe“ kann besonders bei der Betrachtung der physikalischen Experimente im ausgehenden 17. und vor allem im 18. Jahrhundert festgestellt werden. Nicht immer war es möglich oder notwendig, für die Durchführung von Experimenten oder Demonstrationen in einer Taucherglocke auf den Grund abzutauchen. Für viele Zwecke, beispielsweise der Erläuterung des Boyle-Mariotteschen Gesetzes, genügte die Arbeit mit Modell-Taucherglocken. Diese Methode war schneller und wesentlich kostengünstiger als der Einsatz einer Luftpumpe oder einer Taucherglocke (Abbildung 29).

Das archimedische Prinzip wurden mit kartesischen Tauchern illustriert. Diese einfachen Experimente fanden schon früh ihren Weg aus den Hörsälen der Universitäten heraus in die Öffentlichkeit, was zu einer „Vergesellschaftung der Wissenschaften“¹³⁸⁵ führte.

¹³⁸⁴ John Timbs, *Stories of Inventors and Discoverers in Science and the Useful Arts*, London 1860, 34; Bevan, *Semi-atmospheric Diving Systems*, 29.

¹³⁸⁵ Kern, *Wissenschaftliche Instrumente in ihrer Zeit*. Zweiter Band, 182.

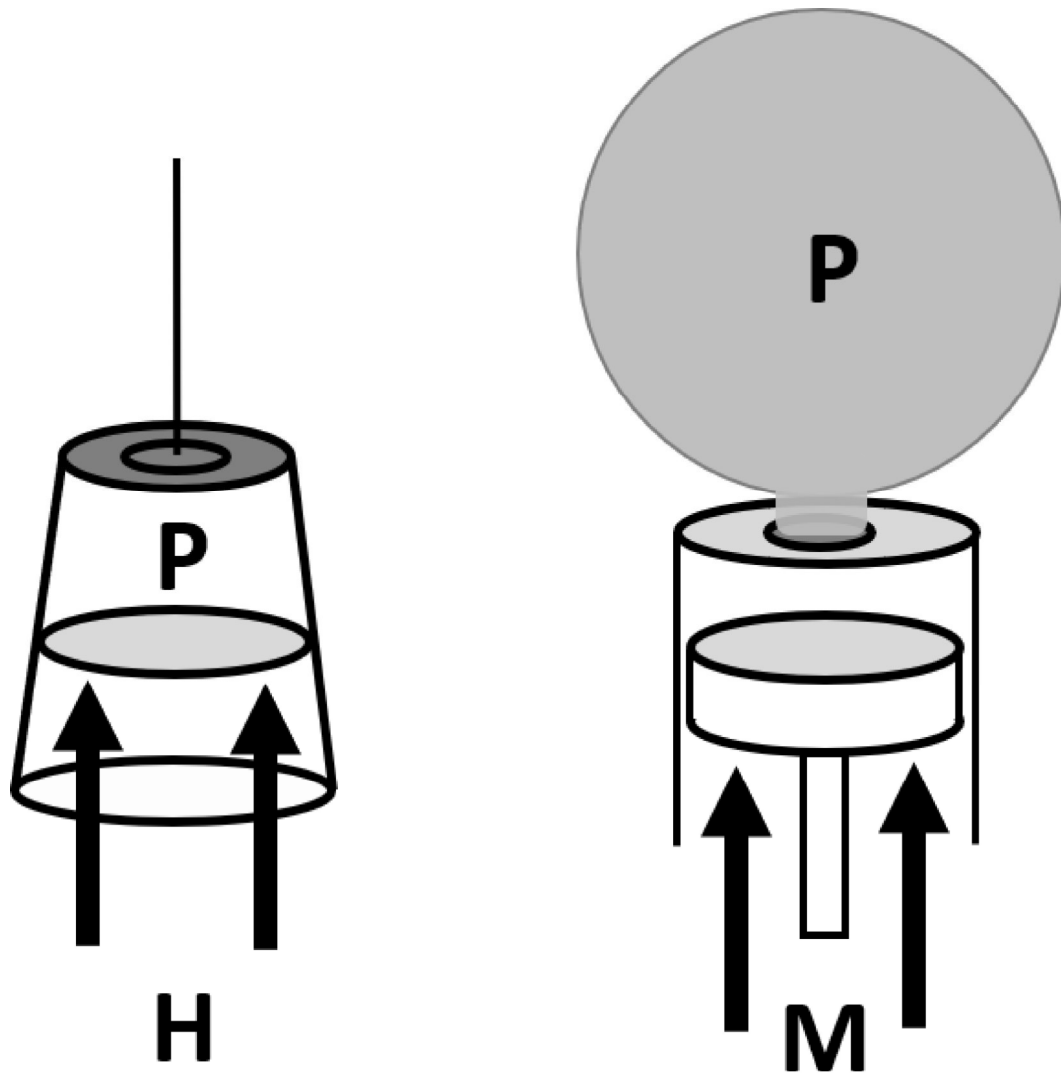


Abbildung 29: Die Taucherglocke (links) ist eine „natürliche Luftpumpe“ im Vergleich zu einer Luftpumpe mit Glasreceiver (rechts). (P = Druckraum; H = Hydrostatischer Druck; M = Mechanischer Druck). Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bauer, *Beyond Bells*, 23.

Der französische Physiker Jacques Rohault (1618-1672) hielt Mitte des 17. Jahrhunderts in Pariser Salons öffentliche Vorträge, unterstützt durch Experimente. Die zugrunde liegenden Ideen stammten größtenteils aus den Werken von René Descartes. In seinem Hauptwerk *Trait de physique* (1671) geht Rohault nur kurz auf die Hydrostatik ein, und vertritt hier wie viele seiner Zeitgenossen - etwa Johann Christoph Sturm¹³⁸⁶ - noch die irrige Ansicht, ein schwimmender Körper würde von einer Wassersäule getragen.¹³⁸⁷

¹³⁸⁶ Siehe hierzu Kapitel 4.8.

¹³⁸⁷ Jacques Rohault, *Trait de physique*. Paris 1671, 119-125.

Bereits Ende des 17. Jahrhunderts gab es an Hochschulen öffentliche Vorlesungen in Naturlehre mit experimenteller Ausrichtung.¹³⁸⁸ Bezüglich der naturwissenschaftlichen Modernisierung des Unterrichts leisteten nach dem Vorbild des *Theatrum Physicum* der Universität Leiden die Universitäten in Altdorf, wo Johann Christoph Sturm, der in Leiden studiert hatte, lehrte, sowie in Marburg, wo der Mediziner Johann Jacob Waldschmid (1644-1689) seit 1682 ein *Collegium experimentale* anbot, Pionierarbeit.¹³⁸⁹ Als weiterer Experimentalphysiker wirkte Michael Bernhard Valentini (1657-1729) Ende des 17. Jahrhunderts an der Universität Gießen. Die Durchführung von Experimenten in Vorlesungen über Naturlehre in deutschen Universitäten bis 1710 kann als gesichert angesehen werden bei Altdorf (ab 1672), Marburg (ab 1682), Helmstedt (ab 1693), Kiel (ab 1693), Halle (ab 1696), Gießen (ab 1697), Jena (um 1700), Erfurt (um 1700), Rostock (um 1700), Greifswald (ab 1701) und Tübingen (ab 1703).¹³⁹⁰

Diese Experimente enthielten mit Hinweis auf den Nutzen für die Medizin¹³⁹¹ auch Luftpumpen-Experimente zum Luftdruck, zur Verbreitung des Schalls und zur Aufrechterhaltung tierischen Lebens. Unter anderem wurden auch Versuche mit lebenden Tieren und brennenden Kerzen in Modell-Taucherglocken durchgeführt. In dem Lehrbuch *Demonstrationes physicae curiosae* (1700) des Mediziners Friedrich Hoffmann (1660-1742) von der Universität Halle finden sich erstmals solche Experimente mit Modell-Taucherglocken.¹³⁹² Ebenso baute der Mediziner Johann Ernst Schaper (1668-1721) in seinen Physik-Vorlesungen an der Rostocker Hochschule Experimente mit Modell-Taucherglocken ein.¹³⁹³

Der Experimentalphysiker Georg Christoph Lichtenberg (1742-1799) beschäftigte sich in seinen Vorlesungen an der Universität Göttingen spätestens ab dem Wintersemester 1781/82

¹³⁸⁸ Gerhard Wiesenfeldt, Die ‚Freiheit beim Philosophieren‘ und das Leidener *Theatrum Physicum*: Experimentelle Naturlehre in der Universitätskultur des 17. Jahrhunderts, in: Christoph Meinel (Hg.), in: *Instrument - Experiment. Historische Studien*, Berlin 2000, 269-277, 269.

¹³⁸⁹ Alexander Kießling, Über Johann Jacob Waldschmidt (1644-1689), Professor der Medizin und Physik an der Philipps - Universität Marburg im Zeitalter der Chymie und des Cartesianismus. Dissertation, Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg 2014, 19-21.

¹³⁹⁰ Ulrike Enke, Gelehrtenleben im späten 17. Jahrhundert - eine Annäherung an den Gießener Medizinprofessor Michael Bernhard Valentini (1657-1729), in: *Medizinhistorisches Journal* 42 (2007) 299-329, 318; Fritz Krafft (Hg.): Georg Christoph Lichtenberg, Physikvorlesung, nach J. Chr. P. Erxlebens Anfangsgründen der Naturlehre. Aus den Erinnerungen von Gottlieb Gamauf, Bearbeitet und mit einer Einleitung versehen von Fritz Krafft, Wiesbaden 2007, XV-LXXIV, V-XIII.

¹³⁹¹ Enke, Gelehrtenleben, 323.

¹³⁹² Friedrich Hoffmann, *Demonstrationes Physicae Curiosae, Experimentis et Observationibus mechanicis ac chymicis illustratae*, Halle 1700, 19.

¹³⁹³ Johann Ernst Schaper, *Demonstrationes Physicae Curiosae, Hactenus Institutae Et In Gratiam Auditorum Suorum*, Rostock 1701, *Demonstratio XVIII, XIX*.

mit Taucherglocken.¹³⁹⁴ Dabei bildete der Artikel über die Taucherglocke in Johann Beckmanns *Beytraege zur Geschichte der Erfindungen*¹³⁹⁵ die Grundlage für seinen Vortrag. Eröffnet wurde sein Vortrag mit der Demonstration einer Glasglockenmodells in einem Wasserbecken.¹³⁹⁶ 1785 beschäftigte sich Lichtenberg in seinen Vorlesungen auch mit dem semi-atmosphärischen Tauchgerät von Jürgen C. Weiss aus Itzehoe.¹³⁹⁷

Die Erläuterung des Boyle-Mariottischen Gesetzes anhand der physikalischen Effekte bei Taucherglocken fand Eingang in die Lehre. 1870 lautete beispielsweise eine Prüfungsfrage am Eton College in Windsor: „Describe Boyles experiments with compressed air. How far has the diving bell descended when the air is compressed into half its original volume?“¹³⁹⁸. Die richtige Antwort ist 33 feet (10 Meter).

Die Erkenntnisse von Robert Boyle, Isaac Newton und anderen waren oft nicht leicht für Jedermann zu verstehen, insbesondere für die breite Öffentlichkeit ohne spezielle mathematische Kenntnisse. Es bedurfte hier zusätzlicher, möglichst anschaulicher Erklärungen, was darunter zu verstehen ist, und vor allem, was es für die Praxis bedeutet. Es entstand mit dieser „Public Science“¹³⁹⁹ auch ein neuer Wirtschaftszweig: „The translation from Newton’s esoteric *Principia* to the popular expositions in the commercial world of London made natural philosophy into an industry [...] But this was more than a university extension; many of the lecturers and authors had little connection with the colleges“¹⁴⁰⁰, so Stewart.

Die Schaffung einer öffentlichen Wissenschaft war ein soziokulturelles Phänomen der Aufklärung, das in England in den Kaffeehäusern mit Diskussionen über Naturphilosophie seinen Anfang nahm.¹⁴⁰¹ Das Interesse an wissenschaftlichen Ideen führte zur Einrichtung von öffentlichen Vorlesungen und Experimenten. In London, aber auch anderen großen Städten

¹³⁹⁴ Georg Christoph Lichtenberg, *Gesammelte Schriften. Historisch-kritische und kommentierte Ausgabe. Vorlesungen zur Naturlehre. Notizen und Materialien zur Experimentalphysik, Teil I, Band 3*, Göttingen 2007, 378.

¹³⁹⁵ Beckmann, *Beytraege zur Geschichte der Erfindungen*, Band 1, 523-548.

¹³⁹⁶ Beckmann, *Beytraege zur Geschichte der Erfindungen*, Band 1, 529.

¹³⁹⁷ Ritter, „Dieses Glück“, 225.

¹³⁹⁸ George Bishop, *Eight Hundred Years of Physics Teaching*, North Baltham 1994, 209.

¹³⁹⁹ Siehe Larry Stewart, *The Rise of Public Science. Rhetoric, Technology, and Natural Philosophy in Newtonian Britain, 1660-1750*. Cambridge 1992.

¹⁴⁰⁰ Stewart, *The Rise of Public Science*, 119.

¹⁴⁰¹ Audrey T. Carpenter, *John Theophilus Desaguliers: A Natural Philosopher, Engineer and Freemason in Newtonian England*, London 2011, 27; Albert Edward Musson / Eric Robinson, *Science and Technology in the Industrial Revolution*, Toronto 1969, 33-59.

Englands und Schottlands gab es einen Bedarf für Unterricht, der die neuen Ideen für diejenigen mit begrenzter Bildung und besonders für die Nichtmathematiker verständlich machte.¹⁴⁰²

Immer mehr Menschen interessierten sich für die Erklärung sichtbarer Phänomene, wodurch es zunehmend in Mode kam, sich mit den neuesten naturwissenschaftlichen Erkenntnissen zu beschäftigen. Wissenschaftliche Vorführungen dienten auch dem Zeitvertreib gebildeter Kreise.

Nicht jeder konnte der Royal Society angehören, aber viele Menschen konnten sich einen kleinen Betrag als Eintrittspreis zu einer öffentlichen Vorlesung leisten, um besser informiert zu werden. „The best way of communicating the experimental philosophy was through making it possible for people to see experiments performed“¹⁴⁰³, so Wootton. Frühe, öffentliche naturwissenschaftliche Vorträge lassen sich bereits ab 1670 außerhalb von Universitäten verorten, wie das Beispiel von George Sinclair in Edinburgh gezeigt hat.

John Harris (1661-1719) gab zwischen 1698 und 1707 im Marine Coffee House in London öffentliche Vorträge mit der Vorführung von Experimenten.¹⁴⁰⁴ 1704 arbeitete der Mathematiker James Hodgson (ca. 1672-1755) mit dem Instrumentenbauer Francis Hauksbee (ca. 1660-1713) zusammen und warb in den Londoner Zeitungen für einen öffentlichen Experimentierkurs „for the improvement of Natural Philosophy“¹⁴⁰⁵. Hauksbee hatte für Robert Boyle gearbeitet, und ein Unternehmen aufgebaut, das sich auf Barometer und Luftpumpen spezialisierte. Ab 1703 war er Kurator für Experimente bei der Royal Society.¹⁴⁰⁶ In Deutschland war der lutherische Theologe und Kirchenhistoriker Johannes Andreas Schmidt (1652-1726) von der Universität Helmstedt einer der ersten, der öffentlich physikalische Experimente präsentierte, darunter waren auch Experimente mit Modell-Taucherglocken.¹⁴⁰⁷

Der Freimaurer-Großmeister und spätere persönliche Assistent Isaac Newtons, John Theophilus Desaguliers, hob die öffentliche Wissenschaft auf ein neues Niveau, und wird als „greatest of the popular lecturers“¹⁴⁰⁸ bezeichnet. In Oxford, wo Desaguliers Jura studierte, entwickelte er eine Leidenschaft für experimentelle Philosophie. Er besuchte die Vorlesungen

¹⁴⁰² Siehe Margaret Rowbottom, *The Teaching of Experimental Philosophy in England, 1700-1730*, in: *Actes du XIe Congrès Internationale d'Histoire des Sciences* 4 (1965) 46-53; Simon Schaffer, *Natural Philosophy and Public Spectacle in the Eighteenth Century*, in: *History of Science* 21 (1983) 1-43.

¹⁴⁰³ Wootton, *The Invention of Science*, 475.

¹⁴⁰⁴ Musson / Robinson, *Science and Technology*, 37.

¹⁴⁰⁵ Carpenter, *John Theophilus Desaguliers*, 27.

¹⁴⁰⁶ Seine Experimente gab er in einem Buch wieder. Siehe Francis Hauksbee, *Physico-mechanical Experiments on Various Subjects, Containing an Account of Several Surprizing Phaenomena*. London 1709.

¹⁴⁰⁷ Siehe Johann Andreas Schmidt, *Collegii experimentalis physico-mathematici demonstrationes singulis semestribus in Academia Iulia curiosis B.C.D. exhibendae*, Helmstedt 1721, Fig. 66.

¹⁴⁰⁸ Wootton, *The Invention of Science*, 475.

von John Keill (1671-1721), einem Vertrauten von Isaac Newton, der viele Experimente in seine Vorlesungen einbaute.¹⁴⁰⁹

Desaguliers nutzte später Keills Lehrmethode, um selbst neue Ideen in der Physik zu verbreiten: „All the Knowledge we have of Nature depends upon Facts; for without Observations and Experiments, our natural Philosophy would only be a Science of Terms and an unintelligible Jargon“¹⁴¹⁰, so Desaguliers. Er erklärt, dass er Experimente durchführt, nicht um Kuriositäten zu zeigen, sondern um Gesetze zu demonstrieren, in der Art von Mathematikern, aber ohne den mathematischen Formalismus zu verwenden: „The Thoughts of being obligd to understand Mathematicks have frighted a great many from the Newtonian Philosophy“¹⁴¹¹. Seine Methode bestünde darin, die Lektionen didaktisch durch schrittweises Denken aufzubauen.

Desaguliers Vorträge waren die populärsten und am meisten besuchten Veranstaltungen dieser Art in London.¹⁴¹² Zusammen mit John Keill und Harry Pemberton (1694-1771) popularisierte Desaguliers diese Art der Wissensvermittlung für die breite Öffentlichkeit. Öffentliche Vorträge wie die von Desaguliers „helped to transform technology from a more empirical craft into a professional discipline with a central body of scientific knowledge“¹⁴¹³. Bei dieser Gelegenheit wurde nicht nur Spezialistenwissen von einer „Elite Culture“¹⁴¹⁴ zu öffentlichem Wissen, sondern auch Naturphilosophen mit Industriellen, Produzenten, Händler und Investoren zusammengebracht und die Betrachtungsweise von theoretischen Wissen zur praktischen Anwendung gelenkt.

Desaguliers wurde 1714 der Nachfolger von Francis Hauksbee als Kurator bei der Royal Society, deren Mitglied, und steuerte über 60 Aufsätze zu den *Philosophical Transactions of the Royal Society* bei. Dreimal, 1734, 1736 und 1741, wurde Desaguliers die Copley-Medaille der Royal Society für elektrische Experimente verliehen. In der gerade entstehenden Elektrizitätslehre prägte er die wichtigen Begriffe „Conductor“ und „Isolator“.¹⁴¹⁵

Desaguliers besonderer Verdienst war es, neue Erkenntnisse praxisnah zu erläutern: „If there was a gap between theory and practice, Desaguliers bridged it. Desaguliers‘ public philosophy,

¹⁴⁰⁹ Margaret C. Jacob / Larry Stewart, *Practical Matter. Newton’s Science in the Service of Industry and Empire, 1687-1851*, London 2004, 81.

¹⁴¹⁰ John Theophilus Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 1, London 1734, V.

¹⁴¹¹ Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 1, VII.

¹⁴¹² John Bennett Shank, *The Newton Wars and the Beginning of the French Enlightenment*, Chicago 2008, 152.

¹⁴¹³ David F. Channell, *The Rise of Engineering Science. How Technology Became Scientific*, Cham 2019, 58.

¹⁴¹⁴ Margaret C. Jacob, *The cultural meaning of the scientific revolution*, New York 1988, 37.

¹⁴¹⁵ John Lewis Heilbron, *Electricity in the 17th and 18th Centuries: A Study of Early Modern Physics*, Berkley 1979, 293.

demonstrated by his numerous popular lectures, moved into areas of more direct mechanical interest than required by his Royal Society obligations“¹⁴¹⁶.

In London begann Desaguliers damit, in Kaffeehäusern und anderen Orten öffentliche Vorträge zur experimentellen Philosophie zu halten. Dabei setzte er gelegentlich auf besondere Effekte: Ein Unterwasserexperiment von Desaguliers bestand darin, Raketen unter Wasser zu zünden und sie dann als Überraschungseffekt in die Atmosphäre aufsteigen zu lassen. Bei einer solchen Demonstration in der Themse kam es zu einem Unfall, als ein Boot mit Zuschauern zu nahe kam und von der Startdetonation ein Loch in den Rumpf gerissen wurde. Das Boot konnte nur mühsam das Ufer erreichen.¹⁴¹⁷

Als Ergänzung zu seinen Vorträgen druckte er 1717 das Werk *Physio-mechanical lectures*. Es war eine Sammlung von Kommentaren zu seinen Experimenten, um den Teilnehmern die Notwendigkeit zu ersparen, während der Vorträge eigene Notizen zu machen. Desaguliers beschäftigte sich im Rahmen seiner 22 Kapitel auch mit der Taucherglocke und dem Taucherfass von Jacob Rowe¹⁴¹⁸, das er als unbrauchbare Lösung rundum ablehnte.¹⁴¹⁹

In Bezug auf die Taucherglocke gibt Desaguliers zunächst eine Beschreibung einer einfachen Glocke und der Drücke, die in verschiedenen Tiefen auftreten, wieder. Er beschreibt die Methoden, Luft in die Glocke mit Fässern von der Oberfläche zu befördern und warme Luft durch den Hahn an der Decke aus der Glocke herauszulassen.¹⁴²⁰

Desaguliers missinterpretiert aber die Vorgänge beim Überströmen der Fässer in die Taucherglocke, wenn er schreibt, dass nur verbrauchte Luft durch den Hahn an der Glockendecke ausströmt und frische Luft unten durch die Fässer einströmt. Die verbrauchte Luft sei leichter als frische und befinde sich deshalb an der Glockendecke.¹⁴²¹ Die Luft in der Glocke steigt jedoch nicht aus diesem Grund auf, sondern weil sie erwärmt worden ist, und von unten kühlere Luft mit dem Fass eingelassen wird. Es gibt insofern keinen von der Temperatur abhängigen Zusammenhang zwischen „verbrauchter“ und „frischer“ Luft. Kalte Luft ist dichter als warme Luft und enthält deshalb bei gleichem Volumen mehr Sauerstoff. Auch eine weitere

¹⁴¹⁶ Stewart, *The Rise of Public Science*, 220.

¹⁴¹⁷ Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 1, 402-403; siehe Stewart, *The Rise of Public Science*, 221.

¹⁴¹⁸ Woodcroft, *Titles of patents of invention*, Patent No. 431, 78.

¹⁴¹⁹ John Theophilus Desaguliers, *Physico-mechanical Lectures, Or, An Account of what is Explain'd and Demonstrated in the Course of Mechanical and Experimental Philosophy, Given by J.T. Desaguliers, M.A. F.R.S.: Wherein the Principles of Mechanics, Hydrostatics and Optics, are Demonstrated and Explain'd by a Great Number of Experiments: Design'd for the Use of All Such as Have Seen, Or May See Courses of Experimental Philosophy*, London 1717, 35.

¹⁴²⁰ Desaguliers, *Physico-mechanical Lectures*, 34.

¹⁴²¹ Desaguliers, *Physico-mechanical Lectures*, 34-35.

Erklärung von Desaguliers, die Ursache für das Einströmen der Luft aus den Fässern erfolge aufgrund verschieden großer Wassersäulen, ist falsch.

Desaguliers fertigte zur Demonstration mehrere Modell-Taucherglocken an. Im Juni 1722 stellte er ein Modell der Halleyschen Glocke bei einem Meeting der Royal Society vor: In dem Bericht wird auch ein Verfahren zur Lufterneuerung durch „certain flexible pipes“¹⁴²² von der Oberfläche erwähnt, das eine Weiterentwicklung der Luftversorgung gewesen war. Genaueres ist leider nicht bekannt, aber möglicherweise wurde es von Halley bei seinem Tauchgang 1716 in der Themse erprobt.

1734 führte Desaguliers erneut ein Taucherglockenmodell die Royal Society praktisch vor: „Experiments made [...] some concerning diving with two sorts of Diving Bells and Models in Glass of all Doctor Halley’s contrivances for that Purpose.“¹⁴²³

1734 publizierte Desaguliers seine Vorträge und Demonstrationen in seinem Werk *A Course of Experimental Philosophy*, und ließ 1744 einen zweiten Band folgen.¹⁴²⁴ Dieser zweite Band enthält Anmerkungen, Kommentare, mathematische Demonstrationen, und Zitate anderer Autoren. Lektionen befassen sich mit der Hydrostatik und Experimenten zur Veranschaulichung theoretischer Punkte, aber auch mit sehr präzisen Beschreibungen verschiedener Vorrichtungen und verschiedener Verwendungszwecke wie Taucherglocken. Tafeln zeigen die Maschinen als Ganzes, aber auch technischen Details, um zu verstehen, wie sie funktionieren. Dieser sehr konkrete, praxisbezogene Aspekt kann als einer der Gründe für die weite Verbreitung seiner beiden Werke gelten. Die Abbildung der Taucherglocke von Halley ist eine Kopie aus dem Werk von Martin Clare aus 1735.¹⁴²⁵

Desaguliers geht auf wichtige, grundlegende Fragen zum Tauchen ein.¹⁴²⁶ Mit einfachen Experimenten führt er die Wirkung der Naturgesetze vor Augen: In einen Glasbehälter taucht er eine skalierte, oben geschlossene Glasröhre ein und misst den Wasserspiegel in verschiedenen Tiefen. Davon leitet er das Boylesche Gesetz ab. Eine kleine Glastaucherglocke, die mit einem Bleikranz beschwert ist, taucht er in das Becken bis auf den Grund. Nachdem sie wieder herausgezogen wurde, kann man sehen, dass ein Stück Papier, das in den oberen Teil der Glocke gepresst war, trocken geblieben ist.

¹⁴²² Anonymus, The St. James's Journal London 3 (21st June 1722), zit. nach Phillips, *Diving and Underwater Technology*, 472.

¹⁴²³ Carpenter, John Theophilus Desaguliers, 71; Melinda Alliker Rabb, *Miniature and the English Imagination. Literature, Cognition, and Small-Scale Culture, 1650-1765*, Cambridge 2019, 179.

¹⁴²⁴ John Theophilus Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, 2 Bd., London 1734/1744.

¹⁴²⁵ Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 2, Plate 20 Fig 7.

¹⁴²⁶ Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 2, 211.

Desaguliers beschreibt weiterhin, weshalb eine Taucherglocke in dieser Form mit schrägen Wänden und nicht zylindrisch ausgebildet sein soll: „It is made of this Figure rather than that of a Cylinder; because at the same Depth the Water will not rise so high in the Bell as it would in a Cylinder, and a Man may descend lower than in a Cylinder before the Water is troublesome to him, by rising up to his Face“¹⁴²⁷. Dies war eine wichtige Erkenntnis für das Design der Taucherglocken, die so bislang nicht publiziert wurde und zu dem Betriebsgeheimnis der Glockenkonstrukteure gehörte.

Da einfache Taucherglocken verschiedene Nachteile hätten, „other Inventions have been contriv'd for diving“¹⁴²⁸. Damit bezieht er sich auf die Methode mit Frischluftzufuhr durch Fässer. „Our late famous Professor Dr. Edmond Halley improved the old Diver's Bell, so much as to have perfected the Art of living under Water“¹⁴²⁹, so Desaguliers.

Desaguliers listet vier Vorteile der neuen Methode und Halleys Glocke auf: (1) die Zufuhr von Frischluft in Fässern, (2) die Glasscheibe im oberen Teil, (3) das Ventil im oberen Teil der Glocke, und (4) den „traveling diver“¹⁴³⁰, der mit einem Luftschlauch aus der Glocke heraus versorgt wird. Die Druckverhältnisse unter Wasser gibt Desaguliers richtig wieder: „whether a Man be in or out of the Bell, he suffers the same Pressure, whether from the Water, (when out of the Bell) or from the Air condens'd by it in the Bell“¹⁴³¹.

Desaguliers gab auch eine klare Beschreibung der potenziellen Gefahren eines Lungenbarotraumas beim Tauchen.¹⁴³² Dies wurde bislang ebenfalls noch an keiner anderen Stelle dargestellt.

Die Beschreibungen von Desaguliers zur Tauchtechnologie sind bis auf den Fehler in der Beurteilung des Sauerstoffgehaltes in kalter und warmer Luft sehr akkurat, und zeigen von einem großen Sachverständnis dieser Anwendung.

Um die aktuelle Tiefe zu messen, in der sich die Taucherglocke gerade befindet, stellt Desaguliers ein Instrument vor, das die Insassen verwenden können, und das er gemeinsam mit Stephen Hales erfunden habe.¹⁴³³ Es handelt sich hierbei um das Verfahren unter Einsatz eines Torricelli-Barometers, das schon 1662 von Robert Hooke und 1693 von Edmond Halley der Royal Society vorgestellt wurde.¹⁴³⁴ 1665 hatte es George Sinclair bei Tobermory praktisch

¹⁴²⁷ Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 2, 213.

¹⁴²⁸ Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 2, 213.

¹⁴²⁹ Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 2, 215.

¹⁴³⁰ Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 2, 217.

¹⁴³¹ Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 2, 217.

¹⁴³² Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 2, 217.

¹⁴³³ Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 2, 223.

¹⁴³⁴ Deacon, *Scientists and the Sea*, 180.

eingesetzt. Das Verfahren wurde von Stephen Hales in seinem Werk *Vegetable Staticks* (1727) erwähnt und, so wie von Hooke, eine mögliche Anwendung in Taucherglocken erkannt.¹⁴³⁵ Auch Hales „bucket sea-gauge“, um Proben aus verschiedenen Wassertiefen zu entnehmen wurde bereits fast ein halbes Jahrhundert zuvor von Robert Hooke erdacht.¹⁴³⁶

5.5.2 Multiplikatoren und internationale Verbreitung

Mit dem wachsenden Interesse an öffentlichen, wissenschaftlichen Vorlesungen kamen außer Desaguliers weitere Vortragende hinzu. Viele davon waren ehemaligen Assistenten von ihm, beispielsweise Benjamin Martin (1704-1782), John Robertson (1712-1776), William Samuel Powell (1717-1775), Thomas Rutherford (auch Rutherford, 1712-1771), Erasmus King (?-1760), James Ferguson (1710-1776) und Stephen Demainbray (1710-1782). Die öffentlichen Vorträge fanden nun nicht mehr nur in London statt, sondern auch in anderen Städten Englands, wie Oxford, Cambridge und Newcastle upon Tyne, sowie auf dem europäischen Kontinent.¹⁴³⁷ Der französische Geistliche Jean-Antoine Nollet (1700-1770) brachte die Experimentelle Physik beispielsweise von London ab 1739 nach Turin und Paris. Ein weiterer Multiplikator, der aber nicht nur bei öffentlichen Vorführungen blieb, sondern die Taucherglockentechnologie auch selbst praktisch einsetzte, war Marten Triewald (1691-1747) in Schweden.¹⁴³⁸ Über seine wichtige Rolle wird später noch ausführlich berichtet.

Wie aus den überlieferten Lehrplänen hervorgeht, veranschaulichten die meisten Dozenten in ihren Vorlesungen Gesetze der Pneumatik und Hydrostatik, wie das Boysche Gesetz, mit Hilfe von Modell-Taucherglocken. Francis Midon (?-?)¹⁴³⁹, Isaac Thompson (1703-1776) und Robert Harrison (1724-1802) nahmen ebenso das Tauchen in ihre Vorlesungen auf, wie Adam Walker (1731-1821), John Arden (1702-1791) und John Banks, die Wanderdozenten im Norden Englands und Schottland waren.

Bereits 1743 widmete Erasmus King in London eine eigene Vorlesung dem Tauchen, und setzte ein Glasmodell einer Taucherglocke ein. Er hatte einen Vortrag konzipiert, „in which the

¹⁴³⁵ Hales, *Vegetable Staticks*, Experiment 89, 206-207; Stephen Hales, A description of a sea gage, to measure unfathomable depths, in: *The Gentleman's Magazine and Historical Chronicle* 24 (1754) 215-219.

¹⁴³⁶ Stephen Hales, Letter concerning Captain H. Ellis's Bucket Sea Gauge, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 47 (1751) 214-216.

¹⁴³⁷ Musson / Robinson, *Science and Technology*, 160.

¹⁴³⁸ Siehe hierzu Kapitel 6.1.1.

¹⁴³⁹ Siehe Ruth V. Wallis / Peter J. Wallis, *Biobibliography of British Mathematics and its Applications, Part II, 1701-1760*, Newcastle upon Tyne 1986, 86.

Business of Diving or descending to the Bottom of the Sea, will be illustrated by Experiments made with Glas Models of the Diver's Bell, shewing all the Improvements made upon that curious Machine¹⁴⁴⁰. Das Interesse daran schien sehr groß zu sein, denn er hielt den Vortrag zweimal täglich.

Edmond Halleys *Art of Living under Water* (2 Teile, 1716 und 1721) bildete einen wichtigen Teil in Demainbrays Kurs, und nahm ein vollständiges Kapitel ein. Er hatte dazu ein Modell von Halleys Glocke hergestellt, und berichtete unter anderem auch über Triewalds Taucherglockenverbesserung sowie Jacob Rowes Taucherfass.¹⁴⁴¹ Demainbray hielt in England, Irland und Frankreich öffentliche Vorlesungen.

John Arden referierte ebenfalls über die Tauchtechnologie und illustrierte dies durch ein Modell der Taucherglocke. Er verwendet Halleys Begriffe, und veranschaulicht bei seinen Experimenten drei Prinzipien: Dass die Luft in der Glocke eingeatmet werden kann, der Druck proportional zur Tiefe ansteigt, und dass der Luftdruck in der Glocke dem Wasserdruck dieser Tiefe entspricht.¹⁴⁴²

Der Londoner Chemiker und Instrumentenbauer John Joseph Griffin fertigte ein Glasmodell einer Taucherglocke mit einer Taucherfigur an (Abbildung 30). An der Glocke war ein Schlauch angebracht, der zu einer Spritze führte. Durch Druck auf den Kolben konnte Luft in die Taucherglocke gepresst werden, und dadurch veranschaulicht werden, dass der Wasserspiegel in der Glocke sank.¹⁴⁴³

Im Science Museum in London werden drei Taucherglockenmodelle aus dem 18. Jahrhundert aufbewahrt, zwei aus Glas und eines aus Blei. Das erste Modell¹⁴⁴⁴ aus Glas war offensichtlich nicht für eine praktische Demonstration gedacht, da die Bleigewichte rund um die Mitte nicht annähernd schwer genug sein würden, um es zu versenken. Allerdings gleicht das Modell einer Zeichnung in einem Buch von Desaguliers sehr und könnte deshalb von ihm stammen.¹⁴⁴⁵

¹⁴⁴⁰ Erasmus King, Advertise, in: *The Daily Advertiser* 4007 (21. November 1743) 2; siehe John H. Appleby, Erasmus King: Eighteenth-century experimental philosopher, in: *Annals of Science* 47 (1990) 375-392.

¹⁴⁴¹ Stephen C. T. Demainbray, *A Short Account of a Course of Natural Philosophy consisting of Thirty-four Lectures*, London 1754, 15-16; Rabb, *Miniature and the English Imagination*, 184; Morton / Wess, *Public & Private Science*, 172-174.

¹⁴⁴² John Arden, *Analysis of Mr. Arden's course of lectures on natural experimental philosophy*, London 1774; Die Grundlagen stammen aus John Horsley, *A short and general account of the most necessary and fundamental principles of natural philosophy*. Revised, corrected, and adopted to a course of experiments, perform'd in Glasgow, Glasgow 1743.

¹⁴⁴³ Gerard L'Estrange Turner, *Nineteenth-century scientific instruments*, London 1983, 90.

¹⁴⁴⁴ Science Museum London, Inventar-Nummer 1993-1314.

¹⁴⁴⁵ Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol, 2, Plate 20 Fig 2.

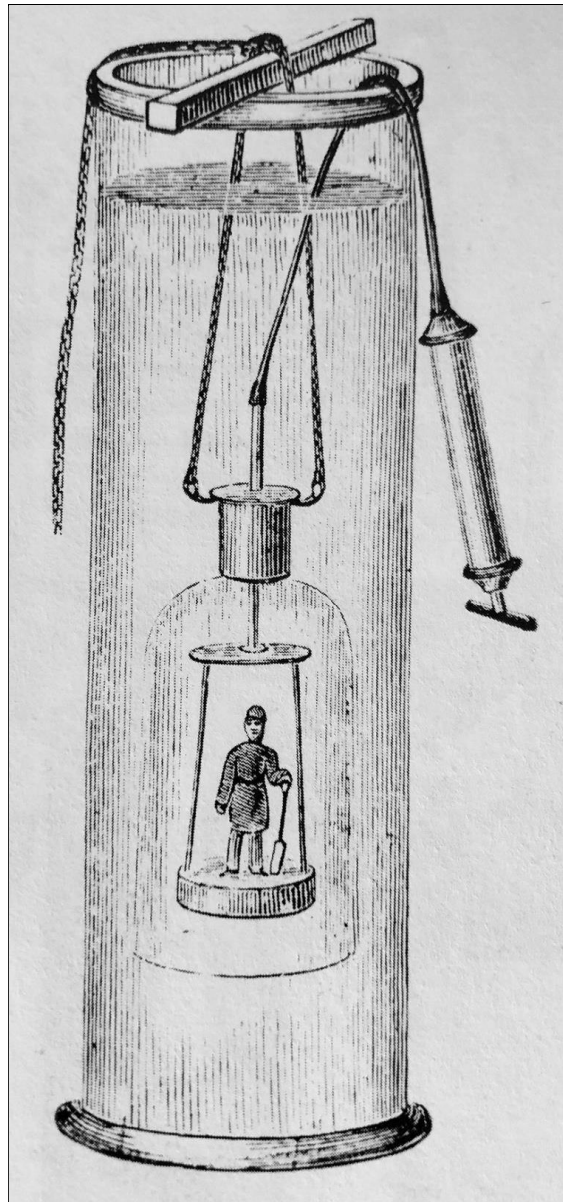


Abbildung 30: Skizze einer Glastaucherglocke mit Figur und Luftspritze von John Joseph Griffin.
Quelle: Gerard L'Estrange Turner: Nineteenth-century scientific instruments. London 1983, 90.

Das zweite Modell stammt aus dem Nachlass von Stephen Demainbray. Das Glasmodell¹⁴⁴⁶ mit Messingkäfig konnte zu einer praktischen Demonstration eingesetzt werden (Abbildung 31). Er hat zwölf massive, birnenförmige Gewichte, die an der Messingband um die Glasglocke aufgehängt sind, und einen massiven Tragering. Der Käfig im Inneren, der an der Oberseite aufgehängt ist, sollte ein kleines Tier wie etwa eine Maus bei der Demonstration einschließen.

¹⁴⁴⁶ Science Museum London, Inventar-Nummer 1927-1288 und 1927-1301.



Abbildung 31: Glasmodell einer Taucherglocke mit Tierkäfig. Quelle: Science Museum London, Picture Library Image Ref. 10190833. (Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)).

Das dritte Modell¹⁴⁴⁷ ist vollständig aus Blei, ca. 15 cm hoch und breit, mit einem Messingdeckel, auf dem ein Tragering, ein Hahn zum Ablassen der Luft und eine Glasöffnung für den Lichteinlass montiert sind. Es ist schwer genug, um selbst zu versinken, aber im Gegensatz zu den beiden anderen, die aus Glas waren, konnte das Publikum weder das Wasser, das in ihm aufstieg, noch das Verhalten der darin eingeschlossenen Tiere sehen. Es stellt die von Edmond Halley gebaute Glocke dar, so dass ersichtlich wird, dass das Oberteil seiner Glocke aus einem kurzen Zylinder mit flacher Grundfläche bestand, und es nicht abgerundet war, wie in den meisten Illustrationen dieser Zeit fälschlich dargestellt.

Ein anderer Wissenschaftler, der Schauexperimente mit Bezug zum Tauchen öffentlich vorführte, war der Schotte James Dinwiddie (1746-1815). Er hatte an der Universität Edinburgh studiert und begann zunächst 1779 mit der Abfassung seiner wissenschaftlichen

¹⁴⁴⁷ Science Museum London, Inventar-Nummer 1927-1452.

Publikationsreihe *Queries and Hints*, die eine breite Palette von Themen behandelte.¹⁴⁴⁸ Zu seinen Forschungsgebieten gehörten Geschichte, Physik, Chemie, Ingenieurwesen, Militärtaktik und weitere Themen. 1781 begann Dinwiddie mit einer Vortragsreise durch das Vereinigte Königreich zu verschiedenen wissenschaftlichen Themen, einschließlich der Technik und Physiologie von Taucherglocken.¹⁴⁴⁹

Dinwiddie schien ein gewisses Moderationstalent besessen zu haben: „He mastered showmanship and utility, staging balloon trips and underwater expeditions in diving bells”¹⁴⁵⁰, so Schaffer. Dinwiddies Auftritte lagen damit im Grenzbereich zwischen dem Anliegen, naturwissenschaftliche Phänomene der Öffentlichkeit sachlich nahe zu bringen, und dem kommerziellen Bedürfnis, „to please the giddy and unthinking who compose the greater part of every audience”¹⁴⁵¹. Damit lag er auf einer Linie mit anderen Experimentalwissenschaftlern seiner Zeit: „The attractions of enlightenment science often rested as much in spectacle and entertainment as in the advance of theory and mathematics”, so Stewart.¹⁴⁵²

In Schottland und Irland machte Dinwiddie eigene Erfahrungen mit dem Tauchen. Proudfoot zitiert in seiner Biografie über Dinwiddie einen Bericht von ihm über die Empfindungen, die ein Taucher in verschiedenen Tiefen erfährt, der Dinwiddies großes Verständnis für die Tauchphysiologie, und auch der Notwendigkeit des Druckausgleiches im Innenohr erkennen lässt.¹⁴⁵³

Dinwiddie tauchte im Mai 1783 mit Charles Spalding (1738-1783) kurz vor dessen tödlichem Unfall vor Dublin.¹⁴⁵⁴ Spalding arbeitete mit seiner Taucherglocke an dem Wrack der *Belgisia*, das hier auf ein Riff aufgelaufen war. Er kam bei einem Tauchgang am 2. Juni 1783 mit seinem Assistenten ums Leben, kurz bevor Dinwiddie für wissenschaftliche Experimente mit ihm abtauchen konnte. Dinwiddie hatte Spalding einige Male begleitet und

¹⁴⁴⁸ Band 1 enthält 243 Fragen und hat einen Umfang von 92 Seiten. Sie wurde von Dinwiddie unregelmäßig bis 1797 weitergeführt und ist heute im Dalhousie University Archives archiviert. In Band 1 steht unter der Überschrift „Hydrostatics“ als erster von sieben Punkten „Diving Bell“. Siehe James Dinwiddie: Hydrostatics, in: *Queries and Hints* 1, 1779, Dalhousie University Archives, James Dinwiddie fonds D1, 87.

¹⁴⁴⁹ Seine Experimente beschreibt er in James Dinwiddie, *Syllabus of a course of lectures on experimental philosophy*, London 1789.

¹⁴⁵⁰ Simon Schaffer, *Instruments as Cargo in the China Trade*, in: *History of Science* 44 (2006) 217-246, 238.

¹⁴⁵¹ William Jardine Proudfoot, *Biographical Memoir of James Dinwiddie. Astronomer in the British Embassy to China, 1792, '3, '4, Afterwards Professor of Natural Philosophy in the College of Fort William, Bengal, Liverpool 1868*, 12.

¹⁴⁵² Larry Stewart, *The Spectacle of Experiment: Instruments of Circulation. from Dumfries to Calcutta and back*, in: Bernard Lightman / Gordon McOuat / Larry Stewart (Hg.), *The Circulation of Knowledge Between Britain, India and China*, Leiden 2013, 21-44, 21.

¹⁴⁵³ Proudfoot, *Biographical Memoir*, 16.

¹⁴⁵⁴ Siehe hierzu Kapitel 6.1.3.

gerade Vorkehrungen getroffen, um mit einer Luftpumpe und einigen anderen Apparaten hinabzusteigen, um Schalllexperimente in der verdichteten Luft durchzuführen.¹⁴⁵⁵

Dinwiddie befasste sich daraufhin mit der Untersuchung der Unfallursachen, und versuchte, sie aufzuklären. Er hielt eine Reihe viel beachteter Einzelvorträgen über Taucherglocken und die möglichen Ursachen von Spaldings Unfall, und kündigte im Juli 1783 an, die von Spalding verwendete Glocke im Hörsaal auszustellen.¹⁴⁵⁶

Dinwiddie popularisierte mit seinen Vorträgen Tauchtechnologie „zum Anfassen“ im besonderen Maße, und es folgten bald weitere Dozenten, die ebenfalls auf diese Thematik fokussierten und Glocken ausstellten. In Irland enthielt beispielsweise der Vortrag von Edward-Athenry Whyte über *Chymical Properties of Different Airs* (1797) den Schwerpunkt „The Art of Diving explained, with Dr. Halley’s improvements of the Diving-Bell. Several other methods of diving explained. A complete model of a Diving-Bell, with all the necessary Apparatus belonging to it, and its Uses elucidated by the introduction of a living animal“¹⁴⁵⁷.

Wie Whyte publizierten Benjamin Martin (1743)¹⁴⁵⁸, John Robertson (1745)¹⁴⁵⁹, William Samuel Powell (1746)¹⁴⁶⁰, Thomas Rutherford (1748)¹⁴⁶¹, Isaac Thompson gemeinsam mit seinem Assistenten Robert Harrison (1757)¹⁴⁶², John Banks (1775)¹⁴⁶³, George Adams (1794)¹⁴⁶⁴ und Adam Walker (1799)¹⁴⁶⁵ umfangreiche Skripte über ihre Vorlesungen und brachten auch über diesen Weg tauchtechnische und -physiologische Kenntnisse in die breite Öffentlichkeit.

¹⁴⁵⁵ Proudfoot, Biographical Memoir, 15-16.

¹⁴⁵⁶ Linde Lunney, The celebrated Mr. Dinwiddie: An eighteenth-century scientist in Ireland, in: Eighteenth-century Ireland 3 (1988) 69-83, 74.

¹⁴⁵⁷ Edward Athenry Whyte, Syllabus of a Course of Experimental Philosophy, Dublin 1797, 8.

¹⁴⁵⁸ Benjamin Martin, A Course of Lectures in Natural and Experimental Philosophy, Geography and Astronomy, Reading 1743; siehe auch John R. Millburn, Benjamin Martin: Author, Instrument-Maker, and ‘Country Showman’, Leyden 1976.

¹⁴⁵⁹ John Robertson, The principles of natural philosophy explain’d and illustrated by experiments: in a course of sixteen lectures, London 1745, 12.

¹⁴⁶⁰ William Samuel Powell, The heads of a course of lectures in experimental philosophy, Cambridge 1746, 27.

¹⁴⁶¹ Thomas Rutherford, A system of natural philosophy being a course of lectures in mechanics, optics, hydrostatics, and astronomy, Cambridge 1748, 563-565.

¹⁴⁶² Isaac Thompson / Robert Harrison, A short account of a course of natural and experimental philosophy, comprehending mechanics, hydrostatics, and pneumatics, with the elements of optics and astronomy. Newcastle upon Tyne 1757, 10.

¹⁴⁶³ John Banks, An Epitome of a Course of Lectures on Natural and Experimental Philosophy, Kendal 1775, 24.

¹⁴⁶⁴ George Adams, Lectures on Natural and Experimental Philosophy, Vol. 3., London 1794, 474-477.

¹⁴⁶⁵ Adam Walker, Analysis of a course of lectures on natural and experimental philosophy, 6th Edition, Gloucester 1799, 29-30.

1784 ließ Dinwiddie - möglicherweise als erster Wissenschaftler Englands - einen unbemannten Ballon aufsteigen. Am 31. Januar 1784 flog sein etwa 5 Meter im Durchmesser großer Ballon 30 Kilometer weit von Bristol bis nach Hilperton bei Trowbridge, was eine sehr beachtenswerte Leistung war.¹⁴⁶⁶ Der Ballon wurde auf dem Marktplatz von Trowbridge zur Besichtigung durch die Bevölkerung ausgestellt, und die lokalen Zeitungen berichteten über diese Sensation. Die „allgemeine Ballonwut“¹⁴⁶⁷ griff nun auch auf England über. Dinwiddie gab an, er sei „better acquainted than any man in England [with balloon construction], having made a peculiar discovery which rendered the silk perfectly air tight“¹⁴⁶⁸.

1792 wurde Dinwiddie eingeladen, eine britische Delegation unter der Leitung des irischen Diplomaten George Macartney (1737-1806) als „mathematican and experimental scientist“¹⁴⁶⁹ nach China zu begleiten.¹⁴⁷⁰ Das Hauptziel der Reise war die Ausweitung des britischen Handels mit China. Die Delegation hatte die diplomatische und kulturelle Mission, die Chinesen mit britischen Errungenschaften zu beeindrucken.¹⁴⁷¹

In China sollte Dinwiddie am kaiserlichen Hof seine wissenschaftlichen Experimente und einige als Innovation eingestufte Apparate wie die Taucherglocke und den Ballon vorführen. Dinwiddie hatte bis dahin getaucht, war aber selbst noch nie mit dem Ballon aufgestiegen. Dies wollte er bei dieser Gelegenheit tun.¹⁴⁷² In einem Schreiben an Macartney führt Dinwiddie sein Vorhaben genauer aus: „The erecting and regulating of the planetarium; the constructing, filling, and ascending in the balloon; the diving-bell; experiments in electricity, air, mechanics, and other branches of experimental philosophy; astronomical and other calculations“¹⁴⁷³.

Ein überliefertes Dokument gibt die Planungen von Dinwiddie detaillierter wieder.¹⁴⁷⁴ In neun verschiedenen Experimenten, bei denen auch Mäuse und Vögel in einem Glasmodell in ein Wasserbecken abgesenkt werden, wollte Dinwiddie die Eigenschaften von Taucherglocken, der Luft und der Atmung präsentieren. Er stellt den Rechenweg für die Größe und den

¹⁴⁶⁶ Anonymus, News. Extract from a Letter from Bristol, January 31, in: St. James's Chronicle or the British Evening Post, January 31 1784 - February 3 3574 (1784) 6.

¹⁴⁶⁷ Behringer / Ott-Koptschalijski, Der Traum vom Fliegen, 329.

¹⁴⁶⁸ James Dinwiddie zit. nach Proudfoot, Biographical Memoir of James Dinwiddie, 17.

¹⁴⁶⁹ J. L. Cranmer-Byng / Trevor H. Levere, A case study in cultural collision: Scientific apparatus in the Macartney embassy to China, 1793, in: Annals of Science 38 (1981) 503-525, 505.

¹⁴⁷⁰ Cranmer-Byng & Levere, A case study in cultural collision, 505.

¹⁴⁷¹ Schaffer, Instruments as Cargo, 221.

¹⁴⁷² Proudfoot, Biographical Memoir of James Dinwiddie, 27.

¹⁴⁷³ James Dinwiddie zit. nach Proudfoot, Biographical Memoir of James Dinwiddie, 130.

¹⁴⁷⁴ Eine allgemeine und kurzgefasste Übersicht über die von ihm für China geplanten Experimente findet sich in „Notes on a Course of Lectures on Natural Philosophy“ (Dalhousie University Archives Halifax CAN, MS 2-726, C-16). Darin auf Seite 16 der Hinweis auf „Diving Bell“. Die geplanten Experimente mit einem Modell der Taucherglocke sind separat ausführlich in einem achtseitigen Heft aufgelistet (Dalhousie University Archives Halifax CAN, MS 2-726, C44).

Rauminhalt der Taucherglocke vor, damit sie sinkt, kalkuliert ausgehend von dem Rauminhalt wie lange das Luftvolumen innerhalb der Glocke zum Atmen ausreicht, und beschreibt die Methode zur Frischluftzufuhr mittels Fässer.

Die großen Hoffnungen, die die britische Delegation und Dinwiddie in ihre Reise setzen, wurden zunichte gemacht, denn der chinesischen Herrscher und sein Hofstaat zeigten keinerlei Interesse an den Geschenken und den Experimenten: „Though his Lordship mentioned the balloon, the diving-bell, and the fireworks, yet the Principal mandarine heard the account without the least emotion or surprise“¹⁴⁷⁵. Weder der Aufstieg eines Ballons noch ein Abstieg mit der Taucherglocke wurde vorgenommen. Dinwiddie wäre damit ein Nachfolger von Alexander dem Großen und ein Vorgänger von Jacques Piccard geworden, die jeweils beide Aktivitäten vollbrachten.¹⁴⁷⁶

Die Mission scheitert an dem Zusammentreffen zweier gänzlich unterschiedlicher Weltbilder und Kulturen. Die Engländer sahen sich als Weltmacht mit Führungsanspruch, und traten mit entsprechender Arroganz auf. Den ehrerbietigen Gruß Kotau im Kaiserreich China ignorierten sie, was die Zurückweisung der Delegation am chinesischen Hof zu Folge hatte.

Auf der Rückreise stoppte die Delegation in Kalkutta, wo Dinwiddie bis 1806 blieb und als Professor für Mathematik, Naturphilosophie und Chemie am neu gegründeten Fort William College tätig war.¹⁴⁷⁷ Dinwiddie kehrte im September 1806 nach London zurück, wo er bis zu seinem Tod öffentliche Vorlesungen hielt.

Zu Taucherglockenabstiegen von Dinwiddie in Kalkutta finden sich keine Belege. Dies könnte daran liegen, dass Taucherglocken hier bereits bekannt waren und eingesetzt wurden. Darauf lässt ein Bericht schließen, der 1747 im *British Magazine* abgedruckt wurde.¹⁴⁷⁸ Darin wird eine Taucherglocke erwähnt, die „at one of the British Settlements in the East-Indies“ neu eingeführt wurde. Es handelt sich der Beschreibung nach um eine Glocke, bei der Frischluft mit Fässern zugeführt wird. Interessant ist hierbei die Erwähnung von „four slender, but very tight leather pipes of fiftheen foot each“¹⁴⁷⁹ die in alle vier Richtungen aus der Glocke hinausführen, einen außen arbeitenden Taucher mit Luft versorgen können und ihm wieder den

¹⁴⁷⁵ Proudfoot, Biographical Memoir of James Dinwiddie, 54.

¹⁴⁷⁶ Auguste Piccard, Über den Wolken, unter den Wellen, Wiesbaden 1954.

¹⁴⁷⁷ Zu Dinwiddies Tätigkeit in Kalkutta siehe Earl H. Pritchard, The Instructions of the East India Company to Lord Macartney on his Embassy to China and his Reports to the Company, in: Journal of the Royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland 104 (1938) 201-230, 375-396, 493-509, 501-502.

¹⁴⁷⁸ Siehe R. B-n, An Account of the Indian Divers employed in the Pearl fishing: And of the Structure, Uses and Advantages of a diving Bell made lately at one of the British Settlements in the East-Indies, on Account of a Discovery of a new Pearl fishery there, in: The British magazine (Oct. 1747) 2 (1747) 429-434, 432-434.

¹⁴⁷⁹ B-n, An Account of the Indian Divers, 434.

Weg zur Glocke zurück wiesen. „All this has been try'd in the river, succeeds perfectly well; we make no doubt of it doing as well at sea, and I question not but you will hear enough of the success of it before you are many months older“, so das abschließende Fazit.¹⁴⁸⁰ Möglicherweise ist dies ein Beleg, dass das Lockout-Konzept von Edmond Halley eingesetzt wurde.

5.5.3 Tauchtechnologie in der Enzyklopädie des Jacob Leupold

Vom Ende des 17. Jahrhunderts an wurden neue Erkenntnisse durch öffentliche Vorlesungen und populäre Lehrbücher einem größeren Publikum als je zuvor nahe gebracht.¹⁴⁸¹ Davon profitierte auch das Wissen zur Tauchtechnologie. Es wurde im 18. Jahrhundert auch über Enzyklopädien weitergegeben. Sie enthielten detaillierte Beschreibungen zum Aufbau, den Gesetzmäßigkeiten sowie Anwendungsgebieten von Taucherglocken. Manche Autoren entnahmen die Informationen direkt aus den Vorlesungsskripten, wie etwa Oliver Goldsmith und Gabriel Christoph Benjamin Busch, womit die Vorträge nicht nur lokal, sondern teilweise über England hinaus wirkten.¹⁴⁸²

Zur frühen Vermittlung von tauchtechnischem Wissen trug besonders der deutsche Instrumentenbauer Jacob Leupold (1674-1727) mit seiner grundlegenden technischen Enzyklopädie *Theatrum Machinarum* (9 Bände, 1724-1727) bei.¹⁴⁸³ Sie wird hier exemplarisch für diese Gattung hinsichtlich ihres Gehaltes zur Tauchtechnologie dargestellt.

Leupold behandelt vor allem den Bau von Brücken, Hebezeugen und Mühlen und wendet sich an eine bereits fachlich gebildete Leserschaft. Leupolds Bänder führten „die Tradition der Schaubücher zwar fort, stellte die Maschinen, Gegenstände und Sachverhalte aber wesentlich detaillierter und realitätsgetreuer dar und hob sich damit explizit von seinen Vorgängern ab“¹⁴⁸⁴. Es war das vollständigste Werk über Technik, Maschinen und Instrumente, das nicht nur bis zu diesem Zeitpunkt, sondern noch viele Jahre lang veröffentlicht wurde, und kann als die erste deutschsprachige Enzyklopädie der Technik bezeichnet werden.

¹⁴⁸⁰ B-n, *An Account of the Indian Divers*, 434.

¹⁴⁸¹ Wootton, *The Invention of Science*, 475.

¹⁴⁸² Oliver Goldsmith, *A Survey of Experimental Philosophy: Considered in Its Present State of Improvement*, London 1776, 389-395; Gabriel Christoph Benjamin Busch, *Versuch eines Handbuchs der Erfindungen*, Siebenter Theil, Eisenach 1796, 40-48. Hierin wurde der Vortrag von Benjamin Martin (1747) eingearbeitet.

¹⁴⁸³ Jacob Leupold, *Theatrum Machinarum*, 9 Bd., Leipzig 1724-1767.

¹⁴⁸⁴ Marcus Popplow, *Mechanik, Maschinen und technische Schenswürdigkeiten zu Beginn des 18. Jahrhunderts: „Das neueröffnete Maschinen Hauß“* von Leonhard Christoph Sturm, in: Robert Seidel (Hg.), *Cardanus, Jahrbuch für Wissenschaftsgeschichte Band 2: Die „exakten“ Wissenschaften zwischen Dilettantismus und Professionalität*, Frankfurt a. M. 2001, 75-100, 84.

Nach einer kurzen, zweiseitigen Einführung in die Physiologie des Tauchens in dem mit *Theatrum Aerostaticum* betitelten Band (1726) gibt Leupold in dem im gleichen Jahr erschienenen Band mit dem Titel *Theatrum pontificiale* seiner Enzyklopädie ausführlicher den aktuellen Stand der Tauchtechnologie wieder, und beurteilt die Praktikabilität verschiedener Apparate.¹⁴⁸⁵

In der Präambel des Hauptteils der Arbeit erörtert Leupold zunächst verschiedene Methoden des Tauchens und gibt dabei einen Überblick über bisher erfundene Tauchgeräte.¹⁴⁸⁶ Zunächst erläutert Leupold den Aufbau von Franz Kesslers „Wasser-Harnisch“, kritisiert viele konstruktive Details und hält seine Verwendung für gefährlich.¹⁴⁸⁷ Die früheste ihm bekannte Beschreibung eines Tauchanzuges ist die des Schnorchelschlauchanzuges von Buonaiuto Lorini, an der er ebenfalls mehrere berechtigte Kritikpunkte findet, und sie deshalb als eine „impracticable Sache“¹⁴⁸⁸ ablehnt. Stattdessen präferiert er die Taucherglocke, und wiederholt die Beschreibungen von George Sinclair und Johann Christoph Sturm.

In Bezug auf die Eigenschaften von komprimierter Luft in einer Taucherglocke irrt sich Leupold, wenn er schreibt: „Seiner Ansicht nach ist diese komprimierte Luft für das Atmen schädlich und „je tiefer die Campana unter das Wasser kommet, je weniger solches darunter auszustehen“¹⁴⁸⁹. Aus diesem Grund würde man Luft in Fässern nach unten schicken, und damit die Kompression reduzieren. Als weiteren Ausweg empfiehlt Leupold, die Taucher für diese Anforderung entsprechend zu trainieren. Die Möglichkeit, einen Druckausgleich beispielsweise im Innenohr herzustellen kennt er nicht, weshalb davon auszugehen ist, dass er seine Kenntnisse zum Tauchen nur aus der Theorie hat.

Leupold beschäftigt sich anschließend mit dem Hören unter Wasser, und empfindet es als merkwürdig, dass Taucher in der Glocke Geräusche von der Oberfläche hören können, aber nicht umgekehrt. Er berichtet von einem Experiment, bei dem ein Taucher „ein Jäger-Horn mit unter die Glocke genommen, und angefangen zu blasen, ist er so betäubet worden, dass er vom Schwindel gerührt, und bald ins Wasser gefallen wäre“¹⁴⁹⁰.

¹⁴⁸⁵ Jacob Leupold, *Theatrum Aerostaticum*, Oder: Schau-Platz Der Maschinen Zu Abwiegung und Beobachtung aller vornehmsten Eigenschafften der Lufft. *Theatrum Machinarum* Band 5, Teil 3, Leipzig 1726, 244-245; Jacob Leupold, *Theatrum Pontificiale*, Oder: Schau-Platz der Brücken und Brücken-Baues. *Theatrum Machinarum* Band 6, Leipzig 1726, 7-11.

¹⁴⁸⁶ Jacob Leupold, *Theatrum Pontificiale*, Oder: Schau-Platz der Brücken und Brücken-Baues. *Theatrum Machinarum* Band 6, Leipzig 1726, 7.

¹⁴⁸⁷ Leupold, *Theatrum pontificiale*, 5.

¹⁴⁸⁸ Leupold, *Theatrum pontificiale*, 9.

¹⁴⁸⁹ Leupold, *Theatrum pontificiale*, 9.

¹⁴⁹⁰ Leupold, *Theatrum pontificiale*, 10.

Leupolds Interesse am Detail lässt sich daran erkennen, dass er sich auch mit Fragen auseinandersetzt, welches Leder man am besten für den Taucheranzug verwendet, und wie die Nähte gestaltet sein müssen, um möglichst luft- und wasserdicht zu sein.¹⁴⁹¹ Dies war eine der zentralen tauchtechnologischen Fragen zu dieser Zeit.

Schließlich wendet sich den neuesten Entwicklungen in England zu, und lobt die Royal Society und Edmond Halley: „Vor allen hat sich die Königl. Societät der Wissenschaft in England angelegen seyn lassen, diese Kunst zu grösserer Vollkommenheit zu bringen, weil sich immerdar noch einige Fehler gefunden, und die Taucher nicht lange ohne besondere Beschwerlichkeit unter Wasser aufhalten können; daher hat Herr Edmud Halley, Secretair der Societät, seine Invention auf der Themse probiret, und sich nebst 4 Personen 9 bis 10 Faden tief unter Wasser gelassen, und ist in die 1½ Stunde lang darunter verblieben“¹⁴⁹².

Nach einer Erläuterung des Konzeptes der pendelnden Luftfässer beschäftigt sich Leupold mit früheren Tauchgeräten, unter anderem dem des italienischen Physikers und Mitglieds der italienischen Accademia del Cimento, Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679). Der Mediziner und Mathematiker hatte in seinem Werk *De motu animalium* (1680) einen eigenen Entwurf für ein autonomes Tauchgerät nach dem Konzept von Leonardo Da Vinci mit getrennten Atemschläuchen und ein Tauchboot publiziert.¹⁴⁹³ Die im Original lateinische Kritik an Borellis Design von Jacob Bernoulli¹⁴⁹⁴ (1655-1705) gibt Leupold erstmals in einer deutschen Übersetzung wieder.¹⁴⁹⁵ Bernoulli hat sich nur mit den physikalischen Unzulänglichkeiten beschäftigt, ohne auf den von Borelli ebenfalls fehlinterpretierten physiologischen Aspekt einzugehen. Trotz der Tatsache, dass Bernoulli Borellis Design für ein autonomes Gerät als unbrauchbar und als „von keiner Wichtigkeit und Werth“¹⁴⁹⁶ beurteilte, wurde es weiterhin in Büchern und Enzyklopädie-Artikel bis in das 19. Jahrhundert hinein dargestellt.

Leupold erwähnt einen Tauchgang, den Halley in der Themse mit vier weiteren Personen und in 9 bis 10 Faden Tiefe durchgeführt habe.¹⁴⁹⁷ Woher Leupold die Information zu dem Ort hat, ist unklar, denn Halley hat selbst nie etwas über Tauchgänge in der Themse berichtet, und auch in Londoner Zeitungen wurde darüber nichts verzeichnet. Halley berichtete zwar 1716 in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* von einem langen Tauchgang mit

¹⁴⁹¹ Leupold, *Theatrum pontificiale*, 14.

¹⁴⁹² Leupold, *Theatrum pontificiale*, 10-11.

¹⁴⁹³ Siehe Jung, Karl Heinrich Klingert, 82-84.

¹⁴⁹⁴ Jacob Bernoulli, *Examen Machinae urinariae a Borello excogitatae*, in: *Acta Eruditorum* 2 (1683) 553-556.

¹⁴⁹⁵ Leupold, *Theatrum pontificiale*, 17-19.

¹⁴⁹⁶ Leupold, *Theatrum pontificiale*, 19.

¹⁴⁹⁷ Leupold, *Theatrum pontificiale*, 11.

insgesamt fünf Personen, allerdings nicht, wo er stattgefunden hat.¹⁴⁹⁸ Eine gängige Annahme ist, das er im Zusammenhang mit Bergungsarbeiten an dem Wrack der *Guiney* an der Kanalküste Englands zwischen 1691 und 1696 stand, denn die Tiefe von „9 bis 10 Faden“, also rund 18 Meter, ist in der Themse kaum zu erreichen.

Allerdings berichtet ein zweiter Zeitgenosse von dem Tauchgang Halleys in der Themse, dem er sogar als Augenzeuge beigewohnt habe. Marten Triewald berichtet 1734 in seinem Buch *Konsten at lefwat under Watn* darüber.¹⁴⁹⁹ Die kurze Beschreibung Triewalds von Halleys Glocke ist inhaltlich weitgehend identisch mit der Darstellung von Leupold, was hier überleitend zum nächsten Kapitel bereits erwähnt werden soll.

Diese zweite Quelle macht die Ortsangabe von Leupold glaubwürdiger, allerdings bleiben die beiden offenen Fragen, ob die Tiefenangabe tatsächlich stimmt, und weshalb Halley 20 Jahre nach seinem letzten Tauchgang an der *Guiney* nahe Portsmouth, und im Alter von fast 60 Jahren, eine Wiederholung in der Themse durchführte.

Leupold gibt den aktuellen Stand der Tauchtechnologie detailliert wieder, und beurteilt die Praktikabilität der Apparate, aber „Verbesserungserfindungen“¹⁵⁰⁰ von ihm, wie er sie an verschiedenen Stellen seines Werkes bei Maschinen anbrachte, gibt es in Bezug auf die Tauchtechnologie nicht. Dies wäre die Erwähnung der Möglichkeit, die Luft in der Glocke durch Schläuche und Pumpen zu erneuern.

Dadurch, dass auch die Darstellungen von Franz Kessler und Giovanni Alfonso Borelli trotz der deutlichen, begründeten Kritik im Werk von Leupold auch weiterhin immer wieder als mögliche Ausführungsvarianten in späteren Druckwerken dargestellt werden, könnte man ableiten, dass Leupolds Enzyklopädie den aktuellen Stand der Tauchtechnologie zwar verbreitet, aber zumindest in Bezug ihre Weiterentwicklung keine nachweisbare Wirkung besaß.

5.6 Zwischenfazit: Die Taucherglockentechnologie verbreitet sich in der Öffentlichkeit

Ende des 17. Jahrhunderts gewinnt die wirtschaftliche Nutzung der Tauchtechnologie in England zunehmend an Interesse. Durch die sehr erfolgreiche Bergung einer großen in der Karibik gesunkenen, spanischen Silberladung durch William Phips, und die schnell umlaufende

¹⁴⁹⁸ Halley, *The Art of Living under Water*, 498.

¹⁴⁹⁹ Triewald, *Konsten at lefwat under watn*, 17. Siehe hierzu Kapitel 6.1.2.

¹⁵⁰⁰ Ulrich Troitzsch, *Zum Stande der Forschung über Jacob Leupold (1674-1727)*, in: *Technikgeschichte* 42 (1975) 263-286, 267.

Kunde davon, entsteht in England zwischen 1687 und 1700 eine Privilegienwelle für Tauchgeräte und Bergungsprojekte. Der Schlüsselbegriff, den viele Menschen in England in diesen Jahren zu elektrifizieren schien, war „wreckfishing“. Die Spekulation auf schnellen finanziellen Erfolg vereinte wissenschaftliche, technologische und kommerzielle Ambitionen.

Die meisten technischen Konstruktionen dieser Zeit basieren jedoch auf dem unzureichenden und limitierenden Konzept von semi-atmosphärischen Tauchanzügen. Diese semi-atmosphärische Tauchgeräte hatten kein Entwicklungspotential, sondern waren eine technologische Sackgasse. Es wurde das äußerste aus dem Konzept, das nicht mehr weiterentwickelt werden konnte, herausgeholt.

Der Verkauf von Anteilen an den Privilegien und Bergungsprojekten an der Londoner Börse führt schon bald zu einem Platzen der Spekulationsblase, bei dem viele Anteilseigner große Summen verloren. Auch das Vertrauen in eine erfolgreiche Verwendung der Tauchtechnologie wurde stark beeinträchtigt, weshalb sie unter anderem auch aus diesem Grund in den nächsten Jahrzehnten in England keine nennenswerte Weiterentwicklung und Verwendung erfuhr.

Um Zuge dieser Privilegienwelle beschäftigte sich auch Edmond Halley, der Mitglied der Royal Society war, ab 1689 in mehreren Vorträgen vor der Gesellschaft mit Tauchtechnologie. In seinen Abhandlung schlägt Halley die Methode vor, Luft in Gefäßen nach unten zu schicken, um die Glocke zu füllen, und bezeichnete sie als seine eigene Erfindung. In der Folgezeit wird sie ihm zugeschrieben. Tatsächlich wurde sie in England jedoch erstmals von Hooke im November 1663 vorgeschlagen, und von ihm im Februar 1664 im Modell demonstriert. Sie wurde erstmals von George Sinclair 1669 publiziert und danach auch von weiteren Autoren vor Halley.

Es gibt Indizien, wonach Halley seine Idee zur Luftversorgung durch Fässer und der Einbau einer Glasscheibe an der Oberseite der Glocke aus George Sinclairs Publikation von 1669 übernommen haben könnte. Da Sinclair von der Royal Society, und insbesondere deren langjährigen Sekretär und zentralen Figur Henry Oldenburg, geächtet wurde, konnte Halley diese Übernahme schlecht eingestehen. Unabhängig davon, ob und von wem Halley die Idee der Luftversorgung durch Fässer übernahm oder nicht, ist festzuhalten, dass er nicht - wie es noch heute regelmäßig beschrieben wird - der erste war, der sie hatte. Die Methode der Luftfässer stellte, vor allem wegen der relativ simplen Lösung des Problems der Luftversorgung, einen Meilenstein in der Entwicklung der Taucherglocke dar, deren Bogen sich von den Schriften des Aristoteles bis zu den Unterwasserhabitaten des heutigen modernen Sättigungstauchens spannt.

Mit der Entwicklung seines Tauchgerätes verfolgte Halley wissenschaftliche Ziele, aber auch bewusst kommerzielle Zwecke, womit er dem Bacon'schen Ideal einer für alle Menschen frei verfügbaren Wissenschaft widersprach. Gemeinsam mit einigen Investoren erhielt Edmond Halley ein Tauchgeräte-Privileg und verkaufte Anteile an der Londoner Börse. Zwischen 1691 und 1696 führte er Bergungsarbeiten an einem Wrack nahe Portsmouth durch, allerdings ist nichts von ihrem Resultat bekannt.

In diesen Jahren entwickelte Halley die Tauchmethode weiter und ergänzte zu der Taucherglocke einen externen mobilen Taucher, der einen offenen Taucherhelm trug und durch einen Schlauch und Blasebalg von der Glocke aus versorgt wurde. Es gibt keinen Hinweis, wonach diese innovative Idee später in größerem Umfang praktisch eingesetzt wurde. In zwei Aufsätzen, die 1716 und 1721 in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* erschienen, erläuterte Halley seine Konstruktionen, allerdings verschwieg er die Verwendung eines Blasebalges, ohne den ein extern arbeitender Taucher aber nicht funktioniert. Halley machte so den neuesten Stand der Taucherglockentechnologie zum Wissen für die Allgemeinheit. Seine beiden Aufsätze sind entsprechend bedeutend.

In der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts begannen Naturforscher zunächst in England und kurz darauf auf dem Kontinent damit, öffentliche Vorträge über neue Erkenntnisse der Naturphilosophie zu halten, und durch Experimente zu veranschaulichen. Unter anderem wurden dabei Modellglocken aus Glas verwendet, die die zentralen Aspekte des Glockentauchens und das Verhalten der Luft in ihr verdeutlichten. Zweck der öffentlichen Vorträge war es, die Vorgänge rational zu erklären, sie zu entmystifizieren, und so das Wissen und dessen Anwendung weiteren Kreisen zu ermöglichen. Durch Enzyklopädien, wie die von Jacob Leupold, wurde das Wissen über die Taucherglockentechnologie weiter popularisiert.

Die öffentlichen Vorträge hatten mehrfachen Nutzen. Die Wissenskommunikation brachte Forschung, Gesellschaft und Finanziere zusammen. Empirische Ergebnisse wurden präsentiert und diskutiert, und konnten Anregungen für eigene Forschungen bieten. Naturwissenschaftlich erklärbare und öffentlich reproduzierbare Effekte wurden entmystifiziert, und idealerweise potentielle Geldgeber zur Umsetzung von Projektideen angeworben. Es entstand eine frühe Form der heutigen, internationalen Erfindermessen. Ebenso wurde ein Technologietransfer angestoßen.

Technischer Wandel erfordert neben der Kommunikation einer Invention auch ihre Markteinführung, sowie ihren Transfer und Diffusion in andere Länder. Diese, sich teilweise überlappenden, Entwicklungen werden im folgenden Kapitel näher untersucht.

6 Kommerzialisierung im Zeitalter der Aufklärung (1730-1815)

6.1 Erfolgreiche Anwendungen in der Praxis

6.1.1 Marten Triewalds Bergungsgesellschaft in Schweden

6.1.1.1 Technologietransfer von England nach Schweden

Der in Stockholm geborene Marten Triewald (1691-1747) war der zweite von vier Söhnen einer aus Sachsen stammenden Familie.¹⁵⁰¹ Sie waren um 1685 aus Halle nach Schweden ausgewandert. Triewalds Vater bekleidete später ein Amt im Parlament. In Stockholm wuchs Triewald mit den über Jahrzehnte andauernde Bergungsarbeiten des Schiffs *Vasa* auf, was möglicherweise auch zu seinem Interesse an Unterwasserbergung beitrug.¹⁵⁰²

1713 zog Triewald nach Königsberg, wo er aber als Kaufmann wenig erfolgreich war. 1716 reiste er nach London, um dort die neuesten Technologien kennenzulernen. Anders als von anderen schwedischen Reisenden sind von Triewald keine Reisetagebücher¹⁵⁰³ überliefert, aber viele seiner Briefe an Mitglieder der Royal Society wurden in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* veröffentlicht, so dass sich daraus ein Bild seines Wirkens rekonstruieren lässt.

In London wurde Triewald zunächst Sekretär des deutschen Diplomaten Ernst Friedrich von Fabricé (1683-1750), der der Gesandte des holsteinischen Ministers Georg Heinrich von Görtz (1668-1719) am englischen Hof war. In London lernte er John Theophilus Desaguliers kennen, der einen sehr großen Einfluss auf seine weitere Entwicklung hatte, und viele andere Mitglieder der Royal Society. Triewald nahm sich Desaguliers als Vorbild und richtete sein weiteres Leben an seinem Modellcharakter aus. In „Doctor Edmund Halley, mein Freund und Wohltäter“¹⁵⁰⁴, dessen Tauchgang in der Themse er 1716 als Augenzeuge beiwohnte, hatte er einen zweiten Mentor.

Wie Desaguliers scheint Triewald Freimaurer gewesen zu sein. Die Abbildung auf der Frontispizseite der zweiten Auflage des Buches *Konsten at lefwä under watn* (1741) zeigt das von Freimaurern oft verwendete Bild des „alles sehenden Auges“ über einer Pyramide, die auf

¹⁵⁰¹ Zur Biografie siehe Gustaf Henrik Mellin / Jacob Ekelund, Marten Triewald, in: Gustaf Henrik Mellin / Jacob Ekelund (Hg.), *Svenskt Pantheon*, Stockholm 1833, 11. Band, 89-95; 12. Band, 84-88.

¹⁵⁰² Siehe hierzu Kapitel 4.2.

¹⁵⁰³ Michael W. Flinn, *The Travel Diaries of Swedish Engineers of the Eighteenth Century as Sources of Technological History*, in: *Transactions of the Newcomen Society* 31 (1957) 95-109, 98.

¹⁵⁰⁴ Eigene Übersetzung vom Originaltext „min Wän och gynnare“ in Triewald, *Konsten at lefwä under watn*, 17.

vier Kugeln steht.¹⁵⁰⁵ Eine Mitgliedschaft Triewalds in der großen Loge von England könnte - neben seiner Anstellung bei Fabrice - eine denkbare Erklärung dafür sein, dass Triewald erstaunlich schnell mit einflussreichen Persönlichkeiten in der wissenschaftlichen Gesellschaft Londons in Kontakt kam.

Wie Triewald später schrieb, macht er bald die Bekanntschaft mit den wichtigsten und einflussreichsten Menschen, insbesondere mit Isaac Newton, der ihn sehr zuvorkommend und freundlich mit Rat und Tat unterstützte.¹⁵⁰⁶ Der Professor für Theoretische Philosophie an der Stockholmer Lunds Universität Lars Laurel (1705-1793), der 1748 einen Nachruf auf Triewald publizierte, beschrieb darin, dass Isaac Newton Triewald lobte, denn er habe mit seinem Einfallsreichtum viele komplizierte Konstruktionen vereinfacht und dadurch weiter verbessert.¹⁵⁰⁷

Triewalds Hauptinteresse war der Bergbau, und dies führte neben Fragen zur Belüftung von Minen zum intensiven Studium der neuen Newcomen-Engine, einer atmosphärischen Dampfmaschine zur Wasserhaltung in Bergwerken, die der Dampfmaschine von Thomas Savery (1650-1715) deutlich überlegen war.¹⁵⁰⁸ Triewald muss sich schnell in die Technologie der neuen Maschine eingearbeitet haben, denn bereits 1717 wurde er beauftragt, bei der Errichtung von vier Newcomen-Engines in den Minen um Newcastle-upon-Tyne mitzuarbeiten. 1722 erhielt er ein Patent für eine Verbesserung der Maschine.¹⁵⁰⁹ Aus dem Patenttext - wie so oft damals - geht nicht hervor, um welche Verbesserung es sich handelte.

Wie Desaguliers hielt auch Triewald Vorträge über Natur- und Experimentalphilosophie, und zwar erstmals in Newcastle-upon-Tyne an der New Academy und in Edinburgh während des Winters 1724/25. Triewalds Vorträge waren mit oft mehr als 200 Teilnehmern stark besucht und beinhalteten Experimente und Demonstrationen von wissenschaftlichen Instrumenten, einschließlich des Einsatzes von „künstlichen Lungen“ (Blasebälge), um zu demonstrieren, wie der Mensch atmet. Im Mittelpunkt seiner Versuche standen 50 verschiedene Experimente mit der Luftpumpe. Bei den Inhalten, die Triewald vorführte, orientierte er sich eng an Desaguliers

¹⁵⁰⁵ Marten Triewald, *Konsten at lefwa under watn, eller En kort beskrifning om de påfunder, machiner och redskap, hwarpå dykeri- och bärgnings-societetens privilegier äro grundade, den Andra Oplagan*, Stockholm 1741, 1.

¹⁵⁰⁶ Marten Triewald, *År 1728 och 1729 håldne föreläsningar, på Riddarhuset i Stockholm, ofwer nya Naturkunnigheten*, Band 1, Stockholm 1735, 6.

¹⁵⁰⁷ Nachruf von Lars Laurel auf Marten Triewald, zitiert nach Gustaf Henrik Mellin / Jacob Ekelund, *Marten Triewald*, 11. Band, 91.

¹⁵⁰⁸ Harry Kitsikopoulos, *From Hero to Newcomen: The Critical Scientific and Technological Developments That Led to the Invention of the Steam Engine*, in: *Proceedings of the American Philosophical Society* 157 (2013) 304-344, 330.

¹⁵⁰⁹ Patent No. 449, (19. Juni 1722), *Engine for Drawing Coals and Waters from Mines, Suppling Water to Towns, &c*, in *Woodcroft, Titles of Patents of Invention*, 81.

Vortragsskript von 1717 *Physico-mechanical Lectures*. Unter anderem waren Experimente mit brennenden Kerzen unter Modell-Taucherglocken Bestandteile seiner Vorführung.¹⁵¹⁰



Abbildung 32: Porträt von Martin Triewald mit Luftpumpenreceiver (um 1740). Quelle: Svante Lindqvistn Technology on Trial. The Introduction of Steam Power Technology into Sweden, 1715-1736, Uppsala 1984, 207 (Public Domain, Original in der Royal Swedish Academy of Sciences Stockholm).

Ein von Georg Engelhard Schröder (1684-1750) um 1740 gemaltes Porträt Triewalds, das sich heute im Archiv der Royal Swedish Academy of Sciences befindet, zeigt ihn, wie er mit einer Handgeste auf einen in einer Glasglocke sitzenden Vogel deutet (Abbildung 32). Der Stieglitz flattert mit den Flügeln, während die Luft abgepumpt wird. Es ist das Oberteil - der Receiver - einer Luftpumpe. Diese Geste ist ein deutlicher Hinweis auf seine Vorführungen und

¹⁵¹⁰ Inga Elmqvist Söderlund, The Cabinet of Physics at Riddarhuset in Stockholm in the Eighteenth Century, in: James Arthur Bennett / Sofia Talas (Hg.), Cabinets of Experimental Philosophy in Eighteenth-Century Europe, Leiden 2013, 99-108, 104; Marten Triewald, År 1728 och 1729 håldne föreläsningar, på Riddarhuset i Stockholm, ofwer nya Naturkunnigheten, Stockholm 1735/1736, Band 1, 46; Band 2, 86.

seine Forschungen zur Pneumatik. Die Experimente mit der Luftpumpe bedeuteten für ihn wohl ein entscheidendes und prägendes Lebensereignis.

Triewald kehrte im Frühjahr 1726 wohlhabend und als Inhaber eines englischen Patentes für Newcomen-Engines nach Schweden zurück. Die Verbindung zu seinem Lehrmeister Desaguliers und andere Bekannte von der Royal Society wie den Präsidenten der Royal Society und damit der direkte Nachfolger Isaac Newtons, Hans Sloane, ließ Triewald nicht abreißen. Er blieb in Briefkontakt und berichtete ihnen immer wieder über neue Experimente und Erkenntnisse.¹⁵¹¹

In Schweden begann Triewald damit, seine Kenntnisse und Erfahrungen in der Praxis einzusetzen. Zunächst wandte er sich wieder dem Bergbau zu. In Dannemora gab es eine große Eisenerzmine, die wegen ständigem Wassereinbruch sehr unproduktiv war. Es waren bereits verschiedene erfolglose Versuche unternommen worden, sie wasserfrei zu halten. Mit einer Newcomen-Engine sollte nun der tiefste Schacht trocken gehalten werden. Es war die erste Dampfmaschine, die in Schweden eingeführt wurde.¹⁵¹²

Triewald begann im Frühjahr 1727 mit der Arbeit. Die Geschichte der Errichtung der Newcomen-Engine in Dannemora ist eine Aneinanderreihung von menschlichem Versagen aufgrund fehlender Fachkenntnis sowie technischen und personellen Schwierigkeiten.¹⁵¹³ Die Maschine wurde am 4. Juli 1728 zum ersten Mal gestartet, musste aber immer wieder abgestellt und repariert werden. 1731 waren Triewald und die Minengesellschaft so sehr zerstritten, dass es zu einem Gerichtsprozess kam. Triewald verlor den Prozess, und musste den Eigentümern der Mine die Kosten für die Maschine ersetzen. Aktuelle Untersuchungen zeigten, dass es kein Versagen von Triewald als ihr Konstrukteur war, sondern die Rahmenbedingungen noch dagegensprachen. Die Industrie in Schweden war für diese Technologie noch nicht ausreichend weit entwickelt, es mangelte unter anderem an robusten Werkstoffen.¹⁵¹⁴

Trotz dieses Fehlschlags kam Triewald auch in Schweden zu hohem Ansehen. Zwischen 1728 und 1730 wiederholte er bis zu 32mal jährlich seine naturphilosophischen Vorträge, und ließ eine zweite große Serie 1739 in Stockholm im Riddarehuset folgen. 1729 wurde er Mitglied

¹⁵¹¹ Siehe Stewart, *The Rise of Public Science*, 364; Marten Triewald, *A Letter from Mr. Triewald, Director of Mechanicks to the King of Sweden, and F.R.SS. of England and Sweden, to Sir Hans Sloane, Bart. Pres. R. S. Relating to an Extraordinary Instance of the Almost Instantaneous Freezing of Water*, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 37 (1731) 79-81, 80.

¹⁵¹² Siehe Are Waerland: Marten Triewald and the First Steam Engine in Sweden, in: *Transactions of the Newcomen Society* 7 (1926) 24-41.

¹⁵¹³ Troitzsch, *Technischer Wandel*, 74.

¹⁵¹⁴ Svante Lindqvist, *The First Newcomen Engine in Sweden (1726-1728) and its Hoisting Gear. A Closer Look at the Triewald Drawings*, in: *Transactions of the Newcomen Society* 55 (1983) 113-130, 130.

der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften in Uppsala, und 1731 der Royal Society in London. 1739 war er Gründungsmitglied der Königlich Schwedischen Akademie der Wissenschaften (Kungl. Vetenskapsakademien).

Triewald publizierte in diesen Jahren Aufsätze über eine Vielzahl von Themen, wie die Bewetterung im Kohlebergbau, die Seidenindustrie, die Seifenherstellung, den Hopfenanbau und die Bienenzucht, und diskutierte die Anwendung von Ventilatoren. Er entwarf fast zeitgleich mit Stephen Hales einen Ventilator für die Belüftung des Unterdecks von Schiffen.¹⁵¹⁵

1729 widmete sich Triewald dem Aufbau einer Gesellschaft für Unterwasserbergungen und damit einer Betätigung, bei der er sehr erfolgreich wurde. Zusammen mit drei Partnern gründete er die Tauchergesellschaft „Norra Dykeri- och Bergnings-Societeten“.¹⁵¹⁶ Selbst getaucht scheint Triewald, anders als sein Mentor Edmond Halley, allerdings nicht gewesen zu sein.

Zu den Gesellschaftern zählte der einflussreiche Fabrikant, Handelskommissar und Reichstagsmitglied Erasmus Clefwe (auch „Clefve“, „Clewe“, „Cleve“, 1677?-1741). In einer Quelle wird Erasmus Clefwe 1718 als ein „dykeri-inspektoren“ (Tauchinspektor) aus Malmö bezeichnet.¹⁵¹⁷ Er scheint demnach schon vor dem Zusammenschluss mit Triewald in diesem Gewerbe tätig gewesen zu sein, möglicherweise bei der Skane-Bergungsgesellschaft. Clefwe wohnte auf der Burg Lindholmen am Svedala See, östlich von Malmö. Ihm gehört auch das nahegelegene, repräsentative Börrengkloster.

Ein weiterer Gesellschafter und als Geschäftsführer zuständig für sämtlichen Schriftverkehr und Übersetzungen war der Russisch-Dolmetscher und Marineleutnant Anders Rautell¹⁵¹⁸ (?-1750). Ein weiterer Gesellschafter war der schwedischen Admiral Theodor Ankarcrona (urspr. Theodor Christophers, 1687-1750). Er war Kommandeur der schwedischen Flotte und eine zentrale Figur in der schwedischen Verteidigungs- und Finanzpolitik. Mit diesen vier Personen, von denen zwei Marineangehörige waren, besaß die neue Bergungsgesellschaft eine Leitung mit großem Knowhow und politischem Einfluss. Daniel Triewald (1699-1742), ein Bruder von Marten Triewald, wurde Kapitän ihres Bergungsschiffes *Anna Greta*.

¹⁵¹⁵ Anonymus: Marten Triewald's Account of a Ventilator, in: Gentleman's Magazine 13 (1743) 448, 503.

¹⁵¹⁶ Marten Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, Stockholm 1734, 12.

¹⁵¹⁷ Gustaf Holdo Stråle, *Alingsås manufakturverk: ett bidrag till den svenska industriens historia under frihetstiden*, Stockholm 1884, cviii; Hjalmar Börjeson, *Skånes Handelsflotta 1658-1914. Bidrag till dess historia*, in: Eiruiik Hornborg / Oscar Bjurling / Hjalmar Börjeson (Hg.), *Studier över skånska sjöfartens historia. Från den tid Skåne blev svenskt intill första världskriget*, Malmö 1950, 147-589, 454-456.

¹⁵¹⁸ Carl Björkbom, *Några anteckningar angående ryskt boktryck i Sverige*, in: *Nordisk tidskrift för bok- och biblioteksväsen* 11 (1934) 121-130, 128.

Der Gründung vorausgegangen war die Gewährung von zwei schwedischen Privilegien an Triewald. Am 19. März 1728 erhielt er ein Privileg für eine Taucherglocke mittels Luftversorgung durch zwei Fässer, die wechselseitig zu ihr abgelassen werden.¹⁵¹⁹ Am 19. Mai 1729 erhielt Triewald zusätzlich ein 20 Jahre geltendes Privileg um gesunkene Schiffe, Waren und Güter an der schwedischen Ostseeküste durch Tauchen zu bergen.¹⁵²⁰

Die Bergungslizenz für Hans Albrecht von Treileben aus dem Jahr 1662 umfasste nur Arbeiten an der *Vasa*. Am 26. April 1692 hatte eine Bergungsgesellschaft für einen Teil des Küstengebietes an der schwedischen Westküste entlang des Kattegats ein Privileg erhalten. Görgen (auch Jörgen Jönsson) Holst und Sievert Diedrichson (auch Diedrichsen) wurden die Bergungsrechte für die vier Provinzen Skane, Halland, Gothenburg und Bohuslän gewährt. Sie nannten ihr Unternehmen nach der größten Provinz, in der sie tätig waren, „Skane Company“. Diese Konzession wurde 1698 von Karl XII. (1682-1718, reg. 1697-1718) bestätigt und 1716 um zehn Jahre verlängert. Nach dessen Tod wurde die Konzession 1719 von seiner Frau und Nachfolgerin auf dem schwedischen Thron, Ulrika Eleonora (1656-1693) sowie 1726 von Friedrich I. (1676-1751, reg. 1701-1751) weitere Male bestätigt.¹⁵²¹

Die Skane Company wurde 1729 nach der Gründung von Triewalds „Norra Dykeri- och Bergnings-Societeten“ umbenannt in „Södra Dykeri- och Bergnings-Compagniet“ wodurch die Unterscheidung der Arbeitsregionen Nord/Süd zum Ausdruck gebracht wurde.

Triewalds Bergungsunternehmen erhielt am 1. Oktober 1730 eine Königliche Charta für die geographischen Gebiete, die bislang nicht von der Skane Company abgedeckt wurden. Damit umfasste ihr Tätigkeitsbereich die schwedische Küste der Provinz Blekinge mit der Residenzstadt Karlskrona bis Loviisa an der Ostgrenze Finnlands im Finnischen Meerbusen, da sich Schwedens Territorium nach dem Frieden von Nystad (1721) bis ins heutige Finnland erstreckte.

Beide Unternehmen blieben bis 1802 im Geschäft, als eine Änderung des Bergungsrechts durch Gustav IV. Adolf (1778-1837, reg. 1792 bis 1809) vorgenommen und eine einzige Tauch-

¹⁵¹⁹ Der Architekt und Erfinder Carl Johan Cronstedt (1709-1779) überlieferte eine Skizze der Glocke. Carl J. Cronstedt, skissbok från 1729 - Machiner som till största dehlen äro uti wärket stelte af Commercie Rådet Polheim och af Ehrensverd och mig afritade år 1729 tillika med andra tilökningar som jag sielf giort tid effter annan, Stockholm, Tekniska museet, Carl Johan Cronstedts arkiv, RAR2A).

¹⁵²⁰ Bengt Hildebrand, Till släkten Triewalds historia, in: Personhistorisk Tidskrift 1938 39 (1939) 151-159, 157.

¹⁵²¹ Triewald, Konsten at lefwa under watn, 43.

und Bergungsfirma gegründet wurde, die das gesamte Königreich abdeckte. Bis dahin wurden ihre Lizenzen regelmäßig erneuert, und unter anderem die Bergesätze neu festgelegt.¹⁵²²

Triewald richtete in den wichtigsten schwedischen Ostseehäfen Stützpunkte der Gesellschaft ein, und deponierte dort die erforderlichen Bergungsinstrumente. Das schwedische General-Seekriegsamt hatte dafür zu sorgen, dass mindestens einmal jährlich die Geräte auf Funktion geprüft wurden, und die Bedienungsmannschaft ausreichend groß und qualifiziert war.¹⁵²³

Diese Greifer, Ketten und Zangen wurden teilweise neu angefertigt, aber auch aus England gekauft. Triewald erwarb 1734 beispielsweise eine Reihe von Bergungsinstrumente, die der englische Taucher James Bushell (?-1738) aus Essex benutzte. Bushell arbeitete unter anderem für die Niederländische Ostindien-Kompanie. Sein Assistent, der Taucher Jahn Daves, wurde von Triewald abgeworben und arbeitete in der Unternehmenszentrale in Stockholm.

Taucherglocken wurden in den Depos nicht standardmäßig bereitgehalten, sondern als Spezialwerkzeug zentral gelagert. Sie waren noch in den 1760er Jahre aufgrund ihrer hohen Kosten selten im Ostseeraum, weshalb sich die einzigen Glocken von Triewalds Tauchgesellschaft in Stockholm befanden.¹⁵²⁴ Von hier wurden sie bei Bedarf mit entsprechend geschultem Personal zum Einsatzort transportiert.

Nach dem Untergang des Schiffes *Vrouw Maria*¹⁵²⁵ einem holländischen Handelsschiff mit einer wertvollen Ladung Kunstobjekte, die Katharina II. (1729-1796, reg. 1762-1796) in Amsterdam ersteigert hatte, und das auf dem Weg von Amsterdam nach Sankt Petersburg in den äußeren Schären bei der Insel Jurmo in Finnland im Oktober 1771 sank, wurde die Gesellschaft beispielsweise gebeten, Taucherglocken aus Stockholm zu schicken, da es sie zu diesem Zeitpunkt in Finnland noch nicht gab.¹⁵²⁶ Die Suche nach dem Wrack hatte wegen des

¹⁵²² Einen Überblick über die Entstehung und Organisation der schwedischen Bergungsgesellschaften im 18. Jahrhundert gibt Dykeri- och bergnings-compagniet, Dykeri- och bergnings-compagniet til dess ursprung, fortgång och närvarande skick, Stockholm 1823; Hjalmar Börjeson, Skånes Handelsflotta 1658-1914. Bidrag till dess historia, in: Eiruk Hornborg / Oscar Bjurling / Hjalmar Börjeson (Hg.), Studier över skånska sjöfartens historia. Från den tid Skåne blev svenskt intill första världskriget, Malmö 1950, 147-589, 471-476; Katja Tikka, Apua merihädässä - vai liiketoimintaa? Ruotsin Sukellus- ja pelastuskomppanian toiminnan ensimmäiset vuosikymmenet 1729 – 1760, Master Thesis, University of Helsinki, Faculty of Arts, Department of Philosophy, History, Culture and Art Studies, Helsingfors Universitet 2014. Die Universität Helsinki hat sich von 2014 bis 2017 in dem Forschungsprojekt „Help or business? Shipwrecks and salvage companies in the 18th century Baltic as early modern entrepreneurship“ mit diesem Themenkreis beschäftigt, siehe Riikka Minerva Alvik / Juha-Matti Granqvist / Mikko Huhtamies/Katja Tikka, Haaksirikot ja pelastusseurat 1700 - luvun Itämerellä, in: Tieteessä tapahtuu 4 (2015) 3-9.

¹⁵²³ Jacob Albrecht Flintberg, Schwedisches Seerecht, Greifswald 1796, 276.

¹⁵²⁴ Tikka, Apua merihädässä, 51.

¹⁵²⁵ Riikka Minerva Alvik, The Wreck of Vrouw Maria - A Sunken Treasure or a Common European, in: Dirk Callebaut / Jan Mařík / Jana Maříková-Kubková (Hg.), Heritage Reinvents Europe, [Proceedings of the Internationale Conference Ename, Belgium, 17-19 March 2011, EAC Occasional Paper No. 7], Ename 2013, 143-150.

¹⁵²⁶ Tikka, Apua merihädässä, 57.

trüben Wassers in dieser Region allerdings keinen Erfolg. Es wurde erst 1999 10 Kilometer südlich von Trunso gefunden.

Triewald und seine Partner veröffentlichten 1731 eine von der Charta abgeleitete Geschäftsordnung ihres Unternehmens.¹⁵²⁷ Sie musste von jedem ihrer Stützpunktleiter unterzeichnet werden, und legte die Unterorganisation und deren Rechte und Pflichten fest. Mit dieser Geschäftsordnung weitete die Norra Dykeri- och Bergnings-Societeten die Kooperation auf ein großes Territorium aus. Weitere Detailregularien folgten in den nächsten Jahren. Es wurden auch Bergesätze festgelegt, die das Unternehmen zu erheben berechtigt war: 10 % für Schiffe, die auf Grund gelaufen oder in Eisnot geraten sind; 25 % für gesunkene Schiffe; 15 % für Waren von geringerem Wert; und 33 % für Waren, die durch Taucherglocken oder andere, aufwändige Einrichtungen geborgen wurden.

Die Geschäftsordnung enthält neben den Aufgaben und Strafen - die Unterschlagung von Bergesgut wurde in seiner Schwere wie Kirchendiebstahl eingestuft - unter anderem auch ein standardisiertes Inventar der an jedem Stützpunkt vorzuhaltenden Werkzeuge. Sie wurden ihnen von der Gesellschaft kostenfrei geliefert, und mussten regelmäßig gewartet und auf Funktionsfähigkeit überprüft werden. Alle Bergungstätigkeiten waren genau zu dokumentieren und an die Zentrale in Stockholm zu melden.

6.1.1.2 Schwedens Bergerecht und seine Entwicklung

So gut Triewald sein Unternehmen auch organisiert hatte, so sehr mangelte es in dieser Zeit aber noch an den rechtlichen Grundlagen. Ein Schiffbruch, gleich aus welcher Ursache, hatte über den materiellen Schaden hinaus weitreichende Folgen. Noch bis in das 19. Jahrhundert hinein war es durchaus üblich, dass Schiffwracks von Strandräubern geplündert und ihre Besatzungen getötet wurden, so dass Seeleute, die zwar das Glück hatten, den Schiffbruch zu überleben, möglicherweise trotzdem ihr Leben verlieren konnten. Die oftmals armen Fischer und Kleinbauer an der Küste sahen Strandgut als ihnen zustehende, zusätzliche Einnahmequelle an. Im besten Fall konnte ein Kapitän den Versuch wagen, um das Leben seiner Besatzung mit ihnen zu verhandeln. In dieser Hinsicht unterschied sich Schweden nicht vom Rest Europas.

So fortschrittlich die Technik und Organisation von Triewalds Bergegesellschaft auch war, in Bezug auf das Bergerecht war Schweden im Vergleich zu anderen Ländern rückständig. In

¹⁵²⁷ Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, 52-62.

Frankreich wurde das Verhalten derjenigen, die sich am Ort des Schiffbruchs befanden, bereits in den von Ludwig XIV. 1681 erlassenen Marinebestimmungen *Code de la Marine Ordonnance* weitgehend festgelegt.¹⁵²⁸ Sie war inspiriert von den Gesetzen der Republik der Vereinigten Niederlande, und die spätere französische Verordnung von Sylvain Lebeau *Code des bris, naufrages et échouements ou résumé des lois et règlements* (1841) basiert sogar weitgehend auf ihr. In England hatte der Admiraltätsanwalt John Exton (ca. 1600-ca. 1669) in seinem Werk *The Maritime Dicaeologie; Or, Sea-Jurisdiction of England* (1664) bereits die Handhabung von Gütern berücksichtigt „which lyeth on the Sea-ground, or is taken from the bottom of the Sea“¹⁵²⁹.

Das schwedische Seerecht von 1667 erklärte den gesamten Schiffbruch zum Eigentum der Krone. Wenn die ursprünglichen Eigentümer des Schiffbruchs bekannt waren und es sich entweder um Untertanen der schwedischen Krone oder um befreundete ausländische Staaten handelte, hatten sie das Recht, ihr Eigentum zurückzuerhalten, allerdings erst nach Abzug der Bergungsgebühren, die an die ursprünglichen Finder der Güter sowie an das Bergungsunternehmen gezahlt wurden.¹⁵³⁰

Bei Beginn der Bergetätigkeit von Triewald galt die Verordnung über das Strand- und Bergerecht von Karl XII. aus dem Jahr 1697, die gegen „die Gewalt und Räuberey, welche bey den Schiffbrüchen und Strandungen der Fahrzeuge verübt wird“ Recht sprechen sollte.¹⁵³¹ Wie Karl XII. in seinem Placet ausführt, hat er „mit größtem Missvergnügen“ vernehmen müssen, dass Strandräuber „aus unchristlicher und sogar unter Heiden unerhörter Grausamkeit den Verunglückten fast noch mehr Unglück zufügen, als die Gefahr selbst verursacht, der sie entronnen, durch Verbrennung der Fahrzeuge, und Beraubung der Schiffbrüchigen am Leben und ihrem Gütern, die doch der Seenoth entkamen“¹⁵³².

Karl XII. führt eine ganze Liste von Missetaten der Strandräuber auf: „bey Tag oder Nacht falsche Feuer angelegt, oder andere Zeichen oder Weiser ausgesteckt, um die Seefahrenden zu verleiten, und zum Schiffbruch Anlass gegeben ... die gelegten Zeichen und Weiser aus dem See-Grunde und vom Strande wegnehmen odr mit Steinkasten u. dgl. füllen, und die Ströhme

¹⁵²⁸ Louis Phélypeaux (Hg), *Ordonnance de la marine, du mois d'aoust 1681. Commentée & conférée avec les anciennes ordonnances, & le droit écrit, avec les nouveaux réglemens concernans la marine*, Paris 1681, 324-349.

¹⁵²⁹ John Exton, *The Maritime Dicaeologie; Or, Sea-Jurisdiction of England*, London 1664, 34.

¹⁵³⁰ Anonymus, *Der Reiche Schweden Seeh-Recht, welches von dem Großmächt. Fürsten Carlln XI. der Schweden König [...] verordnet worden im Jahr 1667, Wismar 1670, Paragraph 5, Kapitel 1.*

¹⁵³¹ Carl Russwurm, *Über das Strandrecht in den Ostseeprovinzen*, in: *Mitteilungen aus dem Gebiete der Geschichte Liv-, Est- und Kurlands* 10 (1865) 3-23, 19-22.

¹⁵³² Russwurm, *Strandrecht*, 19.

an den Oertern, wo sie recht schiffbar sind, untief machen“¹⁵³³. Die Strafen, die er ausspricht, sind sehr hart. Sie reichen vom siebenmaligen Gassenlaufen über „geköpft und aufs Rad gelegt“ bis zu „lebendig gerädert und dann aufs Rad gelegt“¹⁵³⁴.

Schiffe wurden oftmals vorsätzlich zum Stranden gebracht, indem das helfende Leuchtfeuer verdeckt und falsche Leuchtfeuer angebracht wurden. Auch aus solchem Grund sträubten sich Küstenbewohner lange gegen die Installation von festen, hohen Leuchttürmen, denn sie schränkten ihre Täuschungsoptionen stark ein. 1705 führte auch der dänische König Friedrich IV. (1671-1730, reg. 1699-1730) die Todesstrafe auf falsche Feuerzeichen ein. Ebenso wurde früher an der niederländischen Nordseeküste in stürmischen Nächten oft falsche Leuchtfeuer gelegt um Schiffe zum Stranden zu bringen. Als staatliche Aufsichtspersonen eingesetzte Strandvögte sollten dies verhindern, machten aber nicht selten mit den Küstenbewohnern gemeinsame Sache.¹⁵³⁵

Auch in England war Strandräuberei lange eine wichtige Einkommensquelle für die unterentwickelte, wirtschaftsschwachen Küstenregionen.¹⁵³⁶ Strandrecht war Faustrecht, gestrandete Schiffe durften umgehend geplündert werden. Überlebende konnten nur wenig Hilfe von der örtlichen Bevölkerung erwarten. Obwohl das Wrackrecht in England bereits im Mittelalter eingeführt worden war, gibt es Nachweise, dass es weiterhin von allen Schichten der Gesellschaft missachtet wurde, und obwohl sie keinen Rechtsanspruch hatten, eigneten sich die Anwesenden bei einem Schiffbruch weiterhin das an, was sie als „Geschenke des Meeres“ betrachteten.

Als das Seerecht in Schweden 1667 erstmals gegeben wurde, existierte noch keine Bergungsgesellschaft, weshalb deren Rechte damals nicht berücksichtigt wurden.¹⁵³⁷ Erst nach und nach wurde das Bergungstaucherwesen durch königliche Verordnungen gestärkt, wie beispielsweise mit der Verordnung vom 8. September 1741: „Bey Strafe von 1.000 Thaler ist es auch verboten, unnöthiger Weise und ohne Grund Abänderungen in den Königl. Verordnungen wegen der Täucherey von 1734 und 1739 vorzuschlagen und nachzusuchen, oder die Privilegien und Interessenten der Täucherey zu kränken und anzugreifen“¹⁵³⁸.

¹⁵³³ Russwurm, Strandrecht, 20.

¹⁵³⁴ Russwurm, Strandrecht, 21.

¹⁵³⁵ Kersti Lust, Wrecking peasants and salvaging Landlords – Or Vice Versa? Wrecking in the Russian Baltic Provinces of Estland and Livland 1780–1870, in: *International Review of Social History* 62 (2017) 67-93, 68.

¹⁵³⁶ Cathryn Jean Pearce, „So barbarous a practice“: Cornish wrecking, ca. 1700-1860, and its survival as popular myth, *Greenwich* 2007, 17; siehe auch Daniel Defoe, *A Tour through the Whole Island of Great Britain*, London 1724, 243.

¹⁵³⁷ Flintberg, *Schwedisches Seerecht*, 267.

¹⁵³⁸ Flintberg, *Schwedisches Seerecht*, 273.

Im Jahr 1766 wurden Strafen für eine nicht erfolgte Benachrichtigungen eines Bergungsunternehmens explizit in das Schwedische Seerecht aufgenommen: „Wird einer überführt, dass er von einem vorgefallenen Seeschaden Nachricht gehabt, ohne solches bey dem nächsten Kronbedienten, Zollkammer oder andere Behörde, im Fall keine Bedienten der Täucherey daselbst zur Stelle sind, gemeldet zu haben, so ist er in eine Strafe von 20 Thaler verfallen: wogegen derjenige so solches anzeigt, eine billige Vergeltung zu empfangen hat“¹⁵³⁹.

Es lässt sich konstatieren, dass das Bergungswesen in Schweden zwischen 1692 und 1802 nicht nur organisatorisch und technisch durch die beiden Tauchergesellschaften selbst beständig weiterentwickelt, sondern auch von Seiten des schwedischen Staates zunehmend mit Rechten und Privilegien ausgestattet wurde.¹⁵⁴⁰ Ein neuer Wirtschaftszweig bildete sich auf breiter Basis aus.

6.1.1.3 Tauchvorführungen und Einsätze

Marten Triewald hatte in England die Werbewirkung von öffentlichen Tauchvorführungen kennen gelernt, und handelte in Schweden entsprechend. Nachdem er 1728 ein Privileg auf eine Taucherglocke mit Frischlufterneuerung erhalten hatte, führte er sie im November 1729 bei einer ersten öffentlichen Demonstration im See Mälaren westlich von Stockholm Mitgliedern des Parlaments vor.¹⁵⁴¹ Der See ist über 60 m tief und durch Kanäle mit der Ostsee verbunden. Im November 1730 demonstrierte er sie hier erneut vor mehreren hundert Zuschauern. Der erfahrene holländische Taucher Johan Been, inzwischen über 70 Jahre alt, tauchte zusammen mit zwei Tauchschülern fast 30 Meter tief, was eine besondere Leistung darstellte.¹⁵⁴²

Im Juni 1731 fand eine dritte Demonstration vor ausgewählten Vertretern des Schwedischen Adels statt. Hier machte Triewalds ehemaliger wissenschaftlicher Assistent Daniel Menlös (1699-1743) in der Taucherglocke einen Abstieg.¹⁵⁴³ Menlös assistierte Triewald bei seinen öffentlichen Vorlesungen 1728/29 im Stockholmer Riddarhuset. Er war inzwischen Professor für Mathematik an der Universität Lund und verwendete in seinen Vorlesungen die Instrumente und Modelle von Triewald weiter. 1736 wurde er Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina in Halle.

¹⁵³⁹ Flintberg, Schwedisches Seerecht, 280.

¹⁵⁴⁰ Flintberg, Schwedisches Seerecht, 267-276.

¹⁵⁴¹ Hildebrand, Till släkten Triewalds historia, 157

¹⁵⁴² Cowan, Early Divers, 8-9.

¹⁵⁴³ Triewald, Konsten at lefwa under watn, 65.

Am 23. August sowie am 11. September 1734 fand bei der Inseln Södermalm im Zentrum von Stockholm weitere Demonstrationen Triewalds statt, wiederum vor ausgewählten Vertretern des Reiches. Triewald druckte die Beglaubigungen über die erfolgreichen Vorführungen in seinem Buch von 1734 ab.¹⁵⁴⁴ Die Demonstration bei Södermalm hatte zum Zweck, die Überlegenheit von Triewalds Taucherglocke gegenüber einem von dem schwedischen Kapitän Cederlöf entwickelten Tauchanzug zu beweisen. Das staatliche Komitee hatte zuvor eine Vorführung dieses Gerätes gesehen, bei dem es sich wahrscheinlich um einen semi-atmosphärischen Anzug handelte.¹⁵⁴⁵

Triewald führte bei dieser Begutachtung zunächst eine einfache Glocke vor, um ihre zwei gravierenden Nachteile zu demonstrieren: Dass das Wasser in ihr aufstieg, während sie unterging, und dass sie eine begrenzte Menge Atemluft enthielt. Im Gegensatz dazu tauchte die große Glocke von Triewald eine Stunde lang auf 30 Meter Tiefe ab, und es zeigte sich, dass das Wasser in ihrem Inneren so wenig aufgestiegen war, dass die Füße des Tauchers kaum nass waren. Dies war ein Ergebnis der ständigen Luftzufuhr mit Fässern. Die beiden Insassen, ein Vertreter der Admiralität und ein Taucher von Triewald, brachten erfolgreich einen zuvor versenkten Korb mit Steinen an die Oberfläche. Auch Triewalds neue, kleinere Glocke wurde vorgeführt. Das Komitee sprach sich daraufhin für Triewalds System aus und erklärte, Cederlöfs Apparat sei nicht in der Lage, die Ansprüche zu erfüllen.¹⁵⁴⁶

Cederlöf führte am 8. Juli 1742 auch dem König von Dänemark und Norwegen, Christian VI. (1699-1746, reg. 1730-1746), seine Erfindung vor. Die Vorführung unter der Christianshafner Brücke in Kopenhagen wollte aber „nicht recht angehen [...] weil die machine, wo Sie befestigt wahr, entzwey ging [...] [und der Taucher] wäre aber bald darüber ersoffen“¹⁵⁴⁷.

Es ist schwierig zu beurteilen, wie viel Rendite Triewalds Bergungsunternehmen für ihre beträchtlichen Investitionen erhielten. Obwohl Schiffe an der Ostseeküste Schwedens häufig Schiffbruch erlitten, gibt Triewald keine detaillierten Hinweise auf das genaue Ausmaß der Aktivitäten seines Unternehmens, oder gar den Gewinn. Möglicherweise wurden seine Erwartungen - zumindest in den ersten Jahren - nicht erfüllt, denn 1734 erklärte er, „man kann jedoch nicht umhin, Traurigkeit zu empfinden, da ich für alle meine Mühen und Ausgaben bis heute keinen Nutzen erhalten habe. In der Tat musste ich auf meine Privilegien zurückgreifen,

¹⁵⁴⁴ Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, 72-77.

¹⁵⁴⁵ Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, 28.

¹⁵⁴⁶ Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, 75.

¹⁵⁴⁷ J. Estrup, *Kong Christian VI's egenændige Breve til Greve Frederik Danneskjold-Samsøe (1734-45)*, in: *Danske magazin: indeholdende bidrag til den danske histories oplysning* 5-6 (1904) 331-404, 375-376.

und für alle meine Bemühungen und trotz meiner ernsthaftesten Absichten bin ich nur auf Hass, Neid und weit verbreitete Verfolgung gestoßen“¹⁵⁴⁸. Er weist jedoch darauf hin, dass die Regierung aus der Arbeit des Bergungsunternehmens erheblichen finanziellen Nutzen - „mänga tusende Rixdaler“¹⁵⁴⁹ - gezogen habe. Möglicherweise waren die meisten Bergungsaufträge Schiffswracks der schwedischen Marine, die keinen Profit für ihn abwarfen, sondern nur Kosten verursachten.

Es lässt sich aber doch zumindest einen, sehr lukrativen Bergungseinsatz Triewalds belegen: Die *Götheborg* kam im September 1745 aus Canton und transportierte Ware aus China nach Schweden. Sie war mit über 40 m Länge einer der größten Ostindiensegler Schwedens. Ihre Ladung bestand aus 370 Tonnen Tee, über 100 Tonnen einer Kupfer-Zink-Nickellegierung (Tutanego), 3,5 Tonnen Perlmutter, 11 Tonnen der Gewürz- und Heilpflanze Galgant, 2 Tonnen Pfeffer, über 1.000 Seidenballen und mehr als 600.000 in Kisten verpacktes China-Porzellan.¹⁵⁵⁰ Vor Göteborg stieg ein Lotse an Bord, der das Schiff in den Hafen der Insel Vinga navigieren sollte. Kurz vor dem Ziel lief das Schiff auf einen Unterwasserfelsen auf und sank.

Das Unternehmen von Triewald wurde mit der Bergung der Ladung beauftragt, und in den nächsten zwei Jahren gelang es ihm, rund ein Drittel der Ladung, die wertvollen Kanonen sowie das Takelwerk zu bergen.¹⁵⁵¹ Das Wrack lag zwar vor Göteborg im Zuständigkeitsbereich der Södra Dykeri- och Bergnings-Compagniet, der Bergungsauftrag war aber möglicherweise an Triewald wegen seiner größeren Fachkompetenz und besseren technischen Ausstattung vergeben worden.

Der Tee konnte getrocknet und mit gutem Gewinn verkauft werden. Der Überlieferung nach kamen mit diesem Tee aber auch die bis dahin unbekanntenen Kakerlaken nach Göteborg. Sie hatten keinen Schaden genommen, sondern erholten und verteilten sich in der Stadt, wo sie zu einer wahren Plage wurden.¹⁵⁵² Im Hafen von Göteborg liegt heute ein Nachbau des Ostindienseglers.

¹⁵⁴⁸ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Men mäfte icke utan grämele föfara, at jag för all min möda och omkostnad intet til dato sedt mig någon bätnad, utan fast mera mäft befructa inbrätt i mina wälfägna Privilegier, och för min använda flit och upriktiga Intention, at efter mit ringa wund tiena mit kära Fädernesland, intet annat härtills mig förwerft än hat, afwund ochen werlden bekant förföljelse“ in Triewald, Konsten at lefwa under watn, 18.

¹⁵⁴⁹ Marten Triewald, Plägning til Konsten at lefwa under watn, eller En kort beskrifning om de påfunder, machiner och redskaper som norra dykeri- och bergnings-societeten sedan det anstälte profwet under 1731 års riks-dag, låtit förfärdiga, och nu med scala af deras storlek i koppar sticka låtit, Stockholm 1741, Vorrede.

¹⁵⁵⁰ Wolfgang Schwerdt, Seefahrtaspekte von der Frühzeit bis zum 19. Jahrhundert, Hessisch Lichtenau 2012, 102.

¹⁵⁵¹ Andrew Peters, Ship Decoration 1630-1780, Barnsley 2013, 211.

¹⁵⁵² C. R. A. Fredberg, Det gamla Göteborg: lokalhistoriska skildringar, personalia och kulturdrag. 1. Teil, Göteborg 1919, 183.

Für die Jahre nach 1745 lassen sich genauere Rückschlüsse auf die Bergungstätigkeiten ziehen, denn die Handlungen des Unternehmens sind ab diesem Jahr lückenlos in Taucherberichten dokumentiert.¹⁵⁵³ Ab 1745 begann die Tauchgesellschaft, systematisch Berichte über die ihr bekannt gewordenen Schiffswracks zu verfassen. Die Tauchbeauftragten der Städte übermittelten die Informationen an die Stockholmer Zentrale, die vierteljährliche Berichte¹⁵⁵⁴ an die Admiralität in Karlskrona erstellte. Die Tauchberichte wurden offenbar nicht, wie so vieles andere zu der Zeit, vom schwedischen Staat für Statistiken ausgewertet.¹⁵⁵⁵

Zwischen 1746 und 1802 wurde die Bergung von 1.208 Schiffswracks von der Norra Dykeri- och Bergnings-Societeten registriert, was etwa 18 pro Jahr im Durchschnitt bedeutet, und dies verteilt über ihr gesamtes Bergungsgebiet von 2.400 Kilometer Küstenlinie.¹⁵⁵⁶ Im Spitzenjahr 1769 waren es 53 Bergungen. In den meisten Fällen handelte es sich um Strandungen, bei denen ohne spezielle Tauchtechnik gearbeitet werden konnte. Taucherglocken wurden in der Regel nur für die Bergung von Kanonen von Kriegsschiffen verwendet.¹⁵⁵⁷

Im 18. Jahrhundert stieg der Verkehr von Handelsschiffen in der Ostsee stark an. Mit der Gründung der neuen russischen Hauptstadt St. Petersburg 1703 verlagerte sich der wirtschaftliche Schwerpunkt in diese Region, so dass Schiffe fast die gesamte Ostsee durchqueren mussten. Der Seehandel zwischen St. Petersburg und Westeuropa, der zunächst von den Niederländern und später von den Engländern dominiert wurde, nahm um 1700 rasch zu. Da mit dem Seeverkehr auch die Unfälle stiegen, waren die Möglichkeiten, an den Ostseeküsten des schwedischen und des russischen Reiches von der Bergung zu profitieren, im 18. Jahrhundert viel größer als in den vorangegangenen Jahrhunderten. Riga war im 18. Jahrhundert nach St. Petersburg der zweitgrößte Ostseehafen des Russischen Reiches.¹⁵⁵⁸

Im späten 18. Jahrhundert gab es drei Haupttrouten des internationalen Seeverkehrs in der Ostsee. Eine zunächst für die Ausfuhr von Getreide aus den russischen Häfen von Estland, Livland und Kurland. Ziel der meisten Getreideschiffe war Amsterdam. Eine zweite Route war

¹⁵⁵³ Mikko Huhtamies, "Vedenalaiset konstit" Captain mechanicus Märten Triewald ja valtakunnallisen pelastusmonopolin synty Ruotsissa, in: Mikko Huhtamies / Juha-Matti Granqvist (Hg.), *Onnettomuus ja onni: kauppalaivojen haaksirikot ja pelastustoiminta Itämerellä 1600-1800-luvulla*, Helsinki 2018, 98-129, 114.

¹⁵⁵⁴ *Dykerihandlingar 1745-1798*, 13 Vol., Flottans arkiv 0502/02/EVI, Riksarkivet, Stockholm. Christian Ahlström stützte sich bei seinen Forschungen bereits auf einige dieser Tauchberichte, siehe Christian Ahlström, *Viestejä syvyyksien sylistä*. Hämeenlinna 2000; Ahlström, *Looking for Leads*, 81-82.

¹⁵⁵⁵ Huhtamies, *Vedenalaiset konstit*, 114.

¹⁵⁵⁶ Mikko Huhtamies, *A second-hand shipwreck market: Salvage auctions in mid-eighteenth-century Helsinki*, in: *International Journal of Maritime History* 33 (2021) 631-650, 637.

¹⁵⁵⁷ Huhtamies, *A second-hand shipwreck market*, 634; Juha-Matti Granqvist, *Wreckage recycled, Salvage auctions and their economic impact in 18th century Sweden*, in: *Scandinavian Economic History Review* 68 (2020) 1-12, 4.

¹⁵⁵⁸ David Kirby, *Northern Europe in the early modern period. The Baltic world 1492-1772*. London 1990, 365.

die Linie zwischen Sankt Petersburg und Westeuropa. Die wichtigsten Exportprodukte der russischen Hauptstadt und ihres Umlands waren Holz, Hanf, Segeltuch und anderes Schiffbaumaterial, das in den Werften des Westens begehrt war. Die dritte Route war der Export schwedischer und finnischer Produkte - Eisen, Kupfer, Teer und Holz - aus den Häfen des schwedischen Reiches. Die Hauptstadt Stockholm dominierte den Exporthandel mit allen drei Produkten.¹⁵⁵⁹ Daneben gab es weitere regionale Schiffrouten.

Wenn im 18. Jahrhundert ein Handelsschiff an der schwedischen Ostseeküste Schiffbruch erlitt, wurde es, soweit wie möglich, mitsamt seiner Ladung geborgen. Insbesondere die wertvolle Takelage war neben den Segeln, Ankern und der Ladung ein wichtiges Bergegut. In vielen größeren Küstenstädten wie Helsinki wurden jedes Jahr mehrere öffentliche Auktionen abgehalten, bei denen diese Gegenstände versteigert wurden.¹⁵⁶⁰ Zu den schwedischen Gewässer gehörten bis 1809 auch die Gewässer vor der finnischen Küste.

Der örtliche Tauchbeauftragte meldete der Stockholmer Zentrale einen Seeunfall, das sich mit dem Eigentümer oder Versicherer des Schiffes und der Ladung in Verbindung setzte und ihn so schnell wie möglich informierte. Idealerweise sollte der Eigentümer konsultiert werden, bevor eine Rettungsaktion durchgeführt wird. Der Eigner wurde gefragt, ob er die Ladung oder andere geborgene Güter - in der Praxis die Takelage - für den Eigengebrauch haben wolle oder ob er einer Versteigerung der Güter zustimmen würde. Im ersten Fall transportierte und verkaufte der Eigentümer seine Waren auf eigene Kosten.

Nach einer Bergung wurden das Schiff oder die geborgenen Teile davon in der nächstgelegenen Hauptstadt öffentlich versteigert. Vieles davon wurde bei Neubauten von Schiffen wiederverwertet und begründete so eine frühe Recyclingkultur. Die überlieferten Auktionsberichte geben heute einen Einblick in die technische Ausrüstung der Schiffe in der frühneuzeitlichen Ostsee. Im Allgemeinen nahmen an den Auktionen regelmäßig Reeder aus den umliegenden Städten teil, die bereits Schiffe besaßen oder dies vorhatten.¹⁵⁶¹

Die Auktionen hatten große wirtschaftliche Auswirkungen und waren ein besonders wichtiger Faktor für den Aufstieg der Schifffahrt und des Schiffbaus im späten 18. Jahrhundert sowohl in Helsinki als auch in Visby.¹⁵⁶² Neben diesem ökonomischen Effekt hatte das Recyceln von ganzen oder teilweisen Wracks noch einen weiteren, technologischen Effekt: Im 18. Jahrhundert stellte eine britische oder niederländische Handelsfregatte die Spitzentechnik

¹⁵⁵⁹ Kirby, Northern Europe, 365.

¹⁵⁶⁰ Granqvist, Wreckage recycled, 8.

¹⁵⁶¹ Granqvist, Wreckage recycled, 10.

¹⁵⁶² Granqvist, Wreckage recycled, 1.

des Schiffbaus dar, und die Chance, über eine Auktion eine solche zu erwerben - selbst in beschädigten Zustand - war für schwedische Reeder verlockend.¹⁵⁶³ So wurde durch die Bergungsindustrie ein beträchtlicher Mehrwert für die schwedische Wirtschaft und die Entwicklung der Knowhows zum Schiffsbau geschaffen.

Der Verwaltungsbezirk von Helsinki lässt sich als Beispiel für die praktische Tätigkeit der Tauchgesellschaft heranziehen, da von diesem Bezirk außergewöhnlich viel Quellenmaterial überliefert ist und bereits Forschungen publiziert wurden.¹⁵⁶⁴ Der Bezirk war für die 200 Kilometer lange, felsige Küstenlinie von Turku bis Loviisa zuständig. In diesem Gebiet zwischen der Hanko-Halbinsel und Loviisa im Süden Finnlands gab es laut Tauchberichten zwischen 1745 und 1802 85 größere Schiffswracks. In Helsinki wurden jährlich mehrere Auktionen zu Bergegut abgehalten.

Mit seinen praktischen Bergungseinrichtungen - zwei verschieden große Glockentypen und ein Sortiment an Bergungswerkzeugen - sowie den organisatorischen Vorgaben durch klare Regelungen für alle Einsatzstellen an der Ostseeküste, erreichte Triewald einen Grad an Professionalisierung und Industrialisierung der Tauch- und Bergungstechnik, wie noch keiner vor ihm. Zwar gab es bereits in der Karibik Ende des 16. Jahrhunderts spanische Einzelunternehmen aber sie waren nicht so gut organisiert und vor allem ausgerüstet.¹⁵⁶⁵

6.1.1.4 Transfer nach Russland und Bergung in Riga

Marten Triewalds gut organisiertes System zur Unterwasserbergung von Gütern scheint - zumindest bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts - in keinem anderen Land Europas in dieser Ausprägung nachgeahmt worden zu sein. In der englischsprachigen Verordnung *Rules for the Diving and saving company*, die von Gustav IV. Adolf am 22. Dezember 1802 herausgegeben wurde, heißt es dazu, dass in anderen Ländern „Establishments for help & assistance in cases of strandings are either totally wanting or insufficient“¹⁵⁶⁶.

Das schwedische Konzept wurde jedoch an dem, sich an der schwedischen Ostseeküste anschließenden und zu Russland und dem Baltikum gehörenden Küstenstreifen aufgegriffen

¹⁵⁶³ Granqvist, Wreckage recycled, 13.

¹⁵⁶⁴ Siehe Mikko Huhtamies / Juha-Matti Granqvist (Hg.), *Onnettomuus ja onni: kauppalaivojen haaksirikot ja pelastustoiminta Itämerellä 1600-1800-luvuilla*. Helsinki 2018.

¹⁵⁶⁵ Siehe hierzu Kapitel 3.1.

¹⁵⁶⁶ Carl Lagerbring (Hg.), *Rules for the Diving and Saving company*, Stockholm 1802, 1.

und nachgeahmt. 1750 wurde dem deutschen Einwohner von Riga, Klipping, nachdem er sein Können bei der erfolgreichen Bergung eines vor Kronstadt gesunkenen Kaufmannsschiffes unter Beweis gestellt hatte, und die Admiralität ihm ein positives Gutachten ausstellte, ein Privileg zur Suche und Bergung versunkener Schiffe an der gesamten Küsten der russischen Ostseeprovinzen zwischen Sankt Petersburg und Riga sowie den Inseln im Rigaischer Meerbusen erteilt.¹⁵⁶⁷ Der Schwerpunkt der baltischen Schifffahrt hatte sich immer stärker auf die Linie St. Petersburg - Holland verlagert. Wichtige Handelswaren waren vorwiegend Holz und Salz.

Klipping wurde erlaubt, eine Taucherbergungsgesellschaft zu gründen, was 1752 erfolgte. Nach seinem Tod wurde 1766 das Privileg auf seine Witwe übertragen und 1794 erneut bestätigt. Es war allerdings nur auf den Finnischen Meerbusen beschränkt.¹⁵⁶⁸ Die Witwe war bis 1825 privilegiert.¹⁵⁶⁹ Dass die Tauchtechnik auch bei der St. Petersburger Tauchgesellschaft eine zentrale Rolle spielt, lässt sich daraus ableiten, dass auf ihrem Siegel eine Taucherglocke abgebildet ist.¹⁵⁷⁰

1781 wurde für den gesamten Küstenabschnitt eine neue Verordnung zum Strand- und Bergerecht erlassen, und damit die an manchen Küstenteilen geltende Sackenhausische Strandordnung abgelöst.¹⁵⁷¹ Zunächst galten einfache Bergesätze: sah man das Wrack noch vom Ufer aus, sollte der Berger 10 % Lohn erhalten, für weiter vom Ufer entfernt liegende Wracks 25 %. Vor 1748 versunkenes Gut durfte der Berger ganz behalten, für jüngeres Bergungsgut sollte er jeweils Einzelverträge mit den Eigentümern schließen.¹⁵⁷²

Klippings Tauchercompagnie wurde ähnlich organisiert, wie die von Triewald: Die Land- und Inselküsten wurden mit königlichen Verwaltungsbeamten als Aufsehern - „Starosten“¹⁵⁷³ genannt - besetzt, denen Strandreiter unterstanden. Diese überwachten insbesondere nach Stürmen ihren Küstenabschnitt. Sahen sie ein gestrandetes Schiff, waren sie für die Alarmierung des Taucher-Kommissars und der Erstversorgung der Schiffbrüchigen zuständig.

¹⁵⁶⁷ Johann Christoph Petri, *Neuestes Gemälde von Lief- und Estland, unter Katharina II. und Alexander I. in historischer, statistischer, politischer und merkantilischer Ansicht*, Band 2, Leipzig 1809, 222.

¹⁵⁶⁸ Petri, *Neuestes Gemälde von Lief- und Estland*, Band 1, 133-137.

¹⁵⁶⁹ Anonymus, *Hans kejslerliga maj:ts nådiga kungörelse, angående upphörande af all dykeri och bergnings rätt wid kusterna inom Wiborgs län för det i St. Petersburg år 1750 inrättade privilegerade Dykeri Compagnie: gifwen i Helsingfors den 10 martii 1825*. Helsinki 1825.

¹⁵⁷⁰ siehe Foto in Yrjö Kaukiainen, *Rantaroisvojen saaristo. Itäinen Suomenlahti 1700-luvulla*, Helsinki 2006, 79.

¹⁵⁷¹ Petri, *Neuestes Gemälde von Lief- und Estland*, Band 2, 221-224; Eduard F. Sacken / Joseph U. Sacken, *Die neue sackenhausische Strand-Ordnung vom 5. September 1739*, in: August Wilhelm Hupel (Hg.), *Diplomatische Bemerkungen aus den liefländischen Urkunden gezogen*. Nordische Miscellen Teil 27-28, Riga 1791, 514-533.

¹⁵⁷² Russwurm, *Strandrecht*, 22.

¹⁵⁷³ Wilhelm Christian Friebe, *Über Rußlands Handel, landwirthschaftliche Kultur, Industrie und Produkte*. Band 2: *Die mittleren und nördlichen Provinzen des europäischen Rußlands*, Gotha 1797, 145.

Die Strandreiter konnten sich durch eine Vollmacht dem Kapitän gegenüber ausweisen, die in russischer, deutscher und englischer Sprache verfasst wurde. Taucher-Kommissare waren besonders an den bekannten Gefahrenorten ansässig, und hatten alle zur Bergung erforderlichen Geräte in ihrem Depot, und auch „Menschen bei sich, die unter Wasser gehen“¹⁵⁷⁴. Im Durchschnitt hatten Taucher-Kommissare vier Einsätze pro Jahr.¹⁵⁷⁵

Bei der Einrichtung der Tauchercompagnie hatte Klipping mit den gleichen Problemen zu kämpfen, wie Triewald: „Die größte Schwierigkeit [...] lag in der Denkungsart der Strandbewohner und Insulaner, weil diese von jeher gewohnt waren, alles, was die See gibt, sich so wie die Fische unbedingt anzueignen. [...] Mit Recht kann sich daher die Tauchkompagnie auch das Verdienst zuschreiben, durch ihre Maßregeln und Behandlung, einen großen Theil dieser an sich äußert rohen Menschenart zu einer gesitteteren Denkungsart gebildet oder wenigstens vorbereitet zu haben“¹⁵⁷⁶.

Bergungsunternehmen scheint es, im Gegensatz zu England und Schweden, in der Frühen Neuzeit im Bereich der deutschen Ostseeküste nicht gegeben zu haben. Noch 1800 musste sich der Kaufmann Peter Kreeft in Barth bei Stralsund ein eigenes Tauchgerät bauen, als er es für die Bergung einer untergegangenen Schiffsladung benötigte.¹⁵⁷⁷

6.1.2 Die „Konsten at lefwa under watn“

Triewalds Status als europäische Autorität auf dem Gebiet des Tauchens wurde durch die Veröffentlichung seines Buches *Konsten at lefwa under Wwatn* (1734) gefestigt. Es gilt als die weltweit erste Monographie über das Tauchen.

Der Titel von Triewalds Buch über seine Taucherausrüstung und Tauchen im Allgemeinen ist eine schwedische Übersetzung des Aufsatztitels *The art of living under water* (1716) von Edmond Halley. Dies stellte aber kein Plagiat in heutigem Sinn, sondern vielmehr ein nachahmender und sie würdigender Tribut der Leistungen von Halley dar. Bei den wissenschaftlichen Kontakten spielten, damals wie heute, die sozialen Beziehungen eine wichtige Rolle. Die Glaubwürdigkeit eines Wissenschaftlers und Innovators hing unter anderem auch davon ab, wen er kannte und welchen sozialen Status er hatte, was wiederum darauf Auswirkung hatte, wie vertrauenswürdig er selbst als Wissenschaftler und Erfinder

¹⁵⁷⁴ Friebe, Über Rußlands Handel, 147.

¹⁵⁷⁵ Petri, Neuestes Gemälde von Lief- und Estland, Band 1, 135.

¹⁵⁷⁶ Petri, Neuestes Gemälde von Lief- und Estland, Band 1, 136-137.

¹⁵⁷⁷ Siehe Jung, Meeresgrundwanderer, 8.

angesehen wurde. Es ist bezeichnend, dass Triewald Halley als seinen „Freund und Wohltäter“¹⁵⁷⁸ bezeichnete.

Triewalds Wissen auf dem Gebiet der Tauchtechnik beschränkte sich aber nicht nur auf die Experimente von Edmond Halley, sondern er kannte auch viele Autoritäten zur Technik des Tauchens, wie etwa Lorini, Borelli und Sinclair. Er hatte sie durch sein Studium des Werks *Theatrum Pontificiale* (1726) von Jacob Leupold kennengelernt, auf das er sich in seinem Werk bezieht.¹⁵⁷⁹

Das Buch widmete Triewald Friedrich I., der ihm die Konzession für die Bergung verliehen hatte. Auf dem Deckblatt der Erstausgabe druckte Triewald den Spruch „Servare Modum, Finemque tueri, Naturamque sequi“ (Mäßigung beachten, das Ende im Auge behalten, dem Naturgesetz folgen). Der gleiche Spruch ziert das große Wohnhaus des einflussreichen englischen Kriegsministers William Blathwayt (1649-1717) im Dyrham Park bei Bristol, den Triewald möglicherweise kannte.

Es ist nicht bekannt, ob Triewald ein Exemplar seines Buches auch an seine beiden englischen Mentoren Desaguliers oder Halley sandte. Es wurde auch nicht, wie so viele andere Bücher, in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* besprochen oder bei einem Meeting verlesen. Der in Leipzig geborene Kartograf und Wissenschaftler Philip Henry Zollmann (1690-1748), der zu dieser Zeit Mitglied und „First Assistant Secretary for Foreign Correspondence“¹⁵⁸⁰ der Royal Society war, schrieb 1735 eine detaillierte Inhaltsanalyse, die aber unveröffentlicht blieb.¹⁵⁸¹ Es gibt kein Exemplar von Triewalds Buch in der Bibliothek der Royal Society. Das Exemplar der British Library stammt aus der Bibliothek von Hans Sloane.¹⁵⁸² Halley selbst erwähnt in keinem seiner Briefe, Bücher oder Vorträge Triewald, für den Halley ein wichtiges Vorbild war.

Möglicherweise wurde Triewalds Buch von der Royal Society totgeschwiegen, da es zu ehrenrührig war zu sehen, wie die in England entwickelte Technik in Schweden und dem Ostseeraum mit großem Erfolg in der Praxis angewandt wurde. In seiner Widmung an Friedrich I. führt Triewald aus, dass seine Gesellschaft die Kunst des Tauchens zu einem Grad

¹⁵⁷⁸ Eigene Übersetzung vom Originaltext „min Wän och gynnare“ in Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, 17.

¹⁵⁷⁹ Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, 4.

¹⁵⁸⁰ Derek Massarella, Philip Henry Zollman, the Royal Society's First Assistant Secretary for Foreign Correspondence, in: *Notes and Records of the Royal Society of London* 46 (1992) 219-234.

¹⁵⁸¹ Siehe Philip Henry Zollman, *An Account by Mr. Zollman of a book entitled in the Swedish language konsten at lefwa under watn (the art of living under water)*, British Library London, 1735, MSS 4433, 122-126.

¹⁵⁸² British Library London, Collection 536.k.12.2.

perfektioniert habe, „hardly to be found in any other Kingdom in Europe“.¹⁵⁸³ Dem konnte man seitens der Royal Society nicht widersprechen.

Triewalds Aussage „Diese Erfindung habe ich in vielen Fällen verbessert und im Lande eingeführt“¹⁵⁸⁴ zeigt seine größte Leistung auf: den erfolgreichen Transfer von Tauchtechnik von England nach Schweden und deren Weiterentwicklung und Nutzung in einem neu entstandenen Wirtschaftszweig: Der kommerziellen Bergeindustrie. Die Taucherglocke wurde damit zu einer Innovation.

Im ersten, kurzen Kapitel legt Triewald seinen obersten Grundsatz dar, wonach eine fundierte Kenntnis der Naturgesetze unerlässlich ist, um neue Entdeckungen zu machen. Er ist auch der Ansicht, dass Erfinder und nicht diejenigen, die Krieg führen, auf ewig in Erinnerung bleiben sollten.¹⁵⁸⁵ Er beruft sich in seiner Grundhaltung auf den frühen deutschen Aufklärer und Naturphilosophen Christian Wolff (1679-1754).¹⁵⁸⁶ Wolff lehrte an der Universität in Halle – aus Halle stammen auch Triewalds Vorfahren - zwischen 1706 und 1723 Medizin und Mathematik und führte dort, und anschließend auch an der Universität Marburg, in seinen Vorlesungen Experimente auf der Basis des *Collegii Experimentalis* von Johann Christoph Sturm durch. 1710 wurde Christian Wolff zum Mitglied der Royal Society und 1711 der Berliner Akademie der Wissenschaften ernannt. Seine Zugehörigkeit zur Freimaurerei wird behauptet, ist jedoch nicht eindeutig belegt.¹⁵⁸⁷

Triewald stellt klar, dass die bisherigen Erfindungen zum Tauchen nicht funktionsfähig gewesen sein konnten, da sie nicht wissenschaftlich fundiert waren: „In Bezug auf die Kunst, unter Wasser zu leben, stellt man fest, dass die Menschen seit vielen Jahren Ideen und Erfindungen gemacht haben, die aber nicht angewendet werden konnten, da sie nicht auf den Naturgesetzen beruhten, die die wahre Philosophie sind“¹⁵⁸⁸. In der zweiten Auflage des Buches von 1741 ergänzte Triewald hier noch einen Nebensatz, in dem er ausführt, dass die bisherigen Erfindungen Hirngespinnste waren, die aufgrund eines fehlenden naturwissenschaftlichen

¹⁵⁸³ Zollman, An Account, 122.

¹⁵⁸⁴ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Denna Invention har jag uti några mål förbättrat och i Landet infördt“ in Triewald, Konsten at lefwa under watn, 18.

¹⁵⁸⁵ Triewald, Konsten at lefwa under watn, 2.

¹⁵⁸⁶ Siehe Christian Wolff, Vernünfftige Gedancken. Von den Kräfften des menschlichen Verstandes Und ihrem Richtigen Gebrauche In Erkäntniß der Wahrheit, Halle 1722.

¹⁵⁸⁷ Heilbron, Electricity in the 17th and 18th Centuries, 141.

¹⁵⁸⁸ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Wad Konsten at lewa under Watner angär, så sinner man wäl at och annan för ganska många är sedan haft sina speculationer och päfund, hwilka dock aldrig kunnat nyttias, emedan de ei grundat dem på Naturens Lagar, som är den rätta Philosophien“ in Triewald, Konsten at lefwa under watn, 2-3.

Fundaments in sich zusammenfielen, sobald sie von der Theorie in die Praxis umgesetzt werden sollten.¹⁵⁸⁹

Triewald betrachtet dann die frühen Werke über das Tauchen. Er erwähnt unter anderem die Bücher von Niccolò Tartaglia *La travagliata Inventione* (1551) und Buonaiuto Lorini *Delle Fortificationi* (1597) sowie *Ars nova et magna gravitatis et levitatis* von George Sinclair (1669), der bereits, bevor es Halley tat, das Verfahren der Luftzufuhr mit Fässern publizierte. „Aber da zu seiner Zeit die Naturgesetze nicht bekannt waren, einschließlich der Eigenschaften der Luft, der Kompressions- und Expansionskräfte und des furchtbaren Anstiegs des Wasserdrucks mit der Tiefe, beruhten selbst diese Entdeckungen auf einer zu unsicheren Grundlage und konnten daher niemals genutzt werden“¹⁵⁹⁰, so konstatiert Triewald.

Zwei umfangreiche Kapitel behandeln die Physik und Physiologie des Tauchens. Triewald legt in prägnanter Weise die beiden Hauptprinzipien einer Taucherglocke dar, und zwar dass sich Luft und Wasser beim Untertauchen der Glocke nicht als unatembare Nebel vermischen, und dass dem Druck des einen der Druck des anderen entgegenwirkt. Hier benennt er explizit das Newtonsche Gesetz „Actio och Reactio“¹⁵⁹¹. Triewald bietet als Beweis das einfache Experiment an, einen umgedrehten Glasbecher in Wasser zu senken und zu sehen, wie darin die Luft komprimiert wird, während das Wasser aufsteigt, und er stellt fest, dass nach dem Boyleschen Gesetz der Druck der Luft zunimmt und ihr Volumen abnimmt, während die Glocke absinkt.

Triewald berechnet das mit der Tiefe zunehmende Gewicht des Wassers, das auf den Körper eines Tauchers wirkt, und stellt richtig fest, dass der Taucher dieses Gewicht nicht spürt, weil es auf seinen ganzen Körper wirkt und er Luft mit dem gleichen Umgebungsdruck atmet. Der Druck im Körperinneren ist also gleich dem Wasserdruck. Aus diesem Grund hält er die von ihm als „Wattu Harnest“¹⁵⁹² bezeichnete, semi-atmosphärische Geräte, die nur einen Teil des Körpers des Tauchers vor dem Umgebungsdruck schützen, für nicht funktionsfähig und extrem gefährlich.

¹⁵⁸⁹ Marten Triewald: „Konsten at lefwa under watn, eller En kort beskrifning om de påfunder, machiner och redskap, hwarpå dykeri- och bärgnings-societetens privilegier äro grundade, den Andra Oplagan, Stockholm 1741, 3.

¹⁵⁹⁰ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Men fom uti hans tid naturens Lagar, Luftens egenskaper, tryckande och utwidgande kraft, samt huru faseligen Watnets tryckande på diupet tiltager, intet war bekant, sä har äfwen hans påfund intet haft någon tilräckelig grund, och således aldrig kunnat nytja“ in Triewald, Konsten at lefwa under watn, 4.

¹⁵⁹¹ Triewald, Konsten at lefwa under watn, 6.

¹⁵⁹² Triewald, Konsten at lefwa under watn, 9.

Die theoretischen Grundlagen zu den physikalischen Bedingungen des Glockentauchens wurden von Triewald klar und umfassender dargelegt, als es bis dahin an anderer Stelle zu finden war.

Zu der Zeit, als Triewald das Buch abfasst, kannte man noch nicht das chemische Element Sauerstoff als Bestandteil der Luft, aber es war bekannt, dass es einen Bestandteil der Luft gab, der für die Atmung und Verbrennung notwendig war und der bei diesen Prozessen aufgebraucht wurde. Triewald nennt den Bestandteil wie Boyle, Hooke und andere „Flamma Vitalis“¹⁵⁹³. Seine eigene Erfahrung in Kohlebergwerken habe ihm reichlich Beweise dafür geliefert, dass ein Mangel an frischer Luft eine gefährliche Situation, und dies auch der Hauptnachteil einfacher Taucherglocken war.

Triewald beschreibt und illustriert ausführlich den Aufbau der Taucherglocke und die Frischluftzufuhr durch Fässer. Seine Glocke war groß (6 Fuß hoch und 4 Fuß breit an der Basis) und konnte mehrere Taucher aufnehmen. Sie war aus Ulmenholz gefertigt und mit Blei verkleidet, wobei zusätzliche Bleigewichte um den unteren Rand verteilt waren. Die Ulme war früher ein beliebtes Wagnerholz, da sie gedämpft recht gut biegsam ist. Ulmen-Kernholz ist unter Wasser sehr beständig, und nimmt kaum Wasser auf.

Vier vertikal um die Dauben gespannte Eisenbänder vereinigten sich oben an der Glocke. Dort war ein großer Ring angebracht, an dem sie aufgehängt werden konnte. Dies war eine sehr sichere Variante für die Verbindung zum Kran auf dem Schiff. Die Glocke erhielt zusätzliches Gewicht, indem vier Bleistücke um die Außenseite des Randes angebracht und zwei weitere Gewichte am Rand aufgehängt wurden, die als Anker wirkten, wenn sie auf dem Boden ruhten. Die Glocke lag damit ruhig und driftete oder drehte sich nicht durch Strömung weg. Im Inneren wurde eine hochklappbare Eisenbank angebracht und an der Decke wie bei Halley ein Drehhahn, um die angewärmte Luft abzulassen. Mit Gewichten versehene Fässer wurden für die Zufuhr zusätzlicher Luft verwendet.¹⁵⁹⁴ Triewald beschreibt die Methode zur Verwendung der Luftfässer in Übereinstimmung mit den entsprechenden wissenschaftlichen Prinzipien und geht ausführlich darauf ein, wie man das Gewicht der Glocke berechnen muss, damit sie sinkt.

Triewald beschreibt auch als Alternative eine kleinere Kupferglocke, und die Gründe für ihre Erfindung durch ihn selbst: Da es nicht immer notwendig ist, in große Tiefen zu tauchen und längere Zeit ununterbrochen unter Wasser zu bleiben, sollte die Glocke so beschaffen sein,

¹⁵⁹³ Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, 14.

¹⁵⁹⁴ Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, 19.

dass der Taucher leicht wieder aufsteigen kann, wenn er das, was angehoben werden soll, befestigt hat.¹⁵⁹⁵ Taucheinsätze konnten so effizienter durchgeführt werden.

Triewald hatte bereits 1732 Desaguliers in einem Schreiben von dieser neuen Variante berichtet. Der Brief wurde 1736 in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* veröffentlicht¹⁵⁹⁶ und zuvor von Desaguliers in seinem zweiten Band von *A Course of Experimental Philosophy* (1744) zitiert. Der leitet ihn mit dem Kommentar ein, „a very ingenious Gentleman, Mr. Marten Triewald“ habe sich mit der Taucherglocke von Halley beschäftigt „which he has made cheap, and entirely perfected; and therefore deserves my Reader’s Perusal“¹⁵⁹⁷.

Wie Triewald zunächst ausführt, sind die Kosten und der Aufwand einer Glocke mit Fasssystem oft zu hoch, um sie auch bei kleineren Bergungsaufgaben einzusetzen.¹⁵⁹⁸ Es folgte die Beschreibung, dass nur ein Drittel der Luft in einer gewöhnlichen Glocke vom Taucher eingeatmet wurde, bevor er einen Nachschub brauchte - die anderen zwei Drittel lägen wie eine Schicht im unteren Teil der Glocke um seine Beine und Füße, wo er sie praktisch nicht einatmen und nutzen konnte.

Triewalds Verbesserung bestand aus einer kleinen Glocke aus Kupfer, die von nur zwei Personen an der Oberfläche bedient werden musste (Abbildung 33). Sie soll innen verzinkt werden, um das Licht wie ein Spiegel zu reflektieren, das durch runde Glasscheiben im oberen Bereich eindrang, so dass der Taucher besser den Meeresboden sehen konnte. Diese Verspiegelung des Innenraumes war eine einfallsreiche Idee aus der Praxis, die bislang noch in keiner anderen Beschreibung zu finden war. Die Verdunkelung der Arbeitsfläche auf dem Grund durch die darüber schwebende Glocke war ein immanentes Problem des Glockentauchens.

Da die Standfläche unter der Glocke nicht als massive Platte ausgeführt ist, sondern als Gitterrost oder Ring, konnte der Taucher auch dadurch besser sehen, was sich direkt unter ihm befand. Sägearbeiten konnten durch die Zwischenräume hindurch erledigt werden.

¹⁵⁹⁵ Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, 24.

¹⁵⁹⁶ Marten Triewald, A Letter to the Reverend John Theoph. Desaguliers concerning an Improvement of the Diving Bell, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 39 (1736) 377-383.

¹⁵⁹⁷ Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. 2, 218.

¹⁵⁹⁸ Triewald, A Letter to the Reverend John Theoph. Desaguliers, 380.

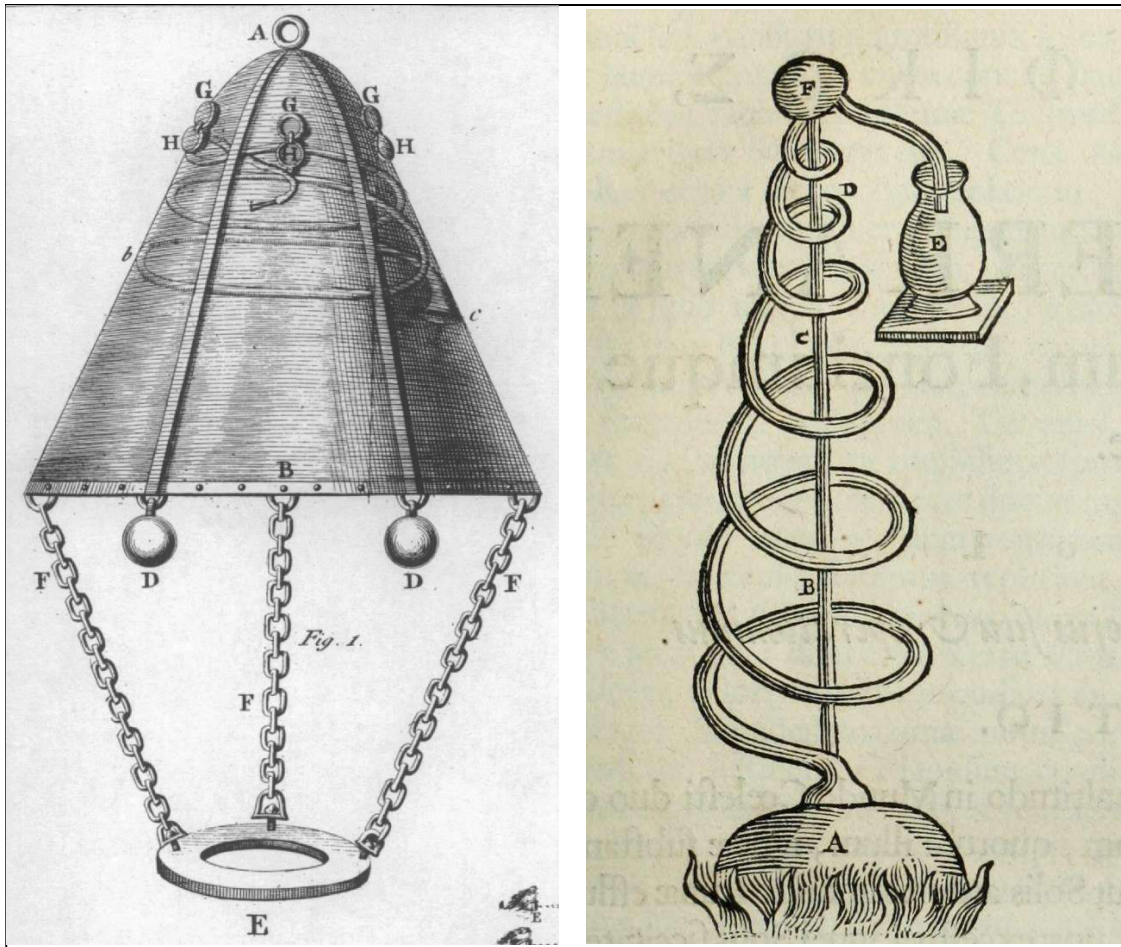


Abbildung 33 (links): Taucherglocke von Martin Triewald mit innenliegendem Atem- und Kühlrohr. Quelle: Martin Triewald, A Letter to the Reverend John Theoph. Desaguiliers concerning an Improvement of the Diving Bell, in: Philosophical Transactions 39 (1736) Fig. 1.

Abbildung 34 (rechts): Destilliergerät mit Kühlschlange von Athanasius Kircher (1665). Quelle: Athanasius Kircher, Mundus subterraneus in XII libros digestus, Tomus I, Amsterdam 1665, 167.

Den Nachteil des kleinen Luftvolumens, das dem Taucher in der Glocke zum Atmen zu Verfügung steht, will Triewald ausgleichen, indem er die von ihm postulierte, unten liegende und bislang ungenutzte Luftschicht durch eine neue Vorrichtung verwendbar macht. Er bringt ein innenliegendes, mehrfach gewundenes und vom oberen Teil der Glocke bis auf Kniehöhe reichendes Kupferrohr in der Glocke an. An der Kühlschlange ist oben ein längerer Lederschlauch befestigt, der durch seine Flexibilität dem Taucher ermöglicht, ihn trotz Bewegung beim Arbeiten ständig im Mund zu behalten. Durch dieses Rohr soll der Taucher die etwas kühlere Luft aus dem unteren Bereich der Glocke, das bei seinem Durchzug durch das lange Rohr weiter abkühlt, atmen können.

Die technische Ausführung einer Kühlschlange wurde von Triewald aus dem Instrumentenarsenal der Alchimisten übernommen. Hier waren bei Destilliergeräten

gewundene Kühlschlangen aus Kupferrohr schon lange in Verwendung, wie etwa eine Darstellung im Werk *Mundus subterraneus in XII libros digestus* (1665) von Athanasius Kircher zeigt (Abbildung 34).¹⁵⁹⁹

Die Kühlung der Atemluft durch eine metallene Kühlschlange für Taucher war bereits 1681 von dem französischen Priester und Erfinder Jean de Hautefeuille (1647-1724)¹⁶⁰⁰ vorgeschlagen worden. Robert Hooke setzte sich 1699 in einem Vortrag vor der Royal Society mit dem Konzept der Wiederverwendbarkeit von Luft durch Abkühlung auseinander, und beurteilte es als „a fals supposition of the use of the air in Respiration [...] ineffectual for what he hath here produced it“¹⁶⁰¹.

Zunächst ist anzumerken, dass es in der Glocke keine zwei Schichten („verbrauchte“ und „unverbrauchte“) von Luft gibt, sondern der Sauerstoffgehalt der Luft sich nur aufgrund der Temperatur unterscheidet. Sie war im oberen Bereich der Glocke höher als im unteren Bereich. Dieser positive Effekt des höheren Sauerstoffgehaltes von kühlerer Luft wurde von Triewald richtig bemerkt. Der Sauerstoffgehalt der Umgebungsluft in der Atmosphäre, bezogen auf das trockene Gas, beträgt 20,9 %. Er schwankt nur innerhalb ganz geringer Grenzen von weniger als 0,1 %. Kalte Luft ist dichter als warme Luft, weshalb bei gleichem Volumen und Druck ein ungleiches Gewicht von Sauerstoff in kalter und warmer Luft vorliegt. Kalte Luft enthält bei gleichem Druck dem Volumen nach mehr Sauerstoff.

Durch seine neue Vorrichtung werde laut Triewald die Luft in der Glocke auch in Zirkulation versetzt, was einen weiteren positiven Effekt der Durchmischung und Abkühlung habe. Die Richtigkeit seiner Ausführungen sieht Triewald darin bestätigt, dass man in einer „deutschen Badstube“¹⁶⁰² auf der oberen Stufe in der warmen Luft schlechter atmen kann als auf der unteren Stufe, wo die Luft kühler ist, und er stützt sich ebenso auf seine Erfahrungen unter Tage in schlecht belüfteten Kohlebergwerken. Der Taucher soll mit Hilfe dieser Vorrichtung dreimal länger unter Wasser bleiben¹⁶⁰³ und leichter arbeiten können, als wenn er nur die heiße Luft im oberen Teil der Glocke einatmet: „The Man receives, as it were, a new Life, and incredible

¹⁵⁹⁹ Athanasius Kircher, *Mundus subterraneus in XII libros digestus*, Tomus I, Amsterdam 1665, 167.

¹⁶⁰⁰ Jean De Hautefeuille, *L'Art de respirer sous l'eau et le moyen d'entretenir pendant un tems considerable la flamme enfermée dans un petit lieu*, Paris 1681, Fig. I.

¹⁶⁰¹ Robert Hooke, Paper, Concerning M. [Jean de] Hautefeuille's work. Read 31 May 1699, Royal Society of London, Classified Papers, CLP/20/94.

¹⁶⁰² Marten Triewald, Eine Verbesserung der Glocke die zum Untertauchen gehörtet, in: Veit Balthasar Henning (Hg.), *Sammlung nützlicher Maschinen und Instrumenten nebst deren Erklärung*; aus dem Französischen, Englischen und andern Sprachen ins Teutsche übersetzt, 4. Zehend, Nr. 31, Nürnberg 1736, 122-124, 123.

¹⁶⁰³ Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, 26.

Comfort and Ease“¹⁶⁰⁴, so Triewald. Die erreichte Verbesserung war allerdings in der Praxis bei einem solch kleinen Glockenvolumen nur von geringer Bedeutung.¹⁶⁰⁵

In den beiden nächsten Kapiteln seines Buches beschreibt Triewald praktische Aspekte des Tauchens mit einer Glocke, einschließlich der Verwendung von einem Kompass, der Signalkommunikation, einer Unterwasserlaterne, des Bootshakens und anderer Instrumente zum Bergen.

Triewald beschreibt und illustriert auch Werkzeuge, die unter Wasser von Glockentauchern benutzt werden. Sie arbeiteten auf dem Ring stehend aus der Glocke heraus, weshalb die Werkzeuge an langen, leichten Stäben befestigt waren. Die meisten Werkzeuge waren Sägen und dienten zum Durchtrennen von Taue, die eine ernste Gefahr bei einem gesunkenen Wrack darstellten. Wenn eine Glocke an einem Tau festhing, konnte sie umkippen und der Taucher ertrinken. Deshalb war die erste Arbeit bei Bergungen stets, Taue und andere Unterwasserhindernisse zu beseitigen. Nachdem sie weggeräumt worden waren, versuchte man als nächstes, in das Wrack hinein zu gelangen, und brach mit speziell geformten Haken, Hebelstöcke und Sägen die Luken und Decks auf.

Triewald erwähnt auch den Einsatz von Sprengstoff unter Wasser, und verweist hier auf das Buch *Traité des moyens de rendre les rivieres navigables*, das 1696 anonym erschienen ist.¹⁶⁰⁶ Als Autor wird ein Bouillet angesehen. Dieses Buch - die erste allgemeine Abhandlung über den Wasserbau in französischer Sprache - befasst sich vorwiegend mit den Methoden, Wasserstraßen auszubaggern und sie frei von Hindernissen zu halten, sowie mit den dafür verwendeten Maschinen.

Viele Darstellungen in Bouilllets Buch scheinen aus dem Buch des holländischen Wasserbauexperten Cornelis Janszoon Meijer *L'arte di restituire à Roma la tralasciata navigazione del suo Tevere* (1685) übernommen worden zu sein, in dem er sich mit Maßnahmen zur Verbesserung der Schifffahrt auf dem Tiber in Rom beschäftigt.¹⁶⁰⁷ Meijer hatte sich während eines mehrjährigen Aufenthaltes in Rom ein beträchtliches Wissen vom Stand der Wasserbautechnik in Italien erworben. Er war dort Mitglied der Accademia Fisicomatematica. Meijer bildete in seinem Werk unter anderem Unterwasserarbeiten an Wracks – die Befestigung

¹⁶⁰⁴ Triewald, A Letter to the Reverend John Theoph. Desaguiliers, 382.

¹⁶⁰⁵ Auf dem gleichen Gedanken basierte der 1824 von John Roberts (1792 - ?) erfundene Rauchschildhelm für Feuerwehrleute und Bergarbeiter, siehe Anonymus, Apparatus to enable persons to breathe in thick smoke, or in air loaded with suffocating vapours, in: Transactions of the Society, Instituted at London, for the Encouragement of Arts, Manufactures, and Commerce 43 (1824) 25-32.

¹⁶⁰⁶ Siehe Bouillet, *Traité des moyens de rendre les rivieres navigables*, Amsterdam 1696.

¹⁶⁰⁷ Cornelis Janszoon Meijer (Meyer), *L'arte di restituire à Roma la tralasciata navigazione del suo Tevere*, Rom 1685.

von Haltetauen und Sprengladungen - mit Taucherglocken ab, beschreibt aber fälschlicherweise, dass die Luft in der Glocke durch die Kälte des Wassers ebenfalls nach einer gewissen Zeit zu Wasser kondensiert.¹⁶⁰⁸

Triewald bekräftigt den Nutzen von Tartaglias Methode, ein gesunkenes Schiff vollständig anzuheben und gibt an, dass er sie 1729 erfolgreich bei einer teilweise gesunkenen Fregatte vor Vaxholmen angewendet hat.¹⁶⁰⁹ Leider habe ihm diese Bergung aber keinen Ertrag gebracht, da es sich um ein Schiff der Marine gehandelt habe, und sein halbstaatliches Unternehmen entsprechend der königlichen Charta Bergungen des Eigentums der Krone ohne Honorar auszuführen hatte.

In einem umfangreichen Kapitel berichtet Triewald von der Vergabe der Konzession an seine Bergungsgesellschaft, einschließlich der Vorgeschichte, und gibt Hinweise auf den Widerstand, der ihm vielerorts entgegengebracht wurde: „Ein deutliches Beispiel dafür wurde im Zusammenhang mit Tauch- und Bergungsarbeiten erlebt, und es drohte sogar, dieses Unternehmen zu stören und zu stürzen, wenn nicht eine höhere Behörde dies vorausgesehen und verhindert hätte“¹⁶¹⁰.

Triewald geht ausführlich auf rechtlichen Fragen ein, die sich bei einem Schiffbruch stellen, sowie auf das gut organisierte System seiner beteiligten Agenturen entlang der schwedischen Ostsee-Küste, und druckt den Wortlaut der königlichen Charta von 1730 ab, in der seine Gesellschaft als offizielles und alleiniges Bergungsunternehmen ernannt wird.¹⁶¹¹

Im letzten Kapitel berichtet Triewald beispielhaft über Einsätze des erfahrensten Berufstauchers Schwedens, dem Holländer Johan Been, der nun für ihn arbeitete. Ein Einsatztag begann am frühen Morgen immer mit einem gemeinsamen Gebet. Aus den weiteren Beschreibungen geht hervor, dass eine häufig eingesetzte Methode zum Auffinden eines Wracks darin bestand, den Meeresboden von der Glocke aus wie in einer Ballonfahrt zu untersuchen, während das Überwasserschiff sich voran bewegte und die Glocke zog. Triewald hebt dieses Verfahren als einen besonderen Vorteil von Taucherglocken hervor. Es war bereits 1626 von Francisco Nunez Melian bei Sucharbeiten in der Karibik eingesetzt worden.¹⁶¹²

¹⁶⁰⁸ Meijer, *L'arte di restituire à Roma*, Fig. 10.

¹⁶⁰⁹ Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, 39.

¹⁶¹⁰ Eigene Übersetzung vom Originaltext „En dring künning der af har äfwen Dykerje ech Bärgnings-Wercket mäft förnimma, som hotat des undergäng och öfwerända kastande, om icke alt sädant genom Höga Öf verhetens Rättwisa blifwit förekommitt och hindrat“ in Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, 40.

¹⁶¹¹ Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, 49-51.

¹⁶¹² Serrano Mangas, *Naufragios*, 122.

Sobald das Wrack gefunden war, wurde es bei langsamerer Fahrt mit der gleichen Methode von einem Ende zum anderen vermessen. Es war nicht notwendig, den Taucher während dieser Operation an die Oberfläche zu bringen, da er ständig durch Fässer mit Frischluft versorgt wurde.

Schließlich beschreibt Triewald fünf einfache wissenschaftliche Experimente, die ein Taucher in der Glocke durchführen kann, um die Phänomene von Druck und Schall unter Wasser zu demonstrieren.¹⁶¹³ So machte er Wissenschaft erfahr- und begreifbar.

1. Durch die Mitnahme eines Torricelli-Barometers kann der Taucher jederzeit die Tiefe bestimmen,
2. wenn man eine fest verschlossene, leere Glasflasche mit in die Tiefe nimmt, wird sie irgendwann implodieren, da kein Druckausgleich erfolgen kann,
3. wenn der Taucher ein Schröpfglas¹⁶¹⁴ auf den Arm setzt, wird dieses Schröpfglas mit zunehmender Tiefe immer stärker auf den Arm gepresst, und die Haut so stark in das Glas hineingezogen, dass unter großen Schmerzen ein Hämatom entsteht,
4. wenn der Taucher in 10 Meter Tiefe einen Lederballon aufbläst, ihn verschließt und aus der Glocke heraus nach oben aufsteigen lässt, wird er sich immer mehr dehnen und schließlich zerplatzen.
5. Bei dem Versuchstauchgang an der Insel Södermalm konnten Triewald und sein Assistent Menlös Kanonenschüsse, die über Wasser während ihres Tauchgangs von einem vorbeifahrenden Schiff als Salut während der Passage des Schlosses abgefeuert wurden, nicht hören. Triewald folgert daraus, dass Menschen nur Schall hören können, wenn die Luftverbindung zwischen der Schallquelle und dem Ohr nicht unterbrochen ist, wie beispielsweise durch das Wasser. Dies könne jeder Taucher selbst erfahren. Diese Beobachtung von Triewald und vielen seiner Vorgänger ist richtig, allerdings ist seine Erklärung dafür nicht erschöpfend: Die Übertragung von Schallwellen zwischen Luft und Wasser ist nicht möglich, weil Schallwellen, die oberhalb der Wasseroberfläche entstehen, vom Wasserspiegel reflektiert werden. Umgekehrt dringen auch keine Schallwellen von Unterwasser an die Oberfläche. Dies liegt wiederum an den extrem unterschiedlichen Geschwindigkeiten, mit denen sich der Schall im jeweiligen Medium fortbewegt.

¹⁶¹³ Triewald, *Konsten at lefwa under watn*, 77-80.

¹⁶¹⁴ Siehe Pascal, *Traitez de l'équilibre*, 32, Fig XVII.

1741 erschien die 105 Seiten starke zweite Auflage des Buches, die neben kleinen Ergänzungen im Text noch Nachdrucke der Verlängerung des Privilegs von 1729 am 26. September 1737 um weitere 12 Jahre sowie die Neuordnung der Bergungsordnung beide durch Friedrich I., vom 6. März 1739 enthält.

1741 erschien ebenfalls eine mit „Plägning“ (deutsch: etwa „Zugabe“) betitelte, 42-seitige Ergänzung. Es handelt sich eine Fortsetzung des ersten Buches, da die Nummerierung der Kapitel dort ansetzt, wo sie im ersten Buch aufhört. Diese Ergänzung ist eine detaillierte Beschreibung der Werkzeuge und Greifer, die die Tauchgesellschaft besaß, einschließlich einer Maschine, die von dem schwedischen Wissenschaftler Christopher Polhem (1661-1751) für Bergungen von der Oberfläche aus entworfen wurden. Er lehrte an dem Laborium mechanicum in Stockholm. Erst seit Triewald sind diese Werkzeuge der Bergungstaucher katalogisiert, und gibt es auch eine Geschichtsschreibung über dieses wichtige Zubehör der Tauchtechnik.

Dieser praktischen Anleitung zur Verwendung der Bergungswerkzeuge sind detaillierte Abbildungen von ihnen beigelegt. Sie waren in ihrer Konstruktion wesentlich schwerer als die Geräte der Taucher. Das Hauptproblem bei Bergungsarbeiten lag im Durchbrechen des Decks. Ein Kriegsschiff war sehr stabil gebaut, mit einem sehr starken Deck, das nur unter Schwierigkeiten durchbrochen werden konnte. Aber dies war erforderlich, um die wertvollen Geschütze zu bergen. In ein Frachtschiff war hingegen viel leichter einzudringen, weil seine Luken leichter zu durchbrechen waren als das Deck eines Kriegsschiffes. Einige der von Triewald vorgestellten Methoden waren so komplex, dass es fraglich ist, ob sie tatsächlich jemals angewendet wurden.

Aus heutiger Perspektive erstaunt es, dass Triewald im Vergleich zu vielen anderen Erfindern seiner Zeit so freizügig mit seinem Fachwissen umging. Der Grund kann darin gesehen werden, dass er mit seiner Tauchergesellschaft auf viele Jahre ein Monopol auf Unterwasserbergung entlang der gesamten schwedischen Ostseeküste besaß, und hier keine Nachahmer fürchten musste. Im Buch konnte er also werbewirksam sein gesamtes Inventar und seine Kenntnisse aufführen.

Es gab im 18. Jahrhundert nur sehr wenige Monographien über das Tauchen, und Triewalds Buch ist deshalb nicht nur aus dieser Hinsicht eine Rarität. Es ist daneben das ausführlichste Buch über die Bergungstechnik durch Taucher, das im 18. Jahrhundert geschrieben wurde. Die von Triewald herausgegebene Beschreibungen der Werkzeuge blieb fast 100 Jahre lang das Standardwerk für Bergungstechnik und wurde erst 1829 von der umfangreichen Publikation

von O. J. Westbeck über neue Bergungsinstrumente abgelöst.¹⁶¹⁵ Es ist deshalb erstaunlich, dass ein solch wichtiges und gehaltvolles Buch erstmals 2004 in eine andere Sprache als schwedisch übersetzt wurde und damit Verbreitung über Schweden hinaus erhielt.¹⁶¹⁶

Das von Isaac Newton gelobte Vermögen Triewalds, physikalische Gesetze auf praktische Anwendungen zu transferieren und vorhandene Maschinen weiterzuentwickeln, zeigt sich neben seiner innen verspiegelten Taucherglocke besonders deutlich bei seiner 1736 erstmals publizierten Erfindung von „Water Bellows“ genannten, von Wasserkraft angetriebenen Luftpumpen, wobei der Begriff „Bellows“ (Blasebalg) nur auf die Funktion der Erfindung zutrifft, nicht auf deren Konstruktion (Abbildung 35). Triewald empfiehlt ihre Anwendung besonders für Schmieden, wo große zugeführte Luftmengen erforderlich sind, und lobt ihren einfachen und kostengünstigen Aufbau sowie ihre Wartungsarmut im Vergleich zu herkömmlichen Blasebälgen. Ihr Grundaufbau erinnert an eine Kombination zwischen einer Newcomen-Engine und dem Luftversorgungsprinzip der „Chain of Buckets“ für Taucherglocken.

Durch eine Rohrleitung von einem Fluss oder Bach aus wird ein Wasserstrom auf eine Wippe oder Schaukelgerinne geleitet, die so, kontinuierlich beschwert, sich immer mehr nach unten senkt. Am Ende der Wasserwippen sind zwei große, umgedrehte Kupfertöpfe „not unlike the shape of Diving Bells“¹⁶¹⁷ angebracht, die sich durch das zunehmende Wassergewicht immer tiefer absenken. Bei diesem Absenken wird die Luft komprimiert und strömt durch den oben am Topf angebrachten Schlauch in die Schmiede. Am Tiefstpunkt angekommen läuft das Wasser aus der einen Wippe hinaus, so dass sie sich wieder hebt und der andere Arm sich ansenkt. Durch ein Klappenventil an der Oberseite der Töpfe kann beim Anheben Luft in den Topf einströmen. Diese Vorrichtung, die einmal mehr die Funktion einer Taucherglocke als „natürliche Luftpumpe“ darstellt, wurde später mehrfach angewendet, unter anderem in Staffordshire, Walsall und Wolverhampton.¹⁶¹⁸

¹⁶¹⁵ Siehe O. J. Westbeck, *Beskrifning öfver de af undertecknad uppfunne bergnings-instrumenter*, Göteborg 1829.

¹⁶¹⁶ Marten Triewald, *The Art of Living under Water* [1734], Übers. und Hg. Michael Fardell / Nigel Phillips, London 2004. Ein kurzer, deutschsprachiger Überblick zu den Aufgaben und der Organisation der Tauchercompagnie in Stockholm findet sich in Johann Christian Hermann, *Allgemeiner Contorist*. 4. und letzter Theil: Von Norwegen bis Zürich, Leipzig 1792, 371-372.

¹⁶¹⁷ Marten Triewald, A description of a new invention of bellows, called water-bellows, by Marten Triewald, F. R. S. Captain of mechanics, and military architect to his Swedish majesty; communicated to the Royal Society by Sir Hans Sloane, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 40 (1738) 231-238, 232.

¹⁶¹⁸ Marten Triewald, Description of a new water-bellows. Its Advantages and Use, in: *The Gentleman's magazine* 19 (1749) 361-362, 362.

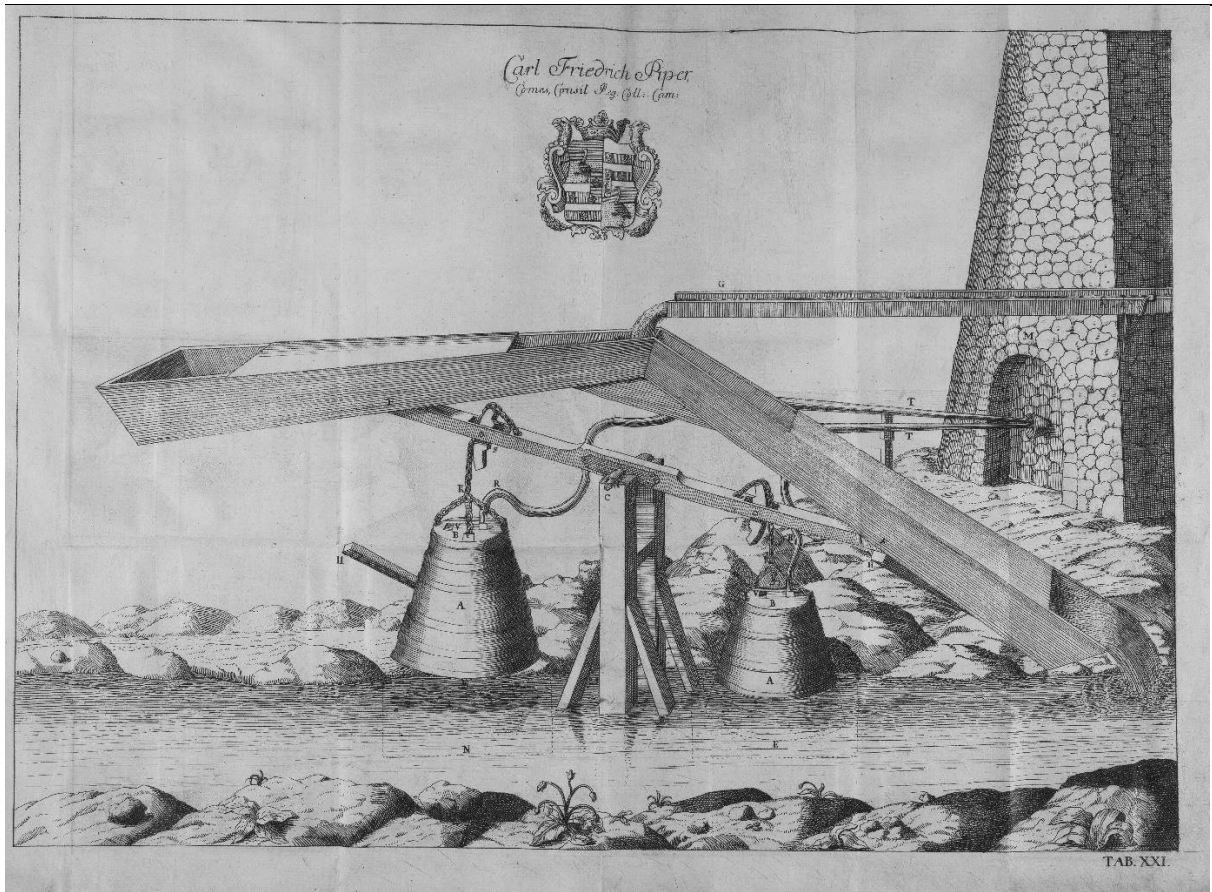


Abbildung 35: Taucherglocken als „Water Bellows“ von Martin Triewald (1736). Quelle: Martin Triewald, År 1728 och 1729 håldne föreläsningar, på Riddarehuset i Stockholm, ofwer nya Naturkunnigheten, Band 2, Stockholm 1736, Tab XXI.

Einen ähnlichen Aufbau mit Wippe und zwei Glocken besaß der von dem Maschinendirektor Johann Justus Bartels (?-ca. 1721) 1711 in Zellerfeld/Harz erfundene „Harzer Wettersatz“ zur Belüftung von Gruben. Zwei Glocken saugten abwechselnd die schlechte Luft („Abwetter“) aus der Grube. Durch ein Drehen der Ventile konnte die Maschine von saugend auf blasend umgestellt werden. Diese Konstruktion gehörte viele Jahre zu den leistungsfähigsten und betriebssichersten Wettermaschinen.¹⁶¹⁹

Mancherorts wird Triewald als unoriginell oder Plagiator dargestellt.¹⁶²⁰ Einige seiner Handlungen erscheinen als Nachahmungen anderer, wie etwa von Desaguliers und Halley. Die

¹⁶¹⁹ Siegfried Batzel, Aus der Geschichte der Grubenbewetterung, in: Bergbau-Archiv 19 (1958) 1-15, 10; siehe auch Henning Calvör. Acta Historico-Chronologica-Mechanica Circa Metallurgiam In Hercynia Superiori, oder Historisch-Chronologische Nachricht und theoretische und praktische Beschreibung des Maschinenwesens und der Hilfsmittel beim Bergbau auf dem Oberharze, 1. Theil. Braunschweig 1763, 10-15.

¹⁶²⁰ Anna Beckman, Tva svenska experimentalfysiker på 1700 talet: Marten Triewald och Nils Wallerius, in: Lychnos: Lärdomshistoriska samfundets årsbok 1967-68, Annual of the Swedish History of Science Society, Uppsala 1969, 186-214, 214; Svante Lindqvist, Technology on Trial. The Introduction of Steam Power Technology into Sweden, 1715-1736, Uppsala 1984, 199.

Rolle Triewalds sollte jedoch nicht unterschätzt werden, denn das Bild ist komplexer. Triewald brachte auch eigene Ideen und Varianten ein: Desaguliers hatte beispielsweise die Idee für ein Kohäsionsexperiment 1725 von Triewald erhalten, denn Desaguliers zitierte den Brief von Triewald mit dieser Idee in seinem Buch *A Course of Experimental Philosophy* (1734).¹⁶²¹ Triewald hat auch mit seinen „Water Bellows“ eigenständig eine neue, praktische Anwendung, abgeleitet von der Taucherglockenphysik, entworfen. Seine wissenschaftlichen Beiträge sind daher differenzierter zu sehen.

6.1.3 Charles Spaldings Taucherglocke, sein Unfalltod und die Folgen

Nach dem Tauchgang von Edmond Halley in der Themse 1716 scheint in Großbritannien jahrzehntelang niemand mehr mit einer Taucherglocke getaucht zu haben.¹⁶²² Bis weit in das spätere 18. Jahrhundert hinein scheint die Taucherglocke in England, anders als in Schweden, eher ein Objekt wissenschaftlichem Interesses geblieben zu sein, als von praktischem Nutzen.¹⁶²³ Als eine Hauptursache lässt sich das negative Image von Tauchprojekten nach der geplatzten Spekulationsblase ausmachen. Es handelt sich um einen nachweisbaren, „Revulsion“ genannten typischen Effekt nach dem Platzen einer Spekulationsblase.¹⁶²⁴

Das nächste englische Patent nach 1720 (Jacob Rowe) wurde erst wieder 1802 eingetragen, es gab offensichtlich also über 80 Jahre lang kein Interesse an dem Erfinderschutz.¹⁶²⁵ Nach der zweiten „Privilegienwelle“ gab es, um im Bild zu bleiben, in England eine „Privilegienflaute“.

Die Ablehnung und das Desinteresse an Tauchtechnik der Öffentlichkeit in England änderte sich erst 1775 durch die Aktivitäten von Charles Spalding. Spalding (1738-1783) war ein Händler aus Edinburgh. Er wandte sich dem Tauchen zu, als das Schiff *Peggy* 1774 mit einer Ladung, die zum größten Teil ihm gehörte, an den Farne-Inseln an der Küste Northumberlands, etwa 100 Kilometer von Edinburgh entfernt, verloren ging. Spalding beschloss, sie selbst zu

¹⁶²¹ C. Stewart Gillmor, *Coulomb and the Evolution of Physics and Engineering in Eighteenth-Century France*. Princeton 1971, 124.

¹⁶²² Anonymus, *Affaires in Ireland. Mr. Spaldings Incident*, in: *The Scots Magazine* 45 (1783) 324-325, 324.

¹⁶²³ Phillips, *Diving and Underwater Technology*, 446.

¹⁶²⁴ Robert Z. Aliber / Charles C. Kindleberger, *Manias, Panics, and Crashes: A History Of Financial Crises*, 7. Auflage, Hampshire 2015, 46.

¹⁶²⁵ Patent No. 2650 vom 2. Oktober 1802 von William Forder zu einer „Diving-machine, to be used in and about the stoping of holes and leaks in ships' bottoms“, in: Woodcroft, *Titles of Patents of Invention*, 479.

bergen, und eignete sich als Autodidakt durch Literaturstudium das erforderliche tauchtechnische Wissen an.¹⁶²⁶

Zunächst baute er eine kleine Taucherglocke für eine Person mit Luftversorgungssystem durch Fässer, und erprobte sie im Sommer 1775 bei Dunbar, Dundee, und den Farne-Inseln. Leider konnte er hier die *Peggy* nicht finden, verließ auf dem 10 Meter tiefen Meeresgrund aber mehrmals die Glocke und ging auf dem Meergrund umher. Bei seinen Tauchgängen machte er interessante biologische Beobachtung von Seegras, Hummern und Muscheln.¹⁶²⁷

Über die Wintermonate 1775/1776 verbesserte Spalding sein Konzept. Er benötigte eine größere Glocke für mehrere Taucher, mit der auch schwere Gegenstände geborgen werden konnte. Am 15. Februar 1776 sandte er einen Brief mit seinen bisherigen Erfahrungen und Ideen an die Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufacturers and Commerce in London, die ihm für seine Verbesserungsvorschläge ein Preisgeld von 20 Guineen in der Kategorie „Mechanicks“ verlieh.¹⁶²⁸

In seiner Bewerbung für die Royal Society of Arts stellte Spalding zunächst fest, dass die Positionierung der Glocke auf dem Grund und die Bedienung der Luftfässer nicht einfach war (Abbildung 36).¹⁶²⁹ Die Fässer mussten mit einer kurzen Leine und einem Gleitring an der Führungsleine befestigt werden, die vom Boot bis zur Glocke verlief. Die Glocke stand zwar stabil und ruhig auf dem Grund, aber das Boot und die Führungsleine bewegte sich mit den Wellen und dem Seegang. Dies brachte die Glocke in Bewegung. Beim Absenken der Fässer war Vorsicht geboten, damit sie nicht an der Glocke anstießen und beschädigt wurden. Ebenso wurden die Fässer, nachdem sie ihre Luft an die Glocke abgegeben hatten, sehr schwer, was eine beträchtliche körperliche Anstrengung der Mannschaft auf dem Boot erforderte, um sie wieder anzuheben.¹⁶³⁰

¹⁶²⁶ Charles Spalding, A relation of some attempts made with the Diving Bell. Letter dated 15. Februar 1776, in: Transactions of the Society, Instituted at London, for the Encouragement of Arts, Manufactures, and Commerce 1 (1783) 220-232, 221.

¹⁶²⁷ Spalding, A relation of some attempts, 228-229.

¹⁶²⁸ Spalding, A relation of some attempts, 220.

¹⁶²⁹ Peter Dick, Diving and the Royal Society of Arts, in: The International Journal of Diving History 5 (2012) 47-64, 54.

¹⁶³⁰ Siehe John Bevan, Charles Spalding's Diving Bells, in: The International Journal of Diving History 2 (2006) 36 -46, 37.

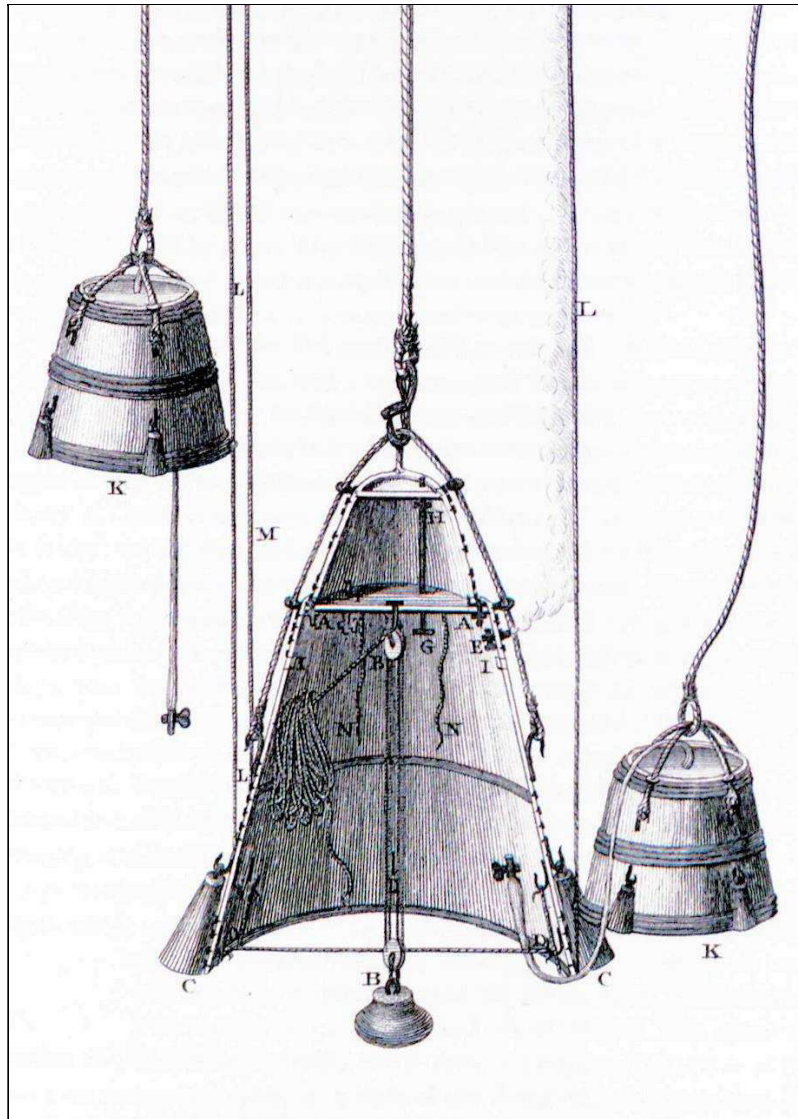


Abbildung 36: Taucherglocke von Charles Spalding (1776). Quelle: Charles Spalding, A relation of some attempts made with the Diving Bell. Letter dated 15. Februar 1776, in: Transactions of the Society, Instituted at London, for the Encouragement of Arts, Manufactures, and Commerce 1 (1783) 237–238.

Wie Spalding weiter ausführt, wird durch seine neue Vorrichtung die Handhabung der Taucherglocke sicherer und einfacher: „seamen, nay, even the most timid landsmen will, by this means, be soon brought to use, with boldness, an invention, which may be attended with great advantage to themselves and the country“¹⁶³¹.

In der Glocke, die Spalding entworfen hatte, sollten die beiden Insassen auf quer gespannten Seilen sitzen können. Die erste Neuerung von Spalding war ein Grundgewicht, das wie ein großer Glockenschlüssel unterhalb der Glocke saß. Über einen Flaschenzug war er mit der

¹⁶³¹ Spalding, A relation of some attempts, 231-232.

Decke der Glocke verbunden. Ruhte das Gewicht auf dem Meeresgrund, konnte die Besatzung mittels des Flaschenzuges die Glocke, wie in einem Fahrstuhl nach oben oder unten ziehen. Diese Idee entsprach der von Tartaglia aus dem Jahr 1551.¹⁶³²

Um den Aufstieg zu erleichtern, adaptierte Spalding das Konzept vom variablen Ballastwassertank, wie es bereits 1578 von William Bourne für die Verwendung bei Unterseebooten vorgeschlagen worden war: Am oberen Teil der Glocke war ein Tank für die Trimmung der Glocke angebracht.¹⁶³³ Er war mit einer verschließbaren Öffnung mit dem Wasser verbunden, und mit einer weiteren, unten liegenden Öffnung mit dem Glockeninnenraum. Durch die beiden Ventile konnten die Arbeiter die Luft aus dem Tank in das Wasser herauslassen und ihn fluten, oder aus der Glocke Luft in ihn hineinströmen lassen, und damit wieder entwässern. Befand man sich auf dem Meeresgrund, war der obere Hahn offen und der Tank voller Wasser. Die Glocke hatte durch diese Reduzierung des Gesamtvolumens weniger Auftrieb und lag ruhiger am Arbeitsplatz. Dies war auch von Vorteil, wenn ein Taucher die Glocke verließ und in der Umgebung arbeitete. Trotz dieses temporären Gewichtsverlustes blieb die Glocke unten. Die Glocke konnte mit Grundgewicht und geflutetem Tank bis zu einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 Knoten (ca. 10 km/h) eingesetzt werden.¹⁶³⁴

Wollte man aufsteigen, wurde der obere Hahn geschlossen und durch den unteren, nun offenen Hahn Luft aus der Glocke in den Tank einströmen gelassen. Das darin befindliche Wasser wurde nach außen verdrängt, und die Glocke erhielt durch die Vergrößerung des Gesamtvolumens mehr Auftrieb. Lockerten nun die Arbeiter das Seil am Flaschenzug, stieg die Glocke durch den zusätzlichen Auftrieb nach oben. Eine ähnliche Kammer, aber für einen anderen Zweck und zwar zur Versorgung eines außen arbeitenden Tauchers mit Luft, war von Edmond Halley in seinem Vortrag am 23. September 1691 der Royal Society vorgestellt worden.¹⁶³⁵

Insgesamt erleichterte Spaldings Konzept dem Taucher sowie der Deckmannschaft die Bedienung, und brachte größere Sicherheit in der Handhabung. Die Neuerungen waren aber nicht seine eigene Erfindung, sondern resultierten aus früheren Konzepten, die er bei seinem Literaturstudium gefunden und übernommen hatte. Bemerkenswert ist jedoch, dass Spalding

¹⁶³² Tartaglia, Regola generale, Libro seconda Dechiaratione prima.

¹⁶³³ Siehe hierzu Kapitel 2.3.3.

¹⁶³⁴ Bevan, Charles Spalding's Diving Bells, 39.

¹⁶³⁵ Halley, Correspondence and Papers of Edmond Halley, 152-153.

damit die Erfindung des Ballons durch die Anwendung des gleichen physikalischen Prinzips unter Wasser um einige Jahre vorwegnahm.

Eine falsche Annahme Spaldings war, dass er angeblich „verbraucht“, warme Luft aus dem oberen Teil der Glocke durch einen Hahn ausströmen ließ. Dies basierte auf den gleichen falschen Vorstellungen, wie sie zuvor unter anderem von Halley (1691) und von Triewald (1732) vertreten wurden. Das ausgeatmete Kohlendioxid müsste sich seiner Vorstellung nach aufgrund seiner größeren Dichte im unteren Teil der Glocke wie eine Schicht sammeln, und von dort beim Nachfüllen mit Frischluftfässern unter dem Rand ausgestoßen werden.

Das Phänomen von giftigen Gasansammlungen am Boden war schon in der Antike bekannt. In einem Pluto-Tempel in Hierapolis existiert eine unterirdische Grotte, in der sich auf dem Boden eine dicke Schicht Kohlendioxid ähnlich wie ein Teppich ansammelte. Opfertiere wurden davon getötet, der mit seinem Kopf aus der Schicht herausragende Priester jedoch nicht. Die Grotte wurde von den Priestern als Tor zur Unterwelt beschrieben, an der der Höllenhund Kerberos mit seinem giftigem Atem die Opfertiere tötet.¹⁶³⁶

In der Praxis sinkt das Kohlendioxid in der Glocke aber nicht ab, sondern wird durch die ständige Bewegung der Taucher so sehr verwirbelt, dass es sich nicht auf gefährliche Weise am Boden ansammeln kann. Das würde nur dann geschehen, wenn die Luft eine stehende Masse wäre, in der die schweren Kohlendioxid-Moleküle Zeit zum Absinken hätten. Die Luft in der Glocke ist im oberen Teil zwar wärmer als die etwas tiefere, aber nicht mehr mit Kohlendioxid gesättigt und damit „verbraucht“. Der einzige Unterschied liegt in der unterschiedlichen Dichte von warmer und kalter Luft, und dem daraus resultierenden Sauerstoffgehalt.

Obwohl die zugrundeliegenden physikalischen Prinzipien verschieden sind, wurde der Aufstieg von Spaldings Glocke in zeitgenössischen, populärwissenschaftlichen Beschreibungen oft wegen des gleichen optischen Eindruckes (Luft einströmung in Auftriebsbehälter der Taucherglocke im Vergleich mit der Warmluft einströmung in einem Ballon) mit dem Aufstieg eines Ballons gleichgesetzt: „Man sieht hieraus, dass dieses System gänzlich mit jenem bei den Luftballons übereinstimmt. Jedoch muss man sich in Acht nehmen, und die Luft nur langsam in die obere Glocke eindringen lassen, denn sonst würde man mit einer solchen Schnelligkeit emporsteigen, dass die Arbeiter von ihren Sitzen geschleudert werden könnten“¹⁶³⁷.

¹⁶³⁶ Siehe Hardy Pfaniz / Galip Yüce / Ahmet H. Gulbay / Ali Gokgoz, Deadly CO2 gases in the Plutonium of Hierapolis (Denizli, Turkey), *Archaeological and Anthropological Sciences* 11 (2019) 1359-1371, 1368.

¹⁶³⁷ Anonymus, Die Taucherglocke, in: *Das Pfennig Magazin der Gesellschaft zur Verbreitung gemeinnütziger Kenntnisse* 1 (1833) 3-4, 4.

Spalding baute diese Glocke im Jahr 1777, und stellte sie im Sommer 1778 im Rahmen eines Vortrages, den er gemeinsam mit dem Mediziner und Physiker William Buchan (1729-1805) in Edinburgh hielt, den Teilnehmern von Buchans Kursen vor. Buchan leitet in Edinburgh eine Praxis und hielt Vorträge über Naturphilosophie.

Spalding sammelte bei den Vorträgen Spenden und verkaufte Subskriptionen an Interessenten für Tauchgänge in der Glocke. „Any subscriber had not only a right to attend on board the vessel during the Experiments, but to go down in the Bell, and make what experiments he pleased“¹⁶³⁸. Eine solche temporäre Vermietung von Arbeitsplätzen für Wissenschaftler wurde im 19. Jahrhundert beispielsweise auch von Anton Dohrn in dessen meeresbiologischer Forschungsstation in Neapel durchgeführt.¹⁶³⁹

Durch die Mieteinnahmen konnte Spalding eine größere Variante seiner Taucherglocke für vier Personen bauen. Das Geld reichte sogar aus, um auch noch ein passendes Schiff zu kaufen. Mit dieser großen Glocke wollte er gemeinsam mit Buchan Experimente unter Wasser im Firth of Forth bei Leith, dem Hafen von Edinburgh, durchführen. Einer der Subskribenten war neben James Dinwiddie der Journalist und Schriftsteller George Glasgow. Er nahm einen Stift, Tinte und Papier mit unter Wasser, „and during his stay at the bottom, which was above an hour, wrote several epistles, which he had the adress to send up dry to his friends above, informing them of his welfare, &c“¹⁶⁴⁰. 1823 wurde ein weiteres Gedicht unter Wasser verfasst, diesmal in 10 Meter Tiefe in einer Taucherglocke im St.-Georgs-Kanal bei Portpatrick.¹⁶⁴¹

Die allgemeine Begeisterung für Tauchgänge, die für die Teilnehmer den Charakter eines Experimentes besaßen, ging so weit, dass erstmals auch „one beautiful lady, of great spirit and vivacity“¹⁶⁴² gemeinsam mit zwei Männern einen Tauchgang mit der Glocke wagte. Die Hochachtung über ihren Mut schwingt in dem Bericht mit: „of all the ladies that attended, non had the courage to go down; only Mrs S-t ventured to go down along with Mr. Glasgow, and who, prior to that, had been vested with full powers from Neptune to make the first lady an Empress, who had the courage to pay a visit to his dominions. He [...] at the bottom of the sea crowned Mrs S-t Empress of the Ocean, and Queen of the Forth [...] no parallel can be drawn

¹⁶³⁸ G. Glasgow, Letter from September 1778 to the Printer, in: Caledonian Mercury 9522 (9th September 1782) 1.

¹⁶³⁹ Anton Dohrn, Bericht über die Zoologische Station während der Jahre 1879 und 1880, in Mittheilungen aus der Zoologischen Station zu Neapel, 1881, 495-514, 502.

¹⁶⁴⁰ Glasgow, Letter, 1.

¹⁶⁴¹ Medicus, Lines composed at the Bottom of St. George's Channel, in the Port Patrick Diving-Bell, Thirty Feet below the Surface oft he Water, Sept. 1823, in: Glasgow mechanics' magazine and annals of philosophy 4 (1825) 198-199.

¹⁶⁴² Glasgow, Letter, 1.

from any ceremonies practised by earthly potentates“¹⁶⁴³. Dem Bericht von Glasgow ist zu entnehmen, dass es einige weitere weibliche Interessentinnen für einen Tauchgang gab, es ihnen aber von ihren Ehemännern nicht erlaubt wurde.

Die Schilderung schließt mit dem Resümee, das die Verbesserungen von Spalding „will reduce the diving bell to a science“¹⁶⁴⁴. Ein oder zwei dieser Taucherglocken sollten zukünftig in jedem Hafen Englands und Irlands, ähnlich wie Feuerlöschgeräte, bereitgehalten werden, so der Kommentar des Redakteurs zu dem Leserbrief von Glasgow.¹⁶⁴⁵

Eine solche Glocke wurde von der britischen Marine nachgebaut, damit Spalding und sein Bruder Thomas (1740-?) 1782 an dem Wrack der *Royal George* vor Spithead bei Portsmouth tauchen konnten. Durch dieses Ereignis trat Tauchen in England endgültig wieder in das öffentliche Interesse. Die *Royal George* war ein britisches Linienschiff erster Klasse mit 100 Kanonen, und damit eines der kampfstärksten Kriegsschiffe seiner Zeit. Bei seinem Untergang am 29. August 1782 kamen zwischen 800 und 950 Menschen ums Leben. Die mit unterschiedlichem Erfolg durchgeführten Taucharbeiten an der *Royal George* wurden in den folgenden Jahrzehnten von der englischen Presse ähnlich aufmerksam verfolgt, wie diejenigen an der *Vasa* im Hafen von Stockholm durch die schwedische Presse verfolgt worden war.¹⁶⁴⁶ Die Bergungsarbeiten an der *Royal George* spielten auf diese Weise eine wichtige Rolle in der Geschichte des Gerätetauchens.

Durch seine Arbeit an dem Wrack der *Royal George* 1782 wurde Spaldings Ruf als Experte für Bergungstauchen weiter gefestigt.¹⁶⁴⁷ Doch die Karriere von Spalding nahm im nächsten Jahr ein abruptes, tragisches Ende.

1783 befasste sich Spalding mit der Bergung der wertvollen Blei- und Silberladung des Ostindienfahrers *Count de Belgioso*, der bei Dublin gesunken war. Am 1. Juni 1783 begannen die Taucharbeiten, die Spalding gemeinsam mit seinem Neffen Ebenezer Watson durchführte. An diesem Tag stiegen die beiden dreimal zu dem Wrack hinab, um die Situation in Augenschein zu nehmen. Am Abend berichteten sie von einem intensiven Geruch, der aus dem Wrack aufstieg, und dem sie der Ladung mit Ginseng zuschrieben.¹⁶⁴⁸

¹⁶⁴³ Glasgow, Letter, 1.

¹⁶⁴⁴ Glasgow, Letter, 1.

¹⁶⁴⁵ Glasgow, Letter, 1.

¹⁶⁴⁶ Earle, *Treasure Hunt*, 256-257; Anonymus: *Description of Dr. Halley's diving-bell; improvements on that machine; and accounts of Mr. Day, and the vessel in which he was sunk in Plymouth Sound, June 1774*, in: *The British magazine and review; or, Universal miscellany of arts* 1 (September 1782) 169-173, 169.

¹⁶⁴⁷ Anonymus, *Affaires in Ireland*, 324.

¹⁶⁴⁸ Phillips, *Diving and Underwater Technology*, 608.

Am 2. Juni tauchten sie wieder. An Bord des Tauchschiffes befand sich auch der Naturphilosoph Dinwiddie mit seinen Instrumenten, um später am Tag unter Wasser in der Glocke wissenschaftliche Experimente durchzuführen.¹⁶⁴⁹ Der erste Tauchgang dauerte länger als gewöhnlich, und da keine Antwort auf Signale kamen, befürchtete die Deckmannschaft, dass ein Unglück geschehen war, und zog die Glocke hinauf. Man fand Spalding und seinen Neffen tot in den Seilen hängend.

Spalding war inzwischen eine bekannte Person in England, und der Schock des tödlichen Unfalls erschütterte die Bevölkerung von Dublin und weit darüber hinaus. Viele Zeitungen berichteten darüber, und veröffentlichten Mutmaßungen zu der Unfallursache. Als am wahrscheinlichsten gilt, dass beim Öffnen eines Decks durch Spalding schlagartig ein Blase von Faulgas aus dem Laderaum in die Glocke einströmte, und die Luft dort so schnell unatembarmachte, dass kein Notsignal mehr abgesetzt werden konnte. Es ist durchaus möglich, dass die Freisetzung solcher Gase in die Glocke, einschließlich hochgiftigem Schwefelwasserstoff - ein ebenso starkes Gift wie Blausäure -, die Taucher schnell betäubt und getötet haben könnte. Bei den Bergungsarbeiten an der *Belgioso* starben 1787 drei weitere Taucher.¹⁶⁵⁰

Als sechs Tage später die Beerdigung stattfand, schloss sich eine große Menschenmenge dem Trauerzug zum Dubliner Friedhof an. Spalding hinterließ eine Frau und sieben Kinder. Für die Hinterbliebenen von Spalding und Watson wurde durch den Schottischen Adligen James Innes-Ker, 5th Duke of Roxburghe (1736-1823) eine Spendensammlung durchgeführt.¹⁶⁵¹

Für die Öffentlichkeit bedeutete der Unfalltod von Spalding und dessen Neffen weit mehr als nur ein Arbeitsunfall. Spalding war einer der führenden Experten für das Tauchen in Großbritannien. Man hatte gerade begonnen, wieder Vertrauen in die Tauchtechnik zu setzen, und auch völlig ungeübte Menschen hatten die ersten Abstiege gewagt, sowohl um neue wissenschaftliche Erkenntnisse oder auch persönliche Erfahrungen zu sammeln. Für die Einführung dieser neuen Technologie in den Alltagsgebrauch war es ein herber Rückschlag.

Das Jahr 1783 markiert einen Bruch in der Entwicklung des Tauchens für Jedermann. Der Redakteur des *Belfast News-Letter* schrieb „there remains a great latitude for improvement in that machine“¹⁶⁵², und der einflussreiche Dichter und Naturforscher Erasmus Darwin (1731-

¹⁶⁴⁹ Proudfoot, Biographical Memoir of James Dinwiddie, 15-16.

¹⁶⁵⁰ Lunney, The celebrated Mr. Dinwiddie, 75.

¹⁶⁵¹ Anonymus, Affaires in Ireland, 325.

¹⁶⁵² Anonymus, The Belfast News-Letter, Ausgabe 28-31 August 1787, zit. nach Lunney, The celebrated Mr. Dinwiddie, 75.

1802) äußerte noch 1788, dass der Unfall von Charles Spalding und wenige Jahre zuvor der von John Day die weitere Entwicklung des Tauchens für einen bedeutenden Zeitraum bremsen wird. Der englische Schiffszimmermann John Day (?–1774) aus Yarmouth bei Norfolk ertrank bei einem Tauchgang mit seinem selbst gebauten Tauchboot am 28. Juni 1774 im Plymouth Sound.¹⁶⁵³ Darwin dichtete dazu: „Shrin‘d in the deep shall Day and Spalding mourn, each in his treacherous bell, sepulchral urn“¹⁶⁵⁴.

Darwin sah in seiner Vorstellung aber auch bereits voraus, was moderne Taucherglocken - er nannte sie „inverted ships or diving balloons“¹⁶⁵⁵ - leisten können. In einem Gedicht drückte er dies anschaulich aus:

„Led by the Sage, Lo! Britain‘s sons shall guide
Huge SEA-BALLOONS beneath the tossing tide;
The diving castles, roof‘d with spheric glass,
Ribb‘d with strong oak, and barr‘d with bolts of brass,
Buoy‘d with pure air shall endless tracks pursue,
And PRIESTLEY'S hand the vital flood renew.-
Then shall BRITANNIA rule the wealthy realms,
Which Ocean‘s wide insatiate wave o‘erwhelms“¹⁶⁵⁶.

Fast zeitgleich mit dem Unfalltod Spaldings, am 4. oder 5. Juni 1783, fand der erste Ballonflug der Menschheit, noch unbemannt, von den Brüdern die Brüder Joseph Michel (1740-1810) und Jacques Etienne Montgolfier (1745-1799) in Annonay statt. Dies war eine technische Sensation, die wie ein Lauffeuer europaweit verbreitete.¹⁶⁵⁷ Wenige Wochen später erfolgte dann am 15. Oktober 1783 der erste bemannte Ballonflug durch Jean-François Pilâtre de Rozier (1754-1785) in Paris. Die enorme, schlagartig aufflammende Begeisterung für diese neue und ungeahnte Möglichkeit des Menschen, und das zurückgekehrte Misstrauen in die Tauchtechnik rückte in England das Interesse der Öffentlichkeit am Tauchen in den Hintergrund. Nunmehr galt der Drang des Menschen weit mehr der Eroberung des Luftraumes, als der Unterwasserwelt.

Die neue Technik der Ballone regte die Phantasie von Projektmachern an, ähnlich wie fast hundert Jahre zuvor das Aufkommen von Taucherglocken. 1784 schlug ein „projector who

¹⁶⁵³ Nikolai Detlef Falck, A philosophical dissertation on the diving vessel projected by Mr. Day, and sunk in Plymouth Sound, London 1775, 1-2.

¹⁶⁵⁴ Erasmus Darwin, The Botanic Garden. A Poem with philosophical notes, Part 1, 4th edition, London 1799, 202.

¹⁶⁵⁵ Darwin, The Botanic Garden, 200.

¹⁶⁵⁶ Darwin, The Botanic Garden, 200-201.

¹⁶⁵⁷ Barthelemy Faujas de Saint-Fond, Description des experiences de la machine aerostatique de MM. de Montgolfier et de celles auxquelles cette decouverte a donne lieu, Paris 1783, XXXV.

signs himself a Wellwisher to the Public“ vor, „Diving Bells and Balloons acting in Conjunction“ zur Bergung der *Royal George* im Hafen von Portsmouth einzusetzen.¹⁶⁵⁸ Sein Plan war, von Tauchern Taue an dem Wrack anbringen zu lassen, und sie danach an einer Anzahl von Ballons zu befestigen, die alle miteinander verbunden sind, wobei „their powers may be encreased ad infinitum“¹⁶⁵⁹. Diese Methode war physikalisch möglich, allerdings wären für die praktische Umsetzung eine gewaltige Menge an Ballone erforderlich gewesen.

Das 1783 in ganz Europa aufkommende „Ballonfieber“¹⁶⁶⁰ ebte schon bald wieder ab. Ursache dafür war zum einen die Enttäuschung über die Unlenkbarkeit der neuartigen Luftmaschinen. Die Ballone waren ein Spielball des Windes und der Luftströmungen. Kaiser Joseph II. (1741-1790, reg. 1764-1790) wollte sich erst wieder mit Ballonen beschäftigen, wenn die Erfinder „durch ihre Kenntnisse und wiederholten Versuche Mittel gefunden haben, [um] die Aerostation einigermaßen nützlich“ zu machen.¹⁶⁶¹

Die Hoffnungen, die Natur zu beherrschen, erwiesen sich auch hierbei als Illusion, und die Euphorie zerstob. „Die Fliegekunst als Triumph der Aufklärung“¹⁶⁶² entzauberte sich schon bald selbst. Die Desillusionierung trug auch bei, das schon am 15. Juni 1785 der Pionier Jean-François Pilâtre de Rozier und sein Mitfahrer Pierre Romain bei dem Versuch starben, den Ärmelkanal zu überqueren. Mit Spalding und De Rozier starben damit innerhalb von nur zwei Jahren wichtige Pioniere des Tauchens und der Luftfahrt.

6.2 Atemgasforschung und ihre Bedeutung für die Tauchtechnologie

Für die Ausbreitung der Tauchtechnologie war es unumgänglich, dass sie sich von einer experimentellen Einzelanwendung zu einer sicheren Methode entwickelte. Dafür war es von entscheidender Bedeutung, mehr über das Atemgas und die Physiologie zu wissen. Beim Tauchen spielen nicht nur physikalische Naturgesetze eine wichtige Rolle, sondern auch die Gase und ihre Reaktionen. Deshalb war es von besonderer Bedeutung, neben dem Einfluss des

¹⁶⁵⁸ Anonymus, *Symposia; or table talk in the month of September, 1784. Being a rhapsodical hodge-podge, containing, among other things, balloon intelligence for the years 1785, 1786, and 1787*, London 1784, 55.

¹⁶⁵⁹ Anonymus, *Symposia*, 56.

¹⁶⁶⁰ Florian Welle, *Der irdische Blick durch das Fernrohr: Literarische Wahrnehmungsexperimente vom 17. bis zum 20. Jahrhundert*, Würzburg 2009, 125.

¹⁶⁶¹ Antwort Josephs II. am 2. Mai 1786 auf eine briefliche Bitte von Jean Pierre Blanchard, in Wien seinen Ballon der Bevölkerung vorzuführen, zitiert nach Michael Stoffregen-Büller, *Himmelfahrten. Die Anfänge der Aeronautik*, Weinheim 1983, 250.

¹⁶⁶² Behringer / Ott-Koptschalijski, *Der Traum vom Fliegen*, 336.

sich verändernden Umgebungsdruckes auch die beteiligten, relevanten Gase in der Atemluft und ihr Verhalten (indirekte Auswirkungen des Druckes wie Absorption, Sättigung und Eliminierung) zu erforschen.

Schon früh war bekannt, dass Luft für die Erhaltung des Feuers und des Lebens notwendig ist. Die Ägypter nutzten den Blasebalg, um die Wärme ihrer Öfen durch eine reichlichere Luftzufuhr zu erhöhen.¹⁶⁶³ Der römische Philosoph Marcus Tullius Cicero (106 v. Chr.-43 v. Chr.) sprach von „cibus animalis“, als eine „lebensspendende Nahrung“¹⁶⁶⁴, die die Lungen aus der Luft bezieht. Auf vielfache Weise wurde dieses Wissen um die Bedeutung der Luft im klassischen Altertum angewandt, und Marcus Vitruvius Pollio (Vitruv) beschrieb, wie Männer, die Brunnen gruben, eine brennende Lampe in den Schacht hinunterließen, um die Luft zu testen, bevor sie selbst hinuntergingen. Wenn die Flamme weiter brannte, konnten sie sicher nach unten gehen.¹⁶⁶⁵ Später wurden Kanarienvögel in Käfigen als Frühwarnsystem in den Schächten platziert, da Kanarienvögel etwa 20mal empfindlicher als Menschen auf Sauerstoffmangel und giftige Gase reagieren.¹⁶⁶⁶ In Taucherglocken erfüllten mitgenommene Kerzen diese Frühwarnfunktion.

Der polnische Alchemist Michael Sendivogius (1566-1636) entdeckte, dass Luft nicht eine einzige Substanz ist, sondern eine lebensspendende Substanz enthält.¹⁶⁶⁷ Robert Boyle und Robert Hooke führte viele Experimente zur Atmung im Receiver ihrer Luftpumpe und in Glastaucherglocken durch, und machten interessante neue Beobachtungen, konnten aber keinen Durchbruch in der Atemgasforschung erzielen: Boyle fühlte sich nicht in der Lage, Schlussfolgerungen zu ziehen; seine Experimente waren seiner Meinung nach zu wenig, und „respiration appeared to be rather more than less mysterious than before“¹⁶⁶⁸.

Boyle hatte aber die Analogie zwischen Feuer und Leben erkannt, da er bei seinen Experimenten festgestellt hatte, dass die Flamme einer Lampe nicht länger andauerte als das Leben eines Tieres in seinem Luftpumpen-Receiver bei der Evakuierung der Luft; und er neigte

¹⁶⁶³ Siehe Franz Maria Feldhaus, Die Technik der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker, Leipzig 1918, 101.

¹⁶⁶⁴ Marcus Tullius Cicero, De Natura Deorum Libri III, Vom Wesen der Götter, 3 Bücher, lateinisch - deutsch, Übers. und Hg. Wolfgang Gerlach / Karl Bayer, 3. Auflage, Berlin 2014, 306-307.

¹⁶⁶⁵ Bernhard Varenius, Geographia Generalis. In qua affectiones generales Telluris explicantur Autore, Amsterdam 1650, 265.

¹⁶⁶⁶ Michael A. Lang / Alf O. Brubakk, The Haldane Effect, in: Neal W. Pollock (Hg.), Diving for Science 2009, [Proceedings of the American Academy of Underwater Sciences 28th Symposium], Dauphin Island 2009, 112-124, 117.

¹⁶⁶⁷ Zbigniew Szydlo, Water which does not wet hands: The alchemy of Michael Sendivogius, Warschau 1994, 380.

¹⁶⁶⁸ McKie, Fire and the Flamma Vitalis, 471.

dazu, die von einigen geäußerte Meinung zu akzeptieren, dass Luft notwendig sei „to ventilate, and cherish the vitall flame, which they do suppose to be continually burning in the heart“¹⁶⁶⁹.

Hooke befasste sich parallel zu Boyle mit dem Problem der Atmung. Immer wieder führte er dazu Experimente bei Sitzungen der Royal Society durch, seziierte Tiere nach Druck- und Unterdruckexperimenten, und versuchte sie auch, künstlich zu beatmen. Bei dem Meeting am 2. November 1664 führte er beispielsweise einen Schlauch in die Luftröhre eines Hundes ein und beatmete ihn durch einen Blasebalg.¹⁶⁷⁰ Damit zeigte er auf experimentellem Weg, dass komprimierte Luft atembar ist, was auch für das Tauchen eine wichtige Fragestellung war.

Lange standen Boyle und Hooke vor dem Rätsel, weshalb Tiere wie Insekten weiterleben konnten, obwohl sie im gleichen Behälter eingeschlossen waren, in dem eben eine Flamme verloschen war, und nach der bislang gängigen Theorie damit die Luft „verdorben“ und unatembar hätte sein müssen. Ihr Lösungsansatz war, dass es wohl zwei Substanzen in der Luft geben muss - eine, die eine Flamme am Brennen hält, und eine andere, die für das Leben erforderlich ist. Die erstgenannte Substanz würde demnach zuerst aufgebraucht werden.¹⁶⁷¹ Für Verwirrung führte bei Boyle auch die Tatsache, dass Pulver nicht im Vakuum zu brennen schien, aber unter Wasser, was nach seiner Theorie, wonach Luft für eine Verbrennung erforderlich ist, nicht möglich sein sollte.

Am 26. Juni 1672 berichtete Hooke bei einem Meeting der Royal Society, er sei der Ansicht, der Hauptzweck der Atmung sei, „that by the air something essential to life might be conveyed into the blood; and something that was poisome to it, be discharged back into the air“¹⁶⁷². Dies war eine genaue Beschreibung der Funktion der Atmung, lange bevor ihre Chemie oder Physiologie bekannt wurde.

Wie ratlos und geradezu verwirrt Boyle über die genaue Zusammensetzung der Luft und ihrer Eigenschaften noch 1674, nach über 15jähriger intensiver Forschung, war, zeigt ein Absatz in seinem Werk: „For this is not, as many imagine, a Simple and Elementary Body, but a confused Aggregate of Effluviiums from such differing Bodies, that, though they all agree in constituting, by their minuteness and various motions, one great mass of Fluid matter, yet perhaps there is scarce a more heterogeneous Body in the world“¹⁶⁷³. So erfolgreich Boyle bei

¹⁶⁶⁹ Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical*, 108.

¹⁶⁷⁰ Birch, *History of the Royal Society*, Volume 1, 482.

¹⁶⁷¹ McKie, *Fire and the Flamma Vitalis*, 481.

¹⁶⁷² Birch, *History of the Royal Society*, Volume 3, 55.

¹⁶⁷³ Robert Boyle, *Suspitions about some Hidden Quantities of the Air etc.* (1674), in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle*, New Edition Vol. 4, London 1772, 85-96, 85.

der physikalischen Erforschung der Gasgesetze auch gewesen war, so sehr scheiterte er bei der chemischen Erforschung. Die Experimente mit Luftpumpen stießen hier an ihre Grenze.

In diesen Jahren führte auch John Mayow (1641-1679), ein Chemiker aus Oxford und Mitglied der Royal Society, Experimente zu den Eigenschaften von Luft und der Atmung durch. Mayow veröffentlichte zwei Bücher, beide in lateinischer Sprache, wie es damals für medizinische Bücher und für wissenschaftliche Arbeiten noch üblich war. Beide Bücher wurden nur sehr knapp in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* besprochen.¹⁶⁷⁴ Mayow wurde erst 1678, und zwar auf einen Vorschlag von Robert Hooke, Mitglied der Royal Society. Bis dahin gehörte er keiner Gruppe an, sondern führte seine Forschungen ohne institutionelle Anbindung durch.¹⁶⁷⁵

In seinem zweiten Werk *Tractatus quinque medico-physici* von 1674 widmete sich Mayow ausführlich der Problematik von Atmung und Atemgas, und berichtete von den Ergebnissen seiner Experimente dazu. Es wurde in verschiedene Sprachen übersetzt (Englisch, Deutsch, Französisch, Holländisch) und erschien in mehreren Auflagen. Unter anderem griffen Joseph Priestley¹⁶⁷⁶ (1733-1804), sowie Stephen Hales¹⁶⁷⁷ auf Mayows Forschungen zurück.

Anders als Boyle und Hooke verwendete Mayow für seine Experimente keine Luftpumpe, sondern in Wasserbecken eingetauchte Glasglocken (Abbildung 37).¹⁶⁷⁸ Mayows Erkenntnisse über Verbrennung und Atmung waren weitgehend von Boyle und Hooke unabhängig.¹⁶⁷⁹ Mayow zeigte im Gegensatz zu Boyle auf, dass Feuer nicht durch die Luft als Ganzes, sondern durch einen Teil von ihr unterstützt wird. Diesen Teil nannte er „spiritus igneo-aereus“¹⁶⁸⁰.

¹⁶⁷⁴ Anonymus, Book review: An account of two books. I. Tractatus Duo, prior de Respiratione alter de Rachitide, a. Joh. Mayow, &c. Oxon. 1663, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 3 (1668) 833-834.

¹⁶⁷⁵ James Riddick Partington, The life and work of John Mayow (1641-1679), in: *Isis* 47 (1956) 217-230, 221.

¹⁶⁷⁶ Partington, The life and work of John Mayow, 226.

¹⁶⁷⁷ Pere Grapi, *Inspiring air: A history of air-related science*, Delaware 2019, 3.

¹⁶⁷⁸ Siehe John Mayow, *Tractatus Quinque Medico-Physici*, Oxford, 1674, Tafel 5. Eine detaillierte Beschreibung dieser Experimente findet sich in James Riddick Partington, *A History of Chemistry*, Vol. 2, London 1961, 593-604.

¹⁶⁷⁹ Partington, The life and work of John Mayow, 230.

¹⁶⁸⁰ Mayow, *Tractatus Quinque Medico-Physici*, 9.

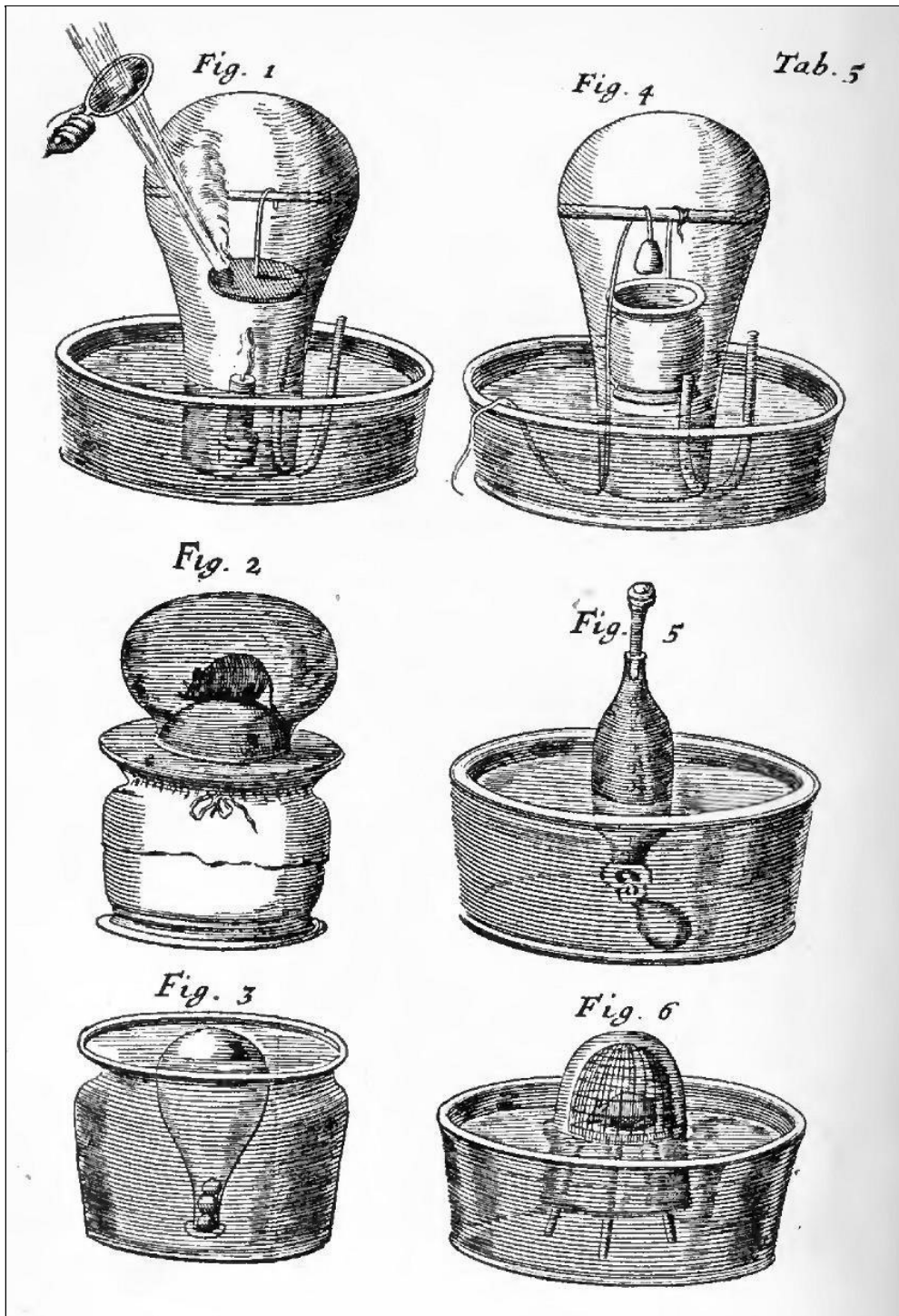


Abbildung 37: Verschiedene Experimente mit Glasglocken. Quelle: John Mayow, Tractatus Quinque Medico-Physici, Oxford 1674, Tab. 5.

Mayow konnte durch die Verwendung von Modelltaucherglocken statt einer Luftpumpe Erkenntnisse gewinnen, die Boyle und Hooke mit ihrer Luftpumpe versagt blieben: Denn nur Mayow konnte die entstehende Volumenänderungen in der Glasglocke auch messen, denn er sah, wie weit sich der Wasserspiegel darin hob, wenn man beispielsweise eine Kerze darin

verbrennen ließ oder ein chemisches Substrat darin durch eine Lupe von außen entzündete. Ließ er ein totes Tier längere Zeit in der Glocke liegen, schien ein neues Gas zu stehen, denn der Wasserspiegel sank. Mayow war über diese neue Beobachtung so erstaunt, dass er ihr ein ganzes Kapitel in seinem Buch von 1674 widmete.¹⁶⁸¹ „All these decreases in air were observable as a result of the method of experimenting over water“¹⁶⁸², so McKie. Mit einer Luftpumpe wären diese Beobachtungen nicht messbar gewesen.

Maurice Crosland bringt zum Ausdruck, dass solche einfachen aber sehr effektiven Instrumente und Hilfsmittel wie Glasglocken alles andere als trivial sind, sondern vielmehr elementar wichtig bei der frühen Erforschung der Gaschemie waren.¹⁶⁸³ Zu diesen einfachen aber sehr effektiven Vorrichtungen gehören neben den Glasglocken auch die sogenannten „Pneumatischen Wannen“, die erst durch ihre Glaswände die Beobachtung der Vorgänge innerhalb der Glasglocken ermöglichen. Boyle, Hooke und nachfolgende Forscher scheinen bereits solche von ihnen als „glass vessels“ bezeichnete Behälter verwendet zu haben, aber ihre explizite Erwähnung wird erstmals Stephen Hales zugeschrieben.¹⁶⁸⁴

Teure Instrumente wie Luftpumpen waren für die meisten Forscher nicht erschwinglich. Deshalb griffen sie auf solche einfachen Mittel wie Glasglocken zurück. Priestley beispielsweise „suffered from major financial problems, and one of the things that attracted him to pneumatic chemistry was that its study involved so little expense“¹⁶⁸⁵. Priestley war dieser Vorzug bewusst: „by working in a tub of water [...] we may perhaps discover principles of more extensive influence than even that of gravity itself, the discovery of which, in its full extent, contributed so much to immortalize the name of Newton“¹⁶⁸⁶. „So simple is the device that, having once seen it in use, we are apt to take it purely as a matter of course and rarely regard it as a supreme achievement of the inventive genius“¹⁶⁸⁷, so Holmyard zu der Bedeutung von Glasglocken und Glaswannen bei chemischen Experimenten.

Bis zu Mitte des 18. Jahrhunderts war nicht nur wenig über die genauen Bestandteile der Atemluft, sondern generell über Gase bekannt. Es war historisch ein langer Weg, Gase zu

¹⁶⁸¹ Siehe Mayow, *Tractatus Quinque Medico-Physici*, 161-171.

¹⁶⁸² McKie, *Fire and the Flamma Vitalis*, 485.

¹⁶⁸³ Siehe Maurice Crosland, „Slippery Substances“: Some Practical and Conceptual Problems in the Understanding of Gases in the Pre-Lavoisier Era, in: Frederic L. Holmes / Trevor H. Levere (Hg.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, Cambridge 1999, 79-104.

¹⁶⁸⁴ Siehe John Parascandola / Aaron J. Ihde, *History of the Pneumatic Trough*, in: *Isis* 60 (1969) 351-361.

¹⁶⁸⁵ Maurice Crosland, „Slippery Substances“: Some Practical and Conceptual Problems in the Understanding of Gases in the Pre-Lavoisier Era, in: Frederic L. Holmes / Trevor H. Levere (Hg.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, Cambridge 1999, 79-104, 91.

¹⁶⁸⁶ Joseph Priestley, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, Vol. 2, London 1775, viii.

¹⁶⁸⁷ Eric John Holmyard, *Makers of Chemistry*, Oxford 1931, 158.

isolieren, sie aufzubewahren und ihre Eigenschaften zu bestimmen. Im 18. Jahrhundert erlebte die Chemie einen rasanten Aufstieg aufgrund zunehmender Aufmerksamkeit durch Anwendungen in der Medizin und, in geringerem Umfang, dem Bergbau und dem Handwerk.¹⁶⁸⁸ In den 1770er Jahren wurden immer mehr Details über die Zusammensetzung der Atmosphäre und die chemischen Eigenschaften der Gase bekannt.¹⁶⁸⁹

Der Begriff „Gas“ wird allgemein auf den Arzt und Naturforscher Johan Baptista van Helmont (1580-1644) zurückgeführt. Er entdeckte einen „wilden subtilen Dunst“, der von erhitztem Holz und Kohle ausströmte, und nannte es in seinem posthum erschienen Buch „Gas Sylvestre“, womöglich abgeleitet entweder aus dem holländischen Wort „ghoast“ für Geist oder aus „chaos / chas / Gas“.¹⁶⁹⁰ 1776 wurde der Begriff durch den französischen Arzt und Chemiker Pierre Joseph Macquer (1718-1784) popularisiert. Er publizierte in seinem Werk *Dictionnaire de chymie* einen halbseitigen Beitrag mit dem Titel „Gas“¹⁶⁹¹. Nur zwölf Jahre später, in der zweiten, überarbeiteten und erheblich erweiterten Auflage seines Werkes von 1778 umfasste dieser Beitrag bereits fast 170 Seiten.¹⁶⁹² Daraus lässt sich der große Wissenszuwachs zu der Gaschemie in diesem vergleichsweise kurzen Zeitraum ableiten.

1766 wurde von dem britischen Naturforscher Henry Cavendish (1731-1810) Wasserstoff entdeckt. Er nannte es „inflammable air“, erkannte aber nicht, dass es sich um ein chemisches Element handelt.¹⁶⁹³ Der schottische Chemiker und Botaniker Daniel Rutherford (1749-1819) entdeckte 1772 Stickstoff.¹⁶⁹⁴ Der nächste wichtige Schritt war die Entdeckung des Sauerstoffes.

Der Chemiker Carl-Wilhelm Scheele (1742-1786) entdeckte 1772 den Sauerstoff und nannte ihn „Feuerluft, indem nur diese allein das Feuer unterhält“¹⁶⁹⁵. Die Ergebnisse seiner Forschungen erschienen aufgrund Verlagsseitiger Verzögerungen erst 1777, und damit nach der Publikation von Joseph Priestley. 1774 und unabhängig von Scheele entdeckte auch er den Sauerstoff „for the purpose of respiration, inflammation, and, I believe, every other use of

¹⁶⁸⁸ Siehe Karl Hufbauer, *The Formation of the German Chemical Community (1720-1795)*, Berkeley 1982.

¹⁶⁸⁹ Grapi, *Inspiring air*, xxvi.

¹⁶⁹⁰ Johan Baptista van Helmont, *Aufgang der Artzney-Kunst: Das ist: Noch nie erhöerte Grund-Lehren von der Natur zu einer neuen Beförderung der Artzney-Sachen so wol Die Kranckheiten zu vertreiben als Ein langes Leben zu erlangen*, Sulzbach 1683, 179.

¹⁶⁹¹ Pierre Joseph Macquer, *Dictionnaire de chymie, contenant la théorie et la pratique de cette science, son application à la physique, à l'histoire naturelle, à la médecine et aux arts dépendans de la chymie*, Tome 1, Paris 1766, 550.

¹⁶⁹² Macquer, *Dictionnaire de chymie*, Tome 2, Seconde Edition, Paris 1778, 240-407.

¹⁶⁹³ Henry Cavendish, *Three Papers Containing Experiments on Factitious Air*, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 56 (1766) 141-184, 144.

¹⁶⁹⁴ Siehe Daniel Rutherford, *Dissertatio Inauguralis de aere fixo, aut mephitico*, Edinburgh 1772.

¹⁶⁹⁵ Carl-Wilhelm Scheele, *Chemische Abhandlungen von der Luft und dem Feuer*, Uppsala 1777, 4.

common atmospherical air ... this species may not improperly be called, dephlogisticated air“¹⁶⁹⁶.

Scheele verwandte den Begriff „Luftsäure“ für Kohlendioxid. Er entsteht unter anderem bei der Ausatmung. Ein alternativer, zeitgenössischer Begriff war „fixe Luft“. Der Name weist darauf hin, dass diese „Luft“ in festen Stoffen wie den Carbonaten „fixiert“ ist und durch Erhitzen freigesetzt wird.

Für ihre Experimente zur Gaschemie verwendeten auch Scheele und Priestley, und später viele weitere Chemiker und Physiker¹⁶⁹⁷ Glastaucherglocken, in die sie Tiere hineinsetzten, und sie in der neuen Gasumgebung beobachteten.¹⁶⁹⁸ Scheele konnte durch die Verwendung einer Glasglocke auch beobachten, wie sich der Sauerstoff in der Glocke nach einer gewissen Zeit in einer Flüssigkeit löste, und der Spiegel in der Glocke stieg.¹⁶⁹⁹

Priestley trug dazu bei, die Eigenschaften von Sauerstoff und anderen Gasen in der Öffentlichkeit in den 1770er and 1780er Jahren populär zu machen. Priestley beschrieb seine Entdeckungen neuer „Lüfte“ in sorgfältig ausgearbeiteten schriftlichen Berichten und ermutigte Vortragende, sie dem Publikum vorzuführen. Seine Rhetorik zielte darauf ab, Faktenwissen an ein möglichst breites Publikum weiterzugeben. Sie konnten seine Experimente miterleben und - wenn gewünscht - reproduzieren. Dozenten, die sich bereits mit Naturphilosophie befassten wurden durch Priestley inspiriert, ihr Vortragsangebot um die Chemie der Gase zu erweitern.¹⁷⁰⁰

Die Entdeckung des Sauerstoffs 1772 wurde 1790 ergänzt durch die Forschungen von Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794). Er erkannte die Bedeutung des Sauerstoffes bei der Oxidation und auch, dass bei jeder Verbrennung Sauerstoff verbraucht wird. Lavoisier hatte berechnet, dass ein Mensch im Durchschnitt etwa 18 Liter Sauerstoff pro Stunde absorbiert, dass diese Luft durch die Atmung in Kohlendioxid umgewandelt wird und es in engen Räumen wie Taucherglocken oder Unterseebooten notwendig ist, dieses schädliche Gas mit kaustischem Soda (Natriumhydroxid) zu absorbieren. „The paper must be considered as one of the

¹⁶⁹⁶ Joseph Priestley, An Account of Further Discoveries in Air, in: Philosophical Transactions of the Royal Society 65 (1775) 384-394, 387.

¹⁶⁹⁷ Alessandro Volta, Lettere del Signor Don Alessandro Volta, patrizio comasco, e decuriore, regio professore di fisica ... sull'aria infiammabile nativa delle paludi, Mailand 1777, 9.

¹⁶⁹⁸ Scheele, Chemische Abhandlungen, 117-119.

¹⁶⁹⁹ Scheele, Chemische Abhandlungen, 44.

¹⁷⁰⁰ Golinski, Science as Public Culture, 8, 101.

foundation stones of modern physiology and an exact practical metabolic study”¹⁷⁰¹, so Duveen und Klickstein.

Als Scheele und Priestley den Sauerstoff als freies Gas und seine wichtige Bedeutung ermittelt hatten, war die Grundlage für die Verbreitung und weitere Entwicklungen in der Tauchtechnologie geschaffen. 1783 schlug der Berliner Pfarrer und Aufklärer Johann Friedrich Zöllner (1753-1804) vor, nur den reinen Sauerstoff - er nannte ihn nach Priestley „dephlogisticirte Luft“ – unter anderem beim Tauchen zu verwenden, und so die Nutzungsdauer der Taucherglocken zu erhöhen.¹⁷⁰² Zöllners Vorschlag von 1783 führte zu den Kreislaufatemgeräten für viele Einsatzzwecke wie Untertagebau, Feuerwehren, Luftfahrt und Taucherei.¹⁷⁰³

In Bezug auf den Einsatz von reinem Sauerstoff anstatt Druckluft für Tauchzwecke lag ein richtiger Gedanke zugrunde: Die atmosphärische Luft besteht zu 78 % aus Stickstoff, 21 % aus Sauerstoff sowie 1 % Edelgasen. Das bedeutet, dass etwa vier Fünftel des Atemgases beim Tauchen nutzlos mitgeführt werden. Der menschliche Organismus benötigt für die Verbrennungsvorgänge im Körper nur den Sauerstoff und atmet die anderen Gase wieder ab. Unter erhöhten Umgebungsdruck kommt als negative Begleiterscheinung noch hinzu, dass der Stickstoff die Dekompressionskrankheit und andere Probleme wie den Tiefenrausch verursacht. Allerdings ist auch ein gewisser Anteil am Sauerstoff „verschwendet“, denn der Mensch verbraucht bei einem Atemzug nur etwa drei der 21 % Sauerstoff - die restlichen 18 % werden ebenfalls wieder ausgeatmet. Rechnet man dies zusammen, werden bei freier Druckluftatmung 97 % des mitgenommenen Atemgasvolumens unverbraucht wieder abgegeben. Als Stoffwechselendprodukt atmet der Mensch neben der unverbrauchten Atemluft 3 % Kohlendioxid aus.

In einer mit reinem Sauerstoff gefüllten Taucherglocke konnte ein Mensch länger leben, als wenn sie mit Luft gefüllt wäre, da das Volumen mehrfach geatmet werden kann. Im 18. Jahrhundert war aber noch nicht bekannt, dass Sauerstoff unter erhöhtem Partialdruck zunehmend giftig (Schädigung Zentralnervensystem) und damit zu einer Gefahr für Taucher wird.¹⁷⁰⁴ Das Tauchen mit reinem Sauerstoff ist aufgrund seiner Giftigkeit unter Druck nur in

¹⁷⁰¹ Denis Ian Duveen / Herbert S. Klickstein, A Bibliography of the Works of Antoine Laurent Lavoisier 1743-1794, London 1954, 102.

¹⁷⁰² Johann Friedrich Zöllner, Lesebuch für alle Stände. Zur Beförderung edler Grundsätze, ächten Geschmacks und nützlicher Kenntnisse, 4. Theil, Berlin 1783, 252.

¹⁷⁰³ Michael Jung, Das Kreislaufgerät von Theodor Schwann, in: Divemaster 3 (1999) 63-64.

¹⁷⁰⁴ Siehe Kenneth Donald, Oxygen and the Diver, West Palm Beach 1995.

eng begrenzten Anwendungsfällen sinnvoll. Heute liegt die zulässige Tiefengrenze bei 6 Meter entsprechend dem Partialdruck von 1,6 bar.¹⁷⁰⁵

Einen konkreten Vorschlag, um die neuen Kenntnisse zu den Atemgasen in die Tauchpraxis umzusetzen, wurden 1808 von dem Chemiker C.-Antoine Brizé-Fradin (1767-?) publiziert.¹⁷⁰⁶ Brizé-Fradin entwarf eine mit Sauerstoff versorgte Taucherglocke. Er sollte in Druckbehältern innerhalb der Glocke mitgeführt werden. In gewissen Abständen, wenn der Taucher merkt, dass die Luft in der Glocke verbraucht ist, soll er Sauerstoff aus dem Behälter nachströmen lassen. Er sah auch eine Kohlendioxidabsorption durch Kalkwasser (Calciumhydroxid in Wasser) vor. Dazu hatte er einen speziellen Gastauscher erfunden, durch den das Gas durch mehrere Lagen mit Kalkwasser strömen sollte. Einige dieser Lagen bestanden aus Eiswürfel, durch die der Sauerstoff gekühlt wurde. Das Konzept war durchaus in geringer Tiefe einsetzbar, allerdings wäre es noch effektiver, wenn die Drucklufttanks nicht in der Glocke, sondern außerhalb befestigt wären, so dass der Arbeitsraum des Insassen größer ist. Heute gehören solche außenliegende Reservetanks, zumeist mit Mischgas gefüllt, zum Standard.

Brizé-Fradins Vorschlag ist sehr fundiert. So gibt er beispielsweise korrekte Zahlen für die prozentualen Volumina der Gase in der ein- und ausgeatmeten Luft an. Er ist jedoch nicht frei von Fehlern, wie etwa sein Missverständnis über die Ohrenschmerzen, die ein Taucher beim Abtauchen empfindet, und sein Vorschlag, dies zu verhindern, indem man die Ohren mit wachsgetränkter Baumwolle abdichtet.¹⁷⁰⁷ Von einem tatsächlichen Einsatz seiner Glocke gibt es keinen Nachweis. Die Grundproblematik, die Aufenthaltsdauer eines Tauchers unter Wasser zu verlängern, hat er nur eingeschränkt gelöst, denn ein mitgenommener Atemgasvorrat ist endlich, im Gegensatz zur ununterbrochenen Versorgung von der Oberfläche aus.

6.3 Serienreife Entwicklung der Taucherglockentechnik

6.3.1 England als die führende Produktionsstätte

Von dem 1689 durch Denis Papin publizierten Vorschlag, Pumpen zur Luftversorgung von Taucherglocken einzusetzen, bis zu seiner Umsetzung, dauerte es aus den zuvor geschilderten Schwierigkeiten bei der Herstellung luftdichter Schläuche fast 100 Jahre. Aufgegriffen wurde diese Idee 1778 durch den Bauingenieur John Smeaton (1724-1792) beim Bau der Fundamente

¹⁷⁰⁵ Michael Seidel, Thermodynamik. Band 1: Energielehre, Oldenburg 2015, 52.

¹⁷⁰⁶ C. Antoine Brizé-Fradin, La chimie pneumatique appliquée aux travaux sous l'eau, Paris 1808, 153-159.

¹⁷⁰⁷ Brizé-Fradin, La chimie pneumatique, 182.

der Hexhambrücke in Nordostengland. Sie verbindet Hexham mit dem Tal North Tyne und spannt sich mit neun Bogen und 200 Meter Länge über die Tyne. Der Bau der Hexhambrücke markiert das Ende der mit Luftfässern versorgten Taucherglocken und leitet über zu den noch heute gebräuchlichen Senkkästen mit Schleusen, wegen ihrer viereckigen Form auch „Caissons“¹⁷⁰⁸ (frz. Kasten) genannt.

Zwischen 1767 und 1774 waren bereits Versuche, Brückenpfeiler in der Tyne zu errichten, gescheitert, da der Grund dort zu unstabil war. Um eine sichere Konstruktion zu errichten, mussten die Pfeiler wesentlich tiefer im Flussboden eingesenkt werden. Dazu waren aber umfangreiche Fundamentlegungen direkt auf dem Grund erforderlich. Smeaton beschloss, jeden Pfeiler mit Spundwänden zu umgeben, die innen mit Mauerwerk und außen mit massivem Geröll gefüllt waren, um die Pfeiler zu schützen. Um an der Aufstandsfläche des Pfeilers zu arbeiten, musste das Wasser aus diesem Bereich entfernt werden. Smeaton kam auf die Idee, dafür eine Taucherglocke zu verwenden, die bündig bis auf den Grund abgesenkt wurde, und das Wasser darin völlig auszupumpen. So konnten die Arbeiten im Trockenen stattfinden.

Smeaton wurde 1753 zum Mitglied der Royal Society gewählt und befasste sich in diesen Jahren unter anderem intensiv mit Verbesserungen an der Luftpumpe. Er beschrieb sie 1753 in den *Philosophical Transactions of the Royal Society*.¹⁷⁰⁹ Sie bestanden vor allem durch die Verwendung eines neuen Ventils, das sehr wenig Platz einnahm. Ein weiterer Vorteil von Smeatons Konstruktion war die Anordnung der Ventile, die es ermöglichte, die Pumpe durch Drehen eines einzigen Hahns sofort vom Aussaugen zum Komprimieren umzuschalten. Weitere wichtige Arbeiten Smeatons umfassten Verbesserungen an Wasserräder, für die er 1759 die Copley Medaille der Royal Society erhielt.

Am 16. September 1778 schrieb Smeaton an den Bauleiter Jonathan Pickernell (ca. 1765-1814) und wies ihn an, eine rechteckige Taucherglocke aus Holz herzustellen, die auf den Boden aufgesetzt werden konnte, und in der der Arbeiter trocken „do his business with almost as much facility as if the water were pumped out to the same level“¹⁷¹⁰. Als Ersatz für die traditionellen Blasebälge die „cumbersome and unhandy“ sind, soll eine Kolbenpumpe verwendet werden, die nicht nur den Arbeiter im Innern ständig erfrischt, sondern auch die

¹⁷⁰⁸ Mascret, L'aventure sous-marine, 72.

¹⁷⁰⁹ Siehe John Smeaton, A letter from Mr. J. Smeaton to Mr. John Ellicott, F. R. S. concerning some improvements made by himself in the air-pump, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 47 (1753) 415-428.

¹⁷¹⁰ John Smeaton, Reports of the late John Smeaton: made on various occasions, in the course of his employment as a civil engineer, Vol. 3, London 1812, 279.

Luft, die durch die Fugen der hier erstmals „air-cheft“¹⁷¹¹ (Luftkasten) genannten Taucherglocke entweicht, wieder auffüllt.

Die Problematik einer undichten Schlauchverbindung zwischen Pumpe und Taucherglocke umging er, indem er auf sie verzichtete und die Pumpe direkt auf das Dach der Glocke montierte, das wegen der geringen Tiefe aus dem Wasser ragte. Ein Rückschlagventil verhinderte, dass Luft bei einem Defekt aus der Glocke entwich.¹⁷¹² Die Beleuchtung des Arbeitsfläche sollte durch Kerzen und Glasscheiben auf der Oberseite der Glocke erfolgen.

Smeaton gibt Pickernell sehr genaue und vollständige Anweisungen zur Konstruktion der Glocke und ihrer Pumpe, und geht davon aus, dass die Arbeiter zunächst aus Furcht zögern würden, sie zu benutzen. Ein Tauchgang mit der Glocke wäre aber nicht gefährlicher als eine Grubenfahrt mit einem Förderkorb: „Were I with you when it is put in use, I should be the first to go down in it, as there is no more danger [...] than being let down into a coal pit by a rope; and if it shall happen that all your masons are too fine fingered, I fancy a couple of colliers to take turn and turn, will find it a very comfortable job; a particular encouragement must however I expect be given“¹⁷¹³.

Die Arbeitskultur von Taucherglockenarbeiter wies, anders als bei späteren Helm- und Schwimmtauchern, noch große Ähnlichkeit mit der von Bergarbeitern unter Tage auf: ihr Arbeitsraum war beengt, schlecht beleuchtet und die Luft erwärmte sich schnell. Geräusche von oben waren kaum oder gar nicht wahrnehmbar. Die Kommunikation nach oben war nur sehr eingeschränkt möglich, und für den Weg zwischen Oberfläche und Arbeitsplatz war stets eine Fahrt erforderlich. Die Luft konnte unatembarm werden. Auch Bergleute mussten ständig auf die hier „Wetter“ genannte Luftqualität in ihrer Arbeitsumgebung achten. Möglicherweise ist diese Ähnlichkeit der Arbeitsbedingungen ein Grund dafür, dass es - außer der Überwindung einer allgemeinen Furcht und Platzangst - keiner besonderen Ausbildung für das Arbeiten in Taucherglocken bedurfte. Selbst eine Schwimmfertigkeit war beim Glockentauchen nicht erforderlich.

Die Arbeitsschicht von Glockentaucher unter Wasser dauerte in der Regel 5 Stunden. Dann wurden die Arbeiter gegen eine neue Gruppe ausgetauscht. Sie konnten auch im Winter im kalten Wasser arbeiten, denn die Luft in der Glocke erwärmte sich schnell, so dass es zu keiner

¹⁷¹¹ Smeaton, Reports of the late John Smeaton, Vol. 3, 280.

¹⁷¹² Michael Fardell, Diving Bells and the Post Office. The construction of a new wharf at Hobbs' Point, Milford Haven for the Post Office Packet Boat service, 1829-1834, in: The International Journal of Diving History 9 (2017) 3-27, 26.

¹⁷¹³ Smeaton, Reports of the late John Smeaton, Vol. 3, 281.

Auskühlung kommt. Der gravierendste Unterschied zwischen Bergleuten und Glockentauchern war der Umgebungsdruck, dem die Taucher ausgesetzt waren, und der eine Anpassung und Gewöhnung erforderte: „Im Allgemeinen klagen die Arbeiter nicht über Kopfschmerzen, ausgenommen diejenigen die noch nicht lange dabei sind, doch geht dies bald vorüber. Taub wird keiner von den Arbeitern - man könnte die Taucherglocke sogar in einigen Fällen als Kur gegen Taubheit anwenden“¹⁷¹⁴.

Dieser erhöhte Druck hatte allerdings bei einer längeren Wirkdauer biochemische Auswirkungen im Körper, die zu Irritationen und Beschwerden führen können. Dies wurde erst Ende des 19. Jahrhunderts durch die Forschungen von Paul Bert (1833-1886) bekannt.

Die Fundamentarbeiten der Brückenpfeiler wurden 1779 erfolgreich durchgeführt, und die Brücke 1780 für den Verkehr freigegeben. Am 10. März 1782 kam es jedoch zu einem heftigen Schneefall, gefolgt von einem starken Sturm. Die Täler des nördlichen und südlichen Tyne wurden überflutet, und die neun Brückenbögen stürzten vollständig um. Ein Neubau der Brücke wurde in Angriff genommen, allerdings an einer anderen Stelle als zuvor und durch einen anderen Konstrukteur.

Im gleichen Zeitraum wie Smeaton in England beschäftigte sich der Physiker Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) in Frankreich auf theoretischer Basis mit dem Einsatz einer Taucherglocke für Unterwasserarbeiten. Sie war jedoch, verglichen mit derjenigen von Smeaton, technisch rückständig, denn er verwendete Blasebälge statt leistungsfähige Kolbenpumpen.¹⁷¹⁵ Bei der Berechnung des Atemluftverbrauches der Arbeiter stützt sich Coulomb auf Angaben, die John Theophilus Desaguliers und der Mediziner Pieter van Musschenbroek (1692-1761) gemacht hatten.

Smeaton führte nach der Hexambrücke weitere Bauprojekte durch, und hatte 1788 beim Bau der Hafenanlage von Ramsgate an der Ostküste Englands erneut die Gelegenheit, eine Taucherglocke zu verwenden. Smeaton musste einige große Steine unter dem Ende des Piers im Hafen von Ramsgate entfernen. Da er bezweifelte, dass es mit der üblichen Methode durch Greifer gelingen würde, „this occasioned me to turn my thoughts upon a diving machine I had formerly made use of with success, in doing works under water to a certain depth“¹⁷¹⁶.

¹⁷¹⁴ Anonymus, Die Taucherglocke, in: Karlsruher Unterhaltungs-Blatt 2 (1829) 181-184, 184.

¹⁷¹⁵ Charles-Augustin de Coulomb, Recherches sur les moyens d'exécuter sous l'eau toutes sortes de travaux hydrauliques sans employer aucun épuisement, Paris 1779, 3.

¹⁷¹⁶ John Smeaton, An historical report on Ramsgate harbour: written by order of, and addressed to the Trustees, London 1791, 70.

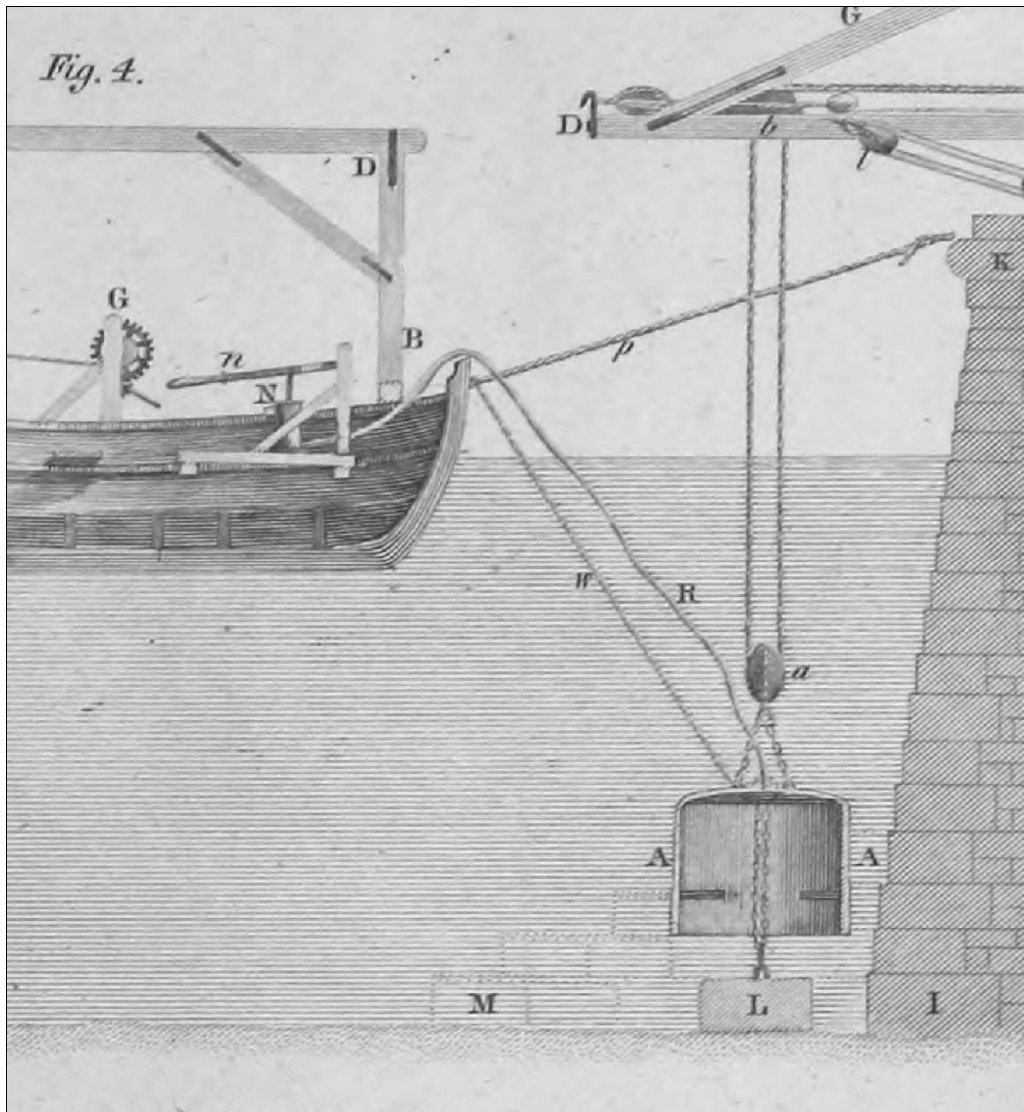


Abbildung 38: Taucherglocke von John Smeaton für die Arbeiten in Ramsgate (1788). Quelle: David Brewster (Hg.), *The Edinburgh Encyclopaedia*, Vol. 7, Edinburgh 1832, Tab. 222, Fig. 4.

Für seine Arbeiten in Ramsgate ließ Smeaton eine neue Glocke anfertigen (Abbildung 38). Es handelte sich um einen quadratischen Kasten, und abweichend von allen früheren Glocken war sie nicht aus Holz oder Stahlplatten, sondern aus Gusseisen. In ihr konnten sich zwei Arbeiter gleichzeitig aufhalten. Die Glocke wurde von einer auf einem Boot angebrachten Kolbenpumpe mit Luft versorgt. Sie wurde zwischen dem 6. und 12. Juli 1788 mit Erfolg getestet, und bis Ende August wurden mit ihr 100 Tonnen Steine, von denen einige mehr als eine Tonne wogen, gehoben.¹⁷¹⁷ Ohne Einsatz der Glocke wäre dies nicht in solch kurzer Zeit möglich gewesen.

¹⁷¹⁷ Smeaton, *An historical report*, 71.

Im August 1789 äußerte das Baukomitee den Wunsch, die Arbeit innerhalb der Glocke selbst kennenzulernen, und so stieg Smeaton mit dem Leiter des Komitees, Alexander Aubert (1730-1805), in die Glocke und blieb eine Dreiviertelstunde lang, und damit deutlich länger als geplant, unten. An der Oberfläche machte man sich inzwischen Sorgen.¹⁷¹⁸

Da die Wassertiefe bei Ramsgate mit etwa 6 Meter tiefer war als bei der Hexambrücke, wurde die Pumpe von dem Glockenoberteil auf ein Boot an der Oberfläche verlegt, wodurch Smeaton zum ersten Mal eine Luftzufuhr von einer separaten Pumpe über einen Schlauch in eine Taucherglocke bewirkte.¹⁷¹⁹ Da er nur wenige Meter lang war, konnten die Pumpen den durch Leckage entstehenden Luftverlust ausgleichen.

Smeaton hatte damit gezeigt, dass es möglich war, eine Pumpe und einen Schlauch zu konstruieren, die in der Lage waren, eine Taucherglocke mit Druckluft zu versorgen. Die problematischste Strecke bei der Schlauchversorgung waren die ersten 10 Meter von der Oberfläche in die Tiefe, da hier die größte Druckdifferenz zwischen der Luft im Schlauch und dem Umgebungsdruck herrscht. War diese Strecke ohne Leckage überstanden, wurde es mit zunehmender Tiefe wegen des sich immer mehr angleichenden Druckes zunehmend risikoloser.

Dieser Erkenntnis folgend, schlug 1803 Robert Healy „a new Method of supplying Diving-bells with fresh Air“¹⁷²⁰ vor. Die Luftzuführungsleitung sollte aus zwei Teilen bestehen: Zunächst ein stabiles Rohr, das von der Pumpe bis zur Glocke führte, und das dann in einen flexiblen Schlauch übergeht, der von unten in einem Bogen die Glocke geführt wird. Durch die Verwendung des Rohres wurde die problematische Strecke von der Oberfläche bis zur Glocke, wo die größte Druckdifferenz zwischen dem Innenraum des Schlauches und dem Umgebungswasser herrscht, sicher und ohne die bei einem Schlauch übliche Leckage überbrückt. Ein Schlauch wurde erst eingesetzt, wenn die Druckdifferenz minimal geworden ist.

Smeatons Arbeiten in Ramsgate waren ein Meilenstein auf dem Weg zur standardmäßigen Verwendung von Druckluft unter Wasser. Das Verfahren war zwar schon früher für den Einsatz bei Taucherglocken erdacht und von Smeaton erprobt worden, öffnete aber nun den Weg auch für andere Einsatzzwecke wie den oberflächenversorgten Helmtauchanzug. Damit war der weitere Kurs festgelegt, den die Entwicklung des Tauchens im 19. Jahrhundert nehmen sollte.

¹⁷¹⁸ Smeaton, An historical report, 77.

¹⁷¹⁹ Phillips, Diving and Underwater Technology, 660.

¹⁷²⁰ Robert A. B. Healy, An Account of a new Method of supplying Diving-bells with fresh Air, in: The Philosophical Magazine 10 (1803) 9-11.

Smeaton entwarf 1788 die erste Glocke aus Gusseisen, und markierte damit einen zweiten Meilenstein in der Tauchtechnologie. Bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts blieb Gusseisen der Werkstoff der Wahl für Taucherglocken. Frühere Glocken, wie etwa die von Charles Spalding, waren aus Holz gefertigt. Dies hatte zum Nachteil, dass sie schnell undicht wurden, und mit Gewichten beschwert werden mussten, damit sie sanken. Die Herstellung von Bleiglocken war aufwändig und teuer. Eisengussglocken sanken durch ihr eigenes Gewicht und benötigten keine Zusatzgewichte.

Das Gießen von Eisen in einer einzigen großen Form ist eine Technologie, die erst Ende des 18. Jahrhunderts in England aufkam. Wichtig war die gleichmäßige Aufrechterhaltung der Temperatur des flüssigen Metalls während des Prozesses, und eine gleichmäßige und kontrollierte Abkühlung, damit keine Spannungen im Werkstoff auftreten, die zu Rissen führen. Der Taucherglockenguss entstand als Potrieguss (engl. „Pot“ als Bezeichnung für Topf) aus dem Rohrgussverfahren. Schon Mitte des 17. Jahrhunderts gab es Gießereien, die sich auf die Herstellung von Wasserleitungsrohre spezialisiert hatten. Schließt man ein kurzes, weites Rohr auf einer Seite mit einer Kappe, hatte man einen großen Topf respektive eine Taucherglocke.¹⁷²¹

Die Entwicklung der englischen Industrie¹⁷²² in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts ist unter anderem durch die zunehmende Verwendung von großförmigen Bauteilen aus Gusseisen gekennzeichnet, wobei als der ursprüngliche Ort, an dem dies begann, die Gießerei in Ironbridge in Shropshire und den ortsansässigen Eisenproduzenten John Wilkinson (1728-1808) angesehen wird.¹⁷²³ 1756 wurden in Coalbrookdale erstmals hölzerne Straßenbahnschienen gegen Schienen aus Gusseisen ausgetauscht, und nicht weit davon entfernt überspannt ab 1779 die Iron Bridge als die erste gusseiserne Bogenbrücke der Welt den Fluss Severn.

Smeatons gusseiserne Glocke hatte keine Glockenform mehr; sie war rechteckig und hatte gerade Wände, was die Herstellungskosten ebenfalls wesentlich verringerte. Abgeschrägte Wände, wie bei den früheren Glocken, waren nicht mehr erforderlich, da durch die Pumpenleistung kein Wasser mehr in der Glocke hochstieg.

¹⁷²¹ Karl Stölzel, Gießerei über Jahrtausende, Leipzig 1978, 72.

¹⁷²² Siehe Albert Edward Musson / Eric Robinson, Science and Technology in the Industrial Revolution, Toronto 1969.

¹⁷²³ Eine Anfrage an das Ironbridge Gorge Museum Trust Ltd., inwiefern sich durch überlieferten Auftragsbücher in ihrem Archiv noch feststellen lässt, ob Smeatons Taucherglocke von 1788 eventuell in der gleichen Gießerei in Shropshire hergestellt worden sein konnte, wie die Brückenteile, konnte aufgrund des lückenhaften Archivbestandes nicht geklärt werden.

Der Eisenbahningenieur Robert Stephenson (1803-1859) erklärte 1858 Smeaton zum „greatest philosopher in our profession, that this country has yet produced. He was indeed a great man, possessing a truly Baconian mind, for he was an incessant experimenter [...] To this day there are no writings so valuable as his in the highest walks of scientific engineering“¹⁷²⁴.

Dies sollte man aus heutiger Sicht differenzierter betrachten. Der Fortschritt in der Tauchtechnologie war nicht eine Einzelleistung von Smeaton, sondern er konnte auf eine Reihe von früheren Erfindungen zurückgreifen, sowie auf technologische Verbesserungen, die ihm nun zur Verfügung standen. Es war ein „Set miteinander verkoppelter Technologien“¹⁷²⁵ (Pumpe, Schlauch, Glocke, Kran).

Die Bedeutung ausländischer Erfindungen für England war bereits Beobachtern im frühen neunzehnten Jahrhundert klar ersichtlich. John Farey Jr. (1791-1851), ein bedeutender Patentanwalt aus London, sagte beispielsweise dem Select Committee on Patent Laws im Jahr 1829, dass

„we have derived almost as many good inventions from foreigners, as have originated among ourselves. The prevailing talent of the English and Scotch people is to apply new ideas to use, and to bring such applications to perfection, but they do not imagine so much as foreigners; clocks and watches, the coining press, the windmill for draining land, the diving bell, the cylinder paper machine, [...] there are a multitude of others, that never have risen to any importance in the foreign countries where they were first imagined, because the means of executing and applying inventions abroad are so very inferior to ours“¹⁷²⁶.

Der englische Wanderdozent Adam Walker scheint nach Smeaton der zweite gewesen zu sein, der sich nicht nur theoretisch mit dem Verfahren einer Luftversorgung durch ein Pumpe auseinandergesetzt hat, sondern diese auch so konkret und praxistauglich in seinem erstmals 1799 erschienenen Vortragsmanuskript beschrieben und abgebildet hat, dass sie erfolgreich nachgebaut und eingesetzt werden konnte.¹⁷²⁷

Walker beschreibt zunächst die Taucherglocke von Edmond Halley, und gibt fälschlicherweise an, dass man unter Wasser nur die Farbe Rot sehen kann. Diese Angabe hat

¹⁷²⁴ Zitiert nach Samuel Smiles, *Lives of the Engineers: Harbours. Lighthouses. Bridges. Smeaton and Rennie*, London 1891, 177.

¹⁷²⁵ Roman Köster, *Einführung in die Wirtschaftsgeschichte. Theorien, Methoden, Themen*, Leiden 2020, 224.

¹⁷²⁶ House of Commons (Hg.), *Report from the Select Committee on the Law Relative to Patents for Inventions*, London 1829, 153.

¹⁷²⁷ Adam Walker, *A System of Familiar Philosophy, In Twelve Lectures*, Vol. 1, 2th edition, London 1802, 331-333, Tab. 21, Fig. 5.

er vermutlich aus dem Buch *Opticks* von Newton¹⁷²⁸ übernommen, und sie macht deutlich, dass Walker, zumindest bis 1799, selbst nie getaucht ist. Die Glocke von Spalding wird ebenfalls ausführlich vorgestellt, und die vermutete Unfallursache erörtert. Wie Walker schreibt, wäre man nach dem Unfall von Spalding an der *Belgioso* mit der Bitte an ihn herangetreten, eine verbesserte Taucherglocke zu bauen.¹⁷²⁹

Von der Oberfläche sollte von einer mit Rückschlagventil versehenen Pumpe durch einen Lederschlauch ständig Frischluft in die Taucherglocke gepumpt werden. Walker macht eine interessante Aussage, die darauf hindeutet, dass die so versorgte Glocke nicht nur als Aufenthalts- und Arbeitsraum genutzt werden sollte, sondern auch als offener Taucherhelm: „With this bell on his head, he can walk about several yards in a perpendicular posture; and having more easy access to pieces of wreck than in a more cumbrous bell, can fasten ropes to them, and perform any business nearly as well as on dry land. The greatest part of the wreck saved from the rich ship *Belgioso* was taken up by means of this bell“¹⁷³⁰. Dies scheint die erste explizite Erwähnung eines offenen Taucherhelmes mit Luftversorgung durch eine Pumpe zu sein, so wie er in den 1820er Jahre durch die Brüder John (1800-1884) und Charles Deane (1796-1848) in der Praxis umgesetzt wurde, und zum geschlossenen Helmtauchanzug führte.¹⁷³¹

Walker berichtet auch von der bei einem Nachttauchgang gemachten Erkenntnis, dass Fische nachts von Licht angelockt werden: „As the diver had plenty of air to spare, he thought a candle might be supported in the bell, and he could descend by night. He made the experiment, and presently found himself surrounded by fish“¹⁷³².

John Rennie entwickelte Smeatons Taucherglocke zur Serienreife weiter. Sie war nun „nearly, if not entirely, arrived at perfection“¹⁷³³. 1812 begann er zunächst mit dem Bau des Wellenbrechers vor Plymouth.¹⁷³⁴ Als 1813 Reparatur- und Erweiterungsarbeiten im Hafen von Ramsgate anstanden, baute John Rennie Smeatons gusseiserne Taucherglocke in einer etwas größeren, rechteckigen Dimension nach und setzte sie dort ein. Sie wurde jetzt nicht mehr von einem Boot aus, sondern durch einen Kran vom Pier aus abgesenkt. Frischluft wurde durch eine

¹⁷²⁸ Newton, *Opticks*, 139.

¹⁷²⁹ Walker, *A System of Familiar Philosophy*, 332.

¹⁷³⁰ Walker, *A System of Familiar Philosophy*, 333.

¹⁷³¹ Für eine überblicksartige Einführung in diese weitere Entwicklung siehe John Bevan, *The Diving Helmet*, in: *South Pacific Underwater Medicine Society Journal SPUMS* 29 (1999) 109-114.

¹⁷³² Walker, *A System of Familiar Philosophy*, 333.

¹⁷³³ Samuel Wade Smith, *Observations on diving and diving machines; with some interesting particulars relative to the machine now used in carrying on the public works in Hamoaze and Plymouth-Dock-Yard*, Plymouth 1820, 31.

¹⁷³⁴ Smiles, *Lives of the Engineers*, 324-328.

zweizylindrige Luftpumpe hinabgepumpt. 1813 führte er als Verbesserung ein Einweg-Klappenventil über dem Lufteinlass in die Glocke ein, so dass die Luft nicht zurückströmen konnte und eindringendes Wasser die Glocke flutete.

1813 war Rennie von der Royal Navy als ihr Berater für neue Bauvorhaben angestellt worden.¹⁷³⁵ Rennies Arbeiten sprachen ein internationales Publikum an, denn es scheint der erste Einsatz einer Taucherglocke bei dieser Art von Hafenkonstruktion gewesen zu sein. Auch aufgrund einiger erfolgreicher Brückenbauten erlangte Rennie in der Fachwelt wachsende Bedeutung.¹⁷³⁶ Er verwendete seine Taucherglocke beim Bau der Waterloo-Brücke (1810-1817), der Southwark-Brücke über die Themse in London (1814) sowie beim Bau der Docks in London (1819-1820) und Dublin (1820).

Rennie begann 1815, seine Taucherglocke in Kleinserie zu produzieren und zu verkaufen. 1816 waren in Großbritannien bereits vier Taucherglocken von ihm in Gebrauch: in Howth, Holyhead, Ramsgate und Plymouth, die alle unter Rennies Aufsicht nach Smeatons Entwurf gebaut worden waren.¹⁷³⁷

Rennies Glocken wurden in den nächsten Jahren auch in den meisten königlichen Werften in England und in den Kolonien verwendet, sowie bei der Perlenfischerei in Sri Lanka, in Kronstadt bei St. Petersburg, in Portpatrick in Schottland, Donaghadee in Nordirland, Howth, Dun Laoghaire, Holyhead, Whitehaven, Sunderland. Darüber hinaus wurde sie für verschiedene Einzelpersonen und Unternehmen in der Karibik sowie Südamerika produziert.

Dichte Druckluftschläuche für die Zuführung von Frischluft zu Taucherglocken schienen allerdings noch immer ein großes Problem darzustellen. Als Rennie 1817 von der englischen Marine um einen Kostenvoranschlag für die Herstellung einer Glocke gebeten wurde, die bis zu einer Tiefe von 100 Feet (ca. 30 Meter) tauchen konnte, antwortete er, dass die Herstellung einer Glocke und einer Pumpe mit ausreichender Leistung keine große Schwierigkeit darstellen würde, aber „a pipe of sufficient strength with the required elasticity is not a matter to be so easily accomplished“¹⁷³⁸. Rennie schlug der Marine zwei Arten von Verbindungen vor: eine aus Gusseisenrohren mit kugelförmigen Gelenken, oder der Einsatz eines Doppelschlauches, also zwei Schläuche, einer konzentrisch in dem anderen, wobei der Raum dazwischen mit

¹⁷³⁵ Philip MacDougall, *Granite and Lime: the building of Chatham Dockyard's first stone Dry Dock*, in: *Cantiana* 107 (1990) 173-191, 176.

¹⁷³⁶ Peter Dick, *Why the English Connection?*, in: *Historical Diving Times* 43 (2008) 50-51, 50.

¹⁷³⁷ John Rennie, *The Theory, Formation, and Construction of British and Foreign Harbours: With One Hundred and Twenty-three Engravings*, Vol. 1, London 1854, 99; Hamel, *On the diving-bell*, 24.

¹⁷³⁸ John Rennie, *The Rennie Reports* Vol. 9 (1817-1818), London 1818, 138.

einem luft- und wasserdichten Material gefüllt war. Dieses Konzept hatte Edmond Halley 1721 publiziert.

1823 ließ Charles Macintosh (1766-1843) ein Verfahren zur Herstellung eines wasserdichten Materials patentieren, das aus einer Gummischicht zwischen Stofflagen besteht und innerhalb weniger Jahre Tauchanzüge und viele andere Gegenstände des täglichen Gebrauchs revolutionieren sollte.¹⁷³⁹ Es ersetzte nicht nur die bisherigen Lederanzüge der Taucher, sondern wurde ab 1828 auch als Werkstoff für Druckluftschläuche eingesetzt.¹⁷⁴⁰ In Deutschland kam diese Neuerung „welche seit einigen Jahren die Aufmerksamkeit [...] sehr in Anspruch nimmt“¹⁷⁴¹ allerdings spät an. Der erste gummierte Schlauch wurde erst im Jahre 1865 auf dem deutschen Feuerwehrtag in Leipzig vorgestellt. Bis 1870 waren genietete Lederschläuche mit all ihren Nachteilen immer noch weit verbreitet.

Während der Hafendarbeiten in Plymouth fand auch wissenschaftliche Tauchgänge in Plymouth statt, wie etwa durch den Mathematiker und Erfinder Charles Babbage (1792-1871). Babbage tauchte 1818 gemeinsam mit zwei Freunden und John Rennies Assistent, dem Baudirektor Samuel Wade Smith im Hafenbecken, und beschrieb später die Glocke, die Abläufe und seine Eindrücke. Smith nahm Thermometer und Barometer beim Tauchen mit und korrelierte die Temperatur in der Glocke mit der Kompression der Luft und der Anzahl der Taucher.¹⁷⁴²

Babbage nahm auch an sich selbst Temperaturmessungen vor. Er beobachtet ebenso die Funktion des Kompasses in der Glocke, der unter Wasser eine Missweisung zu haben schien, und versuchte sie zu messen. Weitere Experimente von Babbage betrafen die Weiterleitung von Schall unter Wasser, und die Nebelbildung der Glockenluft beim Auftauchen. Er bemerkte, dass sich der Nebel in der Glocke bereits zu bilden beginnt, sobald die Glocke emporgezogen wird und eine Druckreduzierung eintritt, und nicht erst in dem Augenblick, wenn sie die Oberfläche durchbricht.¹⁷⁴³

¹⁷³⁹ Charles Macintosh, Patent No. 4804 (17 Juni 1823), siehe auch Woodcroft, *Titles of Patents of Invention*, 785.

¹⁷⁴⁰ W. Baddeley, *Caoutchouc Hose*, in: *Mechanics Magazine* 8 (1828) 158-159, 158.

¹⁷⁴¹ Georg Hirth, *Der sechste deutsche Feuerwehrtag zu Leipzig*, den 19. bis 22. August 1865, Leipzig 1865, 12.

¹⁷⁴² Smith, *Observations on diving and diving machines*, 38-39.

¹⁷⁴³ Charles Babbage, *Passages from the life of a philosopher*, London 1864, 210.

Der Eintrag unter „Diving-Bell“ in der *British Cyclopaedia*¹⁷⁴⁴ und der noch umfangreichere unter „Dive“ in der *Encyclopaedia Metropolitana*¹⁷⁴⁵ wurde von Babbage verfasst. Er schrieb über die Arbeit von Rennie in Ramsgate: „From this period there must be dated a new era in the art of constructing masonry under water, which, in the hands of that celebrated engineer, was successfully adapted in all the great harbours which he projected and carried into execution; thus discarding the method of laying foundations by coffer dams, an expedient always expensive, and frequently impracticable.“¹⁷⁴⁶

Taucherglocken wurden ab dem Beginn des 19. Jahrhunderts nicht nur als Standardwerkzeug bei Unterwasserbauarbeiten eingesetzt, sondern auch zum Sammeln eigener Erfahrungen für die Bevölkerung zugänglich. Das nach den tödlichen Unfällen mit Taucherglocken zum Ende des 18. Jahrhunderts geschwundene Vertrauen der Öffentlichkeit Großbritanniens in diese Technik stieg durch die zunehmenden Erfolgsmeldungen bei Unterwasserarbeiten und den Expertenstatus von Rennie wieder soweit an, dass sich auch Laien damit hinabwagten.

Neben William Frederick, 2. Duke of Gloucester and Edinburgh (1776-1834) stieg bei einer anderen Gelegenheit im November 1818 auch Erzherzog Maximilian Joseph von Österreich-Este (1782-1863) zusammen mit seinen Begleitern Ignaz Franz Graf zu Hardegg auf Glatz und im Marchlande (1772-1848) und zwei österreichischen Offizieren mit Rennies Bauleiter Smith in der Taucherglocke in Plymouth auf dem 13 Meter tiefen Meeresgrund. Maximilian befand sich auf einer Reise durch England, um dort die neuen Industrieanlagen kennenzulernen und sie nach Österreich zu transferieren. Er betätigte sich unter anderem auch als Erfinder und schuf Pläne für eine Schiffsmaschine und eine Kettenbrücke nach englischem Muster in Linz/Österreich.

In Plymouth fand Maximilian „Gelegenheit seinen Muth und seine Liebe an den Tag zu legen“¹⁷⁴⁷, wie sein Biograf kurz nach Maximilians Tod festhielt. Um zu beweisen, wie hell es in der Glocke unten auf dem Meeresgrund ist, schrieb Maximilian einen Brief während des Tauchgangs an seinen Bruder Franz IV. (1779-1846, reg. 1814-1846): „Liebster Franz! Diese Worte sind auf dem Grund des Meeres geschrieben, wo ich dich liebe, wie über dem Wasser [...] Ich wollte das Experiment selbst machen, in dieser Glocke in die Tiefe des Meeres hinunter

¹⁷⁴⁴ Charles F. Partington (Hg.), *British Cyclopaedia of the Arts and Science*, First Volume, London 1835, 433-434.

¹⁷⁴⁵ Charles Babbage, Dive, in: Edward Smedley / Hugh James Rose / Henry John Rose (Hg.), *Encyclopaedia Metropolitana or: Universal Dictionary of Knowledge*, Volume XVIII, London 1845, 157-167.

¹⁷⁴⁶ Babbage, *Encyclopaedia Metropolitana*, Volume XVIII, 160.

¹⁷⁴⁷ Johann Nep. Stöger, Maximilian, Erzherzog von Österreich-Este, Hoch- und Deutschmeister. Ein Lebensbild, Wien 1865, 80-81.

zu steigen“¹⁷⁴⁸. Auf dem Grund angekommen, suchte Maximilian sich einen Stein aus, den er mit nach oben brachte, um ihn als „memorial of his submarine excursion“¹⁷⁴⁹ aufzubewahren. Der Tauchgang dauerte eine halbe Stunde, wobei die Glocke auch wie eine Ballongondel über den Meeresgrund bewegt wurde.

Die Ehefrau eines Major Morris hatte um 1819 ebenfalls Mut, in Plymouth in Rennies Taucherglocke hinabzusteigen. Während sie unter Wasser war, schrieb sie einen Brief an ihren Vater, der mit der folgenden Epistel endete:

„From a *Belle*, my dear father, you’ve oft had a line,
But not from a *bell* under water;
Just now I can only assure you I’m thine,
Your dutiful, *diving*, affectionate daughter“¹⁷⁵⁰.

Der Bericht über diesen Tauchabstieg erschien erstmals in dem *Sporting Magazine ... to the Man of Pleasure, Enterprise & Spirit* - womit der Grundstein zum heutigen Sporttauchen gelegt worden zu sein scheint. Allerdings erschien er auf der Witzseite dieses Magazins, was den damaligen gesellschaftlichen Blick auf das Thema „Tauchen und Frauen“ veranschaulichen könnte.

Das Gerätetauchen verlor seine Schrecken im Laufe der Jahre immer weiter. Zwischen 1839 und 1859 war in der Royal Polytechnic Institution in London (heute University of Westminster) eine große Taucherglocke über einem Wasserbecken installiert, mit der Interessierte für jeweils 1 Shilling einen Tauchgang machen konnten. Luft wurde durch eine zweizylindrige Pumpe hinabgepumpt. Bereits im ersten Jahr wurden die Anschaffungskosten von 400 Pfund Sterling amortisiert, da 1.000 Pfund Sterling eingenommen wurden. Dies bedeutet, dass 20.000 Interessierte in diesem Jahr einen Abstieg mit der Glocke durchführten, also etwa 90 pro Werktag.¹⁷⁵¹

¹⁷⁴⁸ Eigene Übersetzung vom Originaltext „Carissimo Francesco! Queste parole sono scritte nel fondo del mare, ove vi amo, come sopra l’acqua.“, zit. nach Stöger, Maximilian, 81.

¹⁷⁴⁹ Smith, Observations on diving and diving machines, 41.

¹⁷⁵⁰ Anonymus, Feast of Wit, in: The Sporting Magazin or Monthly Calendar of the Transactions of the Turf, The Chase and every other Diversion interesting to the Man of Pleasure, Enterprise & Spirit 5 (November 1819) 82, Hervorhebungen im Original.

¹⁷⁵¹ John Timbs, Stories of Inventors and Discoverers in Science and the Useful Arts. London 1860, 33; siehe Alphonse Esquiros: Les Plongeurs et la vie sous l’eau, la Diving-Bell, le Diving-Apparatus et le village de Whitstable, in: Revue des Deux Mondes, 2e période 62 (1866) 312-348.

6.3.2 Ausblick: Internationaler Transfer englischer Tauchtechnologie

Nachdem Ende des 18. Jahrhunderts die mit einer Pumpe von der Oberfläche aus versorgte Taucherglocke in England zu einem Standardwerkzeug für Bergungs- und Bauzwecke geworden war, etablierte sich diese Methode auch in anderen Weltregionen. Ab dem Anfang des 19. Jahrhunderts spielte England eine bedeutende Rolle als Produzent für Tauchgeräte, und exportierte sie unter anderem in das Russische Kaiserreich. Bis dahin war man auch dort in Bezug auf Tauchtechnologie weitgehend rückständig.¹⁷⁵²

Noch im 17. Jahrhundert gab es im Russischen Kaiserreich kaum Schifffahrt und dementsprechend auch keine Küsteninfrastruktur, die sie unterstützte. Erst Ende des 17. Jahrhunderts begann sich eine Binnenschifffahrt zu entwickeln. So gab es noch keinen Bedarf und wirtschaftlichen Anreiz für die Entwicklung des Tauchens.¹⁷⁵³

Noch im frühen 18. Jahrhundert wurde im Russischen Kaiserreich nur sehr wenig Wissen zur Technik des Tauchens verbreitet. 1715 scheint zwar eine Taucherglocke bei Bergungsarbeiten an dem Schiff *Narva* bei der Insel Kotlin vor Sankt Petersburg eingesetzt worden zu sein, Details zu ihrer Herkunft oder Bauweise sind bislang nicht bekannt. Mit großer Wahrscheinlichkeit wurde sie mitsamt Bedienungsmannschaft aus einem anderen Land eingekauft.¹⁷⁵⁴

1733 erschien in der St. Petersburger *Vedomosti* eine kurze Erwähnung von Halleys Taucherglocke, und ein Bericht über griechische Schwammtaucher, die in Apnoe oder mit einfachen Taucherglocken ihre Arbeit verrichten.¹⁷⁵⁵ Dieser Artikel erwähnt auch das Boylesche Gesetz, was möglicherweise aus Edmond Halleys Bericht von 1716 in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* entnommen sein könnte.

Der Artikel in dem Journal ist ohne Angabe eines Autors, aber es gibt Hinweise, die auf eine Autorenschaft von Josias Weitbrecht (1702-1747) schließen lassen.¹⁷⁵⁶ Weitbrecht war ein Anatom aus Württemberg, der seit 1721 - zunächst als Student, später als Professor - an der Akademie in St. Petersburg tätig war. Weitbrecht korrespondierte mit vielen Wissenschaftlern,

¹⁷⁵² Pavel Andreevich Borovikov, English Influences on Russian Diving Practice, in: Historical Diving Times 41 (2007) 6-13, 6.

¹⁷⁵³ Pavel Andreevich Borovikov, Daiwing w Rossii. S 1930-ch godow do naschich dnei, Moskau 2017, 11-36.

¹⁷⁵⁴ Siehe Alexander Sledkov, Robert Crombie: A 19th Century Bell Diver in Russia, in: The International Journal of Diving History 3 (2010) 3-17, 3.

¹⁷⁵⁵ Anonymus, O Wodolasach, in: Sankt Peterburgskie vedomosti, Notes 10 (1733) 37-40; siehe Nicolay Krotkow, K istorii razvitiya vodolaznoy tekhniki [Zur Geschichte der Entwicklung der Tauchtechnik], in: EPRON, X-XII, Sewastopol 1935, 199-223, 199.

¹⁷⁵⁶ Alexander Sledkov, John Deane and the Russian Link, in: Historical Diving Times 42 (2007) 8-12, 8.

unter anderem auch mit James Jurin (1684-1750), der zwischen 1721 und 1727 Sekretär der Royal Society war, und ein weitreichendes Netzwerk von Korrespondenten führte.¹⁷⁵⁷

Mit dem zunehmenden Ausbau von Flüssen zu Schifffahrtsstraßen zu Beginn des 19. Jahrhunderts wuchs im Russischen Kaiserreich der Bedarf an Tauchtechnologie. Der Arzt und Mitglied der Petersburger Akademie der Wissenschaften Iosif Christianowitsch Hamel (1788-1862) war 1813 vom russischen Ministerium für Innere Angelegenheiten nach Großbritannien entsandt worden. Hier knüpfte Hamel Kontakte zu zahlreichen Vertretern der wissenschaftlichen Elite, widmete sich intensiv dem Studium neuer Technologien und führte verschiedene technische Experimente durch. Dabei stieß er auch auf die Taucherglocke. „When visiting the harbour which is now building at Howth, near Dublin, I wished to make myself acquainted with the manner in which the diving-bell for constructing the masonwork under water is used, and obtained permission to descend“¹⁷⁵⁸, so Hamel.

Hamel berichtete in einem Schreiben an den Schweizer Naturwissenschaftler und Wissenschaftsjournalisten Marc-Auguste Pictet-Turrettini (1752-1825), dass er aus reiner Neugierde den Abstieg durchführte.¹⁷⁵⁹ Er vermutete, dass er der erste Mensch wäre, der einen Tauchgang aus reiner Neugierde tat, und das seitdem auch Frauen den Mut hatten, eine Unterwasserreise zu unternehmen.¹⁷⁶⁰ In einer Fußnote ergänzte Hamel, eine dieser Damen wäre die Ehefrau von Admiral Thomas Masterman Hardy (genannt „Nelsons Hardy“, 1769-1839), einem der bekanntesten britischen Marineoffiziere des 19. Jahrhunderts.

Hamel beobachtete an sich selbst die Effekte der Druckzunahme und Druckabnahme wie Ohrenschmerzen, und beschrieb die Schwierigkeiten, die er hatte, den Druckausgleich über die Eustachische Röhre herzustellen. Diese Erfahrung brachte ihn unter anderem auf die Idee, Taucherglockenabstiege und Druckkammerfahrten als Therapie für Kranke mit Hörproblemen einzusetzen. Die Druckwechsel könnten eine befreiende Wirkung haben.¹⁷⁶¹

Bei dem Tauchgang in Howth im September 1816 wurde Hamel von dem Schweizer Arzt Louis Théodore Frédéric Colladon (1792-1862) begleitet. Colladon berichtete in einem Vortrag

¹⁷⁵⁷ Andrea Rusnock, Correspondence Networks and the Royal Society, 1700-1750, in: *The British Journal for the History of Science* 32 (1999) 155-169, 163.

¹⁷⁵⁸ Iosif Christianowitsch Hamel, On the diving-bell, as a means for curing deafness, in: *The Philosophical Magazine* 48 (1816) 22-24, 22.

¹⁷⁵⁹ Iosif Christianowitsch Hamel, Lettre du Docteur Hamel, Consciller de Cour de S. M. l'Empereur de Russie, au Professeur Pictet, sur la Cloche des plongeurs, in: *Annales maritimes et coloniales*, II. Partie, 1820, 577-581, 577.

¹⁷⁶⁰ Hamel, Lettre du Docteur Hamel, 580.

¹⁷⁶¹ Hamel, On the diving-bell, 23.

vor der Royal Society of Edinburgh ausführlich über seine Erfahrungen beim Tauchen.¹⁷⁶² Wie er schreibt, war die Glocke in London gegossen worden. Sie tauchten fast zehn Meter tief, und beobachteten die beiden Arbeiter, die sich mit ihnen in der Glocke befanden. Colladon beschrieb das System der Signale, die Arbeitsstunden, die Lohnsätze, die Ernährung der Männer, ihre körperliche Konstitution und andere Details sehr präzise.¹⁷⁶³

1825 wurde eine von John Rennie gefertigte Taucherglocke in Kronstadt bei St. Petersburg verwendet, um im Hafen Reparaturarbeiten durchzuführen. Der Kommandeur der kaiserlich russischen Marine, Adam Johann von Krusenstern (1770-1846) hatte 1815 Rennies Arbeiten in Plymouth und Ramsgate selbst besichtigt, und einen umfangreichen, positiven Bericht darüber publiziert.¹⁷⁶⁴

Rennies Taucherglocke, die er zu ihrer Bedienung zusammen mit den beiden britischen Tauchern Robert Crombie (? – 1831) und John Hannam (? -?) 1825 nach Kronstadt lieferte, war eine technisch fortschrittliche Tauchausrüstung, und einer gut entwickelten Methode zu deren Einsatz.

Der Transfer englischer Tauchtechnik nach Russland setzte sich fort, als 1838 der offene Helmtauchanzug von John und Charles Deane für das Hauptquartier der Schwarzmeerflotte in Odessa, und 1842 die geschlossenen Anzüge von Augustus Siebe für Sewastopol gekauft wurde.¹⁷⁶⁵ Bereits 1837 waren englische, offene Helmtauchanzüge erstmals in Amerika und Australien eingesetzt worden.¹⁷⁶⁶

Nicht nur in Russland, sondern auch in anderen Ländern, wie unter anderem in Frankreich, bestand Bedarf an der Verbesserung von Taucherglocken. Dort scheint vergleichsweise wenig Erfahrung mit der Taucherglockentechnologie vorhanden gewesen zu sein. Es gibt kaum Hinweise auf die Verwendung von Taucherglocken in Frankreich vor dem 18. Jahrhundert. In einem Brief von 1747 an den französischen Marinesekretär Jean-Frédéric Phélypeaux (1701-1781) beschrieb der Kommandant von der Hafenstadt Port-Louis mit einiger Skepsis eine Taucherglocke, die derzeit in Lorient gebaut werde.¹⁷⁶⁷ Sie wurde im Sommer desselben Jahres

¹⁷⁶² De Latil / Rivoire, *Man and the Underwater World*, 154; siehe Louis Théodore Frédéric Colladon, *Beobachtungen bei und über eine Fahrt auf den Boden des Meeres in einer Taucherglocke*, in: *Notizen aus dem Gebiete der Natur- und Heilkunde* 1/7 (1821) 97-101.

¹⁷⁶³ Louis Théodore Frédéric Colladon, *Narrative of a Descent in the Diving-Bell*, in: *The Edinburgh Philosophical Journal* 5 (1821) 8-15, 13-15.

¹⁷⁶⁴ Adam Johann von Krusenstern, *Über den Hafenbau in Plymouth*, in: *Gilberts Annalen der Physik* 60/10 (1818) 113-150.

¹⁷⁶⁵ Sledkov, *John Deane and the Russian Link*, 10; siehe Alexander Sledkov, *Augustus Siebe's Introduction to Russia*, in: *The International Journal of Diving History* 5 (2012) 19-22.

¹⁷⁶⁶ Des Williams, *Australia's Rich Diving Heritage Explored*, in: *The International Journal of Diving History* 6 (2013) 49-58, 49.

¹⁷⁶⁷ David, *Les précurseurs de la plongée autonome*, 28.

an der Küste von Belle-Île zur Bergung der Güter aus dem Wrack des französischen Ostindienfahrers *Le Prince de Conty* eingesetzt.

Erst 1817 wird wieder von der Verwendung einer Taucherglocke in Frankreich berichtet, diesmal im Hafen von Cherbourg. Sie war noch technisch rückständig, denn sie verwendete eine Frischluftzufuhr mittels auf und ab pendelnder Fässer.¹⁷⁶⁸ 1819 lieh man aus Großbritannien eine Taucherglocke mit Personal, um die Pfeiler der Pont de Pierre Brücke in Bordeaux zu bauen. Die Brücke über der Garonne ist etwa 487 Meter lang. Die Glocke wurde ebenfalls verwendet, um drei versunkene Schiffe in der Garonne zu bergen.¹⁷⁶⁹ Anders als in anderen technischen Bereichen, lässt sich in Frankreich in der Frühen Neuzeit kein führender Platz in der Tauchtechnologie feststellen.¹⁷⁷⁰

In Deutschland scheint erstmals ab 1845 eine durch Pumpe und Schlauch versorgte Taucherglocke eingesetzt worden zu sein.¹⁷⁷¹ Sie wurde auf der Schiffswerft von Hugh Morton & Co. bei den Leith Docks nahe Edinburgh angefertigt, war aus Gusseisen, bot zwei Arbeiter Platz und wurde von einer zweizylindrigen Pumpe an der Oberfläche versorgt. Die Glocke war mit einer stabilen eisernen Verbindungskette mit einem Schiffskran verbunden. Sie wurde im Hamburger Hafen eingesetzt, um im Verbund mit einem Dampfbagger Steine und andere Hindernisse aus der Fahrrinne zu entfernen.

Die Erkenntnis, dass fortschrittliche englische Tauchtechnologie nur sehr zögerlich im 19. Jahrhundert in das rückständige Deutschland transferiert wurde, deckt sich mit derjenigen in anderen Technikfeldern.¹⁷⁷² Eine Untersuchung der Gründe geht über dieses Forschungsprojekt hinaus, und bleibt Folgestudien vorbehalten.

¹⁷⁶⁸ Auguste-Paul-Emile Batailler, *Description générale des travaux exécutés à Cherbourg, pendant le Consulat et l'Empire, d'après les projets et sous la direction de feu J.-M.-F. Cachin*, Paris 1848, 9-11.

¹⁷⁶⁹ Jean-Baptiste-Bazile Billaudel, *Rapport*, in: *Académie royale des sciences, belles-lettres et arts de Bordeaux* (Hg.), *Séance publique*, Bordeaux 1824, 47-66, 54-55.

¹⁷⁷⁰ Troitzsch, *Technischer Wandel in Staat und Gesellschaft*, 15.

¹⁷⁷¹ Siehe Anonymus, *Die Taucherglocke zu Hamburg*, in: *Illustrierte Zeitung* 8/183 (1847) 11-12, 11.

¹⁷⁷² Toni Pierenkemper, *Wirtschaftsgeschichte: Die Entstehung der modernen Volkswirtschaft*, Berlin 2009, 95; siehe Michael Jung, *Die Entwicklung der Tauchtechnik in Deutschland bis zum 20. Jahrhundert*, Merzig 2000.

6.4 Zwischenfazit: Rechtliche Verankerung und Vermarktung

Der Schwede Marten Triewald lernte bei einem Aufenthalt in England zwischen 1716 und 1726 Halleys Tauchgerätesystem kennen, und führte ab den 1730er Jahren in Schweden im Bereich der Ostsee ein verzweigtes Bergungsunternehmen mit mehreren Stützpunkten erfolgreich ein. Dessen Weiterentwicklungen zur Reduzierung des Aufwandes sind ein gutes Beispiel für die erfolgreiche Kommerzialisierung wissenschaftlicher Kenntnisse.

Es handelte sich um eine Organisation und ein Unternehmen von großer wirtschaftlicher Bedeutung und geografischer Ausdehnung, deren Grundidee es war, schiffbrüchige Wasserfahrzeuge und ihre Ladungen zu retten und zu versteigern. Durch diese Versteigerungen des Bergegutes bekam ein zunächst negatives Ereignis, der Schiffbruch, eine positive Wende und es entstand das Recycling von Schiffen und ihrer Bestandteile. Dies bot nicht nur ökonomische Vorteile, sondern auch technologische: Knowhow und hochwertige Bauteile kamen so in den Besitz vergleichsweise rückständiger Länder. Dies war auch der Grundgedanke, weshalb Spanien bereits im 16. und 17. Jahrhundert insbesondere an der Bergung hochwertiger Bronzekanonen von englischen Schiffswracks interessiert war.

Die Probleme, die Triewald zu bewältigen hatte, waren aber nun nicht mehr nur technischer, sondern auch juristischer Natur, da das schwedische Bergerecht bislang noch keine Unterwasseraktivitäten berücksichtigte und es deshalb häufig zu Unklarheiten und Streitigkeiten kam. Nachdem die technischen und physikalischen Probleme für das Tauchen weitgehend gelöst, und Standards gefunden waren, rückten nun soziale und rechtliche Probleme in den Vordergrund.

Wissenschaftliche Forschungen zu den Atemgasen führten zu dem Sauerstoff als dem lebensnotwendigen Bestandteilen der Luft (1771 Carl Wilhelm Scheele) und der Definition der wichtigsten physikalischen Gesetze für das Tauchen in Bezug auf Druck und Volumen (1662 Boylesches Gesetz), Druck, Volumen und Temperatur (1787, Charles'sches Gesetz), Partialdrücke (1801 Dalton'sches Gesetz) und das Verhalten eines Gases in Lösung (1802 Henry'sches Gesetz).

Die Erkenntnisse der Atemgasforschung des 18. Jahrhunderts, waren nicht nur die Voraussetzung für Kommerzialisierung des Gerätetauchens, sondern legten unter anderem auch die Grundlagen für das fortgeschrittene Tauchen im 20. Jahrhundert.

Ein Problem, das erst Ende des 18. Jahrhunderts gelöst wurde, war die Luftversorgung der Taucherglocke durch Pumpe und Schläuche. John Smeaton setzte dieses Verfahren 1788 beim

Bau der Hafenanlage von Ramsgate ein und verwendete eine kurze Schlauchverbindung mit starken Pumpen. Smeatons Glocke war erstmals aus Gusseisen statt Bronze hergestellt, was eine deutliche Produktionsvereinfachung und Kosteneinsparung bedeutet.

John Rennie entwickelte Smeatons Taucherglocke ab 1812 weiter und erreichte 1815 die Serienreife. Rennies Unterwasser-Bauarbeiten in Häfen und an Brückenpfeilern erregten internationale Aufmerksamkeit, wodurch er die Tauchtechnologie in viele Länder exportieren konnte. Durch Charles Macintosh, der 1823 einen gummierte wasserdichten Baumwollstoff patentierte, konnten druckfeste Luftschläuche hergestellt werden, und damit das letzte technische Problem beim Glockentauchen beseitigt werden.

7 Fazit

7.1 Tauchtechnologie in der Frühen Neuzeit

In der Antike entwickelten griechische Schwammtaucher eine Methode, um ihre Aufenthaltsdauer unter Wasser zu verlängern. Aristoteles berichtet im 4. Jahrhundert v. Chr. von dieser Methode, bei der ein umgedrehter Kessel auf dem Meeresgrund verankert wird, und die darin eingeschlossene Luftblase im Umfeld arbeitenden Apnoetauchern als Reservoir dient. Dies war die erste wirkungsvolle Methode, um längere Zeit tauchen zu können. Bei Bedarf konnten die Apnoetaucher in den Kessel hineintauchen, Atem schöpfen, und wieder zu ihrem Arbeitsplatz zurückkehren. Diese Methode war der Ausgangspunkt für die späteren Entwicklungen in der Tauchtechnik und könnte der Natur abgeschaut worden sein, wo sie in analoger Art von der Wasserspinne angewandt wird. In den überlieferten Schriften von Aristoteles lassen sich viele Stellen finden, in denen er technische Funktionen mit Naturphänomenen vergleicht und sie daraus ableitet.¹⁷⁷³

Diese Tauchmethode unter Verwendung eines umgedrehten Luftkessels scheint im Mittelalter nicht mehr präsent gewesen zu sein, zumindest wird in keiner bekannten Quelle von ihr berichtet. Im Mittelalter galten in der westlichen Welt Meere und Binnengewässer als Teil der Unterwelt, voller Ungeheuer, in die das Landwesen Mensch nicht eindringen sollte.¹⁷⁷⁴ Statt dem Kessel werden in mitteleuropäischen Bilderhandschriften Luftsäcke, aus denen ein Taucher atmen soll, und ebenso unbrauchbare Saugrohrgeräte mit langen Schläuchen zur Wasseroberfläche, dargestellt. Über ihren praktischen Einsatz gibt es keine Nachweise, was sich auf physiologische Gründe zurückführen lässt. Da nur Saugrohrgeräte mit sehr kurzen Schläuchen (sogenannte „Schnorchel“) in geringen Wassertiefen einsetzbar waren, scheidet diese Methode, ebenso wie die erwähnten Luftsäcke, für praktische Tauchaufgaben aus.

Es lässt sich als erstes Zwischenergebnis festhalten, dass von der Antike bis zum 15. Jahrhundert außer durchweg falschen theoretischen Konzepten, die in vielen Bilderhandschriften wiederholt wurden, kein Fortschritt der Tauchtechnik zu verzeichnen ist. Stattdessen werden Apnoetaucher ohne technische Atmungs-Hilfsmittel für den

¹⁷⁷³ Siehe beispielsweise *De partibus animalium II*, in Aristoteles, *Über die Theile der Thiere*, Vier Bücher, Übers. und Hg. von A. Karsch, Stuttgart 1855, 62.

¹⁷⁷⁴ Siehe Michael Borgolte / Nikolas Jaspert, *Maritimes Mittelalter. Zur Einführung*, in: Michael Borgolte / Nikolas Jaspert (Hg.), *Maritimes Mittelalter: Meere als Kommunikationsräume*, Heidelberg 2016, 9-34.

Nahrungserwerb, die Suche nach Schmuckstücken wie Perlen und die Bergung gesunkener Güter eingesetzt.

Im 15. Jahrhundert zeigten dann die beiden in Italien tätigen technischen Autoritäten Konrad Gruter 1424 mit einem kübelartigen, nach unten offenen Taucherhelm und Mariano Di Jacopo (genannt Taccola) um 1433 mit einem ebensolchen Kübel für eine Unterwasserlaterne in ihren Schriften den aristotelischen, erfolgversprechenden Ansatz wieder auf: Das Mitnehmen eines Luftvorrates mit einem nach unten offenen Behälter. Er wird bei einer solchen Anwendung, und in größerer Bauform, als Taucherglocke bezeichnet. Es dauerte aber über hundert Jahre, bis eine solche praktische Verwendung als Taucherhelm oder Taucherglocke erstmals nachweisbar ist.

Da solche Behälter nach unten offen sind, und die im oberen Teil der Glocke durch den Wasserdruck komprimierte Luft nicht entweichen kann, können in ihr sitzende oder aufrecht stehende Taucher eine gewisse Zeit atmen. Der Luftdruck in der Glocke entspricht dem Umgebungsdruck des Wassers, dem der Körper ausgesetzt ist, so dass das Atmen nicht behindert wird. Diese Äquivalenz der Drücke innerhalb des Behälters und der Wasserumgebung ist eine zentral wichtige Erfordernis. Die mögliche Zeitdauer, für die der mitgenommene Luftvorrat ausreicht, ist abhängig von der Wassertiefe und der Schwere der Arbeit, die verrichtet wird. Mit Blick auf die inspirierenden Darstellungen von Konrad Gruter und Mariano Di Jacopo (genannt Taccola) lässt sich im 15. Jahrhundert in Italien, so wie in viele anderen Bereichen der Naturphilosophie, ein Aufblühen der Tauchtechnik verorten, zumindest lässt sich von einem ersten Anstoß sprechen.¹⁷⁷⁵

Erst im 16. Jahrhundert erfolgten nennenswerte technische Weiterentwicklungen. Es kann als Beginn des Übergang von der einfachen Tauchtechnik (Kessel, Saugrohr) zur modernen Tauchtechnologie gesehen werden, denn empirische Erkenntnisse flossen in Konstruktionen ein.¹⁷⁷⁶ Die Form der Glocke - von der zylindrischen hin zu konischen Kontur - wurde beispielsweise verbessert. Dies bringt Vorteile in Bezug auf die Höhe des Wasserspiegels in der Glocke. Ebenso lassen sich bereits Beispiele finden, wonach nicht mehr nur Glocken aus Holz, sondern auch aus Bronze Verwendung fanden. Sie sinken besser, sind sicherer gegen Luftverlust, und ihr höheres Gewicht trägt dazu bei, dass sie über dem Meeresgrund ruhiger stehen, und nicht durch Strömungen wegdriften.

¹⁷⁷⁵ Crombie, Von Augustinus bis Galilei, 330-331.

¹⁷⁷⁶ Bayerl, Technik in Mittelalter und Früher Neuzeit, 27.

Nachdem bereits im 15. Jahrhundert in Italien Kübel als offene Taucherhelme vorgeschlagen wurden, findet sich hier im 16. Jahrhundert erstmals nachweisbar auch ihr praktischer Einsatz, und zwar durch Humanisten aus wissenschaftlichem Interesse an der römischen Kultur.¹⁷⁷⁷ 1535 führte Francesco de Marchi mit dem von Etienne Guillery konstruierten Helm zwei bemerkenswerte Tauchgänge im Nemisee bei Rom durch. Er untersuchte dort versunkene römische Schiffe aus der Zeit von Kaiser Caligula und blieb lange in einer Tiefe bis zu 13 Metern. Diese Leistung ist nur mit einer zusätzlichen Frischluftversorgung denkbar. Eine neueren Hypothese zufolge könnte die Frischluftversorgung über einen Schlauch von einer Pumpe oder Blasebalg aus erfolgt sein.

Zur Absicherung der erwähnten Hypothese wäre eine weitere Quellensuche in italienischen Archiven möglicherweise lohnend. Der Erfinder Etienne Guillery legte großen Wert auf die Geheimhaltung seiner Methode der Frischluftzufuhr, und verpflichtete auch Francesco de Marchi dazu. Eine Luftversorgung seines Helms durch einen Schlauch und Blasebalg ist, bis zum Fund eines eindeutigen Nachweises, deshalb nur eine vorläufige Erklärung.

Zu erwähnen ist neben den beiden Tauchgängen im Nemisee 1535 das 1551 von Niccolò Tartaglia in *Regola generale* vorgeschlagene Konzept eines stationären Arbeitsraumes unter Wasser, der einen ganzen Menschen aufnehmen konnte. Der von Aristoteles vorgeschlagene Luftkessel wird bei ihm nicht nur als Helm eingesetzt, sondern in einer vergrößerten Bauform als vollständige, nach unten offene Schutzhülle erweitert. Der bereits in der Alexandererzählung aufgeführte Beobachtungsraum erlebte so eine Wiedergeburt.¹⁷⁷⁸ Solche Konstruktionen wurden im 20. Jahrhundert als Unterwasserhaus bezeichnet und bei Forschungen zum Sättigungstauchen eingesetzt. Auf Tartaglias Publikation und ihre Bedeutung wird später nochmals eingegangen.

In Italien konnte bislang nach diesen ersten, durchaus wichtigen Impulsen im 16. Jahrhundert keine weitere Entwicklung der Tauchtechnik festgestellt werden. Gründe für die Stagnation der Tauchtechnologie lassen sich nur mutmaßen, und könnten neben der strikten Geheimhaltung technischer Details unter anderem in der Hemmung der Forschung und ihrer Verbreitung durch die katholische Kirche zu suchen sein.¹⁷⁷⁹

Neben Italien lässt sich fast zeitgleich ein zweites Land ausmachen, das die Taucherglocken-Technik früh kannte und einsetzte: 1538 wurde sie durch ein öffentliches Schauexperiment vor einem großen Publikum, zu dem auch Kaiser Karl V. mit seinem Hof gehörte, durch zwei

¹⁷⁷⁷ Siehe Eamon, Court, Academy, and Printing House, 25-50.

¹⁷⁷⁸ Walz, Alexanders Tauchfahrt, 57.

¹⁷⁷⁹ Kern, Wissenschaftliche Instrumente, Zweiter Band, 73.

Griechen in Toledo bekannt gemacht. Karl V. gewährte einem der Griechen anschließend ein auf zehn Jahre gültiges Privileg für das spanische Territorium. Es lassen sich einige Augenzeugen als Nachahmer ausmachen, wie etwa Gabriel de Guzman, der 1549 nach Auslaufen des Privileges diese Idee sich zuschreiben ließ.

Geht man davon aus, dass die Taucherglockentechnologie 1538 durch die vorführenden Griechen erstmals in Spanien bekannt gemacht wurde, könnte man hier von einem länderübergreifenden Transfer durch Migration von Experten sprechen, wie er häufig im 16. und 17. Jahrhundert zu finden ist.¹⁷⁸⁰

Nach heutiger Denkart hätte die Vorführung in Toledo zu einer Initialzündung für eine großflächige Anwendung dieser Technik werden müssen, denn Spanien war mit Abstand dasjenige Land, welches zu dieser Zeit den größten Bedarf an einer effizienten Tauchtechnik hatte.

Viele mit Silber aus der Neuen Welt beladene spanische Galeonen versanken in tieferen Regionen, oder lagen, in mehrere Teile zerbrochen, über eine größere Fläche verstreut auf dem Meeresboden. Hier hätte eine Taucherglocke bei der Suche und Bergung einen bedeutenden Vorteil gebracht. Doch Taucherglocken, im 16. Jahrhundert das modernste und sicherste verfügbare Tauchgerät, wurden in Spanien kaum verwendet, obwohl das theoretische Wissen - noch nicht in der Fläche aber bei einzelnen Experten - um sie vorhanden gewesen war. Die Gründe dafür können einerseits in mangelndem Fachwissen für eine sachgemäße Anwendung, aber auch in den hohen Produktionskosten der Taucherglocken gesucht werden. Gute Taucherglocken waren aus Bronze gegossen, aber diese Legierung aus den Metallen Kupfer und Zinn war besonders in Spanien eine Mangelware, musste importiert werden und wurde in Spanien vornehmlich für den Guss von Schiffskanonen benötigt. Spaniens Wirtschaftspolitik wurde in dieser Periode von dieser militärischen Ausrichtung bestimmt.¹⁷⁸¹

Neben dem wirtschaftlichen Aspekt, also der Suche nach Perlen sowie der Bergung von Edelmetallen aus der Neuen Welt, wird in Spanien der militärische Aspekt von Taucheinsätzen besonders augenscheinlich, denn das Ziel von Bergungstätigkeiten war oftmals nicht nur eine wertvolle Ladung, sondern auch die Kanonen des Schiffes. Das vor allem in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts in ständige Kriege verwickelte Spanien war in der Gusstechnologie und der Ausstattung ihrer Schiffe mit Kanonen rückständig, und so bedeuteten vom Meeresgrund gehobene Bronzekanonen die Nutzbarmachung eines Vorteils, denn die Kanonen konnten

¹⁷⁸⁰ Belfanti, Guilds, Patents, and the Circulation of Technical Knowledge, 583; Mokyr, Lever of Riches, 57-80.

¹⁷⁸¹ Van Nieuwenhuize, Niederländische Seefahrer, 68-73; Davids, Religion, Technology, and the Great and Little Divergences, 212.

leicht wiederverwendet werden. Tauchtechnologie war auch in dieser Hinsicht eine Quelle für militärische und politische Macht.

Weitere militärische Aspekte des Tauchens, wie die unbemerkte Näherung an ein feindliches Schiff, wurden erst ab dem 20. Jahrhundert durch die Methode des Schwimmtauchens in größerem Stil effektiv durchführbar.

Die wirtschaftliche und militärische Bedeutung der spanischen Schatzflotte und gesunkener gegnerischer Kriegsschiffe hätte eine besondere Priorität auf eine umfangreiche Grundlagenforschung und Weiterentwicklung der Tauchtechnik in Spanien legen müssen. Doch eine systematische Nutzung des Wissens erfolgte nicht, woran deutlich wird, dass es offenbar weitere Faktoren für die Auslösung einer Innovation geben muss. Innovationen lassen sich zwar häufig auf einen dringenden Bedarf zurückführen, allerdings ist dies nur einer von mehreren begünstigenden Faktoren.¹⁷⁸²

Vielversprechende neuartige Vorschläge, wie die Ergänzung einer Luftzufuhr für eine Taucherglocke durch einen Blasebalg 1606 von Jerónimo de Ayanz y Beaumont, blieben in Spanien ohne praktische Umsetzung, denn er verblieb ungedruckt und unkommuniziert in einem spanischen Behördenarchiv. De Ayanz schrieb seinen Essay zu einem Zeitpunkt und in einer Atmosphäre, in der sich Spanien bereits in einer Phase des allgemeinen technologischen Stillstandes und der Dekadenz befand, die sich unter anderem auch auf die stark einschränkenden Maßnahmen der spanischen Inquisition zurückführen lässt.¹⁷⁸³

Taucherglocken wurden in Spanien und der Karibikregion im 16. und 17. Jahrhundert nur sehr vereinzelt eingesetzt. Immerhin entstand bei spanischen Bergungsarbeiten in der Karibik um 1626 durch Konversion eine neue Methode, als eine Taucherglocke in der Art einer Beobachtungsgondel eingesetzt wurden, um den Meeresgrund nach Wracks abzusuchen. Die Methode fand später eine sinngemäße Fortsetzung bei den Heißluft- und Gasballons der Luftschiffer.

Als Fazit aus den bisherigen Erkenntnissen lässt sich festhalten, dass Italien und Spanien im 16. und dem beginnenden 17. Jahrhundert die Übernahme einer Schrittmacherrolle für die Tauchtechnik versäumt haben. Es fehlten dafür begünstigende soziokulturelle Rahmenbedingungen, wie sie heute mit dem übergeordneten Begriff der „Innovationskultur“ bezeichnet werden.¹⁷⁸⁴ Subsummiert werden darunter Eigenschaften wie etwa eine

¹⁷⁸² Moky, *Lever of Riches*, 151.

¹⁷⁸³ Kamen, *Die spanische Inquisition*, 83-121.

¹⁷⁸⁴ Rammert, *Technik und Innovation*, 291-319.

gesellschaftliche Offenheit und internationale Wissensvernetzung. Ebenso müssen ausreichend Geldmittel für Investitionen verfügbar sein. Diese Erkenntnis deckt sich, vor allem was Spanien anbetrifft, mit der in anderen Technologiefeldern gemachten Erkenntnis wie etwa in Bezug auf die Dampfmaschine, deren theoretisches Grundkonzept in Spanien bereits Anfang des 17. Jahrhunderts bekannt war, aber nicht nutzbar gemacht wurde.¹⁷⁸⁵

Aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung kann für das 16. Jahrhundert in Bezug auf die Entwicklung der Tauchtechnologie die Aussage getroffen werden, dass die Methode des Gerätetauchens von einzelnen Gelehrten und Fachleuten als Nutzbringend aufgegriffen und vor allem in Italien auch publiziert wurde, allerdings bis auf sehr wenige Ausnahmen noch keine Übernahme in die Praxis erfolgte. Innovationen in der Tauchtechnik lassen sich im 16. Jahrhundert nicht verorten. Insgesamt lässt sich für das 16. Jahrhundert verzeichnen, dass es zu einer Stagnation der technischen Entwicklung kommt.¹⁷⁸⁶

Für die publizistische Verbreitung des Wissens über die Taucherglocke spielte das bereits erwähnte, 1551 von Niccolò Tartaglia publizierte und bebilderte Werk *Regola generale* eine wichtige Rolle, denn es wurde in der Folgezeit in vielen Ländern rezipiert. Es war statt in Latein bereits in italienischer Sprache abgefasst, und mit vielen aussagekräftigen Illustrationen versehen. Dies begünstigte die internationale Verbreitung und Verständlichkeit.¹⁷⁸⁷

Das Wissen über Innovationen und neue Methoden auf dem Gebiet der Tauchtechnologie und ihre Weitergabe erfolgte ab dem 16. Jahrhundert vereinzelt über Publikationen, aber auch durch die Migration von Fachkräften, die ihr technisches Spezialistenwissen weitertrugen. Im 16. Jahrhundert scheint diese Gruppe der „technischen Intelligenz“¹⁷⁸⁸ noch den hauptsächlichen Anteil am technologischen Transfer auszumachen. Beispielhaft kann, wie bereits gesehen, neben den beiden Griechen, die 1538 in Toledo eine Taucherglocke Karl V. vorführten, auch der Sizilianer Giuseppe Bono angeführt werden, der 1581 von Florenz nach Spanien übersiedelte, und anschließend Philipp II. in Lissabon Taucherglocken vorführte und ein Privileg erhielt.¹⁷⁸⁹

Anfang des 17. Jahrhunderts standen damit dem Menschen zwei Hilfsmittel zur Verfügung, um sich gefahrlos für längere Zeit unter Wasser aufhalten zu können: Der mit kurzem

¹⁷⁸⁵ López Piñero, *Ciencia y Técnica*, 240.

¹⁷⁸⁶ Derek de Solla Price, Ups and Downs in the Puls of Science and Technology, in: *Social Inquiry* 48 (1978) 162-171, 165; Pfetsch, *Innovationsforschung in historischer Perspektive*, 124-126.

¹⁷⁸⁷ McGee, *Early Modern Machine Design*, 56.

¹⁷⁸⁸ Siehe Günter Bayerl, *Technische Intelligenz im Zeitalter der Renaissance*, in: *Technikgeschichte* 45 (1978) 336-353.

¹⁷⁸⁹ Belfanti, *Guilds, Patents, and the Circulation of Technical Knowledge*, 583; Mokyr, *Lever of Riches*, 57-80.

Luftschlauch bestückte Tauchanzug für sehr geringe Tiefen und die Taucherglocke. Diese beiden Methoden galt es weiterzuentwickeln.

Indizien zufolge könnte es von Italien ausgehend einen Transfer der Taucherglockentechnik nicht nur nach Spanien, sondern auch zu der Republik der Sieben Vereinigten Provinzen und nach England gegeben haben. Da die Republik der Sieben Vereinigten Provinzen allerdings aufgrund ihrer flachen Nordseeküste wenig Anwendungsbedarf für diese Technik hatte, gab es hier keine eigene technische Weiterentwicklungen. Dies erscheint ungewöhnlich, denn die Niederlanden hatten zu dieser Zeit auf vielerlei Technologiefeldern „technological leadership“¹⁷⁹⁰. Wie in Spanien griff man auch hier bei Bedarf auf ausländische Experten und deren Geräte zurück.

Herauszustellen ist, dass Anfang des 17. Jahrhunderts einzelne Gelehrte wie Isaac Beekman und Evangelista Torricelli wichtige Grundlagenforschung in Bezug auf die Hydrostatik leisteten. Die Druckverteilung in ruhenden Flüssigkeiten ist von besonderer Bedeutung für Taucher, da sich der hydrostatische Druck auf die luftgefüllten Hohlräume des Körpers auswirkt, und einen Druckausgleich, beispielsweise im Mittelohr, erfordert. Mit der Kenntnis dieser Naturgesetze lässt sich erklären, weshalb es einen Unterschied ausmacht, ob ein Taucher in einem Bergsee 10 Meter tief taucht, oder im Meer. Trotz gleicher Wassersäule ist der darauf lastende, unterschiedliche Luftdruck für die entstehende Wirkung im Körper entscheidend. Dies war ein besonderer Fortschritt für die theoretische Fundierung der Tauchtechnik, aber auch für die Wissenschaft im Allgemeinen. Die Ermittlung universaler Naturgesetze, hier in Bezug auf die Gasgesetze, ist eine zentrale wissenschaftliche Errungenschaft der Frühen Neuzeit.¹⁷⁹¹

Obwohl die Republik der Sieben Vereinigten Provinzen selbst wenig Anwendungsfälle für Tauchtechnik boten, scheinen sie aber als Wissensort eine wichtige Funktion besessen zu haben. Führend in Bezug auf die Tauchtechnik war Mitte des 17. Jahrhunderts das Bergungsunternehmen rund um Hans Albrecht von Treileben in Stockholm. Von Treileben brachte seine Kenntnisse zur Tauchtechnik von Reisen, die ihn auch in die Republik der Sieben Vereinigten Provinzen führten, nach Schweden.

Von Treilebens Unternehmen konnte 1658 Bergungsarbeiten an dem Wrack der *Sancta Sophia* vor Göteborg unter Zuhilfenahme einer Taucherglocke in 33 Meter Tiefe durchführen, was eine bis dahin unerreichte Leistung darstellt. Neben der großen Tiefe war auch die lange

¹⁷⁹⁰ Davids, Shifts of technological leadership, 346-349.

¹⁷⁹¹ Siehe Friedrich Steinle, From Principles to Regularities: Tracing „Laws of Nature“ in Early Modern France and England, in: Lorraine Daston / Michael Stolleis (Hg.), Natural Law and Laws of Nature in Early Modern Europe: Jurisprudence, Theology, Moral, and Natural Philosophy, New York 2016, 215-232.

Tauchdauer bemerkenswert. Über die Art und Weise, wie sie erreicht wurde, lässt sich bislang nur eine Hypothese aufstellen, denn die Recherchen brachten hierzu kein klares Bild. Dies ist deshalb ein weiterer Punkt, an dem weitere Quellensuche und zukünftige Forschungsarbeit in schwedischen Archiven zu leisten und möglicherweise lohnend wäre.

Nach den wissenschaftlich-motivierten Tauchgängen im Nemisee 1535 und der öffentlichen Tauchvorführung in Toledo 1538 können die kommerziellen Tauchgänge Treilebens an der *Sancta Sophia* 1658 als drittes, bedeutendes Ereignis für die Geschichte des Gerätetauchens in der Frühen Neuzeit eingestuft werden.

Nach einigen erfolgreichen Taucheinsätzen in Schweden um 1664 von einer Gruppe rund um Hans Albrecht von Treileben, unter anderem auch an der schwedischen Galeone *Vasa*, kam mit dem Ableben von Treileben die Entwicklung zunächst zu einem Halt. Die Arbeiten an der *Sancta Sophia* und der *Vasa* war die anspruchsvollste und erfolgreichste Operation ihrer Zeit, und blieb dies auch lange danach. Sie hatten eine positive Signalwirkung über Schweden hinaus.¹⁷⁹²

Im 17. Jahrhundert verbreitete sich in England die neue wissenschaftliche Untersuchungsmethode des empirischen Experimentes, und zunehmende Forschungen über die physiologischen Bedingungen für Menschen, unter Wasser zu tauchen und die Aufenthaltsdauer zu verlängern, gingen damit einher. Bis dahin ungelöste Fragen, wie etwa, warum Menschen nicht von dem Wasserdruck in der Tiefe zusammengedrückt wurden, oder wie sich das Luftvolumen innerhalb der Glocke mit zunehmender Tiefe verändert, wurden nun systematisch erforscht und Schritt für Schritt beantwortet. Durch diesen wissenschaftlichen Umwälzungsprozess entstand das vorwiegend auf mathematischen Grundlagen beruhende neue Wissenssystem.¹⁷⁹³

Lässt sich das 16. Jahrhundert als Übergangsphase von einfacher Tauchtechnik zur modernen Tauchtechnologie beschreiben, ist das 17. Jahrhundert ein „Schlüsseljahrhundert“ der Tauchgeschichte, denn es erfolgte in den 1660er Jahre ein Übergang vom empirischen zum wissenschaftlich fundierten Arbeiten unter Wasser und damit von dem, was wir heute als Tauchtechnologie bezeichnen. Es wurden auch bereits Grundlagen für die Entwicklungen im 20. und 21. Jahrhunderts gelegt.

Anstoß für die Forschungen zur Tauchtechnologie in England könnten Nachrichten über die sehr erfolgreichen Bergungsarbeiten in Schweden gewesen sein, die auch England

¹⁷⁹² Rogers, Diffusion of Innovations, 16, 316.

¹⁷⁹³ Troitzsch, Technischer Wandel, 199.

erreichten.¹⁷⁹⁴ Zu der Gruppe, die in Schweden tätig war, gehörten der aus Schottland stammende James Maule und der Engländer Matthew Rochford. Deren schriftliche Berichte wurden von der Royal Society of London ausführlich begutachtet.

Die Royal Society of London betrachtete das Tauchen und die Taucherglockentechnik ab 1660 aus wissenschaftlichem, aber auch ökonomischem und militärischem Interesse.¹⁷⁹⁵ Zunächst zu der wissenschaftlichen Motivation. Robert Boyle und sein Assistent, der spätere Kurator der Royal Society of London, Robert Hooke befragten neben den beiden erwähnten Bergungstauchern auch viele andere Taucher über ihre Erfahrungen unter Wasser, und versuchten die von ihnen empirisch erfahrenen Phänomene in Bezug auf die veränderten Druckverhältnisse einzuordnen und zu erklären.

Anhand von Experimenten, die Boyle und Hooke mit der damals revolutionären Forschungstechnologie der Luftpumpe durchführten, gelangten sie zu neuen Erkenntnissen, die zu allgemeingültigen Flüssigkeits- und Gasgesetzen führten. Sie waren grundlegend wichtig für das Verständnis der Vorgänge im menschlichen Körper beim Tauchen. Auf viele Erkenntnisse der 1660er Jahre, wie etwa das sogenannte Boylesche Gasgesetz, wird noch heute zurückgegriffen.¹⁷⁹⁶

Die mathematische Formulierung des Boyleschen Gasgesetzes konnte von den Tauchern der damaligen Zeit nur schwer verstanden und angewandt werden. Nachdem ein Freiwasserexperiment der Royal Society of London 1671 zeigte, dass ein Gas in 10 Meter Wassertiefe auf die Hälfte seines Volumens komprimiert wurde, und dies mit zunehmender Tiefe einem festem, allgemeingültigen Schema folgte, veröffentlichte sie ihre Ergebnisse nunmehr praxistauglich in einer tabellarischen Form. Dadurch wurden die theoretischen Erkenntnisse besser für Taucher nutzbar. Dies war eine angewandte Forschung in leicht nachvollziehbarer Form, wie sie auch in anderen Bereichen stattfand.¹⁷⁹⁷

Die 1660er Jahre waren nicht nur für die theoretischen Grundlagen, sondern auch für die Apparatechnik bedeutsam. Die Royal Society of London entwickelte ein großes Interesse an der Tauchtechnik, und dies nicht nur aus wissenschaftlichen, sondern auch aus praktischen Gründen. Wissenschaftliche Erkenntnisse sollten nach der Vorgabe des damaligen Präsidenten

¹⁷⁹⁴ Siehe Anja Hill-Zenk / Felix Sprang, Kontinentaleuropäisch-englischer Wissenstransfer und das gedruckte Buch in der englischen Renaissance, in: Johann Anselm Steiger / Sandra Richter / Marc Föcking, Innovation durch Wissenstransfer in der Frühen Neuzeit, Kultur- und geistesgeschichtliche Studien zu Austauschprozessen in Mitteleuropa, Leiden 2010, 209-248.

¹⁷⁹⁵ Sprat, The History of the Royal Society, 79.

¹⁷⁹⁶ Siehe Marie Boas, Robert Boyle and seventeenth-century chemistry, Cambridge 1958.

¹⁷⁹⁷ Siehe Benjamin Steiner, Die Fundamente der Vergangenheit. Historische Tabellenwerke und die Ordnung der Geschichte in der Frühen Neuzeit, in: Biblos 60 (2011) 33–60.

William Brouncker zu einer praktischen Anwendung gelangen, denn bei vielen Mitgliedern der Royal Society gab es Überschneidungen zwischen wissenschaftlichem und ökonomischem Interesse. Sie waren eingebunden in Marineämter oder Handelsgesellschaften, und es ging ihnen darum, England als See- und Handelsmacht zu stärken. Ihre wissenschaftliche Neugierde, unbekannte Phänomene zu finden und zu erklären, traf auf einen praktischen Bedarf.

Ging es Robert Boyle vorwiegend um die theoretische, wissenschaftliche Seite und die Grundlagenforschung, lässt sich bei Robert Hooke ein mehr praxisorientiertes Interesse an der Tauchtechnik verorten. Hooke entwickelte 1663 und 1664 eine neuartige Methode für die Zufuhr von Frischluft in Taucherglocken mit Hilfe von auf und ab pendelnden Fässern. Die Fässer wurden an der Oberfläche mit Luft gefüllt, und an einem Seil nach unten gezogen. Dort konnte die Luft aus den Fässern durch einen Schlauch in die Taucherglocke strömen. Diese Methode fand bis Mitte des 18. Jahrhunderts in der Praxis häufig Anwendung.

Hooke stellte der Royal Society auch eine Idee vor, wie ein Taucher mit einem offenen Taucherhelm die Glocke verlassen und im Freien arbeiten kann. Ebenso eine weitere Methode, bei der ein außen arbeitender Taucher aus einem autonomen Luftvorrat, der in einem Behälter gespeichert war, atmen sollte. Beide Ideen waren neuartig, ihre Weiterentwicklung wurde aber nicht bis zur Praxisreife fortgeführt. Die Forschungen der Royal Society of London waren besonders in den Anfangsjahren unsystematisch und sprunghaft, die Themen und Arbeitsaufträge an Hooke wechselten ständig, je nachdem, welche Mitglieder sich gerade bei den wöchentlichen Meetings einfanden.

Die Royal Society war in den 1660er Jahren der hauptsächliche Wissensträger und die zentrale Forschungsstelle für Tauchtechnologie, und das nicht nur für England. Sie gab beispielsweise eine Expertise für die Durchführung von Unterwasserbauarbeiten an der neuen Mole von Tanger ab.

Die gültige Lehrmeinung, wonach die Jahre zwischen 1660 und 1670 durch neue Messmethoden bestimmend für die physikalischen Meereswissenschaften waren, konnte in dieser Forschungsarbeit durch die neuen Erkenntnisse zu den Gasgesetzen auf die Tauchtechnologie ausgeweitet werden.¹⁷⁹⁸ Sie griff dadurch in die Breite.

Die Entwicklung leistungsfähiger Tauchtechnologie durch wissenschaftlich ausgerichtete, experimentelle Methoden brachte es mit sich, dass das Tauchen von einer Geheimkunst, dessen Nimbus sie bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts inne hatte, in eine fundierte, öffentliche

¹⁷⁹⁸ Deacon, *Scientists and the Sea*, 84.

Wissenschaft umgeformt wurde. Dies war nach Everett B. Rogers ein zentraler Faktor für die Entwicklung von Innovationen.¹⁷⁹⁹ Bestimmte Kulturtechniken waren für diese Entwicklung förderlich, wie etwa ein mediales und politisches Umfeld, das ausreichende Handlungs- und Meinungsfreiheit und Kommunikationsmöglichkeiten bot. Über internationale Kommunikationsnetzwerke, wie die des Sekretärs der Royal Society Henry Oldenburg wurde viel von dem neuen Wissen transferiert, diskutiert, übernommen und weiterentwickelt. Die Institutionalisierung der Wissenschaft wie der Royal Society, aber auch anderen Gesellschaften auf dem Festland, bildete den äußeren Rahmen.

Wissen zur Tauchtechnologie wurde nicht nur durch Migration von Fachleuten, Publikationen und Briefwechsel verbreitet, sondern ab dem Ende des 17. Jahrhunderts auch in zunehmendem Umfang durch öffentliche, wissenschaftliche Vorträge. Diese fanden zunächst vorwiegend in England, aber bald auch auf dem Kontinent statt. Die physikalischen Effekte des zunehmenden Druckes wurde in wassergefüllten Glasschüsseln vorgeführt, und dabei Glasmodelle von Taucherglocken eingesetzt. Das sogenannte Kerzenexperiment, bei dem eine brennende Kerze unter einer Glastaucherglocke in das Wasser abgesenkt wurde, bildete den einfachen, praktischen und augenscheinlichen Zugang zu der wissenschaftlichen Theorie. Das Archimedische Gesetz zum Auftrieb schwimmender Körper wurde mit kartesischen Tauchern visualisiert. Die Taucherglockentechnologie wurde damit durch die Vorträge, die nicht mehr nur einen kleinen Expertenkreis, sondern die breite Bevölkerung ansprach, entmystifiziert und zum zugänglichen und öffentlichen Wissen, was eine wichtige Basis zum Fortschritt bedeutet.¹⁸⁰⁰

Bei diesen öffentlichen Vorführungen wurde auch deutlich, dass eine Taucherglocken analog einer „natürlichen Luftpumpe“ eingesetzt werden konnte, wodurch sie neben ihrer praktischen Bedeutung im Berufsalltag auch eine Bedeutung als ein wissenschaftliches Instrument und Hilfsmitteln zur Gewinnung empirischer Befunde erhielt. Während die Luftpumpe auf mechanischem Weg einen Druck erzeugt, findet dies innerhalb der Taucherglocke auf hydrostatischem Weg statt.

Die von Robert Hooke 1663 den Mitgliedern der Royal Society vorgestellte Methode zur Versorgung von Taucherglocken mit Frischluft durch Fässer wurde bereits wenige Jahre später in Publikationen wie der von George Sinclair (1669 und 1672) und von Johann Christoph Sturm (1676 und 1685) verbreitet. 1689 wurde von Denis Papin während seiner Lehrtätigkeit an der

¹⁷⁹⁹ Rogers, Diffusion of Innovations, 18.

¹⁸⁰⁰ Stewart, The Rise of Public Science, 285.

Philipps-Universität in Marburg diese Methode durch eine zweite Variante ergänzt. Papin befasste sich mit der Frage, wie eine Kerzenflamme unter Wasser möglichst lange am Brennen gehalten werden kann. Im Kern ging es hierbei um die gleiche Problematik wie beim Tauchen. Papins Antwort auf dieses Problem war gleichzeitig die Lösung dafür, wie es einem Menschen ermöglicht werden konnte, längere Zeit unter Wasser zu atmen: durch die Frischluftzufuhr mittels eines Blasebalges oder einer Pumpe über einen Schlauch von der Oberfläche aus. Das nicht brauchbare, lange Saugrohr der mittelalterlichen Tauchkonzepte musste dabei in ein Druckrohr umfunktioniert werden.

Papins Idee war eine Wiedererfindung¹⁸⁰¹ und identisch mit dem bereits 1606 von Jerónimo de Ayanz y Beaumont in seinem unpublizierten Konzept, und möglicherweise mit dem bereits 1538 von Guillery im Nemisee bei Rom verwendeten technischen Aufbau. Diese von Papin publizierte Idee, die 1538 mit Absicht geheim gehalten wurde, und dann 1606 in einem spanischen Archivschrank unbeachtet liegen blieb, war zukunftsweisend, denn durch ununterbrochenes Pumpen konnte ein viel höheres Luftvolumen unter Wasser transportiert werden, als über Fässer, wie von Hooke vorgeschlagen wurde. Die Idee musste aber noch weitere 100 Jahre auf die praktische Umsetzung warten, denn noch gab es keine ausreichend luftdichten Schläuche und leistungsfähigen Pumpen, um sie in größeren Tiefen einzusetzen.

Zwischen 1689 und 1696 beschäftigte sich auch Edmond Halley mit der Tauchtechnik, baute eine eigene Glocke und führte Bergungsarbeiten bei einem Wrack an der Küste von Sussex durch. Er verwendete dazu das Frischluftsystem mit pendelnden Fässern, und bezeichnete es 1716 in einer Publikation als seine eigene Idee. Wie in dieser Forschungsarbeit an mehreren Stellen aufgezeigt wurde, gab es diese Idee bereits früher, jedoch wurde sie bei Halley erstmals nachweisbar auch in der Praxis angewandt. Halleys Konzept umfasste als Ergänzung zu der Taucherglocke einen extern arbeitenden Taucher, der einen offenen Helm trug und über einen Schlauch aus der Glocke mit Luft versorgt werden sollte. Dies war jedoch eine sehr aufwändige Geräteanordnung und scheint deshalb kaum praktisch durchgeführt worden zu sein.

Für das 17. Jahrhundert lässt sich resümieren, dass in den 1660er Jahren durch die Royal Society in England und 1689 durch die Veröffentlichung von Denis Papin die Tauchtechnologie und damit die Erforschung der Unterwasserwelt einen entscheidenden Fortschritt erzielte. Sowohl auf der theoretischen, als auch auf der praktischen Ebene, wurden alle Grundlagen geschaffen, die für leistungsfähige und sichere Tauchgänge erforderlich waren. Es war mit den Luftfässern eine Methode gefunden und angewandt worden, um die mögliche Tauchdauer und

¹⁸⁰¹ Rogers, Diffusion of Innovations, 17.

-tiefe mit Taucherglocken deutlich zu verlängern. Die zweite, noch bessere Methode musste aufgrund noch unzureichender Werkstoffe und Produktionsverfahren für Schläuche auf die praktische Anwendung warten. Dieses Schicksal teilte es mit vielen anderen Erfindungen, wie etwa der Dampfmaschine.¹⁸⁰²

Im 18. Jahrhundert erfolgten weniger wissenschaftliche Fortschritte in der Tauchtechnologie, als – vor dem Hintergrund der aufziehenden industriellen Revolution¹⁸⁰³ - vermehrt kommerzielle Anwendungen. 1716 und 1721 publizierte Edmond Halley sein Wissen zur Tauchtechnologie in den *Philosophical Transactions of the Royal Society*, und machte damit sein Knowhow, das er 1691 zur kommerziellen Nutzung mit einem Privileg in England hatte schützen lassen, öffentlich. Die Privilegierung von Erfindungen stand im Gegensatz zur Baconschen Grundhaltung der Royal Society, der Halley angehörte, und möglicherweise wollte Halley durch die Publikationen eine Art Wiedergutmachung betreiben. Sein Interesse hatte sich, nach einer meereskundlichen Expedition zwischen 1698 und 1700 in den Süd- und Nordatlantik, weitestgehend hin zur Astronomie verlagert. Vielleicht waren aber auch seine Bergungstauchgänge nicht in dem erhofften Umfang gewinnbringend gewesen.

In Vorträgen vor der Royal Society und in den beiden veröffentlichten Arbeiten hat Edmond Halley ein komplettes System des Tauchens formuliert, das auf der Taucherglocke basierte. Halley verknüpfte Erfahrungswissen mit wissenschaftlicher Theorie und schlug, wie bereits Robert Hooke, die Brücke zwischen Praxis und theoretischer Wissenschaft.¹⁸⁰⁴

Halleys Publikationen wurden weit verbreitet, über das 18. Jahrhundert hinweg immer wieder rezipiert und begründeten seinen noch heute bestehenden Ruf als Erfinder einer neuen Tauchmethode, was er aber, wie in dieser Studie herausgearbeitet wurde, nicht war. Halley setzte bereits bekannte Methoden in die Praxis um.

Halleys Methode wurde durch Marten Triewald, der Augenzeuge seines Taucheinsatzes 1716 in London gewesen war, aufgegriffen und ab den 1730er Jahre in Schweden erfolgreich angewandt. Er nahm damit die lokale Entwicklung, die mit dem Tod von Treileben 50 Jahre zuvor abgerissen war, wieder auf und baute ein halbstaatliches Tauchunternehmen mit Stützpunktsystem im schwedischen Ostseeraum auf. Es war bereits sehr gut organisiert. Hier entstand ein neuer Industriezweig, der über technologische Fragen hinaus auch neue juristische Fragen in Bezug auf das Bergerecht aufwarf. Behördliche Vorgaben auf Fragen, wer bei einer Bergung ab wann tätig werden darf und wie seine Arbeit zu entlohnen ist, mussten neu definiert

¹⁸⁰² Paulinyi, Die Umwälzung der Technik, 447.

¹⁸⁰³ Paulinyi, Die Umwälzung der Technik, 271.

¹⁸⁰⁴ Chapman, Edmond Halley, 168.

und in Gesetzestexten festgeschrieben werden. Eine systematische Auswertung der Taucherberichte der Bergungsarbeiten Triewalds in der Ostsee von 1745 bis 1798 steht noch aus und könnte interessante, neue Einblicke in die Praxis des Gerätetauchens bieten.¹⁸⁰⁵

Die Ansichten von Joseph Schumpeter und Everett M. Rogers über das Wesen der Innovation treffen auf die Entwicklung der Taucherglockentechnik und die Entstehung der Schwedischen Bergungsgesellschaften zu.¹⁸⁰⁶ Rogers Definition von Innovation und seine Beschreibung des Entstehungsprozesses entsprechen der Art und Weise, wie sich die Tauchtechnologie in der Frühen Neuzeit verbreitet hat. Marten Triewald wandelte die altbekannte Erfindung der Taucherglocke in eine Innovation um, indem er ihr wirtschaftliches Potenzial erkannte und ein neues Geschäftsmodell für ihre kommerzielle Verwertung entwickelte: ein Tauch- und Bergungsunternehmen. Dabei nutzte er die von Rogers beschriebenen Verbreitungschanäle¹⁸⁰⁷, in diesem Fall öffentliche Präsentationen und Publikationen, um öffentliche Anerkennung für seine Innovation und ein landesweites Monopol für deren Nutzung zu erlangen.

Die Vorgänger von Triewald brachten diese Innovationskette nicht bis zum Ende. Entweder fehlten ihnen noch die erforderlichen Kommunikationskanäle, wie etwa die Bergungsindustrie Spaniens im karibischen Raum, oder Genehmigungen für die großflächige Umsetzung, wie etwa bei Treileben.

Erfindung und Innovation waren schon in der Frühen Neuzeit zwei verschiedene Dinge.¹⁸⁰⁸ Eine Erfindung muss nicht zwangsläufig zu einer Innovation werden, aber sie kann früher oder später zu einer solchen werden. Manchmal dauert dieser Prozess Jahrhunderte. Die Taucherglocke war schon in der Antike bekannt, aber ihre Zeit kam erst im 17. Jahrhundert.

Nachdem in England im 17. Jahrhundert die theoretischen Grundlagen für das Gerätetauchen erforscht und gefunden worden sind, und Edmond Halley ihre Praxistauglichkeit bewiesen hatte, erfolgte hier erst im letzten Viertel des 18. Jahrhunderts die Industrialisierung und Weiterentwicklung, und damit deutlich später als in Schweden und Russland. Diese große zeitliche Lücke in der Entwicklungskette in England findet eine Erklärung darin, dass Themen, die mit Tauchen, Tauchgeräten und Tauchprojekten im Allgemeinen zusammenhängen, Anfang des 18. Jahrhunderts in England einen großen Vertrauensverlust erlitten hatten. Sie gerieten

¹⁸⁰⁵ Dykerihandlingar 1745-1798, 13 Vol., Flottans arkiv 0502/02/EVI, Riksarkivet Stockholm.

¹⁸⁰⁶ Schumpeter, *Business Cycles*, 82-83; Rogers, *Diffusion of Innovations*, 35-38; Huhtamies, *Vedenaalaiste konstit*, 104.

¹⁸⁰⁷ „Communication Channels“, siehe Rogers, *Diffusion of Innovations*, 18.

¹⁸⁰⁸ König, *Technikgeschichte*, 57-64.

öffentlich in Misskredit, als in England eine Unterwasser-Spekulationsblase platzte und viele Investoren Geld verloren. Dieser „Revulsion“¹⁸⁰⁹ genannte Effekt ist eine typische Ausprägung von Spekulationsblasen. Angeheizt wurde die Blase ab 1687, als das sehr erfolgreiche englische Bergungsunternehmen von William Phips mit einem großen spanischen Silberschatz aus der Karibik zurückkehrte.

Der Erfolg von Phips förderte die Nachfrage in diesem Bereich und löste die Entwicklung neuer Tauchausrüstungen und die Anmeldung von Patenten aus. Die Geräte wurden in öffentlichen Vorführungen getestet und vorgeführt. Den Betreibern wurden Exklusivrechte für die Erkundung verschiedener Seegebiete oder die Bergung einzelner Wracks in britannischen oder karibischen Gewässern auf Vertragsbasis gewährt. Die Privilegieninhaber verkauften Aktienanteile an Spekulanten.

Rund 10 Jahre wuchs die Blase, die mit einer Tauchgeräte-Privilegienwelle einherging, bis sie platzte, und mit ihr das Interesse an Tauchprojekte für Jahrzehnte in England erlosch. Das bereits erwähnte, innovationsfreundliche Klima, erlitt, um im Bild zu bleiben, eine „Froststarre“.

Die Taucherglocke war ein großes und sehr schweres Gerät, das eine umfangreiche Hilfsmannschaft an Deck erforderte, und dies ist wahrscheinlich mit ein Grund dafür, dass es nur wenige Beispiele für ihre Verwendung auch während des 18. Jahrhunderts gibt. Man benötigte ebenso ein großes Schiff mit einem Auslegerkran, von dem aus man operieren konnte. Dies waren Dinge, die die privaten Bergungsunternehmen, welche die große Mehrheit der Taucher ausmachten, anders als in Schweden Marten Triewald nicht besaßen.

Die technologische Entwicklung des Tauchens war nicht geradlinig, sondern mitunter auch rückläufig. Dies wird bei den semi-atmosphärische Tauchgeräte augenscheinlich, die immer wieder aufs Neue vorgeschlagen werden, obwohl es bereits bessere Verfahren gibt.

Die Entwicklung während des 18. Jahrhunderts ist weitgehend eine Abfolge von unzusammenhängenden Versuchen, um das sogenannte „Schlauchproblem“ - dem Transport von Frischluft zur Glocke durch einen Schlauch von der Oberfläche aus - zu umgehen. Zumeist wurden unzureichende semi-atmosphärische Geräte wie das Taucherfass oder der Panzeranzug in den verschiedensten Varianten vorgeschlagen. Es war eine Periode beträchtlicher Entwicklungsaktivitäten, mit kreativen Geräten und tragischen Anstrengungen, jedoch endeten

¹⁸⁰⁹ Aliber / Kindleberger, Manias, Panics, and Crashes, 46.

sie in technologischen Sackgassen, weshalb es bis zum letzten Viertel des 18. Jahrhunderts keine wichtige technische Neuerungen oder bedeutende methodische Fortschritte gab.

Entdeckte man im 17. Jahrhundert die physikalischen Eigenschaften von Luft (Beziehungen zwischen Druck, Volumen und Temperatur) und wandte sie bei der Tauchtechnologie an, so war das 18. Jahrhundert vorwiegend gekennzeichnet durch theoretische Fortschritte in der chemischen Atemgasforschung.¹⁸¹⁰ Sauerstoff und Kohlendioxid wurden isoliert, sowie weitere Bestandteile der Luft. Auf chemischem Wege gelang es Stephen Hales 1727, verbrauchte Luft wieder atembar zu machen. Die neuen Erkenntnisse wurden durch die Einführung von Sauerstoff- und später Mischgaskreislaufgeräte in der fortschrittlichen, modernen Tauchtechnik des 20. Jahrhunderts angewendet.

Von besonderer Bedeutung für die Weiterentwicklung der Tauchtechnik im letzten Viertel des 18. Jahrhunderts waren die Arbeiten von John Smeaton 1778 an der Hexhambrücke über den Fluss Tyne, bei denen der 1689 von Papin publizierte Vorschlag, Pumpen zur Luftversorgung von Taucherglocken einzusetzen, praktisch eingesetzt wurde. 1788 verwendete Smeaton bei Unterwasserarbeiten im Hafen von Ramsgate erstmals einen Schlauch und eine Pumpe, sowie eine Glocke aus Gusseisen.¹⁸¹¹

Die Entwicklung von Eisengroßguss war eine Errungenschaft der Industriellen Revolution in England, und wurde für die Tauchtechnologie übernommen.¹⁸¹² Taucherglocken aus Eisenguss waren kostengünstiger als Bronzeglocken und einfacher herzustellen. Ihre Form wandelte sich von einer konischen Glocke hin zu einem kastenförmigen Arbeitsraum, da dieser leichter herzustellen war, und mehr Platz für die Arbeiter bot. Diese Form war bereits im 16. Jahrhundert vorgeschlagen worden, wurde aber erst jetzt realisiert.¹⁸¹³

Die Verwendung von Luftpumpe, Schlauch und Eisengroßguss stellt die Perfektionierung der Taucherglockentechnologie dar. Mit einem Luftfass konnte nur in diskreten, zeitlichen Abständen ein beschränktes Luftvolumen erneuert werden, mit Pumpen geschah dies kontinuierlich. England exportierte diese Technik, die ab 1815 durch John Rennie in Serienproduktion ging, in viele europäische Länder. England behielt die Rolle als international führende Forschungs- und Produktionsstätte für Tauchtechnik bis zum 20. Jahrhundert, von dem aus auf direktem oder mittelbarem Weg der Transfer in andere Länder erfolgte.

¹⁸¹⁰ Partington, A History of Chemistry, Vol. 2, 691-735.

¹⁸¹¹ Smeaton, Reports of the late John Smeaton, Vol. 3, 280.

¹⁸¹² Mokyr, The Lever of riches, 103.

¹⁸¹³ Lorini, Delle Fortificazioni, 204; Sinclair, The Hydrostaticks, 179.

Die offene Taucherglocke hatte zu Beginn des 19. Jahrhunderts ihren Entwicklungsendpunkt erreicht. Die Frischluftversorgung erfolgte durch Pumpen von der Oberfläche aus, und diese Methode wurde auch bei den darauf folgenden, geschlossenen Helmtauchgeräten solange beibehalten, bis sich durch verbesserte Druckbehälter im 20. Jahrhundert autonome Tauchgeräte, ganz ohne Luftversorgung von der Oberfläche, durchsetzen konnten.

Noch heute verwendet man die Taucherglocke für verschiedenste Einsatzzwecke: Sie kann als Lift dienen, um Taucher an ihren Arbeitsplatz unter Wasser zu bringen, von wo sie durch den Lockout mit autonomen Tauchgeräten im Umfeld arbeiten. Sie übernimmt auch eine Schutzfunktion am Meeresgrund: Bei unvorhergesehenen Ereignissen zieht sich der Taucher umgehend in die Glocke zurück und wird anschließend zur Oberfläche geholt. Ebenso ist sie ein Habitat, in dem Taucher ihre Werkzeuge deponieren und Entsättigungspausen durchführen. Ihre Verwendung als Ort der Wissensproduktion hat die Taucherglocke ebenfalls nicht verloren, wie das Experiment 2020 in dem „Station Bathyale“ genannten Unterwasserhaus zeigt.¹⁸¹⁴

In dieser Arbeit konnte am Beispiel der Taucherglocken die dominierende Entwicklungslinie der Tauchtechnologie in der Frühen Neuzeit von ihren Anfängen im 4. Jahrhundert v. Chr. bis zum Endpunkt 1815 aufgezeigt werden. Weitere Forschungen zur Entwicklung der Tauchtechnologie in der Frühen Neuzeit könnten, wie bereits dargestellt, insbesondere in schwedischen Archiven zur Bergung der *Sancta Sophia* und *Vasa* und den Tauchberichten der Norra Dykeri- und Bergnings-Societeten angestellt werden.

Die Taucherglocke, in miniaturisierter Form als offener Taucherhelm eingesetzt, blieb bis zum Beginn des 19. Jahrhundert das einzige funktionsfähige Tauchgerät. Sie stellt ebenso den Ursprung dar, aus dem heraus sich die weiteren Entwicklungen auf dem Gebiet der Tauchtechnik ableiteten, wie etwa das geschlossene Helmtauchergerät des 19. Jahrhunderts. In der Frühen Neuzeit gewonnene technische, physikalische und physiologische Erkenntnisse bildeten auch die naturwissenschaftliche Grundlage für weitere Entwicklung der Tauchtechnologie, die erst im 20. Jahrhundert wirksam wurden, als die entsprechenden Materialien und Steuerungsmechanismen verfügbar waren.

Bezugnehmend auf die erste Hypothese dieser Studie lässt sich abschließend festhalten, dass sich die Tauchtechnik in der Frühen Neuzeit erst zur wissenschaftsbasierten Tauchtechnologie

¹⁸¹⁴ Laurent Ballesta, *Planète Méditerranée*, Paris 2020, 70.

weiterentwickelte, als es, wie in England in den 1660er Jahren, ein passendes, innovationsförderliches soziokulturelles Umfeld gab.¹⁸¹⁵

Die Herausbildung einer Tauchtechnologie war voraussetzungsvoll, und in England bot sich in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts ein fruchtbarer Boden.¹⁸¹⁶ Zunächst lassen sich allgemeine, innovationsfreundliche Faktoren in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts in England ausmachen, wie etwa das Interesse des englischen Königshauses, insbesondere Charles II. an maritimen Themen, das Potential der Tauchtechnologie zur Stärkung der militärischen Seemacht sowie die Wirkung der sogenannten Navigation Acts von 1651 und 1660. Sie bestimmten unter anderem, dass der Import und Export von Waren nur noch auf englischen Schiffen durchgeführt werden durfte, und steigerten damit die Bedeutung der englischen Schifffahrt und des Seeverkehrs.¹⁸¹⁷

Ein positiver Effekt war auch, dass sich der britische Staat, im Gegensatz zu den dirigistischen Maßnahmen auf dem Kontinent, mit direkten Eingriffen in die Wirtschaft und damit in die Technikentwicklung zurück hielt, so dass sie sich ungestört entfalten konnte. Nicht unerheblich ist auch der Faktor, dass der Katholizismus seit der Loslösung der englischen Kirche von Rom im 16. Jahrhundert keinen negativen Einfluss auf die Entwicklung nehmen konnte.¹⁸¹⁸

Die Etablierung systematischer Praktiken des Experiments waren notwendige, aber nicht hinreichende Elemente für die Entwicklung der Tauchtechnologie. Vereinzelt gab es diese Praktiken auch schon im 16. Jahrhundert und in anderen Ländern.¹⁸¹⁹ Wesentliche, begünstigende Faktoren waren soziokulturelle Aspekte wie eine liberale Politik, die neben wissenschaftlicher Gedankenfreiheit auch Meinungs- und Reisefreiheit beinhaltete, sowie mediale Gestaltungsfreiräume mit möglichst zügiger Informationsweitergabe. Die Offenlegung und Verbreitung von Wissen über Drucke, Briefe und internationale Korrespondenznetzwerke förderte eine kollektive Wissensproduktion.

Die Geschwindigkeit der Informationsweitergabe ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Diffusion von Innovationen.¹⁸²⁰ Deshalb spielten die monatlich erscheinenden *Philosophical Transactions of the Royal Society* eine wichtige soziokulturelle Rolle für die Entwicklung der

¹⁸¹⁵ Siehe Rogers, *Diffusion of Innovations*, 24; Mokyr, *A Culture of Growth*, 163.

¹⁸¹⁶ Siehe Mokyr, *A Culture of Growth*, 227-246.

¹⁸¹⁷ Siehe Paulinyi, *Die Umwälzung der Technik*, 271-280.

¹⁸¹⁸ Troitzsch, *Technischer Wandel*, 16.

¹⁸¹⁹ Crombie, *Von Augustinus bis Galilei*, 344.

¹⁸²⁰ Nathan Rosenberg, *Factors affecting the diffusion of technology*, in: *Explorations in economic history* 10 (1972) 3-34, 6.

Tauchtechnik. Sie schlossen eine Lücke in der Kommunikationsstruktur, indem sie die Nachteile des Buchdruckes, der oftmals langwierig war und deshalb einen Zeitverlust in der Wissensvermittlung und Informationskette bedeutete, deutlich reduzierte.¹⁸²¹ Damit erreichten die *Philosophical Transactions of the Royal Society* nahezu die gleiche Aktualität wie ein Brief, waren aber umfassender und öffentlich für ein breites Publikum zugänglich. Die *Philosophical Transactions of the Royal Society* enthielten bereits früh neben dem Text auch Illustrationen, was eine Wissensvermittlung erleichterte.¹⁸²²

Durch Publikationen zur Tauchtechnologie in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* brachte die Royal Society das Wissen in die Öffentlichkeit und regte ihren Diskurs an. Ein Höhepunkt waren 1671 die Tauchtiefentabellen, die nun leicht verständlich und Anwenderorientiert das theoretische Wissen öffentlich verfügbar machten. Es war für die Taucher überlebensnotwendig, vorab ihre Tauchgänge anhand der neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse zu planen. Sie konnten nun die maximale Tauchdauer bei einer mitgenommenen Luftmenge in Abhängigkeit von der Tiefe berechnen. Ebenso wurde nun ersichtlich, wie hoch das Wasser in der Glocke stieg, woraus sich die maximale Tauchtiefe ergab.

Die Royal Society stellte zwar Ende der 1680er Jahren ihre Forschungen zur Tauchtechnik ein, sie wurden aber von einzelnen Gelehrten wie Denis Papin und Edmond Halley außerhalb von Institutionen weitergeführt.

Ab dem Ende des 17. Jahrhunderts wurden nicht nur in Institutionen, sondern auch zunehmend bei öffentlichen Vorträgen mit einfachen Schauexperimenten der Allgemeinheit hydrostatische Grundlagen in der Praxis dargeboten, so dass man ab diesem Zeitpunkt davon sprechen kann, dass die Tauchtechnologie auch zunehmende Breitenwirkung erhielt.

An dieser Stelle sollen auf zwei zentrale Forschungsfragen abschließend eingegangen werden. Mit dieser Forschungsarbeit sollte zunächst die Analyse früher Erfinderprivilegien aus dem Schutzbereich der Tauchtechnik weiter vervollständigt, und Rückschlüsse auf ihre - potentiell mögliche - innovationsförderliche Wirkung gezogen werden.¹⁸²³ Patente sind heute ein wichtiges Mittel, um technische Innovationen und industrielle Entwicklung anzuregen.

¹⁸²¹ Behringer, *Communications Revolutions*, 361.

¹⁸²² McGee, *The Origins of Early Modern Machine Design*, 54-84, 56.

¹⁸²³ Popplow, *Neu, nützlich und erfindungsreich*, 60; Popplow, *Die Idealisierung von Technik in der frühen Neuzeit*, 47-64.

Betrachtet wurden in dieser Arbeit nur die tatsächlich erteilten Privilegien in den jeweils untersuchten Ländern, und nicht die Privilegiengesuche.

Anhand der Untersuchung wurde deutlich, dass Privilegien und Patentschriften über die Entwicklung der Tauchtechnik in der Frühen Neuzeit wenig aussagen. Länderübergreifend sind sie inhaltlich wenig gehaltvoll, und die Bezeichnungen in den Überschriften sind allgemein und ungenau. Aufklärende Konstruktionszeichnungen sind nur in sehr wenigen Fällen, und dann auch erst in späteren Jahrhunderten, beigefügt. Der größte Informationswert liefert noch die Gesamtschau aller Privilegienerteilungen pro Land und über die Zeit (Abbildung 39).

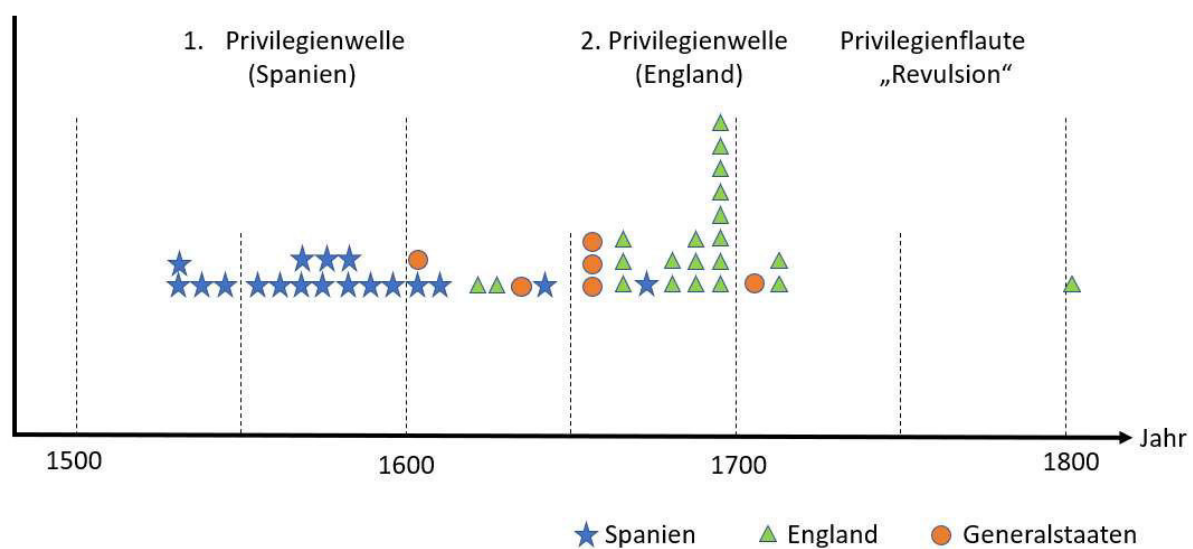


Abbildung 39: Verteilung von Tauchgeräte-Privilegien in Spanien, England und den Generalstaaten von 1500 bis 1802. Analyse und Quelle: Eigene Darstellung.

Die wachsende Zahl erteilter Privilegien auf Tauchgeräte in einzelnen Phasen sind ein deutlicher Hinweis auf eine zunehmende Beschäftigung mit der Thematik, aber – wie sich gezeigt hat - nicht automatisch auch einer zunehmenden Innovationstätigkeit, denn aus ihnen sind kaum Neuerungen hervorgegangen. Die Ursachen der beiden Privilegienwellen in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts in Spanien und gegen Ende des 17. Jahrhunderts in England waren in der Hoffnung gegründet, bei der Bergung versunkener Silberladungen schnellen wirtschaftlichen Erfolg zu haben.

Es zeigt sich im Umkehrschluss, dass sich Innovationen in der Tauchtechnologie in der Frühen Neuzeit außerhalb von privilegiengeschützten Bereichen vollzogen. Diese Erkenntnis

deckt sich mit den Forschungsergebnissen in anderen Techniksektoren.¹⁸²⁴ Der Aufschwung der Tauchtechnologie hat in England beispielsweise Impulse von der Royal Navy bekommen und wurde von Robert Boyle und der Royal Society betrieben. Privilegien gingen daraus jedoch nicht hervor. Denis Papin publizierte die Idee der Frischluftversorgung ohne ein Privileg anzustreben, und einzig von Edmund Halley ist eine Privilegierung 1691 nachweisbar. Allerdings war die Methode der pendelnden Frischluftfässer bereits seit etwa drei Jahrzehnten bekannt.

Ein bedeutender Erfinder, und zwar Charles Spalding, wählte noch gegen Ende des 18. Jahrhunderts die Option, seine deutlich verbesserte Taucherglocke lieber für eine öffentliche Prämierung bei der englischen Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce anzumelden, als für eine Privilegierung. Er erhielt ein Preisgeld von 20 Guineen, was etwa der zweithöchsten Prämierungsstufe entspricht. Die Society of Arts schloss zunächst bereits privilegierte Lösungen aus dem jährlichen Wettbewerb aus, da es ihr in erster Linie darum ging, die englische Wirtschaft durch Wissensweitergabe zu fördern. Sie öffnete sich erst ab 1850 auch für bereits patentierte Bewerbungen, als die juristische Absicherung ausreichend war und die Erfinder nicht fürchten mussten, durch eine Veröffentlichung aller Details sich selbst zu schaden. Daraus lässt sich ableiten, dass noch bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts für viele Erfinder eine öffentliche Anerkennung vor einem vermeintlichen finanziellen Gewinn durch eine Privilegierung gestellt wurde.

Eine innovationssteigernde Wirkung der Tauchtechnologie durch Erfinderprivilegien stellte sich offenbar in der Frühen Neuzeit noch nicht ein. Als mit ein Grund dafür kann angeführt werden, dass die Privilegienvergabe sowie ihr Schutz und damit ihr Nutzen aufgrund sozioökonomischer Rahmenbedingungen in den meisten Ländern noch wenig effektiv war. Privilegien waren in aller Regel weitgehend inhaltsleere Urkunden.¹⁸²⁵ Daraus resultierend war auch ihre Kommunikation noch wenig ausgeprägt. Spanische Erfindungsprivilegien hatten beispielsweise wenig Einfluss, da sie nicht veröffentlicht wurden, und, wie das von Jerónimo de Ayanz y Beaumont von 1606 in Archiven in Vergessenheit geriet.

Als Anreiz für Investoren zeigten Tauchgeräteprivilegien, vor allem in England, bis Anfang des 18. Jahrhundert allerdings eine große Wirksamkeit, aber auch nur solange, wie die privilegierte Thematik finanziellen Erfolg versprach. Zur Umsetzung theoretischer Ideen in die

¹⁸²⁴ Siehe Prager, Examination of Inventions, 268-291.

¹⁸²⁵ Popplow, Erfindungsschutz und Maschinenbücher, 23.

Praxis waren damals wie heute ausreichende Geldmittel erforderlich. Nach dem Platzen der Spekulationsblase erfolgte jedoch eine Abkehr und Ablehnung der Thematik.

Aus diesen gewonnenen Einsichten lässt sich die Erkenntnis ableiten, dass sich die Spekulationsblase in England Ende des 17. Jahrhunderts eher negativ auf die dortige Weiterentwicklung der Tauchtechnologie ausgewirkt hat, da sie dadurch hier um viele Jahrzehnte verzögert wurde. Die Entwicklung einer Unterwasser-Bergeindustrie, die sich in Schweden und Russland bereits im 18. Jahrhundert auf Basis der in England generierten Technologie entfaltet, fand in England selbst erst im 19. Jahrhundert statt. Der Effekt einer „Revulsion“¹⁸²⁶ ist somit Ende des 17. Jahrhunderts bei der Entwicklung der Tauchtechnik in England nachweisbar.

Diese Arbeit konnte ebenfalls den Nachweis erbringen, dass neue Erfindungen zur Tauchtechnik in der Frühen Neuzeit durch den geringen Privilegienschutz, dessen Erwerb teuer war und der oft gerichtlich angefochten wurde, wenig stimuliert worden zu sein scheinen, und damit Privilegien noch nicht als innovationsförderliche Maßnahme betrachtet werden können. Unbenommen davon ist der spekulative, ökonomische Wert von Privilegien, wie sich an der Spekulationsblase zeigte. Diese Erkenntnisse aus dieser Forschungsarbeit können eventuell auch die innovationsgeschichtliche Forschung bereichern und dazu beitragen, eine Forschungslücke zu schließen.

Mit einer zweiten Forschungsfrage sollten in diesem Forschungsprojekt Erkenntnisse darüber gewonnen werden, wie der Einfluss wissenschaftlicher Fortschritte auf die Tauchtechnik im 17. und 18. Jahrhundert zu werten ist. Die daraus abgeleitete Frage lautet, ob oder inwieweit die neuen Naturwissenschaften die Entwicklung der Tauchtechnik beeinflusst haben. Konkret: Wann und wo wurde durch wen und auf welche Weise wissenschaftliche Erkenntnisse für tauchtechnische Handlungen eingebracht?

Hat sich bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts die Tauchtechnologie auf empirischem Weg nach dem Prinzip „Trial and Error“ vollzogen, konnten an Beispielen gezeigt werden, dass die Umsetzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse zur Hydrostatik, den Gasgesetzen und den Auswirkungen auf den menschlichen Körper beim Tauchen ab diesem Zeitpunkt immer weiter in der Praxis zunahm. Gerätetauchen wurde zu einer technisierten Anwendungsform naturwissenschaftlicher Erkenntnisse.

¹⁸²⁶ Aliber / Kindleberger, Manias, Panics, and Crashes, 46.

Das Erfahrungswissen lenkte Taucher bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts dahin, wie ein Tauchgang auszuführen war, um ihn möglichst unbeschadet und mit größtmöglichem Erfolg zu absolvieren. Durch Empirie fand man schon im 16. Jahrhundert heraus, dass ohne ständige Frischluftversorgung eine Taucherglocke, die eine konische Form hatte, beim Tauchen Vorteile im Vergleich zu einem Kasten oder einer Röhre mit vertikalen Seitenwänden hat.

Es konnte gezeigt werden, dass ab den 1660er Jahre die Royal Society, und insbesondere Robert Boyle und Robert Hooke, durch gezielte Forschungen aktiv auf die Weiterentwicklung der Tauchtechnik einwirkte. Ab diesem Zeitraum kann man von einer systematischen Verwissenschaftlichung der Tauchtechnik nach dem heutigem Verständnis sprechen. Welchen physikalischen Prinzipien ein Tauchgang unterlagen, wusste die überwältigende Mehrheit der Taucher bis dahin nicht.

Wissenschaftlicher Fortschritt und Tauchtechnik waren aber keine Einbahnstraße, denn Wissenschaft und Praxis befruchteten sich ab dem ausgehenden 17. Jahrhundert gegenseitig. Oft bereicherten die bei einem Tauchgang gesammelten Erkenntnisse sowohl das Wissen von der Natur unter Wasser als auch über die Tauchtechnik.¹⁸²⁷ Die Informationen, die Forscher bei ihren Tauchgängen gewannen – eine neue wissenschaftliche Methode, die heute als „Scientific Diving“ bezeichnet wird -, bildeten nicht nur die Grundlage für neue biologische, physikalische und medizinische Erkenntnisse, sondern auch zur Weiterentwicklung der Tauchtechnik. Es entstand ein reziproker Wissenstransfer.¹⁸²⁸ Auf diesen Aspekt wird im nachfolgenden Kapitel detaillierter eingegangen.

Wissenschaft und Tauchtechnik war in der Frühen Neuzeit zunächst ein „lineares Modell“. Wissenschaftliche Erkenntnisse fanden hier ihre praktische Anwendung. Es ergab sich in Folge ein Wechselspiel von Weiterentwicklung der Tauchtechnologie und daraus folgender Wissensproduktion, in dem Wissenslücken das Bedürfnis nach besseren Instrumenten (Tauchgeräte) erzeugen und bessere oder neue Instrumente zu neuen Entdeckungen führen.

Als Beispiel für einen Wissenstransfer von der Theorie in die Praxis können die theoretischen Erkenntnisse von Robert Boyle, die praktisch im Rahmen der Tauchtabellen der Tiefentabellen Royal Society angewandt werden, angeführt werden. Auch die theoretische Überlegung, dass ein Glasfenster in der Taucherglocke eingebaut werden kann und sie nicht dadurch konstruktiv schwächt, wurde in die Praxis eingeführt.

¹⁸²⁷ Channell, *The Rise of Engineering Science*, 3-9, 189.

¹⁸²⁸ Edwin T. Layton Jr., *American Ideologies of Science and Engineering*, in: *Technology and Culture* 17 (1976) 688-701, 695.

Beispiele für einen reziproken Wissenstransfer von der Praxis in die Theorie sind beispielsweise die Beobachtungen, die Edmond Halley beim Tauchen in Bezug auf Farbenveränderungen unter Wasser gewonnen hat, und die dann von Isaac Newton in seinem Werk *Opticks* aufgenommen und dort von ihm als eine selektive Filterung richtig interpretiert wurden, auch wenn er die Reihenfolge der gefilterten Spektralfarben noch nicht kannte. Auch die stetige Abnahme der Temperatur unter Wasser mit zunehmender Tiefe wurde durch das Tauchen erkannt. Es stand im Gegensatz zu den bisherigen Erfahrungen aus dem Bergbau, wo es beim Abstieg in die Tiefe immer wärmer wurde. Aus dieser Erkenntnis resultierte die Anforderung, spezielle Wärmeschutzkleidung beim Tauchen anzuziehen. Als weiteres Beispiel für einen reziproken Wissenstransfer können die mikroskopischen Untersuchungen an von Tauchern mitgebrachten Seegräsern von Robert Hooke angeführt werden, die er in seinem Werk *Micrographia* publizierte.

7.2 Wissensgenerierung durch Taucher

Nachdem im vorhergehenden Kapitel die Entwicklung der Tauchtechnologie in der Frühen Neuzeit diskutiert und bewertet wurde, soll hier auf die Entwicklung des wissenschaftlichen Tauchens in der Frühen Neuzeit als wissenschaftliche Methode eingegangen werden.

Aus der italienischen Renaissance lässt sich erstmals ein Tauchgang zu rein wissenschaftlichen Zwecken mit einem Tauchgerät nachweisen. Bis dahin wurde Gerätetauchen vorwiegend als für militärische Einsatzzwecke nutzbringend angesehen.¹⁸²⁹ 1535 tauchte der Militärarchitekt Francesco de Marchi im Nemi-See bei Rom mit einem Taucherhelm zu einer versunkenen antiken römischen Barke. De Marchi führte auch empirische Untersuchungen über das Sehen und Hören unter Wasser durch und dokumentierte sein Erkenntnisse.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Analyse dieser Tauchgänge von Francesco de Marchi erbrachte nicht nur eine neue technische Hypothese, sondern auch kulturhistorische Erkenntnisse. Danach scheint der Anstoß für eine intensivere Auseinandersetzung mit der Unterwasserwelt und die Entwicklung von Tauchgeräten in Italien dem wissenschaftlichen Interesse von römischen Humanisten aus dem Umfeld der ersten Päpstlichen Akademien entsprungen zu sein. Diese Erkenntnis passt in das allgemeine Bild über frühe römische

¹⁸²⁹ Leng, *Ars belli*, 21.

Akademien. Viele von ihnen interessierten sich für Altertumsforschung und die Erforschung der antiken Vergangenheit Roms, und dieses Interesse bezog sich offensichtlich nicht nur auf die römischen Hinterlassenschaften an Land, sondern auch unter Wasser.¹⁸³⁰

Neben archäologischen waren auch bereits biologische Fragen in diesem Zeitraum Antrieb für Tauchgänge: Der portugiesische Seefahrer Joao de Castro ließ 1541 im Roten Meer Taucher rote Edelkorallen vom Meeresgrund hochbringen, um zu untersuchen, ob das Meer durch sie seine typische rötliche Farbe bekommt.

Vor allem im 17. Jahrhundert wurde die Entwicklung von Tauchgeräten sowohl von wissenschaftlichen als auch von wirtschaftlichen Interessen angetrieben. Die wissenschaftlichen Interessen betrafen nicht nur Untersuchungen, um die Effekte des Tauchens auf den Menschen zu verstehen, sondern auch Untersuchungen in Bezug auf die Fauna und Flora der Unterwasserwelt. Während der Unterwasserarbeiten 1658 an dem Wrack der *Sancta Sophia* vor Göteborg brachte beispielsweise der aus England stammende Taucher Matthew Rochford einige Exemplare des Seegrases vom Meeresboden mit nach oben, und sandte sie der Royal Society of London für weitergehende Untersuchungen zu. Deren Kurator Robert Hooke führte mikroskopischen Untersuchungen an dem Seegras durch und publizierte sie 1665 in seinem Buch *Micrographia*.

1665 ging bei Tobermory mit dem schottischen Experimentalphysiker George Sinclair der erste Wissenschaftler selbst in einer Taucherglocke auf den Meeresgrund, und führte dort Messungen und Experimente durch. So naheliegend es auch heute erscheinen mag, dass ein Wissenschaftler seine Experimente selbst durchführt, und nicht von angelegerten Assistenten oder Laien, so revolutionär war dieser Schritt eines Wissenschaftlers in die Unterwasserwelt damals. Standesdünkel und Furcht hatten Robert Boyle davon abgehalten, obwohl er selbst großes Interesse an der Erforschung der Unterwasserwelt hatte. Der Aufenthalt eines Adligen in einer Taucherglocke kam für Boyle einem sozialen Abstieg in die Arbeiterwelt gleich.¹⁸³¹

Sinclair beschreibt in keinem seiner Bücher explizit, dass er selbst getaucht ist, aber die Genauigkeit seiner Schilderungen und die Messergebnisse seiner Experimente lassen keinen anderen Schluss zu. Möglicherweise scheute auch er sich davor, diesen vermeintlich sozialen Abstieg publik zu machen.

¹⁸³⁰ Testa, Italian Academies, 2-6.

¹⁸³¹ Mallinckrodt, Exploring Underwater Worlds, 304.

Aus Sinclairs Berichten geht hervor, dass er Luftdruckmessungen und andere Experimente in der Taucherglocke durchführte. Seine Messungen waren erstaunlich korrekt. Sinclair bestätigte das Boylesche Gesetz durch praktische Experimente unter Wasser.

Sinclairs Beschreibungen und Schlussfolgerungen zur Tauchphysik waren für ihre Zeit überragend. Wenn man bedenkt, dass er auch selbst tauchte und unter Wasser, also in einer extremen Umwelt, mit wissenschaftlicher Präzision arbeitete, ist dies eine besonders verdienstvolle Leistung. Sinclair verbindet in seiner Person Forschungen zur Tauchtechnologie und wissenschaftliches Tauchen, ebenso wie wenige Jahre später Edmond Halley.¹⁸³²

1691 ging mit Halley ein weiterer Wissenschaftler selbst unter Wasser. Sein primärer Antrieb war zwar offensichtlich zunächst die Bergung einer wertvollen Schiffsladung, aber er machte auch interessante, neue Beobachtungen. Sie bestanden zum einen darin, die Auswirkungen des Umgebungsdrucks auf die Ohren des Tauchers zu verstehen. Halley beschrieb auch, dass sich die Luft im Inneren der Glocke jedes Mal, wenn sie aus dem Wasser gehoben wurde, schlagartig in einen weißen Nebel verwandelte. Eine schlüssige Erklärung für die Phänomene fand er jedoch nicht.

Eine wichtige wissenschaftliche Beobachtung von Halley war, dass sich die Helligkeit und Farben der Umgebung mit der Tauchtiefe verändern. Sie war so interessant, dass sie Isaac Newton 1704 in seinem Buch *Opticks* wiedergab und die zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten zu erklären versuchte.¹⁸³³

Vereinzelt finden sich in Quellen weitere Hinweise auf wissenschaftliche Beobachtungen unter Wasser, wie etwa aus 1783 von dem Edinburgher Kaufmann Charles Spalding und 1802 von Adam Walker. Sie führten ihre wissenschaftlichen Tauchgänge im zeitlichen Zusammenhang mit Bauarbeiten durch, damit sie die vor Ort vorhandenen Gerätschaften für ihre Zwecke mit nutzen konnten.

Obwohl mit der Taucherglocke bereits neue wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen wurden, konnte sie sich als neue Forschungsmethode nicht in die Breite entwickeln. Ihr Einsatz war zu kostspielig, der Taucher war nicht mobil genug, und es gab noch kaum Erfahrungen über die Ursachen der gesundheitlichen Risiken. Viele biologisch interessierte Forscher scheuten sich vor diesen Risiken und sammelten auf ihren Reisen weiterhin Muscheln,

¹⁸³² Jung, Scientific diving, 8.

¹⁸³³ Newton, Opticks, 139.

Korallen, Schwämme und Fische mit Dredschern und bestimmten sie taxonomisch.¹⁸³⁴ Weiterhin wurden auch angestellte Apnoetaucher wie in der Antike für Sammlungen vom Meeresboden eingesetzt. Den Durchbruch für das wissenschaftliche Tauchen brachten erst die leichten Schwimmtauchergeräte im 20. Jahrhundert, sowie die Erkenntnis, dass die Weltmeere nicht ein todbringender Ort voller gefährlicher Meerestiere ist.

Es lässt sich zusammenfassen, dass Taucherglocken und Taucherhelme nicht nur Behelfsgeräte für Unterwasserarbeiten waren, sondern - wenn auch erst vereinzelt - bereits in der Frühen Neuzeit für wissenschaftliche Tauchgänge eingesetzt wurden. Bis dahin konnten Wissenschaftler nur in bescheidenem Ausmaß das Meer und seine physikalischen Eigenschaften erforschen. Taucher wurden nach ihren Erfahrungen befragt, und von der Oberfläche aus Messungen zu Dichte, Salzgehalt, Temperatur und Strömungen durchgeführt. Andere physikalische Größen wie Schall- und Lichtausbreitung, und biologische, geologische Vorgänge können jedoch nur in situ erfasst werden.

Die Taucherglocke kann als ein früher Ort der Wissensproduktion unter Wasser betrachtet werden, Jahrhunderte bevor Unterwasserstationen und Habitats ihre Forschungen aufnahmen.¹⁸³⁵ Sie war Schauplatz von geologischer, biologischer, physikalischer und ingenieurstechnischer Wissensproduktion im 17. und 18. Jahrhundert. Taucherglocken waren aber nicht nur Unterwasserlabore, sondern auch selbst Instrumente für wissenschaftliche Experimente. Mit der Taucherglocke wurde eine instrumentell erweiterte Beobachtung der Natur möglich. Anders als reine Beobachtungsinstrumente wie ein Teleskop oder Mikroskop erlaubt eine Taucherglocke in der Wirkungsweise einer „natürliche Luftpumpe“ darüber hinausgehende Interaktionen mit Naturprozessen, in dem Parameter wie Tauchtiefe, Größe oder Temperatur verändert werden können.

Wissenschaftliches Tauchen wurde zu einem gezielten Tauchzweck, und es entstanden ab dem frühen 16. Jahrhundert neue Forschungsgebiete wie etwa die Unterwasserarchäologie, und weitere wie die Unterwassergeologie¹⁸³⁶ folgten. Bei Tauchgängen generiertes Wissen und Erfahrungen wurden so zu einer wissenschaftlichen Quelle, auf deren Basis vielfältige Weiterentwicklungen technischer und medizinischer Art folgten. Der englische Arzt und Wissenschaftsautor Thomas Beddoes veröffentlichte beispielsweise 1774 das erste

¹⁸³⁴ Siehe Penelope K. Hardy, Finding the History of the World at the Bottom of the Ocean: Hydrography, Natural History, and the Sea in the Nineteenth Century, in: Transactions of the American Philosophical Society 110 (2021) 117-132.

¹⁸³⁵ Siehe Antony Adler, Neptune's Laboratory. Fantasy, Fear, and Science at Sea, Cambridge 2019.

¹⁸³⁶ Karlheinz Paffen / Gerhard Kortum, Die Geographie des Meeres. Disziplingeschichtliche Entwicklung seit 1650 und heutiger methodischer Stand, Kiel 1984, 20-39.

medizinische Buch über die Behandlung von Erkrankungen mit Sauerstoff. Seine Erkenntnisse über dessen Wirkung hatte er unter anderem durch die Erfahrung von Taucher unter Wasser gesammelt.¹⁸³⁷ Die hyperbare Sauerstofftherapie (hyperbare Oxygenierung, HBO) ist allerdings nicht unproblematisch, da Sauerstoff ab einem gewissen Druck toxisch wird.

Bezugnehmend auf die zweite Hypothese dieser Forschungsarbeit konnte damit gezeigt werden, dass in der Frühen Neuzeit ein Methodenwandel stattfand, und Wissenschaftler selbst als Taucher auf den Meeresgrund gingen. Dieses wissenschaftliche Tauchen generierte nicht nur neue Erkenntnisse, die auf keinem anderen Weg als vor Ort gewonnen werden können, sondern entmystifizierte auch zunehmend die Unterwasserwelt. Durch die im 19. Jahrhundert einsetzende Medialisierung der Meere, zunächst durch Briefe, Gedichte, Gemälde, Schauaquarien und später auch in Zeitungsartikeln und Buchform löste sich das Schreckensbild der Neuen Welt unter Wasser allmählich auf. Diese kulturhistorische Entwicklungen sollen abschließend beleuchtet werden.

7.3 Kulturhistorische Entwicklungen in einer extremen Umwelt

Die Praktiken und Wahrnehmungen in Bezug auf den Meeresraum haben sich im Kontext der Entstehung von neuen Tauchtechnologien gewandelt. Entsprechend geht es bei der kulturhistorischen Perspektive nicht um eine enge Betrachtung der Artefakte und ihrer Funktionen, sondern auch darum, wie sie die Wahrnehmung und das Denken der Menschen verändert haben.

Lange wurden die Ozeane als tot und bedrohlich betrachtet, als eine übermächtige elementare Gewalt, der der Mensch hilflos ausgeliefert ist. Die Bedeutung und Wahrnehmung des Meeresraumes, der in der Frühen Neuzeit vorwiegend nur für den kommerziellen Fischfang als Nahrungsquelle eine begrenzte Relevanz hatte, wuchs schnell und vielfältig an. Für diese Entmystifizierung zeichnet die Tauchtechnik mitverantwortlich.

Bei der mentalen Öffnung des Meeresraumes spielten auch die Anfang des 19. Jahrhunderts aufkommenden Aquarienkultur eine nicht zu unterschätzende Rolle, brachten sie doch die Welt

¹⁸³⁷ Thomas Beddoes, *Considerations on the Medicinal Use of Factitious Airs, and on the manner of obtaining them in large quantities*, Bristol 1774, 14-16.

unter dem Wasserspiegel dem Menschen spielerisch und gefahrlos ins Bewusstsein und verstärkte seine Neugierde.¹⁸³⁸

Aus der gefährlichen Arbeitsumgebung mit sinnesverwirrenden Eindrücken wurde schon bald eine Umgebung für Freizeit und Sport. Die ersten Anfänge dafür lassen sich in der Frühen Neuzeit nachweisen, als Laien ohne besonderen Zweck, nur um eigene Erfahrungen zu sammeln, Abstiege mit der Taucherglocke wagten. Der Meeresraum wurde so - mit Hilfe von Tauchtechnologie - von der extremen, lebensfeindlichen Umwelt zu einem „faszinierenden Erfahrungs- und Erlebnisraum“¹⁸³⁹. Die Taucherglocke wurde als Siegelfigur zu einer Symbolik für die Eroberung der dritten Dimension in der Frühen Neuzeit.

Von einer Geheimkunst (Nemisee 1535) und einer Sensation, die tausende Menschen bestaunten (Toledo 1538) wurde der Aufenthalt unter Wasser im Laufe der Jahrhunderte zu einer alltäglichen Selbstverständlichkeit. Damit einher ging der Prozess, wie der Meeresraum durch den Menschen betrachtet wurde. War dies anfänglich noch mit großer Furcht vor Meeresungeheuern verbunden, schlug dies in das Gegenteil um und es überwogen lange verklärende Ansichten. Das Wortbestandteil „reich“ von „Meeresreich“ fasst gut moderne Ansichten über den dreidimensionalen Raum zusammen: Er wurde noch bis Mitte des 20. Jahrhunderts als nahezu unendliche Ressource mit vielfältigem Leben betrachtet, voller „Geheimnisse und Wunder“¹⁸⁴⁰, die koloniale Ambitionen aufkeimen ließen. Heute ist der Sinneseindruck sachlicher und nüchterner, denn der Ozean wird als eine hochkomplexe, dreidimensionale Umgebung wahrgenommen, die eine große Bedeutung für den Planeten hat, als volumetrischer Raum, innerhalb dessen sich neue Medien- und Erkenntnistechiken, neue Bewegungs- und Sozialformen entwickeln.¹⁸⁴¹

Nicht nur für die Menschen an Land, auch für die Taucher änderte sich die Wahrnehmung. Taucher berichteten schon früh über neue Sinnes- und Körperwahrnehmungen und von einer Verschiebung von Wertmaßstäben, die sie auch die Vorgänge an Land anders sehen und beurteilen lassen.¹⁸⁴² Das Sehen ist unter Wasser anders, denn Farben werden im Wasser gefiltert und das Licht anders als an Land gebrochen, so dass Dinge auf dem Meeresgrund näher

¹⁸³⁸ Mareike Vennen, „Echte Forscher“ und „wahre Liebhaber“. Der Blick ins Meer durch das Aquarium im 19. Jahrhundert, in: Alexander Kraus / Martina Winkler (Hg.), Weltmeere. Wissen und Wahrnehmung im langen 19. Jahrhundert, Göttingen 2014, 84-102.

¹⁸³⁹ Möser, Grauzonen, 63.

¹⁸⁴⁰ Arthur Mangin, Der Ocean, seine Geheimnisse und Wunder, Beth 1864, 141; Adamowsky, Ozeanische Wunder, 21-24.

¹⁸⁴¹ Siehe Stephen K. Stein (Hg.), The Sea in World History. Exploration, Travel, and Trade, Santa Barbara CA 2017.

¹⁸⁴² Beispielsweise De Marchi, Della architettura militare, 1599, Libro II, fol. 42 r.

und größer aussehen. Geräusche sind aus großer Entfernung wahrnehmbar, aber die Richtung kann nicht bestimmt werden. Schwimmt der Taucher aus der Glocke hinaus, ist er ein Spielball von Strömungen und erlebt die Schwerelosigkeit. Der erhöhte Umgebungsdruck hat Einfluss auf komplexe biochemische Vorgänge im Körper, die rauschartige Zustände hervorrufen können.

Die kulturelle Verarbeitung der neuen Erfahrungen brachte neue Begriffe für diese Art der Körperwahrnehmung hervor. Wurden bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts diese Erfahrungen noch ungenau und pauschal als „Sensations“¹⁸⁴³ bezeichnet, kamen erst im 20. Jahrhundert fachspezifische Begrifflichkeiten auf. Die ersten Taucher beschrieben auch die neue Landschaftsgestalt unter Wasser noch in der Begrifflichkeit der Oberwasserwelt, etwa benannten sie große Seegräser als Bäume, an denen Früchte hingen. Auch für die neue submarine Fauna und Flora mussten neue Bezeichnungen gefunden werden.

Die zweidimensionale Meeresfläche wurde durch den Verlust von Furcht sowie neuen Technologien erweitert, und die dritte Dimension gewann immer mehr an Gestalt. Eine kontrollierte Bewegung in diesem neuen Raum begann im 19. Jahrhundert mit der Entwicklung der Unterseeboote, und setzte sich im 20. Jahrhundert mit dem Schwimmtauchen fort. Unterseeboote und Taucher im Meeresraum und Ballone im Luftraum versinnbildlichten im 19. Jahrhundert die durchgehende Eroberung der Vertikale durch den Menschen (Abbildung 40).

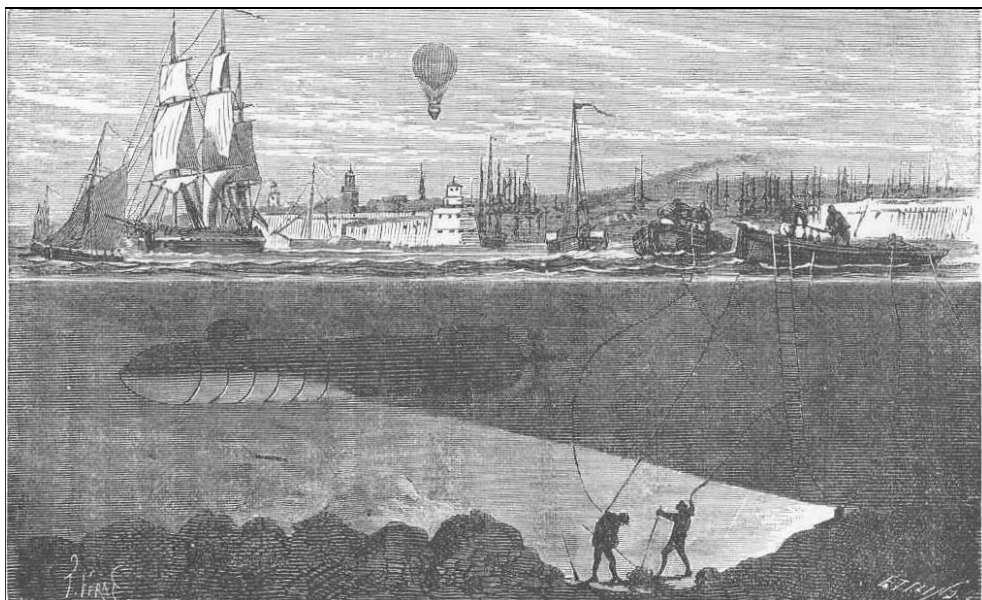


Abbildung 40: Zeitgenössische Darstellung der „Conquêtes de l'homme“ von 1868. Quelle: Leon Sonrel, *Le Fond de la Mer*, Paris 1868, Fig. 1.

¹⁸⁴³ Anonymus, Diving, in: *The Encyclopaedia Britannica, A Dictionary of Arts, Sciences, and general Literatur*, Vol. 7, London 1893, 294-300, 299.

Im Hinblick auf die kulturhistorische Entwicklung des Tauchens in der Frühen Neuzeit wird deutlich, dass Tauchtechnik wesentlich mehr ist als angewandte Naturwissenschaft. Die Genese der Tauchtechnik wird auch durch nicht-naturwissenschaftliche Dimensionen konstruiert, wie etwa die soziale Konstruktion, also etwa gesellschaftliche Bedürfnisse und Entscheidungen, bei denen bestimmte Technikentwicklungen bevorzugt, und andere hingegen zurückgestellt werden.¹⁸⁴⁴

Bei der Entwicklung der Tauchtechnik spielten die unterschiedlichsten Einflüsse eine Rolle, und erweiterten ihren möglichen Anwendungsbereich. War sie ursprünglich eine Methode für die Kriegsführung, erweiterte sich ihr Anwendungsbereich im Laufe der Frühen Neuzeit über den wissenschaftlichen hin zum wirtschaftlichem Aspekt sowie der sportlichen Freizeitgestaltung.¹⁸⁴⁵ Heute sind die Bereiche, in der Tauchtechnik Relevanz besitzt, kaum noch übersehbar.

Die erste apparatetechnische Verbesserung bestand in dem Einsatz von Taucherglocken. Durch den Einsatz einer Taucherglocke konnten Unterwasseraufgaben ökonomischer und rationeller durchgeführt werden. Ein Beispiel für eine in der Frühen Neuzeit einsetzende, wirtschaftliche Rationalisierung des Tauchens ist die Einführung einer neuen Kommunikationskultur. Bis zur Mitte der Frühen Neuzeit bestand die einzige Möglichkeit, mit der sich der Taucher mit seiner Hilfsmannschaft über Wasser austauschen konnte, in Gestalt einer Signalleine. Zog der Taucher daran, war dies das Signal für die Helfer, ihn nach oben zu ziehen. Dies war eine sehr rudimentäre und eingeschränkte Einweg-Kommunikation.

Es entwickelte sich in der Frühen Neuzeit aufgrund ökonomischer Erfordernisse eine neue Kommunikationskultur: Sollte der Arbeitsplatz einer Taucherglocke verändert werden, musste sie bis dahin nach oben gezogen werden, und der darin sitzende Arbeiter gab dann verbal Anweisungen, in welche Position die Glocke als nächstes absenkt werden sollte. Dieses Auf und Ab war zeit- und arbeitsintensiv. Deshalb wurde eine neue und verbesserte Kommunikation entwickelt, und zwar mit Hilfe von Klopfzeichen. Der Arbeiter schlug unten auf dem Meeresgrund mit einem Hammer auf die bronzene Glockenwand, und die Besatzung an Bord

¹⁸⁴⁴ Siehe Robert K. Merton, *Social Theory and Social Structure. Toward the codification of theory and research*, revised and enlarged edition, [EA 1949] Glencoe IL 1959; David Bloor, *Knowledge and Social Imagery*, London 1976; Hans K. Klein / Daniel Lee Kleinman, *The Social Construction of Technology: Structural Considerations*, in: *Science, Technology, & Human Values* 27 (2002) 28-52; Jens Lachmund / Wiebe Bijker / Trevor Pinch, *Der sozialkonstruktivistische Ansatz in der Technikforschung*, in: Diana Lengsdorf / Matthias Wieser (Hg.), *Schlüsselwerke der Science & Technology Studies*, Wiesbaden 2014, 145-154.

¹⁸⁴⁵ Helen M. Rozwadowski, *Playing By - and On and Under - the Sea: The Importance of Play for Knowing the Ocean*, in: Jeremy Vetter, ed., *Knowing global environments: New historical perspectives on the field sciences*, New Brunswick NJ 2010, 162-189, 166-169.

entnahm der Anzahl der Schläge, wohin die Position geändert werden sollte - etwa drei Schläge bedeutete mehr nach links und vier Schläge bedeutete mehr nach rechts.¹⁸⁴⁶ Zur Quittierung des Gehörten schlugen die Helfer an Bord mit einem Hammer entsprechend oft an die Eisenkette, mit der die Glocke am Kran befestigt war. Die Zweiwege-Kommunikation wurde so möglich.

Die Entstehung einer eigenen Ausdrucksweise und spezifische Kommunikationstechnik - sie entwickelte sich über die Leinen- und Klopfsignale zu einer international gültigen Unterwasserzeichensprache weiter - kann als eine besondere Kulturleistung des Tauchens eingestuft werden.

Die Menschen arbeiteten unter Wasser in einer lebensfeindlichen Umgebung. Tauchtechnik war ein Pionierfeld in einer extremen Umwelt, bei dem die hier gefundenen Lösungen auch auf andere Gebiete wie Fliegen und Raumfahrt ausstrahlten. Die Atemgeräte und Anzüge für hochfliegende Piloten und Astronauten mussten nicht mehr erfunden werden, denn es waren modifizierte Tauchgeräte, die von den gleichen Produzenten geliefert wurden, die sie auch schon für Unterwasserarbeiten bereitstellten. Tauchen war dadurch Vorbereitung für die menschliche Eroberung von anderen lebensfeindlichen Räumen, die bis dahin als unzugänglich galten.¹⁸⁴⁷ Auf der Metaebene lassen sich Taucher als Raumfahrer des inneren Weltraums¹⁸⁴⁸ begreifen, auch wenn der Begriff Raumfahrer heute für einen stellaren Aufenthalt geläufiger ist.

Zur Eroberung des Meeresraumes waren neben disziplinierten Praktiken technische Hilfsmittel und naturwissenschaftliche Kenntnisse erforderlich. Der Mensch wurde durch die Verwendung einer „Tauchermaschine“¹⁸⁴⁹ leistungsfähiger, denn er konnte damit tiefer und länger tauchen, als wenn er dies in Apnoe tut. Tauchingenieure sprachen bald von einer „Körpermaschine“¹⁸⁵⁰, um die Integration des Menschen in ein technisches Hilffsystem abzubilden. Durch diese frühe Mensch-Maschinen-Verschmelzung zu einem technisierten Körper kann die Tauchgeschichte auch Relevanz für die Körpergeschichte besitzen.¹⁸⁵¹

Die durch Tauchtechnik gesteigerten Möglichkeiten des Menschen ließen früh enthusiastische Utopien aufkeimen. So wie schon bald nach dem ersten Ballonflug von einem Besuch des Mondes geträumt wurde¹⁸⁵², kamen Anfang des 17. Jahrhunderts Ideen auf, den

¹⁸⁴⁶ Babbage, *Passages from the life of a philosopher*, 210.

¹⁸⁴⁷ Möser, *Grauzonen*, 61-62.

¹⁸⁴⁸ Armitage, *The Atlantic Ocean*, 104.

¹⁸⁴⁹ Klingert, *Tauchermaschine*, 2.

¹⁸⁵⁰ Stelzner, *Tauchertechnik*, 192; Möser, *Tiefenerfahrung*, 202.

¹⁸⁵¹ Siehe Marie-Anne Berr, *Technik und Körper*, Berlin 1990;

¹⁸⁵² Edgar Allan Poe, *Hans Phaall - a tale*, in: *Southern Literary Messenger* 10 (1835) 565-580, 570.

Meeresgrund mit Unterwasserstädte zu besiedeln. Marin Mersenne (1644)¹⁸⁵³ und John Wilkins¹⁸⁵⁴ (1648) gehörten zu den ersten Wissenschaftlern, die diese Vision publizierten, und über die Jahrhunderte kamen weitere Menschen hinzu, welche dieses utopische Projekt ausschmückten, bis hin zu dem Gedanken, der Mensch könnte sich körperlich mit einoperierten Kiemen vollständig an die neue, extreme Umweltwelt anpassen.¹⁸⁵⁵ Inzwischen sind diese Phantasien abgekühlt und es ist deutlich geworden, dass solchen Konzepten noch heute vielerlei Hemmnisse entgegenstehen oder sie sogar unmöglich machen könnten.¹⁸⁵⁶

Die Kultur- und Technikgeschichte des Tauchens hat Relevanz als ein nicht zu unterschätzendes Pionierfeld der Frühen Neuzeit gezeigt, und zwar nicht nur hinsichtlich der Entwicklung einer neuen Technologie die auf viele andere Gebiete ausstrahlt, sondern auch kulturhistorisch als Ort neuer Einsatzmöglichkeiten mit ihr und neuer Erfahrungen durch sie.¹⁸⁵⁷

Bereits früh berichteten Taucher nicht nur in Wort und Schrift über ihre Erlebnisse, im frühen 19. Jahrhundert kamen die ersten Kunstmaler auf den Gedanken, unter Wasser in Gemälden ihre Sinneseindrücke festzuhalten.¹⁸⁵⁸ Wenig später folgten Unterwasserfotografen und -filmer. Vielen von ihnen dokumentierten nicht nur die Schönheit der bizarren Unterwasserwelt, sondern auch die bereits deutlich erkennbaren Schäden durch den Menschen. Insofern besitzt Tauchen auch Relevanz für die Mediengeschichte sowie die Umweltgeschichte.

Es konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass bereits in der Frühen Neuzeit dieser neue Raum unter den Meereswellen neben neuen Tauchttechniken auch neue Erfahrungen und Kulturtechniken hervorbrachte. Der Meeresraum ist eine „Wahrnehmungs- und Arbeitswelt mit stark kultureller Wirkung“¹⁸⁵⁹.

Zu Beginn dieser Studie wurde die Forderung thematisiert, einer dreidimensionalen Betrachtung von Gewässern auch aus historischer Perspektive mehr Gewicht zu verleihen. Historiker kritisieren, dass die maritime Geschichte die Eroberung des Meeresraumes zu oft ignoriert. Sie vertrete so buchstäblich eine oberflächliche Sichtweise.¹⁸⁶⁰

¹⁸⁵³ Mersenne, *Cogitata physico mathematica*, Lib. II., 257.

¹⁸⁵⁴ Wilkins, *Mathematical Magick*, 109.

¹⁸⁵⁵ Siehe Helen M. Rozwadowski, „Bringing Humanity Full Circle Back into the Sea”. *Homo aquaticus, Evolution, and the Ocean*, in: *Environmental Humanities* 14 (2022) 1-28.

¹⁸⁵⁶ Rozwadowski, *Homo aquaticus*, 22.

¹⁸⁵⁷ Möser, *Tiefenerfahrung*, 214.

¹⁸⁵⁸ Adamwosky, *Ozeanische Wunder*, 316-321.

¹⁸⁵⁹ Möser, *Tiefenerfahrung*, 208.

¹⁸⁶⁰ Sivasundaram / Bashford / Armitage, *Introduction*, 18.

Gefordert wurde eine „history from below“¹⁸⁶¹ - jedoch nicht in der traditionellen, sozialgeschichtlichen Bedeutung als Geschichte derjenigen Menschen, die unterhalb der Eliten leben, sondern mit der Blickrichtung „beneath the waves“¹⁸⁶².

Eine 1859 von Edward Forbes begonnene¹⁸⁶³, weiterführende und ausdifferenzierte Geschichtsschreibung der Unterwasserwelt könnte menschliche Interaktionen in der Welt unter den Wellen aufzeigen - etwa auch die Geschichte der Nutzbarmachung der in der Tiefsee ruhenden Bodenschätze - sowie eine nicht-menschliche Geschichte - die historische Untersuchung nicht nur der Fauna und Flora, sondern auch des Wassers und der Strömungen und deren Wechselwirkung mit menschlichen Aktivitäten.

Eine solche globale Geschichte des Meeresraums als eine variable und sich verändernde Einheit, die durch menschliche Aktivitäten - etwa durch Überfischung oder Verschmutzung - sowie durch übergreifende Prozesse wie den Klimawandel verändert wird, würde auch die Umweltgeschichte als Ganzes in Einklang bringen. Die vorliegende Studie könnte ein Baustein dafür bilden.

¹⁸⁶¹ Sivasundaram / Bashford / Armitage, Introduction, 19.

¹⁸⁶² Wigen, Introduction, 721.

¹⁸⁶³ Kapitel „Early History of the European seas“, siehe Edward Forbes, *The Natural History of the European Seas*, London 1859, 248-278.

Anhang

Quellenverzeichnis

1. Archivalische Quellen

Augsburg, Staats- und Stadtbibliothek, 2 LR 57#

Flavius Vegetius Renatus, Vier bücher der Ritterschafft [1534]

Deen Haag, Nationaal Archief, Staten van Holland

Privileg Benjamin Lisse, Nr. 3.01.04.01, Inv. 1613, 1660.

Privileg Benjamin Lisse, Nr. 3.01.04.01, Inv. 1627, 1675.

Privileg Claes, Abraham, David van den Wegen, Nr. 3.01.04.01, Inv. 1662, 1710.

Dresden, Sächsische Landesbibliothek - Staats- und Universitätsbibliothek, Mscr.Dresd.
R.28.m

Roberto Valturio, De re militari [Verona 1472]

Erlangen-Nürnberg, Universitätsbibliothek, Handschriftencensus, MS. B26

Ludwig von Eyb d. J. zum Hartenstein, Das Kriegsbuch [um 1500]

Frankfurt a. M., Universitätsbibliothek J. C. Senckenberg, Handschriften- und Inkunabel, MS.
germ. qu. 14 (Ausst. 48)

Rüst- und Feuerwerksbuch [um 1500]

Halifax (Nova Scotia / Kanada), Dalhousie University Archives

James Dinwiddie, Hydrostatics, in: Queries and Hints Vol. 1 [1779], James Dinwiddie
fonds (MS-2-726), Box 13, Folder D1

James Dinwiddie, Notes on a Course of Lectures on Natural Philosophy [um 1793],
James Dinwiddie fonds (MS-2-726), Box 11, Folder C16

James Dinwiddie, Experiments with the Diving Bell [um 1793], James Dinwiddie fonds
(MS-2-726), Box 12, Folder C44

Karlsruhe, Landesbibliothek, Handschriftensammlung, Cod. Donaueschingen 792

Fischbüchlein vom Bodensee [um 1450]

Krakau, Biblioteka Jagiellońska, Rkp. 171 III

Stanislaw Sarnicki, Xiegi hetmanskie z dzieiow ryczerskich wsitkich wiekow zebrane y practica abo experientia hetmanow niasneisego Sigmunta Starego krola polskiego [1577]

London

- British Library

Philip Henry Zollman, An Account by Mr. Zollman of a book entituled in the Swedish language konsten at lefwa under watn (the art of living under water) [1735], MSS 4433

Edward Barlow, The Submarine. An Engine for conveying Air under Water, 13th May 1736, Add. MSS. 4433

- Royal Society of London

Matthew Rochford, A relation of M. Rochfords going downe under water at Gottenburg in Sweden, read to the Royal Society on 23 March 1663 and 13 March 1689 [1662], Collections, Classified Papers, vol. VI, no. 28.

James Maule, Notes concerning dyving & working under water from Mr. Mawle [1664], Collections, Classified Papers, vol. VI, no. 15.

Journal Book of the Royal Society, Volume 8, 1685-1690, Minutes of meeting 13th March 1689, Collections, JBO/8.

Edmond Halley, Diving bell. Campana urinatoria Halleii. [30th September 1691], Collections, MS/247, Image No. RS. 16734.

Edmond Halley, Diving bell and suit [6th April 1692], Collections, MS/557/1/5, Image No. RS. 16998.

Robert Hooke, Paper, Concerning M. [Jean de] Hautefeuille's work. Read 31 May 1699, Collections, Classified Papers, CLP/20/94.

- Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce

Description of an experiment with a diving dress by Mr. Favier v. Mills, April 13 1763, PR.GE/110/14/145-149.

- Science Museum

Diving Bell Modells, No. 1927-1288, 1927-1301, 1927-1452, 1993-131.

- National Archives

Oaths by William Clopton, David Griell and William Cuggley [1691], Chancery Affidavits, Trinity Term, Nos. 1132-1134. C 41/30

Halleys Joint-stock Company [1691], Council for Scientific Policy, D, 1690-91, C111/192, packet 41

- National Maritime Museum

Matthew Cox, Memorial to the Navy Board [1782], ADM/A/2790

Madrid, Museo Naval

Diego Ufano [1613], CF-154

Naufragio de los Galeones de España año 1622: Relación de lo sucedido después que la Armada de la guardia de las Indias llegó al Puerto de la Habana este año de 1622, Colección Documental Fernández de Navarrete, Vol. XIL, Doc. 27
Petro de Ledesma, Pesca de perlas y busca de galeones [1623], Ms. 1035

Middelburg (Niederlande), Zeeuws Archief

Roelof Dijcker, Bergingsactiviteit op de Walcheren, T508 Rekenkamer C, ammunitiemeester Vliss. 1690, inv. 35871

München, Bayerische Staatsbibliothek, Abteilung Handschriften und Alte Drucke

Johannes de Fontana, Bellicorum instrumentorum liber cum figuris [1420-1430], Cod. icon. 242

Cornelis Janszoon Meijer, Informazione di far navigabile il Tevere principiando da Perugia passando per Roma sino nel mare [Rom 1675], Cod. icon. 212.

Paris, Archives Nationales

Lettres patentes du Roy par lesquelles sa Majeste a accorde a Jean Barrier, dict de Pradine, le privilege pendans 12 annees, pour retrier et pescher dans le fonds de la mer toutes et chacunes le marandises, et autres choses qui s'y trouveront, Saint Germain en Laye 9 janvier 1641, Fonds Marine, Série G: Documents divers, G 111.

Lettre manuscrite signee de la main de la Anne de Autriche, contresignee de son Conseiller et Serviteur de res Commandaments de Ministre Hugues de Lionne, 31 janvier 1650, Archives nationale Paris, Fonds Marine, Série G: Documents divers, G 111.

Pierre Remy de Beauve, Machine ou Armement pour des plongeurs proposée au Conseil de Marine en 1715 par Mons. Le Chevalier de Beauve. Dessiné par le Sr de Beauvilliers Gentilhomme Servant du Roy et son ingénieur [1715], Mémoires et plans relatifs aux fonderies, aux travaux immobiliers et maritimes, à la propulsion des navires, aux engins portuaires, à des inventions diverses 1672-1860, MAP 6JJ/89 II, B-119.

Jean-Paul Bignon, Table des Machines en bareval. Listes des Modelés des Machines et Instrumens du Cabinet de l'Observatoire, qui out raport a la Marine [1716], Mémoires et plans relatifs aux fonderies, aux travaux immobiliers et maritimes, à la propulsion des navires, aux engins portuaires, à des inventions diverses 1672-1860, MAP 6JJ/89 I or A, 49A.

Sevilla, Archivo General de Indias

Juan des Cárdenas [27. August 1520], Indiferente 420, L. 8, ff. 253v-255r)

Juan Fernandez de Castro [20. Juni 1526], Indiferente 421, L. 11, ff. 41r-42r; Indiferente 421, L. 12, ff. 47r-47v)

Luis de Lampinan [10. Oktober 1528], Panamá 234, L. 3, f. 56v

Privilegio Nicolao de Rodas [1539], Indiferente, Leg. 1962, L.6, F.176-179

Nicolao de Rodas, Patronato, 56, N.2, R.1.

Remisión de Karl V., Indiferente, 1962, L.6, F.176-179.

Incursión por equipos para recuperar cajas de oro y plata del fondo del océano, Indiferente 1093, R.3, No. 56. [1544]
 Disputa legal entre el buzo Pero Díaz y Juan de Altamira, Sevilla, 17. September 1551, Indiferente General, 2673
 Instrumento para rescatar oro, plata y ostras del océano, Indiferente 425, L.24, ff. 228r-229r; und Indiferente 427, L.30, F.190r-190v. [1556]
 Instrumento para rescatar el oro y la plata del océano, Indiferente 425, L.24, ff. 230v-232v. [1565]
 Instrumento para rescatar el oro y el tesoro de los barcos hundidos, Indiferente 425, L.24, ff. 423v-424r. [1568]
 Invento para extraer perlas y objetos de valor bajo el agua, Indiferente 423, L.18, fol 153-154. [1568]
 Equipo de buceo para recuperar objetos del océano, Indiferente 426, L.25, ff. 256r-257r. [1573]
 Instrumento para rescatar el oro, la plata y los objetos perdidos de los barcos hundidos, Indiferente 426, L.26, ff. 59r-60v.; Indiferente 426, L.26, F.109v. [1577]
 Aparato de buceo (campana), Patronato 260, No. 1, R.10. [1584]
 Instrumento para pescar ostras, llamado tartana, Escribanía 1008c. [1592]
 Instrumento para rescatar objetos del mar y pescar ostras, Patronato 171, No. 1, R. 37. [1605]
 Reales Cédulas para Cristóbal Garciano de Almonte. San Lorenzo de El Escorial, 26 de octubre de 1610. AGI, Indiferente 502, lib. I , fol. 260 vto. núm. 262
 Instrumento para rescatar objetos del mar y pescar ostras, Indiferente 428, L. 34, ff. 62r-68r. [1612]
 Acuerdo de la Junta celebrada en Lima el 16 de febrero de 1616, Lima, 37
 Sueldos de la gente de mar y guerra de la Armada de la Carrera de Indias del Marqués de Cadereyta, Relación de Diego del Valle Rozadilla, 10 de noviembre de 1623, Contratación, 4921
 Femando Ruiz de Contreras a la Casa de la Contratación. Madrid, 21 de agosto de 1629, Indiferente 2499, lib. 14, fols. 160-161.
 Invento para extraer oro de los ríos y pescar ostras, Indiferente 429, L. 38, ff. 160-161. [1640]
 El Almirante don Juan de Villavicencio al Presidente y Jueces Oficiales de la Casa de la Contratación. Santo Domingo, 6 de abril de 1642, Contratación 5101.
 Don Pedro Vázquez de Velasco a S.M. Chanduy, 12 de febrero de 1655, Indiferente, 2574 , ramo 1.
 Anweisung von 1659, [1654 / 1663] Indiferente General, Leg 2574-A. [1657-1663] Indiferente General, Leg. 2574-B
 Campana de buceo para la recuperación de la plata del barco „La Viuda“ perdido frente a Sanlúcar de Barrameda en 1639, Indiferente L. 2699. [1684]
 Gastos hechos por don Antonio Rodríguez Cortés en el buceo de la Almiranta que se perdió en la playa de Sibarima [1698], Indiferente General, Leg. 2625
 Santo Domingo, 2280, L.2, F.152V-153R
 Indiferente General, leg. 426, fols. 2-5
 Indiferente, 423, L.18, F.218V
 Indiferente, 423, L.19, F.231V
 José de Azevedo, Indiferente, 2699
 Jerónimo de Ayanz y Beaumont, Mapas y Planos, Ingenios y Muestras, 7-A und E

- Giuseppe Bono:
 - Privilegio Giuseppe Bono, [22. September 1583], Patronato, 260, No. 1, R. 10
 - Mapas y Planos, Ingenios y Maquinas, nr. 5
 - Indiferente General, Leg. 426, fol. 3
 - Indiferente General, Leg. 426, fol. 7
 - Indiferente General, Leg. 426, fol. 16
 - Indiferente General, Leg. 426, L.27, F.73v-75v.
 - Indiferente General, Leg. 426, L.27, F.97v
 - Indiferente General, Leg. 2094, N.153

- Francisco Nunez Melian:
 - Indiferente General Leg. 2498 lib. 13 fols. 251, 251v
 - Contaduría, Leg. 1112, Partida 187 , Partida 227
 - Contratación, Leg. 2211
 - Contratación, Leg. 3003

Sevilla, Archivo Municipal

Carta de la ciudad de Sevilla a Antonio de Cibori, 13 de mayo de 1580, Papeles Importantes, Tomo. XII, Documentos 7-9.

Simancas, Archivo General

Un ingenio para mover los barcos en tiempo de calma sin el auxilio de remos, Guerra Antigua, L. 20, F. 52-54

Memorial a Carlos V, [10. Oktober 1539], Guerra Antigua, L.14, F.22 y ss.

Equipo de buceo para recuperar la artillería perdida en los naufragios. El inventor dice que el buzo podrá operar hasta 12 horas bajo el agua a veinte o treinta brazas, Guerra Antigua leg. 262 fol. 301; leg. 266 fol. 175-177; leg. 268 fol. 35. [1589]

Aparato para que uno o varios hombres armados puedan permanecer bajo un río durante uno o dos días sin mojarse ni ponerse en peligro, AGS, Guerra Antigua, leg. 264 fols. 293-296. [1589]

Un invento para que los buceadores puedan permanecer bajo el agua todo el tiempo que quieran, AGS, Leg. 267 fol. 70. [1589]

Auto para fabricar una campana de buceo. Cádiz, 28 de abril de 1662, Contaduría Mayor de Cuentas, 3 e., 1358.

Consulta del Consejo de Hacienda de 17 de agosto de 1662, Consejo y Junta de Hacienda 1153

- Giuseppe Bono:
 - Guerra Antigua, leg. 109, fol. 344
 - Camara de Castilla, leg. 532, fol. 174
 - Camara de Castilla, leg. 549, fol. 20
 - Camara de Castilla, leg. 607, fol. 8

-Jerónimo de Ayanz y Beaumont:

- Contadurias Generales, leg. 852
- Cámara de Castilla leg. 172, fol. 17v
- Cámara de Castilla leg. 174, fol. 49v-94.

Stockholm, Riksarkivet

Skoklostersamlingen II. Personarkiv RA/720795.012, E 8163, E 8241
Korrespondenz Hans Albrecht von Treileben und Karl X. Gustav [1658]
Dykerihandlingar 1745-1798, 13 Vol., Flottans arkiv 0502/02/EVI

Stockholm, Tekniska museet, Carl Johan Cronstedts arkiv, RAR2A

Carl J. Cronstedt, skissbok från 1729 - Machiner som till största dehlen äro uti wärket
stelte af Commercie Rådet Polheim och af Ehrensverd och mig afritade åhr 1729
tillika med andra tilökningar som iag sielf gjort tid effter annan

Turin, Biblioteca Reale, Codice Saluzziano 148

Francesco di Giorgio Martini, Trattati di architettura ingegneria e arte militare [um 1480]

Archivio di Stato di Venezia

Gabriel de Guzman, mirabili secreti di far macinar molini in acqua morta et di mandar
homini a lavorar sotto acqua [7 dicembre 1549], Senato Terra, reg. 36, c. 197;
filza 10

Gabriel de Guzman, Senato Terra, 18 aprile 1550, reg. 37, c. 34; filza 11
Privilegio Niccolò Tartaglia [Februar 1550], Senato Terra, reg. 31, fol. 72v-73r
Privilegio Salvador de Gardi [November 1568], Pien Collegio, filza 3, no. 100

Weimar, Herzogin Anna Amalia Bibliothek - Klassik Stiftung Weimar, Feuerwerks- und
Kriegsbücher, Fol 328

Ingenieurkunst- und Wunderbuch [um 1500]

Wien, Österreichisches Staatsarchiv, Abteilung Haus-, Hof- und Staatsarchiv

Privileg für Gabriel de Guzman von Karl V, Reichsregister, Gratialia u. Feudalia, Vol.
10, Privilegia super variis novis inventionibus, p. 36-37 r
Privileg für Gabriel de Guzman von Ferdinand I., Reg. 11/6423, [1559]
Verlängerung des Privilegs 1559, Reichsregister Ferdinand I., Vol. 7, p. 86-88 r.

Wien, Österreichische Nationalbibliothek, Cod. 3062

Johannes Wiener, Kriegsbuch [um 1437]

2. Gedruckte Quellen bis 1815

2.1 Zeitungen und Zeitschriften

Acta Eruditorum

Jacob Bernoulli, Examen Machinae urinaria a Borello excogitate, in: *Acta Eruditorum* 2 (1683) 553-556.

Denis Papin, Excerpta ex litteris Dn. Dion. Papini ad de Instrumentis ad flammam sub aqua conservandam, in: *Acta Eruditorum* 8 (1689) 485-489, Tab. XI Fig. 2-3.

John Scarlett, Epistola ad exponens dubia quaedam, circa inventum Dn. Papini, in: *Acta Eruditorum* 9 (1690) 531-536.

Advertisements and Notices

John Williams, The Art of Diving by Engines, in: *Advertisements and Notices* 966 (2. November 1722) 2.

The British magazine

R. B-n, An Account of the Indian Divers employed in the Pearl fishing: And of the Structure, Uses and Advantages of a diving Bell made lately at one of the British Settlements in the East-Indies, on Account of a Discovery of a new Pearl fishery there, in: *The British magazine* 2 (Oct. 1747) 429-434.

The British magazine and review, or, Universal miscellany of arts

Anonymus, Description of Dr. Halley's diving-bell, improvements on that machine, and accounts of Mr. Day, and the vessel in which he was sunk in Plymouth Sound, June 1774, in: *The British magazine and review, or, Universal miscellany of arts* 1 (September 1782) 169-173.

Caledonian Mercury

G. Glasgow, Letter from September 1778 to the Printer, in: *Caledonian Mercury* 9522 (9th September 1782) 1.

A Collection for Improvement of Husbandry and Trade

John Houghton, Actions, in: *A Collection for Improvement of Husbandry and Trade* 4 (20. April 1692) 2.

John Houghton, Actions, in: *A Collection for Improvement of Husbandry and Trade* 93 (11. May 1694) 2.

John Houghton, Actions, in: *A Collection for Improvement of Husbandry and Trade* 103 (20. July 1694) 1.

The Daily Advertiser

Erasmus King, Advertise, in: *The Daily Advertiser* 4007 (21. November 1743) 2.

The Exeter Mercury, or, Weekly Intelligence of News

Anonymus, Account of a man walking under the Thames using Major Becker's apparatus, in: *The Exeter Mercury, or, Weekly Intelligence of News* (2nd September 1715) 6.

The Gentleman's Magazine

Anonymus, Marten Triewald's Account of a Ventilator, in: *Gentleman's Magazine* 13 (1743) 448, 503.

Marten Triewald, Description of a new water-bellows. Its Advantages and Use, in: *The Gentleman's magazine* 19 (1749) 361-362.

John Lethbridge, Letter to the Editor Mr. Urban, in: *The Gentleman's Magazine* 19 (1749) 411-412.

Stephen Hales, A description of a sea gage, to measure unfathomable depths, in: *The Gentleman's Magazine and Historical Chronicle* 24 (1754) 215-219.

Journal des sçavans

Anonymus, Présentation du livre *Collegium Experimentale Sive Curiosum*, in: *Journal des sçavans* 14 (1678) 36-43.

Jean-Baptiste Panthot, Extrait d'une lettre écrite de Lyon à l'auteur du journal par M. Panthot, docteur en médecine & professeur au Collège de Lyon, pour servir d'éclaircissement à la Cloche ou Machine pour aller sous l'eau dont il a été parlé dans le *Journal de cette année*, in: *Journal des sçavans* 14 (1678) 140-142.

The Post Boy, An Historical Account with Foreign and Domestick News

Anonymus, Diving demonstration, in: *The Post Boy, An Historical Account with Foreign and Domestick News* 20 (22 June 1695) 1.

Sankt Peterburgskie vedomosti

Anonymus, O Wodolasach, in: *Sankt Peterburgskie vedomosti*, Notes 10 (1733) 37-40.

The Scots Magazine

Anonymus, Affaires in Ireland. Mr. Spaldings Incident, in: *The Scots Magazine* 45 (1783) 324-325.

St. James's Chronicle or the British Evening Post

Anonymus, News. Extract from a Letter from Bristol, January 31, in: *St. James's Chronicle or the British Evening Post*, January 31 1784 - February 3 3574 (1784) 6.

Transactions of the Society, Instituted at London, for the Encouragement of Arts, Manufactures, and Commerce

Charles Spalding, A relation of some attempts made with the Diving Bell. Letter dated 15. Februar 1776, in: *Transactions of the Society, Instituted at London, for the Encouragement of Arts, Manufactures, and Commerce* 1 (1783) 220-232.

The Philosophical Magazine

Robert A. B. Healy, An Account of a new Method of supplying Diving-bells with fresh Air, in: *The Philosophical Magazine* 10 (1803) 9-11.

Philosophical Transactions of the Royal Society

Anonymus, Directions for seamen, bound for far voyages, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 1 (1665) 140-143.

Anonymus, An Appendix to the Directions for Seamen, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 1 (1665) 147-149.

Anonymus, Directions for observations and experiments to be made by masters of ships, pilots, and other fit persons in their sea-voyages, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 2 (1667) 433-448.

Anonymus, Book review: An account of two books. I. *Tractatus Duo, prior de Respiratione alter de Rachitide*, a. Joh. Mayow, &c. Oxon. 1663, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 3 (1668) 833-834.

Anonymus, Reviewed Work: *Georgii Sinclari Ars Nova & Magna Gravitatis et Levitatis*, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 4 (1669) 1017-1018.

Robert Boyle, New pneumatical experiments about respiration, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 5 (1670) 2011-2056.

Anonymus, A Table Shewing, to What Degree Air is Compressible in Sea-Water, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 6 (1671) 2192-2195.

Robert Boyle, A new experiment, concerning an effect of the varying weight of the atmosphere upon some bodies in the water, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 7 (1672) 5156-5159.

Anonymus, An Account of two Books, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 8 (1673) 5197-6006.

Anonymus, Review: An Account of *Collegium Experimentale Sive Curiosum*, Johannes Christophorus Sturmius, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 10 (1675) 509-512.

Anonymus, Review: Account of *Collegii Experimentalis, sive Curiosi, pars Secunda* by Jo. Christ. Sturmium, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 15 (1685) 1184-1186.

Edmond Halley, A Discourse of the Rule of the Decrease of the Height of the Mercury in the Barometer, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 16 (1688) 104-116.

Edmond Halley, An Estimate of the Quantity of Vapour raised out of the Sea by the warmth of the Sun, derived from an Experiment shown before the Royal Society, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 16 (1688) 366-370.

Edmond Halley, The Art of Living under Water: Or, a Discourse concerning the Means of Furnishing Air at the Bottom of the Sea, in Any Ordinary Depths, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 29 (1716) 492-499.

Edmond Halley, An addition to the description of the art of living under water, publish'd in *Phil. Transact. No. 349*, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 31 (1721) 177-180.

Marten Triewald, A Letter from Mr. Triewald, Director of Mechanicks to the King of Sweden, and F. R. SS. of England and Sweden, to Sir Hans Sloane, Bart. Pres. R. S. Relating to an Extraordinary Instance of the Almost Instantaneous Freezing of Water, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 37 (1731) 79-81.

Marten Triewald, A Letter to the Reverend John Theoph. Desaguiliers concerning an Improvement of the Diving Bell, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 39 (1736) 377-383.

Marten Triewald, A description of a new invention of bellows, called water-bellows, by Marten Triewald, F. R. S. Captain of mechanics, and military architect to his Swedish

majesty, communicated to the Royal Society by Sir Hans Sloane, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 40 (1738) 231-238.

Stephen Hales, Letter concerning Captain H. Ellis's Bucket Sea Gauge, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 47 (1751) 214-216.

William Watson, An account of a manuscript treatise presented to the Royal Society, intituled, *Traité du corail*, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 47 (1751) 448-454.

John Smeaton, A letter from Mr. J. Smeaton to Mr. John Ellicott, F. R. S. concerning some improvements made by himself in the air-pump, read April 16 1752, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 47 (1753) 415-428.

Henry Cavendish, Three Papers Containing Experiments on Factitious Air, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 56 (1766) 141-184.

Joseph Priestley, An Account of Further Discoveries in Air, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 65 (1775) 384-394.

William Henry, Experiments on the Quantity of Gases Absorbed by Water, at Different Temperatures, and under Different Pressures, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 93 (1803) 29-42, 274-276.

The Weekly Journal, or British Gazetteer

Anonymus, News and Comments, in: *The Weekly Journal, or British Gazetteer* (2nd April 1720) 1569.

2.2 Monographien und Nachschlagewerke

José de Acosta, *The Natural and Moral History of the Indies* by Father Joseph De Acosta, Volume I: *The Natural History* (Books I, II, III and IV), Übers. Edward Grimeston, Hg. Clements R. Markham, London 1604.- Reprint Farnham 2010.

George Adams, *Lectures on Natural and Experimental Philosophy*, The second edition Volume III, London 1794.

Lieuwe van Aitzema, *Historie of verhael van saken van Staet en Oorlogh*, Beginnende met het vervolch van't Jaer 1657 ende eyndigende met het eynde van't Jaer 1660, Band 9, Den Haag 1664.

Leon Battista Alberti, *De principe*, Rom 1520.

Anonymus, *Descrittione dell' artificiosa machina fatta per cavar il galleone*, Venedig um 1560.

Anonymus, *Der Reiche Schweden Seeh-Recht, welches von dem Großmächt. Fürsten Carlln XI. der Schweden König [...] verordnet worden im Jahr 1667*, Wismar 1670.

Anonymus, *An Exact and Perfect Relation of the Arrival of the Ship the James and Mary Captain Phipps Commander*, London 1687.

Anonymus, *Angliae Tutamen. An Account of the Banks, Lotteries, Mines, Diving, Draining, Metallic, Salt, Linen, Lifting, and sundry other Engines, and many Pernicious Projects now on foot, tending to the Destruction of Trade and Commerce, and the Impoverishing of this Realm*, London 1695.

- Anonymus, Symposia or table talk in the month of September, 1784. Being a rhapsodical hodge-podge, containing, among other things, balloon intelligence for the years 1785, 1786, and 1787, London 1784.
- Anonymus, Salman und Morolf [12. Jhd.], Hg. Alfred Karnein, Tübingen 1979.
- Archimedes, Opera Archimedis Syracusani philosophi et mathematici ingeniosissimi, Übers. Niccolò Tartaglia, Venedig 1543.
- John Arden, Analysis of Mr. Arden's course of lectures on natural experimental philosophy, London 1774.
- Aristoteles, Über die Theile der Thiere, Vier Bücher, Übers. und Hg. von A. Karsch, Stuttgart 1855.
- Aristoteles, Problemata Physica, Hg. Ernst Grumach, Übers. Hellmut Flashar, Aristoteles Werke in deutscher Übersetzung Band 19, Berlin 1962.
- Aristoteles, Zoologische Schriften I Historia Animalium Teil III Buch V, Aristoteles Werke in deutscher Übersetzung Band 16, Hg. Christof Rapp, Bearb. Katharina Epstein, Berlin 2019.
- Armada Espanola, Ordenancas del buen gobierno de la armada del mar océano de 24 de henero de 1633, Barcelona 1633.
- Francis Bacon, Novum organum scientiarum, London 1620.
- Francis Bacon, Sylva sylvarum, or, A natural history in ten centuries, London 1627.
- Roger Bacon, Frier Bacon his discovery of the miracles of art, nature, and magick faithfully translated out of Dr. Dees own copy by T.M. and never before in English, [Original in Latein um 1266, Übers. Thomas May], London 1659.
- Antonio Bartolini, Saggio epistolare sopra la tipografia del Friuli nel secolo XV, Udine 1798.
- Johann Joachim Becher, Närrische Weißheit Und Weise Narrheit, Frankfurt 1682.
- Johann Christoph Beck, Neue Nachricht von Feuer- Rohr- und Schlangen-Spritzen. Leipzig 1720.
- Johann Beckmann, Anleitung zur Technologie, oder zur Kenntniß der Handwerke, Fabriken und Manufacturen, Göttingen 1777.
- Johann Beckmann, Beytraege zur Geschichte der Erfindungen, 5 Bd., Leipzig 1786-1805.
- Thomas Beddoes, Considerations on the Medicinal Use of Factitious Airs, and on the manner of obtaining them in large quantities, Bristol 1774.
- Isaac Beeckman, Journal tenu par lui de 1604 a 1634 publié avec une introduction et des notes par Cornelis de Waard, Tome 1: 1604-1619, Hg. C. D. Waard, La Haye 1939.
- Joannes-Baptista Benedetti: De gnomonum umbrarumque solarium usu liber, Ducem Inuictifs, Turin 1574.
- Jacques Besson, Theatrum Instrumentorum et Machinarum, Paris 1578.
- Flavio Biondo, Italia Illustrata, 3 Bd., Rom 1474.
- Thomas Birch, The History of the Royal Society of London for improving of natural knowledge, from its first rise, Vol. I, London 1756.
- Giovanni Alfonso Borelli, De Motionibus naturalibus a Gravitate Pendentibus, Bologna 1670.
- Pierre Bouguer, Essai d'optique, sur la gradation de la lumière, Paris 1729.

- Bouillet, *Traité des moyens de rendre les rivieres navigables*, Amsterdam 1696.
- William Bourne, *Inventions or devices very necessary for all Generalles and Capitaines*, London 1578.
- Robert Boyle, *New Experiments, Physico-Mechanical, touching on the Spring of the Air and its effects made, for the most part in a new pneumatical engine* [1660], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 1*, London 1772, 1-117.
- Robert Boyle, *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and Weight of the Air* [1662], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 1*, London 1772, 118-185.
- Robert Boyle, *Hydrostatical Paradoxes made Out by New Experiments* [1666], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 2*, London 1772, 738-797.
- Robert Boyle: *Of the Temperature of the Submarine Regions* [1671], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 3*, London 1772, 342-349.
- Robert Boyle, *Relations about the bottom of the sea* [1671], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 3*, London 1772, 349-354, 780-781.
- Robert Boyle, *Some considerations touching the usefulness of experimental natural philosophy* [1671], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 3.*, London 1772, 392-441.
- Robert Boyle, *Hydrostatical Discourse* [1672], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 3*, London 1772, 596-628.
- Robert Boyle, *New Experiments about the Differing Pressure of heavy solids and fluids* [1672], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 3.*, London 1772, 643-651.
- Robert Boyle, *Observations and Experiments about the Saltness of the Sea* [1673], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 3*, London 1772, 764-780.
- Robert Boyle, *Suspensions about some Hidden Quatities of the Air etc.* [1674], in: Thomas Birch (Hg.), *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition Vol. 4*, London 1772, 85-96.
- Robert Boyle, *The Works of the Honourable Robert Boyle, New Edition*, Hg. Thomas Birch, 6 Bd., [EA 5 Bd. 1744], London 1772.
- Robert Boyle, *The Correspondence of Robert Boyle*, Hg. Michael Hunter / Lawrence M. Principe / Antonio Clericuzio, 6 Bd., London 2001.
- C. Antoine Brizé-Fradin, *La chimie pneumatique appliquée aux travaux sous l'eau*. Paris 1808.
- Calendar of the Carew Manuscripts: 1589-1600*, Hg. John Sherren Brewer / William Bullen London 1869.
- Charles Brockwell, *A chronological history of Great Britain: or an impartial abstract of the most remarkable transactions, and the most considerable Occurrences, Year the second*, London 1716.
- Gabriel Christoph Benjamin Busch, *Versuch eines Handbuchs der Erfindungen*, 8 Bd., Eisenach 1790-1798.

- Henning Calvör, *Acta Historico-Chronologica-Mechanica Circa Metallurgiam In Hercynia Superiori, oder Historisch-Chronologische Nachricht und theoretische und praktische Beschreibung des Maschinenwesens und der Hilfsmittel beim Bergbau auf dem Oberharze, 1. Theil, Braunschweig 1763.*
- Tomé Cano, *Diálogo entre un vizcaíno y un montañés sobre la fábrica de navíos, Sevilla 1601.*
- Gerolamo Cardano, *De Subtilitate Libri XXI, Ad illustriss. Principem Ferrandum Gonzagam, Mediolanensis prouincia Praefectum, Nürnberg 1550.*
- Joao de Castro, *Roteiro em que se contem a viagem que fizeram os Portuguezes no anno de 1541: Partindo da nobre cidade de Goa atee Soez, que he no fim, e stremidade do mar Roxo, com o sitio, e pintura de todo o syno Arabico, Hg. A. Nunes de Carvalho, Paris 1833.*
- Walter Charleton, *A character of His Most Sacred Majesty, Charles the Second, London 1661.*
- Marcus Tullius Cicero, *De Natura Deorum Libri III, Vom Wesen der Götter, 3 Bücher, lateinisch - deutsch, Übers. und Hg. Wolfgang Gerlach / Karl Bayer, 3. Auflage, Berlin 2014.*
- Martin Clare, *The Motion of Fluids, Natural and Artificial: In Particular That of the Air and Water, London 1735.*
- Codex diplomaticus Brandenburgensis. Sammlung der Urkunden, Chroniken und sonstigen Quellenschriften für die Geschichte der Mark Brandenburg und ihrer Regenten, Namenverzeichnis Band 1, Hg. Adolph Friedrich Riedel, Berlin 1867.*
- Charles-Augustin de Coulomb, *Recherches sur les moyens d'exécuter sous l'eau toutes sortes de travaux hydrauliques sans employer aucun épuisement, Paris 1779.*
- Christoff Dambach, *Büchsenmeisterey: Das ist, Kurtze, doch eygentliche und gründliche Erklärung deren Dingen, so einem Büchsenmeister fürnemblich zuwissen von nöthen: Als ihre Freyheiten und Artickel, zu Feld und in Besatzungen, Frankfurt a. M. 1615.*
- Erasmus Darwin, *The Botanic Garden. A Poem with philosophical notes, Part 1, 4th edition, London 1799.*
- John Dee, *The Mathematicall Praeface to Elements of Geometrie of Euclid of Megara, London 1570.*
- Daniel Defoe, *An Essay upon Projects, London 1697.*
- Daniel Defoe, *A tour thro' the whole island of Great Britain, London 1724.*
- Giovanni Battista della Porta, *Pneumaticorum libri tres, Neapel 1601.*
- Giovanni Battista della Porta, *De distillatione Lib IX, Rom 1608.*
- Battista della Valle, *Vallo libro continente appartenentie ad capitaniij: retenere et fortificare una cita con bastioni, Neapel 1521.*
- Stephen C. T. Demainbray, *A Short Account of a Course of Natural Philosophy consisting of Thirty-four Lectures, London 1754.*
- John Theophilus Desaguliers, *Physico-mechanical Lectures, Or, An Account of what is Explain'd and Demonstrated in the Course of Mechanical and Experimental Philosophy, Given by J.T. Desaguliers, M.A. F.R.S.: Wherein the Principles of Mechanics, Hydrostatics and Optics, are Demonstrated and Explain'd by a Great Number of*

- Experiments: Design'd for the Use of All Such as Have Seen, Or May See Courses of Experimental Philosophy, London 1717.
- John Theophilus Desaguliers, A Course of Experimental Philosophy, 2 Bd., London 1734/1744.
- Kenelm Digby, Two treatises: In the one of which, the nature of bodies, in the other, the nature of mans soule, is looked into: in way of discovery, of the immortality of reasonable soules, Paris 1644.
- James Dinwiddie, Syllabus of a course of lectures on experimental philosophy, London 1789.
- René Duguay-Trouin, Mémoires de Monsieur Du Guay-Trouin, lieutenant-général des armées navales de France, Hg. Pierre-François Godard de Beauchamps, Paris 1740.
- John Evelyn, The Diary from 1641 to 1705-06, Hg. William Bray, London 1889.
- John Exton, The Maritime Dicaeologie or Sea-Jurisdiction of England, London 1664.
- Extracts From the Records of the Burgh of Edinburgh 1665 to 1680, Vol. 10, Hg. Marguerite Wood / James David Marwick, Edinburgh 1869.
- Nikolai Detlef Falck, A philosophical dissertation on the diving vessel projected by Mr. Day, and sunk in Plymouth Sound, London 1775.
- Robert Fludd, Utriusque cosmi maioris scilicet et minoris metaphysica, physica atque technica historia. Tractatus Secundus De Naturae Simia Seu Technica macrocosmi historia, Oppenheim 1618.
- Wilhelm Christian Friebe, Über Rußlands Handel, landwirthschaftliche Kultur, Industrie und Produkte. Band 2: Die mittleren und nördlichen Provinzen des europäischen Rußlands, Gotha 1797.
- Johann Nicolaus Frobes, Magni Pegelii, Erh. Hoffmanni, Simonis Mencii et Francisci Parcovii, primorum academiae Iuliae mathematicorum memoriae, Helmstädt 1746.
- Galileo Galilei, Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono, Pisa 1612.
- Galileo Galilei, Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali è un trattato, Leiden 1638.
- Galileo Galilei, Le opere di Galileo Galilei, edizione nazionale sotto gli auspicii di sua maesta il re d'Italia Vol. 17, Hg. Antonio Favaro / Isidoro del Lungo / V. Cerruti / G. Govi / G. V. Schiaparelli / Umberto Marchesini, Florenz 1906.
- Jean-Gaffin Gallon (Hg.), Machines et inventions approuvées par l'Académie Royale des Sciences depuis son établissement jusqu'à present (1666-1754), 7 Bd., Paris 1735-1777.
- Johann Samuel Traugott Gehler, Physikalisches Wörterbuch, Vierter Teil, Leipzig 1798.
- Conrad Gessner, Historia Animalium, Libri IIII, Zürich 1558.
- Lilius Gregorius Giraldus, De Re Nautica Libellus, Basel 1540.
- Oliver Goldsmith, A Survey of Experimental Philosophy: Considered in Its Present State of Improvement, London 1776.
- Otto von Guericke, Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica De Vacuo Spatio, Amsterdam 1672.
- Konrad Gruter von Werden, De machinis et rebus mechanicis. Ein Maschinenbuch aus Italien für den König von Dänemark 1393-1424, 2. Edition, Hg. Dietrich Lohrmann, Città del Vaticano 2006.

- Stephen Hales, *Vegetable staticks or: an Account of some Statical Experiments on the Sap in Vegetables*, London 1727.
- Edmond Halley, *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, Hg. Eugene Fairfield MacPike, London 1937.
- Eberhard Werner Happel, *Gröste Denkwürdigkeiten der Welt oder so genandte Relationes curiosae, Der erste Theil*, Hamburg 1683.
- John Harris, *Lexicon technicum: or, an universal english dictionary of arts and sciences*, 2 Bd., London 1704/1710.
- Francis Hauksbee, *Physico-mechanical Experiments on Various Subjects, Containing an Account of Several Surprizing Phaenomena*, London 1709.
- Jean De Hautefeuille, *L'Art de respirer sous l'eau et le moyen d'entretenir pendant un tems considerable la flamme enfermée dans un petit lieu*, Paris 1681.
- Petrus Paulus Helffer: *Disquisitio inauguralis physico medico-legalis, de submersorum morte*, Prag 1727.
- Jean Baptiste van Helmont, *Formarum ortus*, Amsterdam 1648.
- Jean Baptiste van Helmont, *Oriatrike or, physick refined*, London 1662.
- Jean Baptiste van Helmont, *Aufgang der Artzney-Kunst: Das ist: Noch nie erhörte Grund-Lehren von der Natur zu einer neuen Beförderung der Artzney-Sachen so wol Die Kranckheiten zu vertreiben als Ein langes Leben zu erlangen*, Sulzbach 1683.
- Johann Christian Hermann, *Allgemeiner Contorist, 4. und letzter Theil: Von Norwegen bis Zürich*, Leipzig 1792.
- Heron von Alexandria, *Druckwerke und Automatentheater = Pneumatica et automata* [1. Jhd.]. Griechisch und Deutsch herausgegeben, im Anhang Herons Fragment über Wasseruhren, Philons Druckwerke und Vitruvs Kapitel zur Pneumatik, Hg. Wilhelm Schmidt, Leipzig 1899.
- Zacharias Heyns, *Het dracht-toneel van de gantsche Wereld*, Amsterdam 1601.
- Aaron Hill, *An Account of the Rise and Progress of the Beech-Oil Invention*, London 1715.
- Friedrich Hoffmann, *Demonstrationes Physicae Curiosae, Experimentis et Observationibus mechanicis ac chymicis illustratae*, Halle 1700.
- Robert Hooke, *Micrographia: or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses*, London 1665.
- Robert Hooke, *Philosophical experiments and observations of the late eminent Dr. Robert Hooke, S. R. S. and Geom. Prof. Gresb. and other eminent virtuoso's in his time*, Hg. William Derham, London 1726.
- Robert Hooke, *Some farther Observations relating to the Nautilus, and other Shell-Fish*, in: Robert Hooke, *Philosophical experiments and observations of the late eminent Dr. Robert Hooke, and Geom. Prof. Gresb. and other eminent virtuoso's in his time*, Hg. William Derham, London 1726, 311-314.
- John Horsley, *A short and general account oft he most necassary and fudamental principles of natural philosophy. Revised, corrected, and adopted to a course of experiments, perform'd in Glasgow*, Glasgow 1743.
- Christiaan Huygens, *Oeuvres complètes. Tome X: Correspondance 1691-1695*, Hg. Johannes Bosscha, La Haye 1905.

- Mariano di Jacopo (Taccola), *Liber tertius de ingeneis ac edifitiis non usitatis* [um 1433] Faksimiledruck des MS. Palat. 766 in der Biblioteca nazionale centrale in Florenz, Hg. James H. Beck, Mailand 1969.
- Mariano di Jacopo (Taccola), *De ingeneis: Liber primus leonis, Liber secundus draconis*. Faksimiledruck des Codex Latinus Monacensis 197, Teil II. in der Bayerischen Staatsbibliothek München, Hg. Gustina Scaglia / Ulrich Montag / Frank D. Prager, Wiesbaden 1984.
- Samuel Kelly, *An Eighteenth Century Seaman, Whose Days Have Been Few and Evil, to which is Added Remarks, Etc., on Places He Visited During His Pilgrimage in this Wilderness*, [1782], Hg. Garstin Crosbie, London 1925.
- Franz Kessler, *Secreta oder verborgene geheime Künste*, Oppenheim 1616.
- Athanasius Kircher, *Magnes Sive De Arte Magnetica Opus Tripartitum, Edition Tertia*, Rom 1654.
- Athanasius Kircher, *Mundus subterraneus in XII libros digestus, Tomus I*, Amsterdam 1665.
- Karl Heinrich Klingert, *Beschreibung einer in allen Flüssen brauchbaren Tauchermaschine*, Breslau 1797.
- Conrad Kyesser, *Bellifortis* [um 1402], Faksimiledruck des Cod. Ms. Philos. 63 der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Übers. von Götz Quarg, 2 Bd., Düsseldorf 1967.
- Carl Lagerbring (Hg.), *Rules for the Diving and Saving company*, Stockholm 1802.
- Nicolaus Landerbeck, *Dissertatio physica de campana urinaria*, Uppsala 1763.
- Richard Laphorne, *The Portledge papers. Being extracts from the letters of Richard Laphorne, gent, of Hatton Garden, London, to Richard Coffin esq. of Portledge, ... from December 10th, 1687-August 7th, 1697*, Hg. Russell J. Kerr, London 1928.
- Antoine Laurent Lavoisier, *Memoire sur la combustion des chandelles dans l'air atmospherique, et dans l'air eminentement respirable*, Paris 1777.
- Cristobal Lechuga, *Discurso del capitan Cristoual Lechuga : en que trata de la artilleria, y de todo lo necessario à ella, con un tratado de fortificacion y otros aduertimentos*, Mailand 1611.
- Petro de Ledesma, *Pesca de perlas y busca de galeones* [1623], Hg. Archivo del Museo Naval de Madrid, Faksimiledruck Madrid 1985.
- Jan Adriaenszoon Leeghwater, *Het Haarlemmer-Meer-Boek* [1641], Hg. Willem J. C. van Hasselt, Amsterdam 1838.
- Jan Adriaanszoon Leeghwater, *Een kleyne chronycke ende voorbereydinge van de afkomste ende't vergrooten van de dorpen van Graft en de Ryp*, Amsterdam 1649.
- Gottfried Wilhelm Leibniz, *Sämtliche Schriften und Briefe, Erste Reihe, Dritter Band, 1680-1683*, Hg. Preussische Akademie der Wissenschaften, Berlin 1938.
- Gottfried Wilhelm Leibniz, *On Nature Itself, or on the Inherent Force and Actions of Created Things* (1698), in: Leroy E. Loemker (Hg.), *Philosophical Papers and Letters. The New Synthese Historical Library*, Dordrecht 1989, 498-508.
- Jacob Leupold, *Theatrum Machinarum*, 9 Bd., Leipzig 1724-1767.

- Jacob Leupold, *Theatrum Aerostaticum, Oder: Schau-Platz Der Maschinen Zu Abwiegung und Beobachtung aller vornehmsten Eigenschafften der Lufft. Theatrum Machinarum Band 5, Teil 3, Leipzig 1726.*
- Jacob Leupold, *Theatrum Pontificiale, Oder: Schau-Platz der Brücken und Brücken-Baues. Theatrum Machinarum Band 6, Leipzig 1726.*
- Georg Christoph Lichtenberg, *Physikvorlesung, nach J. Chr. P. Erxlebens Anfangsgründen der Naturlehre. Aus den Erinnerungen von Gottlieb Gamauf, Bearbeitet und mit einer Einleitung versehen von Fritz Krafft, Wiesbaden 2007.*
- Georg Christoph Lichtenberg, *Gesammelte Schriften. Historisch-kritische und kommentierte Ausgabe. Vorlesungen zur Naturlehre. Notizen und Materialien zur Experimentalphysik, Teil I, Band 3, Hg. Horst Zehe, Göttingen 2007.*
- Gerard van Loon, *Histoire metallique des XVII provinces des Pays-Bas, Vol. II, Den Haag 1732.*
- Buonaiuto Lorini, *Delle Fortificationi, Venedig 1596.*
- Bartolus Lucanus, *Oratio metrica ad Innocentium VIII, Rom 1486.*
- Pierre Joseph Macquer, *Dictionnaire de chymie, contenant la théorie et la pratique de cette science, son application à la physique, à l'histoire naturelle, à la médecine et aux arts dépendans de la chymie, Tome 1, Paris 1766.*
- Pierre Joseph Macquer, *Dictionnaire de chymie, contenant la théorie et la pratique de cette science, son application à la physique, à l'histoire naturelle, à la médecine et aux arts dépendans de la chymie, Tome 2, Seconde Edition, Paris 1778.*
- Raffaello Magiotti, *Renitenza certissima dell' Acqua alla Compressione, dichiarata con varij scherzi, in occasione d' altri Problemi curiosi, Rom 1648.*
- Olaus Magnus, *Carta marina et descriptio septemtrionalium terrarum ac mirabilium rerum in eis contentarum diligentissime elaborata, Rom 1539.*
- Olaus Magnus, *Historia de gentibus septentrionalibus, Rom 1555.*
- Oppian, *Oppian, Colluthus, Tryphiodorus, Übers. Alexander William Mair, London 1928.*
- Johan Albrecht von Mandelslo, *Des HochEdelgebornen Johan Albrechts von Mandelslo Morgenländische Reyse-Beschreibung, Schleswig 1658.*
- Francesco de Marchi, *Della architettura militare del capitano Francesco de' Marchi bolognese, gentil'huomo romano, libri tre, Brescia 1599.*
- Benjamin Martin, *A Course of Lectures in Natural and Experimental Philosophy, Geography and Astronomy, Reading 1743.*
- Patrick Mathers [Pseud. James Gregory], *The great and new art of weighing vanity: A discovery of the ignorance and arrogance of the great and new artist, in his pseudo-philosophical writings, Glasgow 1672.*
- Paul Henry Maty, *A General index to the Philosophical Transactions, from the first to the end of the seventieth volume, London 1787.*
- John Mayow, *Tractatus Quinque Medico-Physici, Oxford 1674.*
- Cornelis Janszoon Meijer, *L'arte di restituire à Roma la tralasciata navigatione del suo Tevere, Rom 1685.*
- Marin Mersenne, *Questions inouyes ou Récréation des sçavans, Paris 1634.*

- Marin Mersenne, *Cogitata physico mathematica*, Lib. II, Paris 1644.
- Balthasar de Monconys, *Journal des voyages*. Vol. 1, Voyage de Portugal, Provence, Italie, Egypte, Syrie, Constantinople et Natolie, Lyon 1665.
- Sebastian Münster *Cosmographia*. Beschreibung aller Lender durch Sebastianum Munsterum, in welcher begriffen Aller völcker, Herrschafften, Stetten und namhafftiger flecken, herkommen: Sitten, gebreüch, ordnung, glauben, secten vnd hantierung, durch die gantze welt, vnd fürnemlich Teutscher nation, Basel 1544.
- Francesco Negri, *Viaggio setentrionale, fatto, e descritto dal molto rev.do sig.r. d. Francesco Negri da Ravenna, opera postuma, data alla luce da gli heredi del Sudetto*, Padua 1700.
- Isaac Newton, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, London 1687.
- Isaac Newton, *Opticks: Or, a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light. Also Two Treatises of the Species and Magnitude of Curvilinear Figures*, London 1704.
- Nunziature di Venezia, Volume V (21 Marzo 1550-26 Dicembre 1551), Hg. Gaeta Franco, Rom 1967.
- Henry Oldenburg, *The Correspondence of Henry Oldenburg*, Hg. Alfred Rupert Hall / Marie Boas Hall, 13 Bd., Madison 1965-1983.
- Denis Papin, *A New Digester or Engine for Softening Bones*, Paris 1681.
- Denis Papin, *Recueil de diverses Pieces touchant quelques nouvelles Machines*, Kassel 1695.
- Denis Papin, *Leibnizens und Huygens Briefwechsel mit Papin, nebst der Biographie Papins und einigen zugehörigen Briefen und Actenstücken [1675-1712]*, Hg. Ernst Gerland, Berlin 1881.
- Blaise Pascal, *Traitez de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*, Paris 1663.
- Georg Pasch, *Schedisma de curiosis hujus seculi inventis, quorum accuratiori cultui facem praetulit antiquitas*, Kiel 1695.
- Johann Christoph Petri, *Neuestes Gemälde von Lief- und Estland, unter Katharina II. und Alexander I. in historischer, statistischer, politischer und merkantilischer Ansicht*, Leipzig 1809.
- Louis Phélypeaux (Hg.), *Ordonnance de la marine, du mois d'aoust 1681. Commentée & conférée avec les anciennes ordonnances, & le droit écrit, avec les nouveaux règlements concernans la marine*, Paris 1681.
- Iulius Pollux, *Iulii Pollucis onomasticon, hoc est instructissimum rerum et synonymorum dictionarium: nunc primum latinitate donatum*, Interpr. Rudolf Gwalther, Basel 1541.
- William Samuel Powell, *The heads of a course of lectures in experimental philosophy*, Cambridge 1746.
- Joseph Priestley, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, Vol. 2, London 1775.
- Carolus Prohasca, *Dissertatio Physica de Campana urinaria, quam un a cum pareergis ey universa Philosophia depromptis*, Erfurt 1743.
- David Rivault de Flurance, *Les elemens de l'artillerie. Concernans dans la premiere invention & theorie, que la pratique du canon*, 2. ed., Paris 1608.

- John Robertson, *The principles of natural philosophy explain'd and illustrated by experiments in a course of sixteen lectures*, London 1745.
- Jacques Rohault, *Traité de Physique*, Paris 1671.
- Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce (Hg.), *Minutes of Committees 1762-63, Committee of Mechanics*, London 1763.
- Daniel Rutherford, *Dissertatio Inauguralis de aere fixo, aut mephitico*, Edinburgh 1772.
- Thomas Rutherford, *A system of natural philosophy being a course of lectures in mechanics, optics, hydrostatics, and astronomy*, Cambridge 1748.
- Eduard F. Sacken / Joseph U. Sacken, *Die neue sackenhausische Strand-Ordnung vom 5. September 1739*, in: August Wilhelm Hupel (Hg.), *Diplomatische Bemerkungen aus den liefländischen Urkunden gezogen, Nordische Miscellen Teil 27-28*, Riga 1791, 514-533.
- Barthelemy Faujas de Saint-Fond, *Description des experiences de la machine aerostatique de MM. de Montgolfier et de celles auxquelles cette decouverte a donne lieu*, Paris 1783.
- Johann Ernst Schaper, *Demonstrationes Physicae Curiosae, Hactenus Institutae Et In Gratiam Auditorum Suorum*, Rostock 1701.
- Carl-Wilhelm Scheele, *Chemische Abhandlungen von der Luft und dem Feuer*, Uppsala 1777.
- Johann Andreas Schmidt, *Collegii experimentalis physico-mathematici demonstrationes singulis semestribus in Academia Iulia curiosis B.C.D. exhibendae*, Helmstedt 1721.
- Caspar Schott, *Mechanica hydraulico-pneumatica*, Frankfurt 1657.
- Caspar Schott, *Magia universalis naturae et artis, Pars 3 Mathematica*, Frankfurt 1658.
- Caspar Schott, *Physica curiosa, sive mirabilia naturae et artis libris XII*, Nürnberg 1662.
- Caspar Schott, *Technica curiosa, sive mirabilia artis*, Nürnberg 1664.
- Godofredi Schubarti, *Aqua submersis*, in: *Miscellanea curiosa medico-physica anni 1675 & 1676 6-7 (1677) 104-107*.
- Christoph Schweitzer, *Reise nach Java und Ceylon 1675-1682*, Neu herausgegeben nach der zu Tübingen im Verlag von Johann Georg Cotta im Jahre 1680 erschienenen Original-Ausgabe, (= Reisebeschreibungen von deutschen Beamten und Kaufleuten im Dienst der Niederländischen West- und Ostindischen Kompagnien 1602-1797, IX), Hg. S.P.L. Honore Faber, Den Haag 1931.
- Gottlob Friedrich Seligmann / Johann Conrad Glaser, *De Campana urinaria*, Leipzig 1677.
- George Sinclair, *Ars nova et magna gravitatis et levitatis*, Rotterdam 1669.
- George Sinclair, *A vindication of the preface of the book intituled Ars nova et magna gravitatis et levitatis, from the challenges and reflections of the publisher of the Philosophical transactions of the Royal Society*, Edinburgh 1669.
- George Sinclair, *The Hydrostaticks, or, The Weight, Force, and Pressure of fluid Bodies, made evident by Physical, and Sensible Experiments*, Edinburgh 1672.
- George Sinclair, *The principles of astronomy and navigation, as also A New Proposal for Buoying up a Ship of any Burden from the Bottom of the Sea*, Edinburgh 1688.
- Hans Sloane, *A voyage to the islands Madera, Barbados, Nieves, S. Christophers and Jamaica*, Vol. 1, London 1707.

- John Smeaton, An historical report on Ramsgate harbour: written by order of, and addressed to the Trustees, London 1791.
- John Smeaton, Reports of the late John Smeaton: made on various occasions, in the course of his employment as a civil engineer, Vol. 3, London 1812.
- Thomas Sprat, The History of the Royal Society, for the Improvement of Natural Knowledge, London 1667.
- Simon Stevins, De Beghinselen des Waterwichts, Leiden 1586.
- Jan van der Straet (Stradanus), Venationes Ferarum, Avium, Piscium, Antwerpen 1578.
- Johann Christoph Sturm, Collegium Experimentale, Sive Curiosum, 2 Bd., Nürnberg 1676/1685.
- Johann Christoph Sturm, Tentaminum Collegii Curiosi Quaedam Appendices sive Auctaria, Nürnberg 1676.
- Johann Christoph Sturm, Biografie mit Werksverzeichnis, in: Johann Heinrich Zedler: Grosses vollständiges Universal-Lexicon Aller Wissenschafften und Künste, Band 40, Leipzig 1744, 1417-1424.
- Leonhard Christoph Sturm, Vollständige Mühlen Baukunst, Augsburg 1718.
- Jean Taisnier, Opusculum de natura magnetis et eius effectibus item de motu continuo demonstratio proport. motuum localium de motu alio, Köln 1562.
- Jean Taisnier, A very necessarie and profitable booke concerning navigation, Übers. Richard Eden, London 1575.
- Niccolò Tartaglia, Regola generale da suleuare con ragione e misura no solamete ogni affondat ... intitolata la Travagliata inventione, Venedig 1551.
- Niccolò Tartaglia, Ragionamenti de Nicolo Tartaglia sopra la sua Travagliata inventione, Venedig 1551.
- Niccolò Tartaglia, The Troublesome Invention of N. Tartalea: being a generall way to recover from the bottome of the water any ship that's sunke, etc., in: Thomas Salusbury (Übers. und Hg.), Mathematical Collections and Translations, tom. 2, part 1, London 1665, 331-402.
- Isaac Thompson / Robert Harrison, A short account of a course of natural and experimental philosophy, comprehending mechanics, hydrostatics, and pneumatics, with the elements of optics and astronomy, Newcastle upon Tyne 1757.
- Marten Triewald, Konsten at lefwa under Watn eller en kort Beskrifning om de Pafunder, Machiner och Redskap hwarpa Dykeri- och Bargni[n]gs-Societetens Privilegier aro grundade, Stockholm 1734.
- Marten Triewald, The Art of Living under Water [1734], Übers. und Hg. Michael Fardell / Nigel Phillips, London 2004.
- Marten Triewald, År 1728 och 1729 håldne föreläsningar, på Riddarhuset i Stockholm, ofwer nya Naturkunnigheten, 2 Bd., Stockholm 1735/1736.
- Marten Triewald: Eine Verbesserung der Glocke die zum Untertauchen gehörtet, in: Veit Balthasar Henning (Hg.), Sammlung nützlicher Maschinen und Instrumenten nebst deren Erklärung, aus dem Französischen, Englischen und andern Sprachen ins Teutsche übersetzt, 4. Zehend, Nr. 31, Nürnberg 1736, 122-124.

- Marten Triewald, *Konsten at lefwa under watn, eller En kort beskrifning om de påfunder, machiner och redskap, hwarpå dykeri- och bärgnings-societetens privilegier äro grundade, den Andra Oplagan*, Stockholm 1741.
- Marten Triewald, *Plägning til Konsten at lefwa under watn, eller En kort beskrifning om de påfunder, machiner och redskaper som norra dykeri- och bergnings-societeten sedan det anställte profwet under 1731 års riks-dag, låtit förfärdiga, och nu med scala af deras storlek i koppar sticka låtit*, Stockholm 1741.
- Juanelo Turriano, *Los veínte y un libros de los ingenios, y máquinas de Juanelo: los quales le mando escribir y demostrar al Chatolico Rei D. Felipe Segundo Rey de las Hespānas y Nuevo Mundo*, Hg. José Antonio García-Diego / Alex Keller, [um 1570], Madrid 1996.
- Diego Ufano, *Tratado dela artilleria y uso della, Platicado por el capitan Diego Ufano En las Guerras de flandes*, Brüssel 1613.
- Michael Bernhard Valentini, *Museum museorum, Oder Vollständige Schau-Bühne Aller Materialien und Specereyen, Teil 1*, Frankfurt 1704.
- Bernhard Varenius, *Geographia Generalis. In qua affectiones generales Telluris explicantur* Autore, Amsterdam 1650.
- Fausto Veranzio, *Machinae Novae, Fausti Verantii sicensi cum delaratione Latina, Italica, Hispanica, Gallica, et Germanica*, Venedig 1615.
- Leonardo da Vinci, *I manoscritti dell'Institut de France*, edizione in facsimile sotto gli auspici della Commissione nazionale vinciana e dell'Institut de France, trascrizione diplomatica e critica di Augusto Marinoni, *Il manoscritto B*, Faksimiledruck Florence 1990.
- Leonardo da Vinci, *Il Codice Arundel 263 nella British Library: edizione in facsimile nel riordinamento cronologico dei suoi fascicoli*, Hg. Carlo Pedretti, 2 Bd., Faksimiledruck Florenz 1998.
- Leonardo da Vinci, *Il codice atlantico della Biblioteca ambrosiana di Milano*, trascrizione diplomatica e critica di Augusto Marinoni, 12 Bd., Florenz 1975-1980.
- Leonardo da Vinci, *The Codex Hammer (Codex Leicester)*, Hg. Carlo Pedretti, Faksimiledruck Florenz 1987.
- Vitruvius, *Vitruvii de architectura libri decem*, Hg. Fritz Krohn, Berlin 1912.
- Gisbert Voetius, *Selectae Disputationes Theologicae, Pars Tertia*, Utrecht 1659.
- Alessandro Volta, *Lettere del Signor Don Alessandro Volta, patrizio comasco, e decuriore, regio professore di fisica ... sull'aria infiammabile nativa delle paludi*, Mailand 1777.
- Goossen van Vreeswijck, *De groene leeuw, of het licht der filosofhen, vertoonende alle koninklijke handelingen in het openen en onsluiten der metalen, mineralen, vegetablische en animalische saken, het onderkennen van hare natuur en souten*, Amsterdam 1674.
- Adam Walker, *Analysis of a course of lectures on natural and experimental philosophy*, 6th Edition, Gloucester 1799.
- Adam Walker: *A System of Familiar Philosophy, In Twelve Lectures*, Vol. 1, 2th edition. London 1802.
- Richard Waller, *The Posthumous Works of Robert Hooke*, London 1705.
- John White, *A rich cabinet, with Variety of Inventions*, 3. Edition, London 1658.
- Edward Athenry Whyte, *Syllabus of a Course of Experimental Philosophy*, Dublin 1797.

- John Wilkins, *Mathematical Magick, or, The wonders that may by performed by mechanichal geometry*, Vol. 2, London 1648.
- Nicolaas Corneliszoon Witsen, *Aeloude en Hedendaegsche Scheeps-bouw en Bestier*, Amsterdam 1671.
- Christian Wolff, *Vernünfftige Gedancken. Von den Kräfften des menschlichen Verstandes Und ihrem Richtigen Gebrauche In Erkänntniß der Wahrheit*, Halle 1722.
- Bennet Woodcroft, *Titles of Patents of Invention Chronologically Arranged, 1617-1852*, London 1854.
- Bennet Woodcroft, *Reference Index of English Patents of Invention, 1617-1852*, London 1862.
- John Woodward, *Brief instructions for making observations in all parts of the world as also, for collecting, preserving, and sending over natural things*, London 1696.
- Johann Heinrich Zedler, *Großes vollständiges Universal-Lexikon aller Wissenschaften und Künste*, 64 Bd., Halle / Leipzig 1731-1754.
- Johann Friedrich Zöllner, *Lesebuch für alle Stände. Zur Beförderung edler Grundsätze, ächten Geschmacks und nützlicher Kenntnisse*, 4. Theil, Berlin 1783.

3. Literatur nach 1815

- David Abulafia, *Das unendliche Meer. Die große Weltgeschichte der Ozeane*, [Engl. EA London 2019], Frankfurt a. M. 2021.
- Natascha Adamowsky, *Ozeanische Wunder. Entdeckung und Eroberung des Meeres in der Moderne*, Paderborn 2017.
- Thomas R. Adams, *The beginnings of maritime publishing in England, 1528-1640*, in: *The Library*, sixth series, 14 (1992) 207-220.
- Thomas R. Adams / David D. Waters, *English maritime books printed before 1801. Relating to ships, their construction and operation at sea*, Providence RI / Greenwich 1995.
- Antony Adler, *Neptune's Laboratory. Fantasy, Fear, and Science at Sea*, Cambridge 2019.
- J. Douglas Adler, *The Cartesian Diver*, Vancouver 1997.
- Christian Ahlström, *Looking for Leads. Shipwrecks of the past revealed by contemporary documents and the archeological record*, Helsinki 1997.
- Christian Ahlström, *Viestejä syvyyksien sylistä*, Hämeenlinna 2000.
- Alessandro dell'Airia, *La Campana dei Bono Pionieri delle Immersioni*, in: *HDS Notizie* 21 (2001) 7-10.
- Robert Z. Aliber / Charles C. Kindleberger, *Manias, Panics, and Crashes: A History Of Financial Crises*, 7. Auflage, Hampshire 2015.
- Riikka Minerva Alvik, *The Wreck of Vrouw Maria - A Sunken Treasure or a Common European*, in: Dirk Callebaut / Jan Mařík / Jana Maříková-Kubková (Hg.), *Heritage Reinvents Europe*, [Proceedings of the Internationale Conference Ename, Belgium, 17-19 March 2011, EAC Occasional Paper No. 7], Ename 2013, 143-150.
- Riikka Minerva Alvik / Juha-Matti Granqvist / Mikko Huhtamies/Katja Tikka, *Haaksirikot ja pelastusseurat 1700 - luvun Itämerellä*, in: *Tieteessä tapahtuu* 4 (2015) 3-9.
- Soren H. Andersen, *Kökkenmøddinger (Shell Middens) in Denmark: A Survey*, in: *Proceedings of the Prehistoric Society* 66 (2000) 361-384.
- Anonymus, *Feast of Wit*, in: *The Sporting Magazine, or Monthly Calendar of the Transactions of the Turf, The Chase and every other Diversion interesting to the Man of Pleasure, Enterprise & Spirit* 5 (1819) 82.
- Anonymus, *Apparatus to enable persons to breathe in thick smoke, or in air loaded with suffocating vapours*, in: *Transactions of the Society, Instituted at London, for the Encouragement of Arts, Manufactures, and Commerce* 43 (1824) 25-32.
- Anonymus, *Hans kejserliga maj:ts nådiga kungörelse, angående upphörande af all dykeri och bergnings rätt wid kusterna inom Wiborgs län för det i St. Petersburg år 1750 inrättade privilegerade Dykeri Compagnie: gifwen i Helsingfors den 10 martii 1825*. Helsinki 1825.
- Anonymus, *Die Taucherglocke*, in: *Karlsruher Unterhaltungs-Blatt* 2/46 (1829) 181-184.
- Anonymus, *Die Taucherglocke*, in: *Das Pfennig Magazin der Gesellschaft zur Verbreitung gemeinnütziger Kenntnisse* 1 (1833) 3-4.
- Anonymus, *Die Taucherglocke zu Hamburg*, in: *Illustrierte Zeitung* 8/183 (1847) 11-12.

- Anonymus, Diving, in: *The Encyclopaedia Britannica, A Dictionary of Arts, Sciences, and general Literatur*, Vol. 7, London 1893, 294-300.
- John H. Appleby, Erasmus King: Eighteenth-century experimental philosopher, in: *Annals of Science* 47 (1990) 375-392.
- David Armitage, The Atlantic Ocean, in: David Armitage / Alison Bashford / Sujit Sivasundaram (Hg.), *Cambridge Oceanic Histories*, Cambridge 2018, 85-110.
- David Armitage / Alison Bashford / Sujit Sivasundaram (Hg.), *Cambridge Oceanic Histories*, Cambridge 2018.
- Walther Arndt, *Schwämme. Die Rohstoffe des Tierreichs*, Berlin 1937.
- J. Barto Arnold / Robert Weddle, *The Nautical Archeology of Padre Island: The Spanish Shipwrecks of 1554*, Cambridge 1978.
- John Aubrey, *Brief Lives, chiefly of contemporaries, set down by John Aubrey, between the years 1669 & 1696*, Hg. Andrew Clark, 2 Bd., Oxford 1898.
- Jordan Avramov, Letters and questionnaires. The correspondence of Henry Oldenburg and the early Royal Society of London's Inquiries for Natural History, in: Paula Findlen (Hg.), *Empires of knowledge. Scientific networks in the early modern world*, London 2019, 161-180.
- Charles Babbage, Dive, in: Edward Smedley / Hugh James Rose / Henry John Rose (Hg.), *Encyclopaedia Metropolitana or: Universal Dictionary of Knowledge, Volume XVIII*, London 1845, 157-167.
- Charles Babbage, *Passages from the life of a philosopher*, London 1864.
- Jutta Bacher, „Ingenium vires superat“. Die Emanzipation der Mechanik und ihr Verhältnis zu Ars, Scientia und Philosophia, in: Hans Holländer (Hg.), *Erkenntnis Erfindung Konstruktion. Studien zur Bildgeschichte von Naturwissenschaften und Technik vom 16. bis 19. Jahrhundert*, Berlin 2000, 519-555.
- Paula R. Backscheider, *Daniel Defoe. His Life*, Baltimore 1989.
- W. Baddeley, Caoutchouc Hose, in: *Mechanics Magazine* 8 (1828) 158-159.
- Laurent Ballesta, *Planète Méditerranée*, Paris 2020.
- John Banks, *An Epitome of a Course of Lectures on Natural and Experimental Philosophy*, Kendal 1775.
- Eric Barham, Scientific Diving, in: *Science* 176 (1972) 663-664.
- Antonio Barrera-Osorio, *Experiencing Nature: The Spanish American Empire and the Early Scientific Revolution*, Austin TX 2006.
- Antonio Barrera-Osorio, Empiricism in the Spanish Atlantic World, in: James Delbourgo / Nicholas Dew (Hg.), *Science and Empire in the Atlantic World*, New York 2007, 177-202.
- Antonio Barrera-Osorio, Nature and Experience in the New World: Spain and England in the Making of the New Science, in Victor Navarro Brotos / William Eamon (Hg.), *Más allá de la Leyenda Negra España y la Revolución Científica. Beyond the Black Legend: Spain and the Scientific Revolution*, Valencia 2007, 121-135.
- Antonio Barrera-Osorio, Knowledge and Empiricism in the Sixteenth-Century Spanish Atlantic World, in: Daniela Bleichmar / Paula De Vos / Kristin Huffine / Kevin

- Sheehan (Hg.), *Science in the Spanish and Portuguese Empires 1500-1800*, Stanford CA 2009, 219-232.
- Auguste-Paul-Emile Batailler, *Description générale des travaux exécutés à Cherbourg, pendant le Consulat et l'Empire, d'après les projets et sous la direction de feu J.-M.-F. Cachin*, Paris 1848.
- Siegfried Batzel, *Aus der Geschichte der Grubenbewetterung*, in: *Bergbau-Archiv* 19/1-2 (1958) 1-15.
- Joe Bauer, *Beyond Bells - Halley's Diving Helmet*, in: *The International Journal of Diving History* 2 (2006) 20-35.
- Werner Bavendamm / Hans Schmidt, *Holzbohrmuscheln (Teredinidae)*, in: *Holz als Roh- und Werkstoff* 18 (1960) 229-232.
- Günter Bayerl, *Technische Intelligenz im Zeitalter der Renaissance*, in: *Technikgeschichte* 45 (1978) 336-353.
- Günter Bayerl, *Technik in Mittelalter und Früher Neuzeit*, Stuttgart 2013.
- Ludwig Beck, *Die Geschichte des Eisens. Bd. 1: Von der ältesten Zeit bis um das Jahr 1500 n. Chr.*, Braunschweig 1884.
- Anna Beckman, *Tva svenska experimental fysiker på 1700 talet: Marten Triewald och Nils Wallerius*, in: *Lychnos: Lärdomshistoriska samfundets årsbok 1967-68, Annual of the Swedish History of Science Society*, Uppsala 1969, 186-214.
- Wolfgang Behringer, *Im Zeichen des Merkur: Reichspost und Kommunikationsrevolution in der Frühen Neuzeit*, Göttingen 2003.
- Wolfgang Behringer, *Communications Revolutions: A Historiographical Concept*, in: *German History* 24 (2006) 333-374.
- Wolfgang Behringer / Constance Ott-Koptschalijski, *Der Traum vom Fliegen. Zwischen Mythos und Technik*, Frankfurt a. M. 1991.
- Friedrich-Karl Beier, *Wettbewerbsfreiheit und Patentschutz. Zur geschichtlichen Entwicklung des deutschen Patentrechts*, in: *Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht* 80 (1978) 123-131.
- Carlo Marco Belfanti, *Guilds, Patents, and the Circulation of Technical Knowledge: Northern Italy during the Early Modern Age*, in: *Technology and Culture* 45 (2004) 569-589.
- Jerry H. Bentley / Renate Bridenthal / Kären Wigen (Hg.), *Seascapes. Maritime Histories, Littoral Cultures, and Transoceanic Exchanges*, Honolulu 2007.
- Kevin C. de Berg, *Revisiting the pressure-volume law in history - what can it teach us about the emergence of mathematical relationships in science?*, in: *Science & Education* 4 (1995) 47-64.
- Kees van Berkel, *Einige Opmerkingen over de Aard van de technische Innovatie in de Republiek rond 1600*, in: *Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Naturwetenschappen, Wiskunde en Techniek* 3 (1980) 123-144.
- Walther L. Bernecker, *Spanische Geschichte. Vom 15. Jahrhundert bis zur Gegenwart*, 6. aktualisierte Auflage [EA München 1999], München 2015.
- Marie-Anne Berr, *Technik und Körper*, Berlin 1990.
- Roberto Berveglieri, *Inventori stranieri a Venezia, 1474-1788: importazione di tecnologia e circolazione di tecnici artigiani inventori*, Venedig 1995.

- John Bevan, *The infernal diver. The Lives of John and Charles Deane, their Invention of the Diving Helmet and its first application*, Gosport 1996.
- John Bevan, *The Diving Helmet*, in: *South Pacific Underwater Medicine Society Journal SPUMS* 29 (1999) 109-114.
- John Bevan, *Semi-atmospheric Diving Systems*, in: *South Pacific Underwater Medicine Society Journal SPUMS* 29 (1999) 167-173.
- John Bevan, *Charles Spalding's Diving Bells*, in: *The International Journal of Diving History* 2 (2006) 36-46.
- Jean-Baptiste-Bazile Billaudel, *Rapport*, in: *Académie royale des sciences, belles-lettres et arts de Bordeaux* (Hg.), *Séance publique*, Bordeaux 1824, 47-66.
- Karl Birnbaum, *Die Gewinnung der Rohstoffe aus dem Innern der Erde, von der Erdoberfläche sowie aus dem Wasser, (Das neue Buch der Erfindungen, Gewerbe und Industrien 3), 7., vermehrte und verbesserte Auflage [EA Leipzig 1864], Leipzig 1877.*
- George Bishop, *Eight Hundred Years of Physics Teaching*, North Waltham 1994.
- Carl Björkbom, *Några anteckningar angående ryskt boktryck i Sverige*, in: *Nordisk tidskrift för bok- och biblioteksväsen* 11 (1934) 121-130.
- Birgit Blättel-Mink / Raphael Menez, *Kompendium der Innovationsforschung*, 2. Auflage [EA Wiesbaden 2006], Wiesbaden 2015.
- David Bloor, *Knowledge and Social Imagery*, London 1976.
- Marie Boas, *Robert Boyle and seventeenth-century chemistry*, Cambridge 1958.
- Marie Boas Hall, *Oldenburg and the art of Scientific Communication*, in: *The British Journal for the History of Science* 2 (1965) 277-290.
- Marie Boas Hall, *The Royal Society's Role in the Diffusion of Information in the Seventeenth Century*, in: *Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science*, 29 (1975) 173-192.
- Janusz Bogdanowski, *O nurkach starodawnych*, in: *Ziemia* 17/3 (1958) 2-4.
- Robert Bohn, *Geschichte der Seefahrt*, München 2011.
- Arianna Borelli, *Glasinstrumente und Naturforschung bei Giovanni Battista della Porta - Ein Beispiel von ‚transverse regime‘ der Wissensproduktion in der frühen Neuzeit?*, in: Klaus Hentschel (Hg.), *Zur Geschichte von Forschungstechnologien: Generizität, Interstitialität & Transfer*, Diepholz 2012, 92-109.
- Michael Borgolte / Nikolas Jaspert, *Maritimes Mittelalter. Zur Einführung*, in: Michael Borgolte / Nikolas Jaspert (Hg.), *Maritimes Mittelalter: Meere als Kommunikationsräume*, Heidelberg 2016, 9-34.
- Hjalmar Börjeson, *Skånes Handelsflotta 1658-1914. Bidrag till dess historia*, in: Eiruk Hornborg / Oscar Bjurling / Hjalmar Börjeson (Hg.), *Studier över skånska sjöfartens historia. Från den tid Skåne blev svenskt intill första världskriget*, Malmö 1950, 147-589.
- Pavel Andreevich Borovikov, *English Influences on Russian Diving Practice*, in: *Historical Diving Times* 41 (2007) 6-13.
- Pavel Andreevich Borovikov, *Daiwing w Rossii. S 1930-ch godow do naschich dnei*, Moskau 2017.
- Émile Bouillon, *Revue des bibliothèques*, Volume 20, Paris 1910.

- Stefan Brakensiek, Projektemacher: Zum Hintergrund ökonomischen Scheiterns in der Frühen Neuzeit, in: Stefan Brakensiek / Claudia Claridge (Hg.), *Fiasko - Scheitern in der Frühen Neuzeit. Beiträge zur Kulturgeschichte des Misserfolgs*, Bielefeld 2015.
- Fernand Braudel, *Das Mittelmeer und die mediterrane Welt in der Epoche Philipps II.*, 3 Bd., Übers. Grete Osterwald / Günter Seib, [EA Paris 1949], Frankfurt a. M. 1990.
- Helmut Braun, Korreferat zu Mark Spoerer, in: Rolf Walter (Hg.), *Innovationsgeschichte*, [Erträge der 21. Arbeitstagung der Gesellschaft für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte 30. März bis 2. April 2005 in Regensburg], Stuttgart 2007, 61-68.
- Holger Braun-Thürmann, *Innovation (Einsichten)*, Bielefeld 2005.
- Ruth R. Brown, „A Jewel of Great Value“: English iron gunfounding and its rivals, 1550-1650, in: Carlo Beltrame / Renato Gianni Ridella (Hg.), *Ships and Guns: The Sea Ordnance in Venice and in Europe Between the 15th and the 17th Centuries*, Venedig 2011, 98-105.
- Eva Brugger, Die Produktivität des Scheiterns. Das Projektemachen als ökonomische Praktik der Frühen Neuzeit, in: Marian Füssel / Philip Knäble / Nina Elsemann (Hg.), *Wissen und Wirtschaft: Expertenkulturen und Märkte vom 13. bis 18. Jahrhundert*, Göttingen 2017, 79-96.
- Terje Brundtland, From medicine to natural philosophy: Francis Hauksbee's way to the air-pump, in: *The British Journal for the History of Science* 41 (2008) 209-240.
- Willem F. J. Mörzer Bruyns, Research in the history of navigation, its role in maritime history, in: *International Journal of Maritime History* 21 (2009) 261-286.
- Christian Buchet (Hg.), *The Sea in History - La Mer dans l'Historie*, 4 Bd., Woodbridge 2017.
- Peter Burke, *Die Geschichte der „Annales“*. Die Entstehung der neuen Geschichtsschreibung, 2. Auflage, Berlin 2004, 152.
- Herbert Butterfield, *The Origins of Modern Science*, London 1950.
- David G. E. Caldicott / Ravi Mahajani / Marie Kuhn, The anatomy of a shark attack: a case report and review of the literature, in: *Injury* 32 (2001) 445-453.
- Jorge Cañizares-Esguerra, *Nature, Empire, and Nation: Explorations of the History of Science in the Iberian World*, Redwood City CA 2006.
- Fritjof Capra, *The Science of Leonardo*, New York 2007.
- Fritjof Capra, *Learning from Leonardo. Decoding the Notebooks of a Genius*, San Francisco 2014.
- Audrey T. Carpenter, *John Theophilus Desaguliers: A Natural Philosopher, Engineer and Freemason in Newtonian England*, London 2011.
- Riccardo Cattaneo-Vietti / Giovanni Fulvio Russo, A brief history of the Italian marine biology, in: *The European Zoological Journal* 86 (2019) 294-315.
- Riccardo Cattaneo-Vietti / Angelo Mojetta, The essential role of diving in Marine Biology, in: *Bulletin of Environmental and Life Sciences* 3 (2021) 1-44.
- Carl Olof Cederlund, *Vasa I: The Archaeology of a Swedish Warship of 1628*, Oxford 2006.
- Alan Chalmers, Robert Boyle's mechanical account of hydrostatics and pneumatics: fluidity, the spring of the air and their relationship to the concept of pressure, in: *The Archive for History of Exact Sciences* 69 (2015) 429-454.

- David F. Channell, *The Rise of Engineering Science. How Technology Became Scientific*, Cham 2019.
- Joyce E. Chaplin, *The Atlantic Ocean and its contemporary meanings, 1482-1808*, in: Jack P. Greene / Philip D. Morgan (Hg.), *Atlantic History. A critical appraisal*, Oxford 2009, 35-51.
- Sydney Chapman, *Edmond Halley, F. R. S. 1656-1742. A commemorative lecture given on 21 November 1956, at the Royal Society's celebration of Halley's tercentenary*, in: *Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science* 12 (1957) 168-174.
- Monica Chojnacka / Merry E. Wiesner-Hanks, *Ages of Woman, Ages of Man: Sources in European Social History, 1400-1750*, London 2002.
- Fernando Ciaramitaro, Giuseppe Bono, „Hidalgo de Palermo“, in: *Rassegna Siciliana di Storia e Cultura* 21 (2004) 7-27.
- Carlo M. Cipolla, *Guns, Sails and Empires: Technological Innovation and the Early Phases of European Expansion, 1400-1700*, New York 1965.
- Carlo M. Cipolla, *The Diffusion of Innovations in Early Modern Europe*, in: *Comparative Studies in Society and History* 14 (1972) 46-52.
- Carlo M. Cipolla, *Die Odyssee des spanischen Silbers. Conquistadores, Piraten, Kaufleute*, Berlin 1998.
- Mariano Ciriquiain-Gaiztarro, *Los puertos marítimos del País Vasco*, San Sebastian 1986.
- Floris Cohen, *Die zweite Erschaffung der Welt. Wie die moderne Naturwissenschaft entstand*, [niederl. EA Amsterdam 2007], Frankfurt 2010.
- Margaret Cohen (Hg.), *A Cultural History of the Sea*, 6 Bd., London 2021.
- Louis Théodore Frédéric Colladon, *Beobachtungen bei und über eine Fahrt auf den Boden des Meeres in einer Taucherglocke*, in: *Notizen aus dem Gebiete der Natur- und Heilkunde* 1/7 (1821) 97-101.
- Louis Théodore Frédéric Colladon, *Narrative of a Descent in the Diving-Bell*, in: *The Edinburgh Philosophical Journal* 5 (1821) 8-15.
- Alan H. Cook, *Edmond Halley: Charting the Heavens and the Seas*, Oxford 1997.
- Michael Cooper / Michael Hunter, *Robert Hooke: Tercentennial Studies*, Abingdon 2006.
- Alain Corbin, *Meereslust: Das Abendland und die Entdeckung der Küste 1750-1840*, [franz. EA Paris 1988], Berlin 1990.
- John Coryton, *A Treatise on the Law of Letters-Patent for the Sole use of Inventions in the United Kingdom of Great Britain and Ireland*, Dublin 1855.
- Zelide Cowan, *Early Divers. Underwater Adventures in the 17th and 18th Centuries*, Great Yarmouth 1985.
- Jacqui Cozens, *Leonardo's Amazing Diving Suit*, in: *Historical Diving Times* 34 (2004) 41-51.
- Alexander D. D. Craik, *The hydrostatical works of George Sinclair (c. 1630-1696): their neglect and criticism*, in: *Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science* 72 (2018) 239-273.
- Alexander D. D. Craik, *George Sinclair's neglected Treatises: some influences and reactions*, in: *British Journal for the History of Mathematics* 35 (2020) 43-51.

- Alexander D. D. Craik / Danielle Spittle, The hydrostatical work of George Sinclair (c. 1630-1696): an addendum, in: *Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science* 73 (2019) 125-130.
- J. L. Cranmer-Byng / Trevor H. Levere, A case study in cultural collision: Scientific apparatus in the Macartney embassy to China, 1793, in: *Annals of Science* 38 (1981) 503-525.
- Hans-Jürgen Creutz, Die Herausbildung des Erfindungsschutzes in Sachsen im 15. und 16. Jahrhundert, in: *Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Wirtschaftsgeschichte (Hg.), Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte* 2, Berlin 1983, 91-110.
- Alistair Cameron Crombie, *Von Augustinus bis Galilei. Die Emanzipation der Naturwissenschaft*, [Engl. EA London 1959], München 1977.
- Maurice P. Crosland, „Slippery Substances“: Some Practical and Conceptual Problems in the Understanding of Gases in the Pre-Lavoisier Era, in: Frederic L. Holmes / Trevor H. Levere (Hg.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, Cambridge 1999, 79-104.
- Maurice P. Crosland, *Gay-Lussac: Scientist and Bourgeois*, Cambridge 2004.
- Katrin Cura, Bilder und Texte - von der Dokumentation zum Protokoll in der Chemie, in: Johann Anselm Steiger / Sandra Richter / Marc Föcking, *Innovation durch Wissenstransfer in der Frühen Neuzeit, Kultur- und geistesgeschichtliche Studien zu Austauschprozessen in Mitteleuropa*, Leiden 2010, 279-307.
- Lorraine Daston, *Wunder, Beweise und Tatsachen: zur Geschichte der Rationalität*, Frankfurt a. M. 2001.
- Maurice Daumas, *Histoire générale des techniques*, 5 Bd., Paris 1962-1979.
- Daniel David, *Les précurseurs de la plongée autonome, 1771-1853*, Saint-Brieuc 2008.
- Karel Davids, Shifts of technological leadership in early modern Europe, in: Karel Davids / Jan Lucassen (Hg.), *A miracle mirrored. The Dutch Republic in European Perspective*, Cambridge 1995, 338-366.
- Karel Davids, *The Rise and Decline of Dutch Technological Leadership: Technology, Economy and Culture in the Netherlands, 1350-1800*, Leiden 2008.
- Karel Davids, *Religion, Technology, and the Great and Little Divergences, China and Europe Compared, c. 700-1800*, Leiden 2013.
- Karel Davids, *Global Ocean of Knowledge, 1660-1860. Globalization and Maritime Knowledge in the Atlantic World*, London 2020.
- J. David Davis, *Kings of the Sea. Charles II, James II and the Royal Navy*, Barnsley 2017.
- Robert H. Davis, *Deep diving and submarine operations: a manual for deep sea divers and compressed air workers*, 8th edition, [Diving scientifically and practically considered. Being a diving manual and Handbook of submarine appliances, EA London 1909], Gwent 1981.
- Kevin Dawson, *The Mary Rose*, in: Stephen K. Stein (Hg.), *The Sea in World History: Exploration, Travel, and Trade, Volume 1*, Santa Barbara 2017, 337-339.
- Kevin Dawson, *Undercurrents of Power*, Philadelphia 2018.

- Kevin Dawson, History Below the Waterline: Enslaved Salvage Divers Harvesting Seaports' Hinter-Seas in the Early Modern Atlantic, in: *International Review of Social History* IRSH 64 (2019) 43-70.
- Margaret Deacon, *Scientists and the Sea, 1650-1900. A Study of Marine Science*, 2. new edition [EA London 1971], Aldershot 1997.
- Ernst Deecke, *Lübische Geschichten und Sagen*, Lübeck 1852.
- James Delbourgo, *Divers Things: Collecting the World Underwater*, in: *History of Science* 49 (2011) 149-185.
- James P. Delgado, *Encyclopedia of underwater and maritime archaeology*, New Haven 1998.
- Peter Dick, The „poor Gunner“. William Bourne & 16th century italian influence on Diving in England, in: *HDS Notizie* 23 (2002) 5-16.
- Peter Dick, Why the English Connection?, in: *Historical Diving Times* 43 (2008) 50-51.
- Peter Dick, Diving and the Royal Society of Arts, in: *The International Journal of Diving History* 5 (2012) 47-64.
- Peter Dick, Undercurrents: Welcome to Kalymnos, in: *Historical Diving Times* 59 (2014) 35-36.
- Peter Dick, Recovering Guns from the Mary Rose, in: *The International Journal of Diving History* 13 (2021) 71-84.
- Peter Dick / Michael Fardell, Thomas Neale - A Late 17th Century Projector's Story, in: *International Journal of Diving History* 10 (2018) 43-48.
- Anton Dohrn, Bericht über die Zoologische Station während der Jahre 1879 und 1880, in: *Mittheilungen aus der Zoologischen Station zu Neapel* 3 (1881) 495-514.
- Barbara Dölemeyer, Erfinderprivilegien und Patentgesetzgebung am Beispiel der Habsburgermonarchie, in: Barbara Dölemeyer / Heinz Mohnhaupt (Hg.), *Das Privileg im europäischen Vergleich*, Band 2, Frankfurt a. M. 1999, 309-334.
- Barbara Dölemeyer: Erfinderprivilegien und frühe Patentgesetze, in: Martin Otto (Hg.), *Geschichte des deutschen Patentrechts*, Tübingen 2015, 13-36.
- Kenneth Donald, *Oxygen and the Diver*, West Palm Beach FL 1995.
- Gerhard Doorman, *Patente für Erfindungen in den Niederlanden aus dem 16.-18. Jahrhundert. Mit einer Besprechung einiger Gebiete aus der Geschichte der Technik*, Haag 1941.
- Charles Van Doren, *Geschichte des Wissens*, München 2000.
- Stilman Drake / Israel Edward Drabkin, *Mechanics in Sixteenth-Century Italy*, Madison 1969.
- Denis Ian Duveen / Herbert S. Klickstein, *A Bibliography of the Works of Antoine Laurent Lavoisier 1743-1794*, London 1954.
- Dykeri- och bergnings-compagniet, *Dykeri- och bergnings-compagniet til dess ursprung, fortgång och närvarande skick*, Stockholm 1823.
- William Eamon, Court, Academy, and Printing House: Patronage and Scientific Careers in Late-Renaissance Italy, in: Bruce T. Moran (Hg.), *Patronage and institutions: science, technology, and medicine at the European court, 1500-1750*, Rochester 1991, 25-50.
- William Eamon, *Science and the Secrets of Nature: Books of Secrets in Medieval and Early Modern Culture*, Princeton 1994.

- Peter Earle, *Treasure Hunt: Shipwreck, Diving, and the Quest for Treasure in an Age of Heroes*, New York 2008.
- Oskar Ebermann, *Sagen der Technik. Von Fliegern und Schiffen, Brücken und Bauten, Uhren, Glocken, Zauberspiegeln und andern Dingen*, 2. Auflage [EA Leipzig 1931], Leipzig 1943.
- Virginia Iommi Echeverria, *Hydrostatics on the Fray: Tartaglia, Cardano, and the Recovery of Sunken Ships*, in: *British Journal for the History of Science* 44 (2011) 482-484.
- Friedrich Edelmayer, *Hispanoamerika im 16. Jahrhundert*, in: Friedrich Edelmayer (Hg.), *Die Neue Welt. Süd- und Nordamerika in ihrer kolonialen Epoche*, Wien 2001.
- Mark. A. Edwards, „Drebbelian“ Success Story, in: *Historical Diving Times* 32 (2003) 10-14.
- Gustaf Elgenstierna, *Den introducerade Svenska adelns ättartavlor*, Band 8, Stockholm 1934.
- Hubert Elie, *Un Lunévillois imprimeur à Rome au début du XVIe siècle: Etienne Guillery*, in: Aloys Ruppel (Hg.), *Gutenberg-Jahrbuch 1939*, Wiesbaden 1939, 185-196.
- Hubert Elie, *Un Lunévillois imprimeur à Rome au début du XVIe siècle: Etienne Guillery, Suite et Fin*, in: Aloys Ruppel (Hg.), *Gutenberg-Jahrbuch 1944/49*, Wiesbaden 1949, 128-137.
- Jürgen Elvert / Lutz Feldt / Ingo Löppenbergl / Jens Ruppenthal (Hg.), *Das maritime Europa. Werte - Wissen - Wirtschaft*, Stuttgart 2016.
- Ulrike Enke, *Gelehrtenleben im späten 17. Jahrhundert - eine Annäherung an den Gießener Medizinprofessor Michael Bernhard Valentini (1657-1729)*, in: *Medizinhistorisches Journal* 42 (2007) 299-329.
- Stephan R. Epstein, *Transferring Technical Knowledge and Innovating in Europe, c. 1200—c. 1800*, in: Maarten Prak / Jan Luiten van Zanden (Hg.), *Technology, Skills and the Pre-modern Economy*, Leiden 2013, 25-67.
- Christoffer H. Ericsson, *An 18th Century Diving-Suit from Brahestad in Finland*, in: *The International Journal of Nautical Archaeology* 4 (1975) 130-134.
- Alphonse Esquiro, *Les Plongeurs et la vie sous l'eau, la Diving-Bell, le Diving-Apparatus et le village de Whitstable*, in: *Revue des Deux Mondes*, 2e période, 62 (1866) 312-348.
- Mariano Esteban Piñero / María Isabel Vicente Maroto, *La Casa de la Contratación y la Academia Real Matematica*, in: José María López Piñero (Hg.), *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla. Siglos XVI y XVII*, Leon 2002, 35-51.
- J. Estrup, *Kong Christian VI's egenændige Breve til Greve Frederik Dannekjold-Samsoe (1734-45)*, in: *Danske magazin: indeholdende bidrag til den danske histories oplysning* 5-6 (1904) 331-404.
- Jan Fagerberg / David C. Mowery / Richard R. Nelson (Hg.), *The Oxford Handbook of Innovation*, Oxford 2005.
- Michael Fardell, *John Lethbridge. The most successful treasure diver of the eighteenth century*, London 2010.
- Michael Fardell, *Diving Bells and the Post Office. The construction of a new wharf at Hobbs' Point, Milford Haven for the Post Office Packet Boat service, 1829-1834*, in: *The International Journal of Diving History* 9 (2017) 3-27.
- Antonio Favaro, *Di Niccolò Tartaglia e della stampa di alcune delle sue opere con particolare riguardo alla „Travagliata Inventione“*, in: *Isis* 1 (1913) 329-340.

- Thomas Feige, Das schwedische Regal-Schiff Svärdet von 1662, in: Das Logbuch 47/4 (2011) 145-147.
- Franz Maria Feldhaus, Zur Geschichte der Windbüchsen, in: Zeitschrift für historische Waffenkunde 3 (1904) 271-272, 368-369.
- Franz Maria Feldhaus, Submarine experiments of the past. Some medieval fancies recently realised, in: Scientific American Supplement No. 1733, 67 (1909) 84-85.
- Franz Maria Feldhaus, Die Technik der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker, Leipzig 1918.
- Franz Maria Feldhaus, Kulturgeschichte der Technik, Berlin 1928.
- Louis Figuier, Les merveilles de la science, ou Description populaire des inventions modernes, Tome 4, Paris 1870.
- Paula Findlen, Possessing Nature: Museums, Collecting, and Scientific Culture in Early Modern Italy, Berkeley 1996.
- Angela Fischel, Natur im Bild. Zeichnung und Naturerkenntnis bei Conrad Gessner und Ulisse Aldrovandi, Berlin 2009.
- Robert S. Fitzgerald, The Regulation of Breathing, in: Donald E. Proctor (Hg.), A History of Breathing Physiology, New York 1995, 303-342.
- Alexander J. Flechsig, Frühneuzeitlicher Erfindungsschutz. Eine Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung der Reichsstadt Augsburg, Dissertation, Juristische Fakultät Universität Augsburg, Münster 2013.
- Michael W. Flinn, The Travel Diaries of Swedish Engineers of the Eighteenth Century as Sources of Technological History, in: Transactions of the Newcomen Society 31 (1957) 95-109.
- Jacob Albrecht Flintberg, Schwedisches Seerecht, Greifswald 1796.
- Edward Forbes, The Natural History of the European Seas, London 1859.
- Janet Foster / Julia Sheppard, British Archives: A Guide to Archive Resources in the United Kingdom, Fourth Edition, Basingstoke 2002.
- Anders Franzen, The Warship Vasa, Stockholm 1960.
- Anders Franzen, Ghost from the Depths: The Warship Vasa, in: National Geographic Magazin 121 (1962) 42-57.
- C. R. A. Fredberg, Det gamla Göteborg: lokalhistoriska skildringar, personalia och kulturdrag, Del 1, Göteborg 1919.
- Dorothea Friedrich, Ideen, Patente und Lizenzen. Erfindergeschichten und -geschäfte, in: Das Archiv 2 (2009) 6-13.
- Frank J. Frost, Scyllias: Diving in Antiquity, in: Greece & Rome, 2nd ser., 15 (1968) 180-185.
- John Farquhar Fulton, The Honourable Robert Boyle, F.R.S. (1627-1692), in: Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science 15 (1960) 119-135.
- Fritz Funke, Buchkunde. Ein Überblick über die Geschichte des Buches, 6., überarbeitete und ergänzte Auflage, [EA München 1959], München 1999.
- Maria Fusaro / Amelia Polonia (Hg.), Maritime History as global History, St. John's CAN 2010.

- Mario Galasso, Korallenfischerei in Sardinien. Archäologische Zeugnisse und Dokumente von der Vorgeschichte bis heute, in: *Skyllis, Zeitschrift für Unterwasserarchäologie* 3/2 (2000) 80-113.
- Alison Games, Atlantic History. Definitions, Challenges, Opportunities, in: *American History Review* 111 (2006) 741-757.
- Nicolas Garcia Tapia, Técnica y poder en Castilla durante los siglos XVI y XVII, Leon 1989.
- Nicolas Garcia Tapia, Patentes de invención españolas en el Siglo de Oro, Madrid 1990.
- Nicolas Garcia Tapia, En busca de tesoros bajo el mar: Invenciones de equipos para bucear en América, in: *Revista de Indias* 55/203 (1995) 7-31.
- Nicolas Garcia Tapia, Ingeniería del agua en los códices de Leonardo y en los manuscritos españoles del siglo XVI, in: *Ingeniería del Agua* 3/2 (1996) 17-38.
- Nicolas Garcia Tapia, Descubrimientos e invención técnica: La actividad de los inventores españoles, in: Ana María Carabias Torres (Hg.), *Las Relaciones entre Portugal y Castilla en la Epoca de los Descubrimientos y la Expansión Colonial*, Salamanca 1996, 165-180.
- Nicolas Garcia Tapia, The Repercussions of Spanish Technology in the Discovery of the American Continent, in: *Icon - Journal of International Committee for the History of Technology* 5 (1999) 113-127.
- Nicolas Garcia Tapia, Un inventor navarro: Jerónimo de Ayanz y Beaumont, 1553-1613, Madrid 2001.
- Nicolas Garcia Tapia / Maria Isabel Vicente Maroto, Las Escuelas de Artilleria y otras Instituciones tecnicas, in: José María López Piñero (Hg.), *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla. Siglos XVI y XVII*, Leon 2002, 73-81.
- Nicolas Garcia Tapia, Cédulas de privilegio y patentes de invención, in: José María López Piñero (Hg.), *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla. Siglos XVI y XVII*, Leon 2002, 83-90.
- Nicolas Garcia Tapia, Pedro Juan De Lastanosa and „The Twenty-One Books of Devices and Machines of Juanelo“, in: Jose Maria de la Portilla / Marco Ceccarelli (Hg.), *History of Machines for Heritage and Engineering Development*, Dordrecht 2011, 69-83.
- Ervan G. Garrison, A Diachronic Study of Some Historical and Natural Factors Linked to Shipwreck Patterns in the Northern Gulf of Mexico, in: Lawrence E. Babits / Hans van Tilburg (Hg.), *Maritime Archaeology: A Reader of Substantive and Theoretical Contributions*, New York 1998, 303-316.
- Oliver Gassmann / Martin A. Bader, Patentmanagement. Innovationen erfolgreich nutzen und schützen, 4. Auflage [EA Heidelberg 2006], Heidelberg 2017.
- Fritz Gause, Die Geschichte der Stadt Königsberg in Preussen. Band 1: Von der Gründung der Stadt bis zum letzten Kurfürsten, Köln 1965.
- Ernst Gerland / Friedrich Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst, Leipzig 1899.
- Piero Gianfrotta, Archeologia subacquea e testimonianze di pesca, in: *Mélanges de l'École française de Rome - Antiquité MEFRA* 111 (1999) 9-36.
- C. Stewart Gillmor, Coulomb and the Evolution of Physics and Engineering in Eighteenth-Century France, Princeton 1971.

- Jochen Gläser, *Wissenschaftliche Produktionsgemeinschaften. Die soziale Ordnung der Forschung*, Frankfurt a. M. 2006.
- Rolf-Jürgen Gleitsmann, „Wir wissen aber, Gott Lob, war wir thuen“: Erfinderprivilegien und Technologischer Wandel im 16. Jahrhundert, in: *Zeitschrift für Unternehmensgeschichte* 30/2 (1985) 69-95.
- Rolf-Jürgen Gleitsmann-Topp / Rolf-Ulrich Kunze / Günther Oetzel, *Technikgeschichte*, Konstanz 2009.
- Jan Golinski, *Science as Public Culture: Chemistry and Enlightenment in Britain, 1760-1820*, Cambridge 1992.
- Ignacio González Tascón, *Felipe II. Los ingenios y las máquinas, Ingeniería y obras públicas en la época de Felipe II*, Madrid 1999.
- Graeme Gooday, “Vague and Artificial”: The Historically Elusive Distinction between Pure and Applied Science, in: *Isis* 103 (2012) 546-554.
- David C. Goodman, *Power and Penury. Government, technology and science in Philip II's Spain*, Cambridge 1988.
- Maxwell Williams Goodman, *The syndrome of Decompression Sickness in historical perspective*, New London CT 1961.
- Steward Gordon, *A History of the World in Sixteen Shipwrecks*, Oxford 2015.
- Maurizio Gotti, *Scientific Interaction with Henry Oldenburg's Letter Network*, in: *Journal of Early Modern History* 3 (2014) 151-171.
- Barry Gower, *Scientific Method: A Historical and Philosophical Introduction*, London 1996.
- Elfriede Grabner, *Die Koralle in Volksmedizin und Volksglaube*, in: *Zeitschrift für Volkskunde* 65/1 (1969) 183-195.
- Rolf Grabow, *Simon Stevin*, Wiesbaden 1985.
- Juha-Matti Granqvist, *Wreckage recycled. Salvage auctions and their economic impact in 18th century Sweden*, in: *Scandinavian Economic History Review* 68 (2020) 1-12.
- Pere Grapi, *Inspiring air: A history of air-related science*, Wilmington DE 2019.
- Marc-André Grebe: *Akten, Archive, Absolutismus? Das Kronarchiv von Simancas im Herrschaftsgefüge der spanischen Habsburger (1540-1598)*, Frankfurt a. M. 2012.
- James Gregory, *Tercentenary Memorial Volume*, Edinburgh 1939.
- John Grissim, *The lost treasure of the Concepcion: The story of one of the world's greatest treasure finds and Burt Webber, the man who never gave up*, New York 1980.
- Robert Theodore Gunther, *Early science in Oxford, Vol. VI, The life and work of Robert Hooke Part I*, Oxford 1930.
- Robert Theodore Gunther, *Early science in Oxford, Vol. X, The life and work of Robert Hooke Part IV. Tract on capillary attraction, 1661. Diary, 1688-1693*, Oxford 1935.
- Lars Gustafsson, *Early bell diving in Sweden*, in: *The International Journal of Diving History* 2 (2006) 7-15.
- Georg Hafström, *Örlogsskeppet Wasas Undergång 1628*, in: *Tidskrift i Sjöväsendet* 10 (1958) 740-770.
- Georg Hafström, *Äldre tiders bärgningsarbeten vid vraket av skeppet Wasa*, in: *Tidskrift i Sjöväsendet* 10 (1958) 771-844.

- Christoph Hahn / Siegmund Hohl (Hg.), *Der große Museumsführer. Sammlungen zu Kunst, Kultur, Natur und Technik in Deutschland*, Gütersloh 2000.
- Alfred Rupert Hall, *Scientific method and the progress of techniques*, in: Edwin Ernest Rich / Charles H. Wilson (Hg.), *The Cambridge Economic History of Europe, Vol. 4: The economy of expanding Europe in the sixteenth and seventeenth centuries*, Cambridge 1967, 96-154.
- Bert S. Hall, *The technological illustration of the so-called „Anonymous of the Hussite Wars“*. *Codex Latinus Monacensis 197*, Wiesbaden 1979.
- Axel Halle, *Bibliothek und Archiv als Grundlage der Forschung. Franz Maria Feldhaus und seine Sammlung*, in: Wolfgang König / Helmuth Schneider (Hg.), *Die technikhistorische Forschung in Deutschland von 1800 bis zur Gegenwart*, Kassel 2007, 117-138.
- Iosif Christianowitsch Hamel, *On the diving-bell, as a means for curing deafness*, in: *The Philosophical Magazine* 48/219 (1816) 22-24.
- Iosif Christianowitsch Hamel, *Lettre du Docteur Hamel, Conseiller de Cour de S. M. l'Empereur de Russie, au Professeur Pictet, sur la Cloche des plongeurs*, in: *Annales maritimes et coloniales, II. Partie*, 1 (1820) 577-581.
- Richard Harding, *The Royal Navy*, in: Harry Thomas Dickinson (Hg.), *A Companion to Eighteenth-Century Britain*, Malden 2002, 481-488.
- Penelope K. Hardy, *Finding the History of the World at the Bottom of the Ocean: Hydrography, Natural History, and the Sea in the Nineteenth Century*, in: *Transactions of the American Philosophical Society* 110 (2021) 117-132.
- Michael Harris, *Shipwrecks in print, representations of maritime disaster in the late seventeenth century*, in: Michael Harris / Robin Myers, *Journeys through the market: travel, travellers, and the book trade*, Kent 1999, 39-64.
- Adam Hart-Davis, *What the Tudors and Stuarts Did for Us*, London 2003.
- Ernst Hautsch, *Der Nürnberger Zirkelschmied Hans Hautsch (1595-1670) und seine Erfindungen*, in: *Mitteilungen des Vereins für Geschichte der Stadt Nürnberg* 46 (1955) 533-556.
- Hermann Heberlein, *Historical development of diving and its contribution to marine science and research*, in: William Herbert Rutherford (Hg.), *Second International Congress on the History of Oceanography. Challenger Expedition Centenary, Edinburgh, 12 to 20 September 1972, (Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, Edinburgh 1972)*, 283-296.
- Jakob Heinrich von Hefner-Alteneck, *Trachten, Kunstwerke und Gerätschaften vom frühen Mittelalter bis Ende des 18. Jahrhunderts*, Band 5, Berlin 2020.
- Alfred Heggen, *Die Anfänge des Erfindungsschutzes in Preußen 1793 bis 1815*, in: *Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht* 2 (1974) 75-77.
- Alfred Heggen, *Erfindungsschutz und Industrialisierung in Preußen 1793-1877*, Göttingen 1975.
- Ingo Heidbrink, *Closing the „Blue Hole“*. *Maritime History as a Core Element of Historical Research*, in: *International Journal of Maritime History* 2 (2017) 325-332.
- John Lewis Heilbron, *Electricity in the 17th and 18th Centuries: A Study of Early Modern Physics*, Berkley 1979.

- Eike-Christian Heine / Christian Zumbrägel, Technikgeschichte, Version: 1.0, in: Docupedia-Zeitgeschichte, 20.12.2018, <http://dx.doi.org/10.14765/zzf.dok-1319> Letzter Zugriff 18.07.2022.
- Philippa Hellowell, Diving engines, submarine knowledge and the ‘wealth fetch’d out of the sea, in: Renaissance Studies 34/1 (2019) 78-94.
- Friedrich-Wilhelm Henning, Handbuch der Wirtschafts- und Sozialgeschichte Deutschlands. Band 1, Paderborn 1991.
- Klaus Hentschel, Unsichtbare Hände in der Wissenschaft. Auf der Suche nach den ungewürdigten Helfern der Forschung, in: Physik-Journal 8/1 (2009) 37-40.
- Dieter B. Herrmann, Biographien bedeutender Astronomen: eine Sammlung von Biographien, Leipzig 1991.
- Martina Heßler, Kulturgeschichte der Technik, Frankfurt a. M. 2012.
- María Dolores Higuera Rodríguez, La recuperacion submarina en la Carrera de Indias: El riesgo necesario, in: Enriqueta Vila Vilar / Antonio Acosta Rodríguez / Adolfo Luis González Rodríguez (Hg.), La Casa de la Contracion y la Navegacion Entre Espana y Las Indias, Sevilla 2003, 695-717.
- Bengt Hildebrand, Till släkten Triewalds historia, in: Personhistorisk Tidskrift 1938 39 (1939) 151-159.
- Georg Hirth, Der sechste deutsche Feuerwehrtag zu Leipzig, den 19. bis 22. August 1865, Leipzig 1865.
- Michael Hochedlinger, Das k. k. „Geheime Hausarchiv“, in: Josef Pauser, Martin Scheutz und Thomas Winkelbauer (Hg.), Quellenkunde der Habsburgermonarchie (16.–18. Jahrhundert). Ein exemplarisches Handbuch, (Mitteilungen des Instituts für Österreichische Geschichtsforschung, Ergänzungband 44), 33-44.
- Fritz Hoffmann, Kursächsische Erfindungspatente aus den Jahren 1561 bis 1570, in: Zeitschrift für Industrierecht 8 (1914) 107-109.
- Gerhart Hoffmeister, Fischer- und Tauchertexte vom Bodensee, in: Gundolf Keil / Rainer Rudolf / Wolfram Schmitt / Hans J. Vermeer (Hg.), Fachliteratur des Mittelalters. Festschrift für Gerhard Eis, Stuttgart 1968, 261-275.
- Rudolf Holbach / Dietmar von Reeken, Das Meer als Geschichtsraum, oder: Warum eine historische Erweiterung der Meeresforschung unabdingbar ist, in: Rudolf Holbach / Dietmar von Reeken (Hg.), „Das ungeheure Wellen-Reich“. Bedeutungen, Wahrnehmungen und Projektionen des Meeres in der Geschichte, Oldenburg 2014, 7-22.
- Sean Holland, Robert Sténuit, Salvor, Archeologist, in: Immersed, The international Technical Diving Magazine 10 (1999) 14-16.
- Eric John Holmyard, Makers of Chemistry, Oxford 1931.
- Suk Ki Hong / Hermann Rahn, The Diving Women of Korea and Japan, in: Scientific American 216/5 (1967) 34-43.
- Jeff Horn, Economic Development in Early Modern France: The Privilege of Liberty, 1650-1820, Cambridge 2015.
- House of Commons (Hg.), Report from the Select Committee on the Law Relative to Patents for Inventions, London 1829.

- Vitus Huber, *Beute und Conquista: Die politische Ökonomie der Eroberung Neuspaniens*, Frankfurt a. M. 2018.
- Karl Hufbauer, *The Formation of the German Chemical Community (1720-1795)*, Berkeley 1982.
- Mikko Huhtamies, *A second-hand shipwreck market: Salvage auctions in mid-eighteenth-century Helsinki*, in: *International Journal of Maritime History* 33 (2021) 631-650.
- Mikko Huhtamies / Juha-Matti Granqvist (Hg.), *Onnettomuus ja onni: kauppalaivojen haaksirikot ja pelastustoiminta Itämerellä 1600-1800-luvuilla*, Helsinki 2018.
- Mikko Huhtamies, "Venedalaiset konstit" Captain mechanicus Märten Triewald ja valtakunnallisen pelastusmonopolin synty Ruotsissa, in: Mikko Huhtamies / Juha-Matti Granqvist (Hg.), *Onnettomuus ja onni: kauppalaivojen haaksirikot ja pelastustoiminta Itämerellä 1600-1800-luvuilla*, Helsinki 2018, 98-129.
- Edward W. Hulme, *The early history of English Patent System*, in: *Committee of the Association of American Law Schools (Hg.) Select essays in Anglo-American Legal History, Volume 3*, Boston 1909, 117-147.
- Christian Hünemörder, *Johann Beckmanns Verdienste um die beschreibende und angewandte Naturgeschichte*, in: Hans-Peter Müller (Hg.), *Technologie zwischen Fortschritt und Tradition, [Beiträge zum Internationalen Johann-Beckmann-Symposium Göttingen 1989]*, Frankfurt a. M. 1992, 63-79.
- Reet Hünerson / Enn Küng / Kersti Lust, *Archival Sources on Maritime Accidents in Estonia from the 17th to the Early 20th Century*, in: Maili Roio (Hg.), *Shipwreck Heritage: Digitizing and Opening Access to Maritime History Sources*, Tallinn 2013, 63-85.
- Michael Hunter, *Science and Society in Restoration England*, Cambridge 1981.
- Michael Hunter, *The Royal Society and Its Fellows, 1660-1700: The Morphology of an Early Scientific Institution*, Chalfont St Giles 1982.
- Michael Hunter, *Robert Boyle and the Early Royal Society: A Reciprocal Exchange in the Making of Baconian Science*, in: *The British Journal for the History of Science* 40 (2007) 1-23.
- Michael Hunter, *Boyle Studies: Aspects of the Life and Thought of Robert Boyle (1627-91)*, New York 2015.
- Michael Hutter, *Die Produktion von Recht: eine selbstreferentielle Theorie der Wirtschaft*, Tübingen 1989.
- Stephen Inwood, *The Man Who Knew Too Much: The Strange and Inventive Life of Robert Hooke 1635-1703*, London 2002.
- Christy Emilio Ioannidou, *Diving in Ancient Greece During the Late Archaic and Classical Period (6th-4th century BC)*, in: *Archaeology and Science* 10 (2014) 111-119.
- Margaret C. Jacob, *The cultural meaning of the scientific revolution*, New York 1988.
- Margaret C. Jacob / Larry Stewart, *Practical Matter. Newton's Science in the Service of Industry and Empire, 1687-1851*, London 2004.
- Andrew Jamison, *Technology's Theorists: Conceptions of Innovation in Relation to Science and Technology Policy*, in: *Technology and Culture* 30 (1989) 505-533.
- Marc Jasinski, *Meeting John Lethbridge*, in: *Historical Diving Times* 46 (2009) 12-17.

- Marc Jasinski, The Diving Bell - A Legend Revisited, in: Historical Diving Times 61 (2015) 11-15.
- Cort MacLean Johns, The Industrial Revolution - Lost in Antiquity - Found in the Renaissance, Meerssen 2020.
- Claire Jowitt / Craig Lambert / Steve Mentz (Hg.), The Routledge Companion to Marine and Maritime Worlds 1400-1800, London / New York 2020.
- Michael Jung, Meeresgrundwanderer. Der vergessene Tauchpionier Peter Kreeft aus Barth, Kückenshagen 1997.
- Michael Jung, Tauchgeschichtekompendium Karl Heinrich Klingert, Merzig 1998.
- Michael Jung, Tauchgeschichtekompendium Joseph August Schultes, Merzig 1998.
- Michael Jung, Das Handbuch zur Tauchgeschichte. Techniken. Geräte. Berufe. Erfindungen, Stuttgart 1999.
- Michael Jung, Das Kreislaufgerät von Theodor Schwann, in: Divemaster 3 (1999) 63-64.
- Michael Jung, Die Entwicklung der Tauchtechnik in Deutschland bis zum 20. Jahrhundert, Merzig 2000.
- Michael Jung, Tauchen nach dem Ostseegold, in: Divemaster 4 (2001) 57-60.
- Michael Jung, Die frühen deutschen Erfinder, in: Divemaster 4 (2002) 57-60.
- Michael Jung, Christian Caspar Hoppenstedt, a Previously Unknown Pioneer, in: Historical Diving Times 35 (2005) 20.
- Michael Jung, Unterwassertrainingsprogramme für Astronauten, in: Divemaster 79 (2014) 75-60.
- Michael Jung, Gabriel de Guzman. The world's first privilege for a diving machine in 1549?, in: The International Journal of Diving History 12 (2020) 36-40.
- Michael Jung, A new hypothesis on Francesco De Marchi (1504-1576) and his dives in Lake Nemi in 1535, in: The International Journal of Diving History 13 (2021) 25-33.
- Michael Jung, Maestro Gulielmo da Lorena, designer of Lake Nemi's open Diving Helmet (1535), in: Historical Diving Times 73 (2021) 12-13.
- Michael Jung, Scientific diving from early modern period up to the 20th century, in: Freiberg Online Geoscience, Special Volume, (Proceedings of the 6th European Conference on Scientific Diving), 58 (2021) 6-12.
- Henry Kamen, Die spanische Inquisition, [EA 1965, Übers. Arno Dohm], München 1969.
- Franz-Xaver Kaufmann, Religion und Modernität, in: Johannes Berger (Hg.), Die Moderne. Kontinuitäten und Zäsuren, (Soziale Welt, Sonderband 4), Göttingen 1986, 282-308.
- Yrjö Kaukiainen, Rantarosvojen saaristo. Itäinen Suomenlahti 1700-luvulla, Helsinki 2006.
- Christian Kehrt / Franziska Torma, Einführung: Lebensraum Meer. Globales Umweltwissen und Ressourcenfragen in den 1960er und 1970er Jahren, in: Geschichte und Gesellschaft 40 (2014) 313-322.
- Alex Keller, Archimedean hydrostatic theorems and salvage operations in 16th-century Venice, in: Technology and Culture 12 (1971) 602-617.
- Alexander Keller, Mathematics, Mechanics and the Origins of the Culture of Mechanical Invention, in: Minerva, A Review of Science, Learning and Policy 23 (1985) 348-361.

- Ralf Kern, *Wissenschaftliche Instrumente in ihrer Zeit. Zweiter Band: Vom Compendium zum Einzelinstrument. 17. Jahrhundert*, Köln 2010.
- Geoffrey Keynes, *A Bibliography of Dr. Robert Hooke*, Oxford 1960.
- Alexander Kießling, *Über Johann Jacob Waldschmidt (1644-1689), Professor der Medizin und Physik an der Philipps - Universität Marburg im Zeitalter der Chymie und des Cartesianismus*, Dissertation, Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg 2014.
- David Kirby, *Northern Europe in the early modern period. The Baltic world 1492-1772*, London 1990.
- Harry Kitsikopoulos, *From Hero to Newcomen: The Critical Scientific and Technological Developments That Led to the Invention of the Steam Engine*, in: *Proceedings of the American Philosophical Society* 157 (2013) 304-344.
- Bernhard Klein / Gesa Mackenthun (Hg.), *Sea Changes: Historicizing the Ocean*, New York 2004.
- Hans K. Klein / Daniel Lee Kleinman, *The Social Construction of Technology: Structural Considerations*, in: *Science, Technology, & Human Values* 27 (2002) 28-52.
- Ursula Klein, *Technoscience in History: Prussia, 1750-1850*, London 2020.
- Friedrich Klemm, *Technik. Eine Geschichte ihrer Probleme*, Freiburg 1954.
- Roman Köster, *Einführung in die Wirtschaftsgeschichte. Theorien, Methoden, Themen*, Leiden 2020, 224.
- Wolfgang König, *Technikgeschichte. Eine Einführung in ihre Konzepte und Forschungsergebnisse (Grundzüge der modernen Wirtschaftsgeschichte, Band 7)*, Stuttgart 2009.
- Joanna Kostylo, *From Gunpowder to Print. The Origins of Copyright and Patent*, in: Deazley Ronan / Martin Kretschmer Martin / Bently Lionel (Hg.), *Privilege and Property. Essays on the History of Copyright*, Cambridge 2010, 21-50.
- Fritz Krafft, *Aufbruch ins Neue: Die Naturwissenschaften der Frühen Neuzeit*, in: *Monumenta Guericiana* 13 (2005) 3-12.
- Markus Krajewski (Hg.), *Projektmacher. Zur Produktion von Wissen in der Vorform des Scheiterns*, Berlin 2004.
- Markus Krajewski, *Projektmacher*, in: Benjamin Bühler / Stefan Willer (Hg.), *Futurologien. Ordnungen des Zukunftswissens*, Paderborn 2016, 209-220.
- Christoph Krampe, *Römisches Recht auf hoher See. Die Kunst des Guten und Gerechten*, in: Iole Fagnoli / Stefan Rebenich (Hg.), *Das Vermächtnis der Römer: Römisches Recht und Europa*, Bern 2012, 111–150.
- Alexander Kraus / Martina Winkler (Hg.), *Weltmeere. Wissen und Wahrnehmung im langen 19. Jahrhundert*, Göttingen 2014.
- Alexander Kraus / Martina Winkler, *Weltmeere. Für eine Pluralisierung der kulturellen Meeresforschung*, in: Alexander Kraus / Martina Winkler (Hg.), *Weltmeere. Wissen und Wahrnehmung im langen 19. Jahrhundert*, Göttingen 2014, 9-24.
- Jens Riise Kristensen / Sven Jørgensen, *The Mystery of the Salvage of Vasa's Guns*, in: *The International Journal of Diving History* 13 (2021) 54-70.

- David Kronick, *A History of Scientific and Technical Periodicals: The Origins and Development of the Scientific and Technological Press, 1665-1790*, Metuchen NJ 1962.
- Nicolay Krotkow, *K istorii razvitiya vodolaznoy tekhniki [Zur Geschichte der Entwicklung der Tauchtechnik]*, in: *EPRON*, X-XII, Sewastopol 1935, 199-223.
- Adam Johann von Krusenstern, *Über den Hafengebäude in Plymouth*, in: *Gilberts Annalen der Physik* 60/10 (1818) 113-150.
- Kunsthistorisches Museum in Wien (Hg.), *Jahrbuch der Kunsthistorischen Sammlungen in Wien*, Band 91, Wien 1995.
- Peter Kurz, *Weltgeschichte des Erfindungsschutzes. Erfinder und Patente im Spiegel der Zeiten*, Köln 2000.
- Lars-Åke Kvarning, *Raising the Vasa*, in: *Scientific American* 269/4 (1993) 84-91.
- Jens Lachmund / Wiebe Bijker / Trevor Pinch, *Der sozialkonstruktivistische Ansatz in der Technikforschung*, in: Diana Lengensdorf / Matthias Wieser (Hg.), *Schlüsselwerke der Science & Technology Studies*, Wiesbaden 2014, 145-154.
- David Laing, *Notice of a Scheme, with the Warrant of King James VII. and the Lords of Privy Council, for a Patent to be granted to certain Merchants in London, for Weighing up and Recovering Ships in the Scottish Seas, dated 26 May 1686*, in: *Archaeologia Scotica or Transactions of the Society of Antiquaries of Scotland* 4 (1857) 428-439.
- Michael A. Lang / Alf O. Brubakk, *The Haldane Effect*, in: Neal W. Pollock (Hg.), *Diving for Science 2009*, [Proceedings of the American Academy of Underwater Sciences 28th Symposium], Dauphin Island AL 2009, 112-124.
- Mark Lardas, *Spanish Galleon vs English Galleon: 1550-1605*, Oxford 2020.
- Pierre De Latil / Jean Rivoire, *Man and the Underwater World*, London 1956.
- Edwin T. Layton Jr., *American Ideologies of Science and Engineering*, in: *Technology and Culture* 17 (1976) 688-701.
- Leslie Leaney, *Musee du Scaphandre, Musee Joseph Vaylet. Espalion, Aveyron, France*, in: *Historical Diver* 11 (1997) 14-16.
- Rainer Leng, *Ars belli: Deutsche taktische und kriegstechnische Bilderhandschriften und Traktate im 15. und 16. Jahrhundert*, 2 Bd., Wiesbaden 2002.
- John Leslie, *Barometrical Measurements*, in: *Encyclopaedia Britannica, Supplement to the fourth, fifth and sixth editions*, Vol. II, Edinburgh 1824, 130-136.
- Margarette Lincoln, *Samuel Pepys and Tangier, 1662-1684*, in: *Huntington Library Quarterly* 77 (2014) 417-434.
- Svante Lindqvist, *The First Newcomen Engine in Sweden (1726-1728) and its Hoisting Gear. A Closer Look at the Triewald Drawings*, in: *Transactions of the Newcomen Society* 55 (1983) 113-130.
- Svante Lindqvist, *Technology on Trial. The Introduction of Steam Power Technology into Sweden, 1715-1736*, Uppsala 1984.
- Dietrich Lohrmann, *Wassertechnik bei Konrad Gruter von Werden (1424)*, in: *Schriftenreihe der Frontinus-Gesellschaft* 28 (2011) 73-93.
- Javier Lopez Martin, *Did naval artillery really exist during the modern period? A brief note on cannon design*, in: Carlo Beltrame / Renato Gianni Ridella (Hg.), *Ships and Guns: The*

- Sea Ordnance in Venice and in Europe Between the 15th and the 17th Centuries. Venedig 2011, 73-84.
- José María López Piñero, *Ciencia y Técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*, Barcelona 1979.
- Alexander von Lünen, Goats and Gases: „The Prevention of Compressed Air Illness“ by Haldane et al - A Commentary, in: *Wilderness and Environmental Medicine* 17 (2006) 64-65.
- Alexander von Lünen, *Under the waves, above the clouds. A history of the pressure suit. Disseration, Fachbereich Gesellschafts- und Geschichtswissenschaften der Technischen Universität Darmstadt*, Darmstadt 2010.
- Linde Lunney, The celebrated Mr. Dinwiddie: An eighteenth-century scientist in Ireland, in: *Eighteenth-century Ireland* 3 (1988) 69-83.
- Kersti Lust, Wrecking peasants and salvaging Landlords – Or Vice Versa? Wrecking in the Russian Baltic Provinces of Estland and Livland 1780–1870, in: *International Review of Social History* 62 (2017) 67-93.
- Richard Lutter, Erfindungsschutz in Griechenland, in: *Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht* 5 (1922) 112.
- Eugene Lyon, The trouble with treasure, in: *National Geographic* 149 (1976) 787-809.
- Leon Lyons, *Helmets of the Deep*, Saint Augustine 1988.
- Philip MacDougall, Granite and Lime: the building of Chatham Dockyard's first stone Dry Dock, in: *Cantiana* 107 (1990) 173-191.
- John Mack, *The Sea. A Cultural History*, London 2011.
- Christine MacLeod, The 1690s Patents Boom: Invention or Stock-Jobbing?, in: *The Economic History Review* 39 (1986) 549-571.
- Christine MacLeod, *Inventing the Industrial Revolution: The English Patent System, 1660-1800*, New York 2002.
- Christine MacLeod / Alessandro Nuvolari, *Patents and Industrialization: An Historical Overview of the British Case, 1624-1907*, (Laboratory of Economics and Management Working Paper Series, No. 2010/04), Pisa 2010.
- Carlos M. Madrid Casado, España y la Revolución Científica: estado de la cuestión de una polémica secular, in: *Circumscribere* 13 (2013) 1-28.
- Conrad Dietrich Magirus, *Das Feuerlöschwesen in allen seinen Theilen nach seiner geschichtlichen Entwicklung von der frühesten Zeit bis zur Gegenwart*, Ulm 1877.
- Martin Mainberger / Timm Weski, *Unterwasserarchäologie - Ein forschungsgeschichtlicher Abriss aus mitteleuropäischer Sicht*, in: Florian Huber / Sunhild Kleingärtner (Hg.), *Gestrandet, versenkt, versunken. Faszination Unterwasserarchäologie*, Hamburg 2014, 12-35.
- Albert Malet, Between Mathematics and Experimental Philosophy: Hydrostatics in Scotland about 1700, in: Dan Garber / Sophie Roux (Hg.), *The Mechanization of Natural Philosophy*, Boston 2013, 159-187.
- Rebekka von Mallinckrodt, Tauchen, in: Friedrich Jaeger (Hg.), *Enzyklopädie der Neuzeit*, Band 13, Stuttgart 2011, 280-282.

- Rebekka von Mallinckrodt, Taucherglocken, U-Boote und Aquanauten - Die Erschließung der Meere im 17. Jahrhundert zwischen Utopie und Experiment, in: Karin Friedrich (Hg.): Die Erschließung des Raumes. Konstruktion, Imagination und Darstellung von Räumen und Grenzen im Barockzeitalter, Wiesbaden 2014, 337-354.
- Rebekka von Mallinckrodt, Exploring Underwater Worlds. Diving in the Late Seventeenth-/ Early Eighteenth-Century British Empire, in: Daniela Hacke / Paul P. Musselwhite (Hg.), Empire of Senses. Sensory Practices of Colonialism in Early America, Leiden 2017, 300-322.
- Julio Mandich, Venetian Patents (1450-1550), in: Journal of the Patent Office Society JPOS 3 (1948) 166-224.
- Arthur Mangin, Der Ocean, seine Geheimnisse und Wunder, Beth 1864.
- Horst de Marées, Sportphysiologie, korr. Nachdr. der 9., vollst. überarb. und erw. Aufl. 2003 [EA Köln 1974], Hellenthal 2017.
- Maria Isabel Vicente Maroto / Mariano Esteban Pineiro, Aspectos de la ciencia aplicada en la Espana del siglo de oro, Salamanca 1991.
- Linda Martz, A Network of Converso Families in Early Modern Toledo: Assimilating a Minority, Ann Arbor 2003.
- Robert F. Marx, Deep, Deeper, Deepest. Man's Exploration of the Sea, Flagstaff 1998.
- Vianney Mascret, L'aventure sous-marine: Histoire de la plongée sous-marine de loisir en scaphandre autonome en France (1865-1985), Dissertation, Fakultät Education - Psychologie - Information et Communication, Université de Lyon 2010.
- Derek Massarella, Philip Henry Zollman, the Royal Society's First Assistant Secretary for Foreign Correspondence, in: Notes and Records of the Royal Society of London 46 (1992) 219-234.
- Christian Mathieu, „Fiat experientia!“. Zur Wahrnehmung von Technikfolgen und ihren Auswirkungen auf das venezianische Patentverfahren in der Frühen Neuzeit, in: Gisela Engel / Nicole C. Karafyllis (Hg.), Technik in der Frühen Neuzeit - Schrittmacher der europäischen Moderne, Frankfurt 2004, 376-388.
- Michael Maurer, Kleine Geschichte Englands, Stuttgart 2002.
- Jutta May, Die „Documenta Maritima Heberlein“ und verwandte Bestände im Deutschen Schiffahrtsmuseum, Hamburg 1996.
- David McGee, The Origins of Early Modern Machine Design, in: Wolfgang Lefèvre (Hg.), Picturing Machines 1400-1700, Cambridge 2004, 54-84.
- Alexander McKee, History under the sea, London 1968.
- Douglas McKie, Fire and the Flamma Vitalis: Boyle, Hooke, and Mayow, in: E. Ashworth Underwood (Hg.), Science, Medicine and History: Essays on the Evolution of Scientific Thought and Medical Practice Written in Honour of Charles Singer, Vol. 1, Oxford 1953, 469-488.
- Douglas McKie, The Origins and Foundation of the Royal Society of London, in: Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science 15 (1960) 1-37.
- Alison McLeay, The Tobermory Treasure. The True Story of a Fabulous Armada Galleon, London 1986.

- Ernan McMullin, Empiricism and the Scientific Revolution, in: Charles S. Singleton (Hg.), *Art, Science and History in the Renaissance*, Baltimore 1967, 331-369.
- Ian McNeil, *An Encyclopaedia of the history of technology*, London 2002.
- Medicus, Lines composed at the Bottom of St. George's Channel, in the Port Patrick Diving-Bell, Thirty Feet below the Surface of the Water, Sept. 1823, in: *Glasgow mechanics' magazine and annals of philosophy* 4 (1825) 198-199.
- Robert Meldau, Erfindungsschutz im „Reich der Deutschen“. Eine Quellenstudie, in: *Deutsches Recht* 7/8 (1936) 160-163.
- Robert Meldau Dokumentation und Rechtsanpassung zur Vereinfachung der Patentprüfung, in: *Mitteilungen der deutschen Patentanwälte* 49 (1958) 130-134.
- Gustaf Henrik Mellin / Jacob Ekelund, Marten Triewald, in: *Gustaf Henrik Mellin / Jacob Ekelund* (Hg.), *Svenskt Pantheon* 11, Stockholm 1833, 89-95.
- Gustaf Henrik Mellin / Jacob Ekelund, Marten Triewald, in: *Gustaf Henrik Mellin / Jacob Ekelund* (Hg.), *Svenskt Pantheon* 12, Stockholm 1833, 84-88.
- Gerhard Mensch, *Das technologische Patt. Innovationen überwinden die Depression*, Frankfurt a. M. 1975.
- Carolyn Merchant, The Violence of Impediments. Francis Bacon and the Origins of Experimentation, in: *Isis* 99 (2008) 731-760.
- Robert K. Merton, Science, Technology and Society in Seventeenth Century England, in: *Osiris* 4 (1938) 360-632.
- Robert K. Merton, *Social Theory and Social Structure. Toward the codification of theory and research*, revised and enlarged edition, [EA 1949] Glencoe IL 1959.
- William Edgar Knowles Middleton, *The history of the Barometer*, Baltimore 1964.
- William Edgar Knowles Middleton, Science in Rome, 1675-1700, and the Accademia Fisicomatematica of Giovanni Giustino Ciampini, in: *The British Journal for the History of Science* 8 (1975) 138-154.
- John R. Millburn, *Benjamin Martin: Author, Instrument-Maker, and 'Country Showman'*, Leyden 1976.
- Peter N. Miller (Hg.), *The Sea. Thalassography and Historiography*, Ann Arbor MI 2013.
- John R. Milton, The origin and development of the concept of the 'laws of nature', in: *European Journal of Sociology / Archives Européennes de Sociologie* 22 (1981) 173-195.
- Marcel Minnaert, *Licht und Farbe in der Natur*, Basel 1992.
- Wayne A. Mitzner, Leonardo and the Physiology of Respiration, in: Donald E. Proctor (Hg.), *A History of Breathing Physiology*, New York 1995, 37-60.
- Thorsten Mohr, *Die Rolle der Royal Society im 17. Jahrhundert*, München 2004.
- Jouko Moisala, Letters to the Editor, in: *International Journal Diving History* 6 (2013) 87-89.
- Joel Mokyr, *The Lever of Riches. Technological Creativity and Economic Progress*, Oxford 1990.
- Joel Mokyr, *The Gifts of Athena: Historical Origins of the Knowledge Economy*, Princeton 2011.
- Joel Mokyr, *A Culture of Growth. The Origins of the Modern Economy*, Princeton 2017.

- Marco Morin, Morphology and Constructive Techniques of Venetian Artilleries in the 16th and 17th centuries: some notes, in: Carlo Beltrame / Renato Gianni Ridella (Hg.), Ships and Guns: The Sea Ordnance in Venice and in Europe Between the 15th and the 17th Centuries, Venedig 2011, 1-11.
- Philip D. Morgan / Jack P. Greene, Introduction. The present State of Atlantic History, in: Jack P. Greene / Philip D. Morgan (Hg.), Atlantic History. A critical appraisal, Oxford 2009, 3-33.
- Kurt Möser, Tiefenerfahrung. Zur Geschichte der Tauchtechnik, Technikgeschichte 59 (1992) 193-216.
- Kurt Möser, Grauzonen der Technikgeschichte, in: Technikdiskurse, Karlsruher Studien zur Technikgeschichte 6 (2011) 57-64.
- Keith Muckelroy, Archaeology Under Water: An Atlas of the World's Submerged Sites, London 1980.
- Hans Müller, Unbekannte Erfinder aus und in Sachsen im 16. und 17. Jh. Teil 1, in: Mitteilungen des Roland 23 (1938) 26-28.
- Hans Müller, Unbekannte Erfinder aus und in Sachsen im 16. und 17. Jh. Teil 2, in: Mitteilungen des Roland 24 (1939) 31, 61.
- Hans Müller, Patentschutz im deutschen Mittelalter, in: Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht 12 (1939) 936-953.
- Hans Müller, Kursächsische Erfindereifreheiten des 15. bis 18. Jahrhunderts, in: Markenschutz und Wettbewerb 6 (1941) 101-105.
- Albert Edward Musson / Eric Robinson, Science and Technology in the Industrial Revolution, Toronto 1969.
- Albert Edward Musson, Einführung, in: Albert Edward Musson (Hg.), Wissenschaft, Technik und Wirtschaftswachstum im 18. Jahrhundert, Frankfurt 1977, 9-82.
- Victor Navarro Brotons, De la filosofía natural a la física moderna, in: José María López Piñero (Hg.), Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla. Siglos XVI y XVII. Leon 2002, 383-436.
- Joseph Needham, Science and civilisation in China, Vol. 4, Part II, Cambridge 1971.
- Fredrik Neumeyer, Die historischen Grundlagen der ersten modernen Patentgesetze in den USA und in Frankreich, in: Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht 6 (1956) 241-252.
- Trevor Newman, John Lethbridge's diving barrel: how long could he remain underwater?, in: The International Journal of Diving History 7 (2014) 52-70.
- Trevor Newman, John Lethbridge and the Loss of the Victory, in: Odyssey Marine Exploration Papers 46 (2015) 1-15.
- Trevor Newman, Update on Lethbridge barrel dive times, in: Historical Diving Times 61 (2015) 24.
- Trevor Newman, John Lethbridge's Dive Times: An Unresolved Problem, in: The International Journal of Diving History 9 (2017) 78-85.
- Hielke van Nieuwenhuize, Niederländische Seefahrer in schwedischen Diensten: Seeschiffahrt und Technologietransfer im 17. Jahrhundert, Wien 2022.

- Heribert M. Nobis, Die Bedeutung der Leibnizschrift „De ipsa natura“ im Lichte ihrer begriffsgeschichtlichen Voraussetzungen, in: Zeitschrift für Philosophische Forschung 20 (1966) 525-538.
- Alfred Nordmann, Technikphilosophie. Zur Einführung, Hamburg 2008.
- Michael North, Zwischen Hafen und Horizont. Weltgeschichte der Meere. München 2016.
- Helga Nowotny, Introduction. The Quest for Innovation and Cultures of Technology, in: Helga Nowotny (Hg.), Cultures of Technology and the Quest for Innovation, New York 2006, 1-24.
- Alessandro Nuvolari / Valentina Tartari, Bennet Woodcroft and the value of English patents, 1617-1841, (Laboratory of Economics and Management Working Paper Series, No. 2009/03), Pisa 2010.
- Andreas Obenaus, Genuesen, Katalanen, Portugiesen. Die Anfänge der europäischen Atlantikexpansion, in: Alexander Marboe / Andreas Obenaus (Hg.), Expansion - Interaktion - Akkulturation. Historische Skizzen zur Europäisierung Europas und der Welt, Band 15: Seefahrt und die frühe europäische Expansion, Wien 2009, 93-122.
- Helmut Öhlschlegel, Zur Geschichte des gewerblichen Rechtsschutzes, in: Mitteilungen der deutschen Patentanwälte 11 (1978) 201-204.
- John Peter Oleson, A Possible Physiological Basis for the Term *urinator*, „*diver*“, in: The American Journal of Philology, 97 (1976) 22-29.
- Giuseppe Olmi, Sweden in the Travel Journals of Lorenzo Magalotti and Francesco Negri, in: Marco Beretta / Tore Frängsmyr (Hg.), Sidereus Nuncius & Stella Polaris. The Scientific Relations between Italy and Sweden in Early Modern History, Canton 1997, 57-79.
- William O'Reilly, Genealogies of Atlantic History, in: Atlantic Studies 1 (2004) 66-84.
- Beate Otto, Unterwasser-Literatur. Von Wasserfrauen und Wassermännern, Würzburg 2001.
- Karlheinz Paffen / Gerhard Kortum, Die Geographie des Meeres. Disziplingeschichtliche Entwicklung seit 1650 und heutiger methodischer Stand, Kiel 1984.
- Lincoln Paine, The sea and civilization: a maritime history of the world, New York 2013.
- John Parascandola / Aaron J. Ihde, History of the Pneumatic Trough, in: Isis 60 (1969) 351-361.
- Torrance R. Parker, 20.000 Jobs Under the Sea: A History of Diving and Underwater Engineering, Palos Verdes Peninsula CA 1997.
- John H. Parry, The Spanish Seaborne Empire, Berkeley 1974.
- Charles F. Partington (Hg.), British Cyclopaedia of the Arts and Science, First Volume, London 1835.
- James Riddick Partington, The life and work of John Mayow (1641-1679), in: Isis 47 (1956) 217-230.
- James Riddick Partington, A History of Chemistry, Vol. 2, London 1961.
- Akos Paulinyi, Die Umwälzung der Technik in der industriellen Revolution zwischen 1750 und 1840, in: Wolfgang König (Hg.), Propyläen Technikgeschichte, Dritter Band: Mechanisierung und Maschinisierung 1600-1840, Berlin 1997, 271-495.

- Cathryn Jean Pearce, „So barbarous a practice“: Cornish wrecking, ca. 1700-1860, and its survival as popular myth, Greenwich 2007.
- Maria Pia Pedani Fabris, Alessio Bombaci (Hg.), I „documenti turchi“ dell'Archivio di Stato di Venezia, (Pubblicazioni degli Archivi di Stato 122), Rom 1994.
- Helmut Pemsel, Weltgeschichte der Seefahrt, 5 Bd., Hamburg 2000-2004.
- Daphne Penna, Finders Keepers, Losers Weepers? Byzantine Shipwreck and Salvage in the Eleventh and Twelfth Centuries, in: Louis Sicking / Alain Wijffels (Hg.), Conflict Management in the Mediterranean and the Atlantic 1000-1800. Actors, Institutions and Strategies of Dispute Settlement, Leiden 2020, 43-66.
- Pablo E. Pérez-Mallaina, Los inventos llevados de España a las Indias en la segunda mitad del siglo XVI, in: Cuadernos de investigación histórica. Publicación cuatrimestral del Seminario „Cisneros“ de la Fundación Universitaria Española, 7, 1983, 35-54.
- Pablo E. Pérez-Mallaina, Spain's Men of the Sea. Daily Life on the Indies Fleet in the Sixteenth Century, Baltimore 1998.
- Andrew Peters, Ship Decoration 1630-1780, Barnsley 2013.
- Kerstin Petersen, Die Entwicklungsgeschichte der Überdruckkammer und Indikationen für die Hyperbare Sauerstoff-Therapie, Dissertation, Medizinische Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf 2002.
- Hardy Pfanzen / Galip Yüce / Ahmet H. Gulbay / Ali Gokgoz, Deadly CO2 gases in the Plutonium of Hierapolis (Denizli, Turkey), Archaeological and Anthropological Sciences 11 (2019) 1359-1371.
- Frank R. Pfetsch, Innovationsforschung als multidisziplinäre Aufgabe: Beiträge zur Theorie und Wirklichkeit von Innovationen im 19. Jahrhundert, Göttingen 1975.
- Frank R. Pfetsch, Innovationsforschung in historischer Perspektive. Ein Überblick, in: Technikgeschichte 45 (1978) 118-133.
- Christian Carl Gottlob Pflug, Verfahren lederne Schläuche mit kupfernen Nägeln möglichst dauerhaft zusammen zu nieten, in: Dinglers Polytechnisches Journal 7 (1822) 206-208.
- Christian Carl Gottlob Pflug, Vorschlag, wie ein auf der See untergegangenes Schiff mit 2 Wasserluftballons wieder herauszuheben sey, wenn es anders, wegen der Tiefe, nicht von Tauchern erreicht werden kann, in: Christian August Vulpius (Hg.), Curiositäten der physisch-literarisch-artistisch-historischen Vor- und Mitwelt: zur angenehmen Unterhaltung für gebildete Leser, Weimar 1821, 251-252.
- Kathleen Philipp, Experimentelles Denken. Theoretische und empirische Konkretisierung einer mathematischen Kompetenz, Wiesbaden 2013.
- Nigel Phillips, William Phips, treasure diver, in: The International Journal of Diving History 1 (2005) 28-36.
- Nigel Phillips, Diving and Underwater Technology 1405-1830. A narrative Bibliography, Chilton 2018.
- Nigel Phillips, The Path to the Standard Dress, in: Proceedings of the Twentieth-Ninth Annual Conference of the Historical Diving Society, Sutton 2019, 38-48.
- Auguste Piccard, Über den Wolken, unter den Wellen, Wiesbaden 1954.

- Harald Pinl, *Mit Feuertonnen, Wasserharnisch und Lufthosen. Die geheimen Künste des Franz Kessler von 1616*, Langenhagen 2010.
- Mariana Moranchel Pocaterra, *Gobierno, Justicia, Guerra y Hacienda: una nueva visión del „Indiferente General“ del Archivo General de Indias*, in: *Cuadernos de Historia del Derecho* 14 (2007) 329-398.
- Edgar Allan Poe, *Hans Phaall - a tale*, in: *Southern Literary Messenger* 10 (1835) 565-580.
- Hansjörg Pohlmann, *Neue Materialien zur Frühentwicklung des deutschen Erfinderschutzes im 16. Jahrhundert*, in: *Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht* 62 (1960) 272-283.
- Marcus Popplow, *Erfindungsschutz und Maschinenbücher. Etappen der Institutionalisierung technischen Wandels in der Frühen Neuzeit*, in: *Technikgeschichte* 63 (1996) 21-46.
- Marcus Popplow, *Neu, nützlich und erfindungsreich: Die Idealisierung von Technik in der frühen Neuzeit*, Münster 1998.
- Marcus Popplow, *Protection and Promotion. Privileges for Inventions and Books of Machines in the Early Modern Period*, in: *History of Technology* 20 (1998) 103-124.
- Marcus Popplow, *Mechanik, Maschinen und technische Sehenswürdigkeiten zu Beginn des 18. Jahrhunderts: „Das neueröffnete Maschinen Haus“ von Leonhard Christoph Sturm*, in: Robert Seidel (Hg.), *Cardanus, Jahrbuch für Wissenschaftsgeschichte Band 2: Die „exakten“ Wissenschaften zwischen Dilettantismus und Professionalität*, Frankfurt a. M. 2001, 75-100.
- Marcus Popplow, *Technik*, in: *Leibniz-Institut für Europäische Geschichte (IEG) (Hg.), Europäische Geschichte Online (EGO), Mainz 2016-07-25. URL <http://ieg-ego.eu/de/threads/hintergruende/technik/marcus-popplow-technik> Letzter Zugriff 18.07.2022.*
- Maria M. Portuondo, *Secret Science: Spanish Cosmography and the New World*, Chicago 2009.
- Frank D. Prager, *Examination of Inventions from the Middle Ages to 1836*, in: *Journal of the Patent Office Society* 46 (1964) 268-291.
- Earl H. Pritchard, *The Instructions of the East India Company to Lord Macartney on his Embassy to China and his Reports to the Company*, in: *The Journal of the Royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland* 104 (1938) 201-230, 375-396, 493-509.
- Carlo Promis, *Biografie d'ingegneri militari italiani dal sec. XIV alla metà del XVIII*, Turin 1874.
- William Jardine Proudfoot, *Biographical Memoir of James Dinwiddie. Astronomer in the British Embassy to China, 1792, '3, '4, Afterwards Professor of Natural Philosophy in the College of Fort William, Bengal, Liverpool 1868.*
- Florence Prudhomme, *Early 18th Century French Diving Equipment*, in: *The International Journal of Diving History* 6 (2013) 59-65.
- Gianfranco Purpura, *Osservazioni sulla pesca del corallo rosso nell'Antichità*, in: *Archaeologia Maritima Mediterranea: International journal on underwater archaeology* 2 (2006) 179-190.
- Robert D. Purrington, *The First Professional Scientist. Robert Hooke and the Royal Society of London. Science Networks*, Basel 2009.

- Killian Quigley, *Fouling, Concreting, Artmaking: Three Habits of an Encrusting Ocean* [presented at the inaugural Postdoctoral Fellowship Lecture on December 1 2020 at the University of Sydney], Sydney 2020.
- Melinda Alliker Rabb, *Miniature and the English Imagination. Literature, Cognition, and Small-Scale Culture, 1650-1765*, Cambridge 2019.
- Maria Rabl, *Die Privilegiensammlung des österreichischen Patentamtes. Ein Beitrag zum UNESCO-Weltdokumentenerbe?*, Wien 2008.
- Werner Rammert, *Technik und Innovation*, in: Andrea Maurer (Hg.), *Handbuch der Wirtschaftssoziologie*, Wiesbaden 2008, 291-319.
- Jessica Ratcliff, *Art to Cheat the Common-Weale: Inventors, Projectors, and Patentees in English Satire, ca.1630-70*, in: *Technology and Culture* 53 (2012) 337-365.
- John E. Ratcliffe, *Bells, Barrels and Bullion: Diving and Salvage in the Atlantic World, 1500 to 1800*, in: *Nautical Research Journal* 56 (2011) 34-56.
- Marcus Rediker, *Outlaws of the Atlantic. Sailors, Pirates, and Motley Crews in the Age of Sail*, Boston MA 2014.
- Michael S. Reidy, *Tides of History. Ocean Science and Her Majesty's Navy*, Chicago 2008.
- Michael S. Reidy / Helen M. Rozwadowski, *The Spaces In Between: Science, Ocean, Empire*, in: *Isis* 105 (2014) 338-351.
- Torsten Reimer, *Before Britannia ruled the Waves. Die Konstruktion einer maritimen Nation*, Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, Fakultät für Geschichts- und Kunstwissenschaften, München 2006.
- John Rennie, *The Rennie Reports, Vol. 9 (1817-1818)*, London 1818.
- John Rennie, *The Theory, Formation, and Construction of British and Foreign Harbours: With One Hundred and Twenty-three Engravings, Vol. 1*, London 1854.
- Fernando Riaño Lozano, *El Museo Naval y el Instituto de Historia y Cultura Naval*, *Arbor* 173 (2002) 405-419.
- Tracey Elizabeth Rihll, *Greek Science*, Cambridge 1999.
- Alexander Ritter, „Dieses Glück“ einer „neu erfundenen Tauch Maschine“! G. Chr. Lichtenberg, J. G. Müller, der deutsche Tauchpionier Jürgen C. Weiss und seine Itzehoer Unterwasseraktionen im holsteinischen Flusse Stör 1785-1792, in: *Steinburger Jahrbuch* 2011 55 (2010) 225-265.
- Alan Roddie, *Jacob the Diver*, in: *The Mariner's Mirror* 62 (1976) 253-269.
- Tomás Rodríguez Cuevas / Juan Ivars Perelló, *Historia del buceo su desarrollo en España*, Murcia 1987.
- Emilio Rodríguez-Álvarez, *The Hidden Divers: Sponge harvesting in the archaeological record of the Mediterranean Basin*, in: *The Global Life of Sponges - Social, Cultural, Historical and Political*, SOAS Conference, Hydra, 18-20th of May 2018, 1-16.
- Bernd Roeck, *Der Morgen der Welt. Geschichte der Renaissance*, München 2017.
- Hermann Roer, *Über das Blaukommen der Taucher (Morbus caeruleus)*, in: *Deutsche Zeitschrift für die gesamte gerichtliche Medizin* 39 (1949) 378-420.
- Everett M. Rogers, *Diffusion of Innovations*, 5th edition [EA New York 1968], New York 2003.

- Götz Rohwer, *Soziale Räume und materielle Kultur. Überlegungen zu Begriffsbildungen*, Bochum 2007.
- Herman Roodenburg (Hg.), *A Cultural History of the Senses. In the Renaissance (A Cultural History of the Senses 3)*, London 2014.
- Günter Ropohl, *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik, 3., überarbeitete Auflage* [EA München 1979], Karlsruhe 2009.
- Nathan Rosenberg, *Factors affecting the diffusion of technology*, in: *Explorations in economic history* 10 (1972) 3-34.
- Margaret Rowbottom, *The Teaching of Experimental Philosophy in England, 1700-1730*, in: *Actes du XIe Congrès Internationale d'Histoire des Sciences* 4 (1965) 46-53.
- Helen M. Rozwadowski, *Playing By - and On and Under - the Sea: The Importance of Play for Knowing the Ocean*, in: Jeremy Vetter, ed., *Knowing global environments: New historical perspectives on the field sciences*, New Brunswick NJ 2010, 162-189.
- Helen M. Rozwadowski, *Vast Expanses. The History of the Oceans*, London 2018.
- Helen M. Rozwadowski, "Bringing Humanity Full Circle Back into the Sea". *Homo aquaticus, Evolution, and the Ocean*, in: *Environmental Humanities* 14 (2022) 1-28.
- Andrea Rusnock, *Correspondence Networks and the Royal Society, 1700-1750*, in: *The British Journal for the History of Science* 32 (1999) 155-169.
- Carl Russwurm, *Über das Strandrecht in den Ostseeprovinzen*, in: *Mitteilungen aus dem Gebiete der Geschichte Liv-, Est- und Kurlands* 10 (1865) 3-23.
- Klaus Rützler, *Sponge Diving. Professional but not for Profit*, in: Michael A. Lang / Carole C. Baldwin (Hg.), *Methods and Techniques of Underwater Research, (Proceedings of the 16th Annual Scientific Diving Symposium)*, American Academy of Underwater Sciences, Dauphin Island 1996, 183-205.
- Antonio Sánchez, *The „empirical turn“ in the historiography of the Iberian and Atlantic science in the early modern world: from cosmography and navigation to ethnography, natural history, and medicine*, in: *Tapuya: Latin American Science, Technology and Society* 2 (2019) 317-334.
- Alison Sandman, *Un inventor navarro: Jeronimo de Ayanz y Beaumont, 1553-1613* (review), in: *Technology and Culture* 44 (2003) 379-381.
- Christian Sartorius / Carsten Gandenberger, *Entwicklung der Innovationsdynamik bei Ressourceneffizienztechnologien*, Kurzanalyse Nr. 8, Karlsruhe 2016.
- Daniel Schäfer, *Alter und Krankheit in der Frühen Neuzeit: der ärztliche Blick auf die letzte Lebensphase*, Frankfurt a. M. 2004.
- Ernst Schäfer, *El Consejo Real y Supremo de las Indias: La labor del Consejo de Indias en administración colonial. Tome II*, Sevilla 1947.
- Simon Schaffer, *Natural Philosophy and Public Spectacle in the Eighteenth Century*, in: *History of Science* 21 (1983) 1-43.
- Simon Schaffer, *Instruments as Cargo in the China Trade*, in: *History of Science* 44 (2006) 217-246.
- Arthur Scheijde, *Mysterieuze schipbreuken in de Gouden Eeuw*, Eindhoven 2013.
- Arthur Scheijde, *Op zoek naar het vlaggenschip van Zeeland*, in: *Den Spiegel* 31/3 (2013) 13-18.

- Arthur Scheijde, Het VOC schip Bantam en de Silvervisschers, in: Den Spiegel 36/1 (2018) 18-22.
- Peter Schimkat, Denis Papin und die Luftpumpe, in: Frank Tönsmann / Helmuth Schneider (Hg.), Denis Papin. Erfinder und Naturforscher in Hessen Kassel, Kassel 2009, 50-67.
- Hartmut Schippel, Die Anfänge des Erfinderschutzes in Venedig, in: Uta Lindgren (Hg.), Europäische Technik im Mittelalter 800 bis 1400. Tradition und Innovation, 4. Auflage [EA Berlin 1996], Berlin 2001, 539-550.
- Ditmar Schneider, Die Erfindung der Vakuumluftpumpe und ihre Entwicklung bis Leupold, in: Alto Brachner (Hg.), Geschichte der Vakuumpumpen. Zum 400. Geburtstag Otto von Guericke, München 2002, 14-58.
- Helmuth Schneider, Zur Archäologie der Dampfmaschine: Heron von Alexandria, in: Frank Tönsmann / Helmuth Schneider (Hg.), Denis Papin. Erfinder und Naturforscher in Hessen Kassel, Kassel 2009, 14-32.
- Thekla Schneider, Organum Hydraulicum, in: Die Musikforschung 7 (1954) 24-39.
- Gunter Schöbel, Frühe taucharchäologische Untersuchungen im Verband der Deutschen Sporttaucher. Ein Rückblick auf die 1950er Jahre, in: Skyllis, Zeitschrift für Unterwasserarchäologie 14/2 (2014) 180-191.
- Margaret E. Schotte, Sailing School. Navigating Science and Skill, 1550-1800, Baltimore 2019.
- Hermann von Schrötter / Wilhelm Mager / Richard Heller, Luftdruck-Erkrankungen mit besonderer Berücksichtigung der sogenannten Caissonkrankheit, Wien 1900.
- Joseph A. Schumpeter, Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process. Abridged, with an introduction, by Rendigs Fels, New York/Toronto/London 1939.
- Joseph A. Schumpeter, Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie, [EA engl. New York/London 1942] München 1950.
- Wolfgang Schwerdt: Seefahrtaspekte von der Frühzeit bis zum 19. Jahrhundert, Hessisch Lichtenau 2012.
- William Robert Scott, The Constitution and Finance of English, Scottish and Irish Joint-Stock Companies to 1720, Volume II, Companies for foreign Trade, Colonization, Fishing and Mining, Cambridge 1912.
- Christoph J. Scriba, Gregory's Converging Double Sequence. A new Look at the Controversy between Huygens and Gregory over the „Analytical“ Quadrature of the Circle, in: Historia Mathematica 10 (1983) 274-285.
- Hamish Marshall Scott, Britain's Emergence as a European Power, 1688-1815, in: Harry Thomas Dickinson (Hg.), A Companion to Eighteenth-Century Britain, Malden 2002, 431-446.
- Wilfried Seibicke, Technik - Versuch einer Geschichte der Wortfamilie um τέχνη in Deutschland vom 16. Jahrhundert bis etwa 1830, Düsseldorf 1968.
- Michael Seidel, Thermodynamik. Band 1: Energielehre, Oldenburg 2015.
- Fernando Serrano Mangas, Armadas y Flotas de la Plata (1620-1648), Madrid 1989.
- Fernando Serrano Mangas, Naufragios y rescates en el tráfico indiano durante el siglo XVII, Madrid 1991.

- John Bennett Shank, *The Newton Wars and the Beginning of the French Enlightenment*, Chicago 2008.
- Steven Shapin, *The house of experiment in seventeenth-century England*, in: *Isis* 79 (1988) 373-404.
- Steven Shapin, *The invisible technician*, in: *American Scientist* 77 (1989) 554-563.
- Steven Shapin, *A Social History of Truth*, Chicago 1994.
- Steven Shapin, *Pump and Circumstance: Robert Boyle's Literary Technology*, in: Marcus Hellyer (Hg.), *The Scientific Revolution. The Essential Readings*, Malden 2003, 74-100.
- Marcel Silberstein, *Erfindungsschutz und merkantilistische Gewerbeprivilegien*, Winterthur 1961.
- Sujit Sivasundaram / Alison Bashford / David Armitage, *Introduction, Writing World Ocean Histories*, in: David Armitage / Alison Bashford / Sujit Sivasundaram (Hg.), *Cambridge Oceanic Histories*, Cambridge 2018, 1-27.
- Alexander Sledkov, *John Deane and the Russian Link*, in: *Historical Diving Times* 42 (2007) 8-12.
- Alexander Sledkov, *Robert Crombie: A 19th Century Bell Diver in Russia*, in: *The International Journal of Diving History* 3 (2010) 3-17.
- Alexander Sledkov, *Augustus Siebe's Introduction to Russia*, in: *The International Journal of Diving History* 5 (2012) 19-22.
- Samuel Smiles, *Lives of the Engineers: Harbours. Lighthouses. Bridges. Smeaton and Rennie*, London 1891.
- Roger C. Smith, *Treasure Ships in the Spanish Main: The Iberian-American Maritime Empires*, in: George F. Bass (Hg.), *Ships and Shipwrecks of the Americas: a History Based on Underwater Archaeology*, London 1988, 85-106.
- Samuel Wade Smith, *Observations on diving and diving machines, with some interesting particulars relative to the machine now used in carrying on the public works in Hamoaze and Plymouth-Dock-Yard*, Plymouth 1820.
- David Sobel, *Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time*, Fulham 2005.
- Inga Elmquist Söderlund, *The Cabinet of Physics at Riddarhuset in Stockholm in the Eighteenth Century*, in: James Arthur Bennett / Sofia Talas (Hg.), *Cabinets of Experimental Philosophy in Eighteenth-Century Europe*, Leiden 2013, 99-108.
- Werner Sombart, *Der moderne Kapitalismus. Historisch-systematische Darstellung des gesamteuropäischen Wirtschaftslebens von seinen Anfängen bis zur Gegenwart. Erster Band, zweite Hälfte, Die vorkapitalistische Wirtschaft*, [EA 1902], 6. Auflage, Leipzig 1924.
- Richard Sorrenson, *The Ship as a Scientific Instrument in the Eighteenth Century*, in: *Osiris* 11 (1996) 221-236.
- G. C. Speziale, *The Roman Galleys in the Lake Nemi*, in: *Mariner's Mirror* 4 (1929) 333-346.
- Hereward Philip Spratt, *The Prenatal History of the Steamboat*, in: *Newcomen Transactions* 30 (1955) 13-23.

- Anders Ståhl, Berättelse om Hans Albrecht von Treilebens märkliga levnadsöden från hans födelse 1625 till hans död omkring 1690, in: Signallinan 16 (2006) 7-17.
- Richard Stanulla / Steffen Hein / Thomas Pohl, Methoden und Einsatzgebiete Wissenschaftlicher Taucher, in: Wasserwirtschaft 110 (2020) 59-62.
- Stephen K. Stein (Hg.), The Sea in World History. Exploration, Travel, and Trade, Santa Barbara CA 2017.
- Benjamin Steiner, Die Fundamente der Vergangenheit. Historische Tabellenwerke und die Ordnung der Geschichte in der Frühen Neuzeit, in: Biblos 60 (2011) 33–60.
- Friedrich Steinle, From Principles to Regularities: Tracing „Laws of Nature“ in Early Modern France and England, in: Lorraine Daston / Michael Stolleis (Hg.), Natural Law and Laws of Nature in Early Modern Europe: Jurisprudence, Theology, Moral, and Natural Philosophy, New York 2016, 215-232.
- Hermann Stelzner, Tauchertechnik. Handbuch für Taucher über den Bau und die Anwendung von Tauchergeräten aller Art, 2. Auflage [EA Lübeck 1931], Lübeck 1943.
- Larry Stewart, The Rise of Public Science. Rhetoric, Technology, and Natural Philosophy in Newtonian Britain, 1660-1750, Cambridge 1992.
- Larry Stewart, The Spectacle of Experiment: Instruments of Circulation. from Dumfreis to Calcutta and back, in: Bernard Lightman / Gordon McOuat / Larry Stewart (Hg.), The Circulation of Knowledge Between Britain, India and China, Leiden 2013, 21-44.
- Robert Stigler, Die Kraft unserer Inspirationsmuskulatur, in: Pflügers Archiv 139 (1911) 234-254.
- Dorothy Stimson, „Ballad of Gresham College“, in: Isis 18 (1932) 103-117.
- Michael Stoffregen-Büller, Himmelfahrten. Die Anfänge der Aeronautik. Weinheim 1983.
- Johann Nep. Stöger, Maximilian, Erzherzog von Österreich-Este, Hoch- und Deutschmeister. Ein Lebensbild, Wien 1865.
- Karl Stölzel, Gießerei über Jahrtausende, Leipzig 1978.
- Rebecca Stott, Oyster, London 2004.
- Gustaf Holdo Stråle, Alingsås manufakturverk: ett bidrag till den svenska industriens historia under frihetstiden, Stockholm 1884.
- Michael B. Strauss / Igor V. Aksenov, Diving Science. Essential physiology and medicine for divers, Champaign IL 2004.
- Jochen Streb / Jörg Baten, Ursachen und Folgen erfolgreicher Patentaktivitäten im Deutschen Kaiserreich: Ein Forschungsbericht, in: Rolf Walter (Hg.), Innovationsgeschichte, [Erträge der 21. Arbeitstagung der Gesellschaft für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte 30. März bis 2. April 2005 in Regensburg], Stuttgart 2007, 249-275.
- Sonnfried Streicher, Fabelwesen des Meeres, Rostock 1985.
- Josef Stummvoll, Technikgeschichte und Schrifttum. Einführung in die Probleme der Technikgeschichte und bibliographische Dokumentation, Düsseldorf 1975.
- Peter C. Sutton, Jan van der Heyden (1637-1712), Greenwich 2006.
- Zbigniew Szydło, Water which does not wet hands: The alchemy of Michael Sendivogius, Warschau 1994.

- Eva G. R. Taylor, *The Mathematical Practitioners of Tudor & Stuart England 1485-1714*, Cambridge 1954.
- Diego Téllez Alarcía, *En la periferia de la marina: le buceo y rescate de galeones naufragados en la monarquía de los Austrias*, in: Enrique García Hernán / Davide Maffi (Hg.), *Guerra y Sociedad en La Monarquía Hispánica. Política, estrategia y cultura en la Europa moderna (1500-1700)*, Vol. 1, Madrid 2006, 1043-1054.
- Simone Testa, *Italian Academies and Their Networks, 1525-1700. From Local to Global*, New York 2015.
- I. A. A. Thompson / Bartolome Yun Casalilla, *The Castilian Crisis of the Seventeenth Century: New Perspectives on the Economic and Social History of Seventeenth-Century Spain*, Cambridge 1994.
- Gerrit Tierie, *Cornelis Drebbel (1572-1633)*, Amsterdam 1932.
- Katja Tikka, *Apua merihädässä – vai liiketoimintaa? Ruotsin Sukellus- ja pelastuskomppanian toiminnan ensimmäiset vuosikymmenet 1729–1760*, Master Thesis. University of Helsinki, Faculty of Arts, Department of Philosophy, History, Culture and Art Studies: Helsingfors Universitet 2014. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014112846674>. Letzter Zugriff 18.07.2022
- John Timbs, *Stories of Inventors and Discoverers in Science and the Useful Arts*, London 1860.
- Franziska Torma, *Jenseits des „Blue Hole“: Zur Konsolidierung der Meere in der Geschichtswissenschaft*, in: *NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 28 (2020) 91-103.
- Alexandros Tourtas / Kimon Papadimitriou / Elpida Karadimou / Ralph O. Schill, *Diving as a Scientist: Training, Recognition, Occupation - The „ScienceDIVER“ Project*, in: Sérgio António Neves Lousada / Rafael Camacho (Hg.), *Underwater Work*, London 2020, 17-35.
- Bruce G. Trigger / Wilcomb E. Washburn (Hg.), *The Cambridge History of the Native Peoples of the Americas, Volume I, North America, Part 1*, Cambridge 1996.
- Ulrich Troitzsch, *Zu den Anfängen der deutschen Technikgeschichtsschreibung um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert*, in: *Technikgeschichte* 40 (1973) 33-57.
- Ulrich Troitzsch, *Zum Stande der Forschung über Jacob Leupold (1674-1727)*, in: *Technikgeschichte* 42 (1975) 263-286.
- Ulrich Troitzsch, *Technischer Wandel in Staat und Gesellschaft zwischen 1600 und 1750*, in: Wolfgang König (Hg.), *Propyläen Technikgeschichte, Dritter Band: Mechanisierung und Maschinisierung 1600-1840*, Berlin 1997, 11-270.
- Ulrich Troitzsch, *Die Technik der Frühen Neuzeit in der neueren deutschen Technikgeschichte*, in: Wolfgang König / Helmuth Schneider (Hg.), *Die technikhistorische Forschung in Deutschland von 1800 bis zur Gegenwart*, Kassel 2007, 227-256.
- Gerard L'Estrange Turner, *Nineteenth-century scientific instruments*, London 1983.
- Rebeka Übler, *Die Schutzwürdigkeit von Erfindungen: Fortschritt und Erfindungshöhe in der Geschichte des Patent- und Gebrauchsmusterrechts*, Tübingen 2014.
- Dietrich Unverzagt, *Philosophia, Historia, Technica. Caspar Schotts Magia universalis*, Dissertation, Fachbereich Kommunikations- und Geschichtswissenschaften, Technische Universität Berlin 2000.

- João Pedro Vaz, Pesca de naufrágios. As recuperações marítimas e subaquáticas na época da expansão, Lissabon 2005.
- Mareike Vennen, „Echte Forscher“ und „wahre Liebhaber“. Der Blick ins Meer durch das Aquarium im 19. Jahrhundert, in: Alexander Kraus / Martina Winkler (Hg.), Weltmeere. Wissen und Wahrnehmung im langen 19. Jahrhundert, Göttingen 2014, 84-102.
- Giovanni Battista Venturi, Memoria intorno alla vita e alle opere del capitano F. Marchi, Milano 1816.
- Francisco Vera / Rodrigo Rivera / César Núñez, Burning a Candle in a Vessel, in: Science & Education 20 (2011) 881-893.
- Verband Deutscher Sporttaucher, Dekompressionstabelle DECO 2000, Offenbach 2000.
- Karl Vocelka, Frühe Neuzeit 1500-1800, 3., aktualisierte Auflage, München 2020.
- Eleni Voultziadou, Sponges: An historical survey of their knowledge in Greek antiquity, in: Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 87 (2007) 1757-1763.
- Are Waerland, Marten Triewald and the First Steam Engine in Sweden, in: Transactions of the Newcomen Society 7 (1926) 24-41.
- William A. Wallace, Domingo de Soto and the Early Galileo. Essays on Intellectual History, Farnham 2004.
- Ruth V. Wallis / Peter J. Wallis, Biobibliography of British Mathematics and its Applications, Part II, 1701-1760, Newcastle upon Tyne 1986.
- Herbert Walz, Alexanders Tauchfahrt. Technikgeschichtliche Beobachtungen an deutschen mittelalterlichen Erzählvarianten, in: Rudolf Hoberg (Hg.), Technik in Sprache und Literatur, Darmstadt 1994, 43-58.
- Deborah Jean Warner, What Is a Scientific Instrument, When Did It Become One, and Why? The British Journal for the History of Science 23 (1990) 83-93.
- Liba Warner, Reengaging with Instruments, in: Isis 102 (2011) 689-696.
- David W. Waters, The Art of Navigation in England in Elizabethan and Early Stuart Times, New Haven 1958.
- Charles Webster: The Discovery of Boyle's Law, and the Concept of the Elasticity of Air in the Seventeenth Century, in: Archive for History of Exact Sciences 2 (1965) 441-502.
- Charles Webster, The Great Instauration. Science, Medicine and Reform 1626-1660, 2. Auflage [EA London 1975], Bern 2002.
- Engelhard Weigl, Instrumente der Neuzeit. Die Entdeckung der modernen Wirklichkeit, Stuttgart 1990.
- Florian Welle, Der irdische Blick durch das Fernrohr: Literarische Wahrnehmungsexperimente vom 17. bis zum 20. Jahrhundert, Würzburg 2009.
- Horst Wernicke, Von Rechten, Freiheiten und Privilegien. Zum Wesen und zur Dynamik in der Hanse, in: Hansische Studien 10 (1998) 283-297.
- John B. West, Essays on the History of Respiratory Physiology, New York 2015.
- O. J. Westbeck, Beskrifning öfver de af undertecknad uppfunne bergnings-instrumenter, Götheborg 1829.

- Jeffrey A. White, *Choreography as Culture: Biondo Flavio and Leandro Alberti*, in: *Commentaria Classica* 6 (2019) 61-84.
- Jessika Wichner, *Technische Innovation und literarische Repräsentation: Der Traum vom Fliegen von der Antike bis zu den Ballonaufstiegen im Großbritannien des ausgehenden 18. Jahrhunderts. Eine wissenschaftsgeschichtliche Studie*, Göttingen 2010.
- Thomas Wieland, *Innovationskultur: Theoretische und empirische Annäherung an einen Begriff*, in: Reinhold Reith / Rupert Pichler / Christian Dirninger (Hg.), *Innovationskultur in historischer und ökonomischer Perspektive. Modelle, Indikatoren und regionale Entwicklungslinien*, Innsbruck 2006, 21-38.
- Gerhard Wiesenfeldt, *Die ‚Freiheit beim Philosophieren‘ und das Leidener Theatrum Physicum: Experimentelle Naturlehre in der Universitätskultur des 17. Jahrhunderts*, in: Christoph Meinel (Hg.), in: *Instrument - Experiment. Historische Studien*, Berlin 2000, 269-277.
- Kären Wigen, *Introduction*, In: *The American Historical Review* 111 (2006) 717-721.
- Des Williams: *Australia's Rich Diving Heritage Explored*, in: *The International Journal of Diving History* 6 (2013) 49-58.
- Leonard G. Wilson, *Erasistratus, Galen, and „the pneuma“*, in: *Bulletin of the History of Medicine* 33 (1959) 293-314.
- Jon D. Witman / Paul K. Dayton / Suzanne N. Arnold / Robert S. Steneck / Charles Birkeland, *Scuba Revolutionizes Marine Science*, in: Michael A. Lang / Roberta L. Marinelli / Susan J. Roberts (Hg.), *Research and Discoveries. The Revolution of Science through Scuba*, Washington 2013, 3-11.
- David Wootton, *The Invention of Science: A New History of the Scientific Revolution*, London 2015.
- Kristina Zekonyte, *Projectors in seventeenth century England and their relevance to the field of project management*, Dissertation, University of Brighton, 2018.
- Anja Hill-Zenk / Felix Sprang, *Kontinentaleuropäisch-englischer Wissenstransfer und das gedruckte Buch in der englischen Renaissance*, in: Johann Anselm Steiger / Sandra Richter / Marc Föcking, *Innovation durch Wissenstransfer in der Frühen Neuzeit, Kultur- und geistesgeschichtliche Studien zu Austauschprozessen in Mitteleuropa*, Leiden 2010, 209-248.
- Hannah Zindel, *Ballons. Medien und Techniken früher Luftfahrten*, Paderborn 2020.
- Joseph Zulehner, *Österreichische Privativa, Privilegien, Patente*, in: *Österreichisches Patentamt (Hg.), Festschrift zum 50jährigen Bestand des Österreichischen Patentamtes 1899-1949*. Wien 1949, 111-115.

Zeittafel mit wesentlichen Ereignissen (1424-1815)

- 1424 Konrad Gruter, Darstellung eines Tauchers mit helmartigem Kübel ohne Sichtscheibe.
- 1433 Mariano di Jacopo, Darstellung einer Kerze, die in einem Kübel unter Wasser brennt.
- 1535 Francesco De Marchi und Etienne Guillery, zwei wissenschaftliche Tauchgänge im Nemisee.
- 1538 Toledo, Vorführung einer Taucherglocke vor Karl V. während des Cortes im Tajo.
- 1551 Niccolò Tartaglia publiziert *Regola generale da suleuare con ragione*.
- 1562 Jean Taisnier berichtet in *Opusculum perpetua memoria dignissimum de natura magnetis* als Augenzeuge über die Vorführung in Toledo.
- 1578 William Bourne publiziert *Inventions or devices*.
- 1606 Jerónimo de Ayanz y Beaumont skizziert eine Taucherglocke mit Schlauch und Blasebalg.
- 1626 Francisco Nunez Melian verwendet eine Taucherglocke als Suchgondel.
- 1658 Bergungsarbeiten an der *Sancta Sophia* vor Göteburg in 33 Meter Tiefe.
- 1662 Robert Boyle beschreibt das nach ihm benannte Boylesche Gesetz.
- 1664 Robert Hooke stellt das Verfahren der pendelnden Frischluftfässer vor.
- 1664 Hans Albrecht von Treileben, Bergungsarbeiten an der *Vasa* vor Göteburg in 32 Meter Tiefe.
- 1665 George Sinclair bestätigt das Boylesche Gesetz in der Praxis.
- 1669 George Sinclair publiziert *Ars nova et magna gravitatis et levitatis*.
- 1671 Royal Society publiziert Tiefentabellen für Taucher.
- 1687 Isaac Newton beschreibt das Boylesche Gesetz mit einer mathematischen Formel.
- 1687 William Phips, erfolgreiche Bergung einer großen Silberladung
- 1687 Beginn der „wreckfishing“-Spekulationsblase.
- 1689 Denis Papin schlägt Luftversorgung mit Pumpe und Schlauch vor.
- 1691 Edmond Halley, Beginn der Bergungsarbeiten an der *Guiney*.
- 1691 Edmond Halley, Vorlesungsreihe zum Tauchen.
- 1700 Platzen der „wreckfishing“-Spekulationsblase
- 1704 Isaac Newton untersucht in *Opticks* die Licht- und Farbveränderungen unter Wasser.
- 1716 Edmond Halley, Artikel *The Art of Living under Water*.
- 1716 Edmond Halley, experimenteller Tauchgang in der Themse.
- 1721 Edmond Halley, Artikel *An addition to the description*.

- 1729 Marten Triewald gründet in Schweden ein Bergungsunternehmen.
- 1734 Marten Triewald publiziert *Konsten at lefwa under watn*, die erste Monographie über Tauchtechnik.
- 1772 Carl-Wilhelm Scheele isoliert Sauerstoff.
- 1775 Charles Spalding beginnt mit Tauchgängen.
- 1778 John Smeaton, Bau der Hexambrücke, Taucherglocke mit Pumpe, ohne Schlauch.
- 1782 *Royal George* versinkt bei Portsmouth.
- 1783 Charles Spalding, Unfalltod in Tauchglocke.
- 1788 John Smeaton, Hafenanlage von Ramsgate Taucherglocke aus Gußeisen mit Pumpe und Schlauch.
- 1812 John Rennie, Bau der Hafenanlage von Plymouth.
- 1815 John Rennie, serienmäßige Produktion der Taucherglocke aus Gußeisen mit Pumpe und Schlauch.

Personenregister

- | | | | |
|---------------------------------|---|-----------------------------------|--|
| De Acosta, José | 181 | Been, Johan | 327, 343 |
| Adams, George | 308 | Benedetti, Giovanni Battista | 123 |
| Adriaanszoon, Jan | 152 | Bernoulli, Jacob | 313 |
| Van Aerssen, Cornelis | 151 | Bert, Paul | 369 |
| Agricolas, Georgius | 24 | Berti, Gasparo | 159 |
| Van Aitzema, Lieuwe | 164 | Berveglieri, Roberto | 74 |
| De Albacar, Martin Cortés | 125 | Besicken, Johann | 68 |
| Alberti, Leon Battista | 66, 68 | Besson, Jacques | 90 |
| Alexander | 20, 53, 310,
387 | Bevan, John | 22, 258, 261 |
| De Andreasi, Piero | 92 | Birch, Thomas | 27, 193 |
| Ankarcrona, Theodor | 320 | Blathwayt, William | 335 |
| Anonymus d. Hussitenkriege | 55, 64 | Bonifatius IX. (Pietro Tomacelli) | 55 |
| De Anuez, Juan | 141 | Bono, Giuseppe | 84, 85, 130-136, 390 |
| Von Aragonien, Pietro Tagliavia | 131 | De Borja y Aragón, Francisco | 105 |
| Archimedes | 52, 61, 78-81, 90, 157, 174 | Borelli, Giovanni Alfonso | 188, 313,
314, 335 |
| Arden, John | 303, 304 | Borough, Stephen | 125, 149 |
| Aristoteles | 47, 49, 50, 52, 82, 97, 98,
104, 116, 122, 170, 171, 206, 211,
269, 315, 385, 387 | Bouguer, Pierre | 275 |
| Armitage, David | 13 | Bouillet | 342 |
| Arundell, Richard | 266 | Le Bourgeois, Marin | 240 |
| Aubert, Alexander | 371 | Bourne, William | 90-93, 98, 160, 171,
351 |
| Aubrey, John | 210 | Boyle, Robert | 27, 42, 83, 95, 135, 137,
170, 173-199, 202, 204, 205, 212,
214, 215, 217, 218, 221, 222, 225,
228, 233, 234, 239, 241, 243, 249,
251, 268, 294, 297, 298, 301, 337,
338, 358-362, 379, 383, 393, 405,
407, 409, 410 |
| De Ayanz y Beaumont, Jerónimo | 130, 131,
135-138, 144, 150, 171, 244, 251,
389, 396, 405 | Von Braganza, Katharina | 201 |
| De Azevedo, José | 131 | Braudel, Fernand | 10 |
| Babbage, Charles | 376, 377 | Brizé-Fradin, C.-Antoine | 366 |
| Bacon, Francis | 170, 171, 192, 287,
316, 373, 397 | Brouncker, William | 172, 200, 202, 208,
394 |
| Bacon, Roger | 52, 53 | Bruce, Alexander | 200 |
| Banks, John | 303, 308 | Brunel, Marc Isambard | 293, 294 |
| Banū-Mūsā | 60 | Buchan, William | 353 |
| Barlow, Edward | 267 | Bufalini, Leonardo | 65 |
| Barrera-Osorio, Antonio | 118, 125,
138, 146-149 | Buffagnotti, Carlo Antonio | 167 |
| Barrié, Jean | 205 | Bulmer, Jan | 161, 253 |
| Bartels, Johann Justus | 347 | Busch, Gabriel Christoph Benjamin | 26,
311 |
| Bayezid II. | 62 | Bushell, James | 323 |
| Beccadelli, Ludovico | 123 | Von Byzanz, Philon | 116, 117 |
| Becher, Johann Joachim | 169 | De Cabrera, Antonio Luis | 126, 129 |
| Beck, Johann Christoph | 246 | Caligula | 66, 68, 387 |
| Becker, Andreas | 261, 262 | Campbell, Archibald | 220 |
| Beckmann, Johann | 19, 26, 297 | | |
| Beddoes, Thomas | 411 | | |
| Beekman, Isaac | 159, 248, 391 | | |

- Campi, Antonio 84
 Campi, Bartolomeo 84
 Campi, Giacomo 84
 Canal, Christoforo 83
 Cañizares-Esguerra, Jorge 139, 146
 Cano, Thomé 102
 Capponi, Giovanni Battista 95
 Capra, Fritjof 63
 Cardano, Gerolamo 61, 76-79, 95
 Carew, Georg 220
 Carter, John 281
 De Castro, Joao 105, 409
 Cavanei, Francesco 74
 Cavendish, Henry 363
 Cederlöf 328
 Cederlund, Carl Olof 161, 166
 Cestoni, Diacinto 176
 Von Charax, Isidoros 50
 Charles I. 172
 Charles II. 172, 201, 402
 Charles, Jacques Alexandre César 184
 Charleton, Walter 172
 Christian VI. 328
 Ciampini, Giovanni Giustino 96
 De Cibori, Antonio 89
 Cicero, Marcus Tullius 358
 Clare, Martin 220, 287, 288, 301
 Clefwe, Erasmus 321
 Clemens VII. (Giulio de' Medici) 67
 Clemens X. (Emilio Altieri) 76
 Clopton, William 272
 Colladon, Louis Théodore Frédéric 380, 381
 Collins, John 229
 Colonna, Prospero 66
 De Cordona, Nicolas 140
 Corsi, Piero Paolo 93
 Cortés, Hernán 119
 Cortés, Martin 125, 148
 De Coulomb, Charles Augustin 369
 Coventry, William 172
 Craik, Alexander D. D. 223, 228
 Crombie, Robert 381
 Cuggle, William 272

 Dalton, John 190, 383
 Dambach, Christoff 90
 Dandino, Girolamo 123
 Darwin, Erasmus 355, 356
 Daves, Jahn 323
 Davids, Karel 146, 147, 157
 Davis, Robert H. 21
 Day, John 356

 Deane, Charles 22, 70, 374, 381
 Deane, John 22, 70, 374, 381
 Dee, John 91
 Defoe, Daniel 256, 272
 Degelder, Cornelius 253
 Della Porta, Giovanni Battista 94, 117
 Della Valle, Battista 64
 Demainbray, Stephen 303-305
 Desaguliers, John Theophilus 188, 268, 298-304, 317, 318, 320, 335, 339, 347, 348, 369
 Descartes, René 188
 Diedrichson, Sievert 322
 Digby, Kenelm 240
 Dinwiddie, James 306-310, 353, 355
 Dohrn, Anton 353
 Donati, Vitaliano 176
 Doorman, Gerhard 154
 Drebbel, Cornelis Jacobszoon 160, 207, 215, 243
 Duguay-Trouin, René 262
 Duveen, Denis Ian 365

 Eden, Richard 113
 Eleonora, Ulrika 322
 De Eraso, Antonio 133
 De Escalante Alvarado, García 108
 Evance, Stephen 253, 280, 281
 Evelyn, John 195, 206
 Exton, John 325

 Von Fabrice, Ernst Friedrich 317
 Faraday, Michael 293
 Farey Jr., John 373
 Farnese, Ottavio 65
 Feldhaus, Franz Maria 21, 36
 Ferdinand I. 121
 Ferdinand III. 118
 Ferguson, James 303
 FitzWilliam, William 220
 Flashar, Hellmut 50
 De Fontana, Johannes 68, 245
 Forbes, Alexander 162
 Forbes, Edward 418
 Franz IV. 377
 Frederick, William 377
 Friedrich I. 322, 335, 345
 Friedrich III. von Schleswig-Holstein-Gottorf 238
 Friedrich IV. 326
 Friedrich V. 263

 Galen (Galenos) von Pergamon 54

- Galilei, Galileo 95, 117, 159, 170
Gallon, Jean-Gaffin 35
De Garay, Blasco 120, 121, 129
Garcia Tapia, Nicolas 136
Garciano de Almonte, Cristobal 140
De Gardi, Salvador 74
Gay-Lussac, Joseph Louis 184
Gehler, Johann Samuel Traugott 50, 51
Georg I. 262
Gessner, Conrad 104
Giraldi, Lilio Gregorio 68
Glanvill, Joseph 193
Glaser, Johann Conrad 237, 238
Glasgow, George 353, 354
Goddard, Jonathan 195, 196, 199, 202, 207, 208
Van der Goes, Marcellis 164, 165
Goldsmith, Oliver 311
Von Görtz, Georg Heinrich 317
Gordon, Andreas 238
Greatrix, Ralph 202
Gregor XIII. 94
Gregory, David 277
Gregory, James 228-231, 233, 277
Griego, Constantín 120
Griell, David 272
Griffin, John Joseph 304
Gruter, Konrad 54-57, 97, 386
Von Guericke, Otto 118, 178
Guillery, Etienne 66-68, 70, 71, 73, 98, 387, 396
Gustav II. Adolf 162
Gustav IV. Adolf 322, 332
De Guzman, Elvira 122
De Guzman, Gabriel 74, 83, 121, 122, 123, 388
Hales, Stephen 215, 302, 303, 321, 360, 362, 400
Halley, Edmond 27, 42, 166, 191, 192, 209, 215, 227, 239, 247, 253, 267-317, 321, 334, 335, 337-339, 347, 348, 351, 352, 373, 376, 379, 381, 396-398, 403, 405, 408, 410
Hamel, Iosif Christianowitsch 380
Hannam, John 381
Happel, Eberhard Werner 154
Zu Hardegg auf Glatz und im Marchlande, Ignaz Franz 377
Hardy, Thomas Masterman 380
Harrington, William 253
Harris, John 26, 298
Harrison, Robert 303, 308
Hauksbee, Francis 298, 299
De Hautefeuille, Jean 58, 341
Hautsch, Hans 245
Healy, Robert 371
Heberlein, Hermann 21, 36
Helffer, Petrus Paulus 238
Van Helmont, Johan Baptista 116, 363
Henry, William 190
Heron von Alexandria 175
Von Hessen-Kassel, Karl 243
Van der Heyden, Jan 246, 263
Van der Heyden, Nicholaes 246
Hill, Aaron 257
Hill, Abraham 192, 271
Hinrich vamme Rhyn 59
Hodgson, James 298
Hoffmann, Friedrich 296
Höjer, Frederik Herman 166
Holland, John 280, 281
Holst, Görgen 322
Hooke, Robert 54, 137, 173, 174, 177-182, 190-218, 221, 232-235, 238-240, 242, 245, 248-251, 268, 270, 283, 286, 290, 302, 303, 315, 338, 341, 358-362, 393-397, 407-409
Hopkins, Martin 255
Hoppenstedt, Christian Caspar 261
Hoskyns, John 210
Houghton, John 281, 282
De Huybert, Pieter 164
Huygens Jr., Constantiyn 283
Huygens, Christiaan 231, 239, 240, 243, 283
De Idiáquez, Pedro 143
Innes-Ker, James 355
Innocenzi, Plinio 96
Innozenz VIII. (Giovanni Battista Cibo) 56
Inwood, Stephen 178, 191
Ivars Perelló, Juan 22
Di Jacopo (Taccola), Mariano 52, 59-61, 63, 64, 68, 76-78, 83, 97, 116, 386
James I. 255
Jett, Thomas 281
Joell, Thomas 254, 261, 272
Joseph II. 357
Jurin, James 380
Karl V. 64, 100, 113, 118-122, 387, 388, 390

Karl X. Gustav 163
 Karl XII. 322, 325
 Von Kastilien, Eleonore 34, 121, 122
 Katharina II. 323
 Kaufmann, Franz-Xaver 95
 Keill, John 299
 Kelly, Samuel 293
 Kessler, Franz 25, 71, 73, 312, 314
 Keynes, Geoffrey 192
 King, Erasmus 303
 Kircher, Athanasius 173, 188, 341
 Klickstein, Herbert S. 365
 Klingert, Karl-Heinrich 25, 213, 261
 Klipping 333, 334
 Kolumbus, Christoph 100, 103
 Kreeft, Peter 165, 261, 334
 Von Krusenstern, Adam Johann 381
 Kvarning 168
 Kyeser, Conrad 53, 54

 Landerbeck, Nicolaus 239
 Langelott, Joel 238
 Laphorne, Richard 271
 Laurel, Lars 318
 Lavoisier, Antoine Laurent 364
 Lawson, John 202
 Lebeau, Sylvain 325
 De L'Écluse, Charles 125
 De Ledesma, Pedro 131, 139-141
 Leibniz, Gottfried Wilhelm 234, 239
 Leng, Rainer 53
 Leo X. (Giovanni de' Medici) 67, 68
 Leslie, John 231
 Lethbridge, John 37, 38, 265-267
 Leupold, Jacob 26, 261, 311-314,
 316, 335
 Lewenhaupt, Gustaf Adolph 162
 Lichtenberg, Georg Christoph 296,
 297
 De Lima, Diego 126, 129
 De Lira, Antonio 126, 129
 Lobsinger, Hans 240
 De Longueil, Christophe 67
 López Piñero, José María 122, 144
 Lorini, Buonaiuto 76, 86-88, 98, 132,
 153, 223, 312, 335, 337
 Lucanus, Bartolus 56, 57
 Ludwig XIII. 205
 Ludwig XIV. 205
 Ludwig, Wilhelm 152
 Lyons, Leon 22

 Macartney, George 309
 Macintosh, Charles 376, 384
 Macquer, Pierre Joseph 363
 Madrid Casado, Carlos M. 145, 147
 Magiotti, Raffaello 188
 Magnus, Olaus 89, 92, 104
 Von Mansfeld, Gebhard 113
 De Marchi, Francesco 64-71, 89, 98,
 387, 408
 De Marini, Simone 93
 Martin, Benjamin 303, 308
 Martini, Francesco di Giorgio 61,
 64, 68
 Mascret, Vianney 22
 Mathers, Patrick 229
 Maule, James 162, 164, 165, 168, 169,
 193, 197, 203-206, 220, 221, 229,
 393
 Mayow, John 360-362
 De Medici, Alessandro 64
 De Medici, Cosimo I. 84
 De Medina, Pedro 125, 148
 Meijer, Cornelis Janszoon 75, 76, 342
 Menlös, Daniel 327, 344
 Merret, Christopher 198
 Mersenne, Marin 159-161, 173, 196,
 220, 227, 269, 417
 Midon, Francis 303
 Mitzner, Wayne A. 63
 Von Moerbeke, Wilhelm 61, 78
 Monck, Christopher 109, 112
 De Monconys, Balthasar 188
 Montagu, Edward 172
 Montgolfier, Jacques Etienne 356
 Montgolfier, Joseph Michel 356
 Moore, Jonas 201, 202
 Moray, Robert 194, 200, 202, 204, 205,
 207-209, 219
 Möser, Kurt 21
 Münster, Sebastian 104
 Van Musschenbroek, Pieter 369

 Neale, Thomas 256, 282
 Negri, Francesco 167
 Neile, Paul 207
 Newman, Trevor 37
 Newton, Isaac 94, 178, 183, 184, 265,
 275, 281, 297-299, 318, 320, 337,
 346, 362, 374, 408, 410
 Nollet, Jean-Antoine 244, 303
 Nordmann, Alfred 15
 Nunez Melian, Francisco 110, 131,
 132, 139, 141, 343

- Oldenburg, Henry 27, 173, 202, 207, 208,
223, 227, 228, 315, 395
- Von Oranien, Friedrich Heinrich 152
- Von Oranien, Moritz 152
- Von Oranien, Wilhelm III. 164
- De Ortega, Juan 67
- Von Österreich, Anna 205
- Von Österreich-Este, Maximilian Joseph
377
- Panthot, Jean-Baptiste 236
- Papin, Denis 137, 239-245, 248, 251,
268, 271, 274, 277, 290, 291, 366,
395, 396, 400, 403, 405
- Parker, Torrance R. 22
- Von Parma, Margarethe 64
- Pascal, Blaise 160, 185, 186, 204, 236, 259
- Pasch, Georg 227
- Paul III. (Alessandro Farnese) 65
- Peckell, Andreas 162, 165, 166
- Pecquets, Jean 220
- Pemberton, Harry 299
- Pendarves, Richard 253
- Pepys, Samuel 172, 208
- Petty, William 202, 207, 208
- Peyssonnel, Jean-André 176
- Pflug, Christian Carl Gottlob 247
- Phélypeaux, Jean-Frédéric 381
- Philipp II. 89, 106, 132, 145, 148, 220,
390
- Philipp III. 136
- Phillips, Nigel 22, 23, 198, 227
- Phips, Willam 112, 232, 252, 255, 257,
258, 269, 314, 399
- Pickernell, Jonathan 367
- Pictet-Turretini, Marc-Auguste 380
- Pieters, Wilhelm 152
- Pieterszoon, Pieter 152, 153
- Pilâtre de Rozier, Jean-François 356,
357
- Polhem, Christopher 345
- Povey, Thomas 201
- Powell, William Samuel 303, 308
- Power, Henry 182
- Priestley, Joseph 356, 362-365
- Prohaska, Karl 238, 239
- Promis, Carlos 86
- Raince, Nicolas 67
- Rangone, Ercole 68
- Rautell, Anders 321
- De Redingues, Baron 90
- De Rémy, Pierre 262
- Renatus, Flavius Vegetius 80
- Rennie, John 43, 374-378, 381, 384, 400
- Robertson, John 303, 308
- Rochford, Matthew 162-165, 168, 194,
197, 200, 203, 205, 218, 393, 409
- De Rodas, Augustinus 119
- De Rodas, Nicolao 118-121, 129
- Rodríguez Cuevas, Tomás 22
- Rogers, Everett M. 16, 96, 395, 398
- Rohault, Jacques 295
- Romain, Pierre 357
- Ropohl, Günter 11, 19
- Rowe, Jacob 254, 267, 300, 304, 348
- Rump, Pal 170
- Rutherford, Daniel 363
- Rutherforth, Thomas 303
- Salm, Meynert Corneliszoon 153
- Sánchez, Antonio 146
- Sanders, William 228-231, 233
- Sarnicki, Stanislaw 71-73
- Savery, Thomas 318
- Scarlett, John 243
- Schaper, Johann Ernst 296
- Scheele, Carl-Wilhelm 363-365, 383
- Schmidt, Johannes Andreas 297
- Schott, Caspar 25, 90, 116, 161,
178, 180, 188, 219, 227, 237, 243
- Schröder, Georg Engelhard 319
- Schubart, Gottfried 238
- Schultz, Heinrich 263, 264
- Schumpeter, Joseph 16, 398
- Schweitzer, Christoph 44
- Seligmann, Gottlob Friedrich 237, 238
- Sendivogius, Michael 358
- Sepulveda, Francisco 143, 144
- Serrano Mangas, Fernando 111, 144
- Sibbald, Robert 274
- Sinclair, George 183, 209, 219-239,
244, 248, 250, 277, 283, 290, 298,
302, 312, 315, 335, 337, 395, 409
- Sinclair, John 220
- Sloane, Hans 109, 258, 268, 320, 335
- Smeaton, John 248, 366-373, 383,
400
- Smith, Samuel Wade 376, 377
- De Soto, Domingo 122, 123, 125
- Souton, Samuel 253
- Spalding, Charles 307, 308, 348-357,
372, 374, 405, 410
- Von Sporck, Franz Anton 169
- Stelzner, Hermann 21
- Stephens, John 255

- Stephenson, Robert 373
Stevens, Simon 158, 248
Stigler, Robert 57, 58
Sturm, Johann Christoph 115, 167,
209, 233-238, 250, 296, 312, 336,
395
- Taisnier, Jean 89, 112-114, 121, 222
Tartaglia, Niccolò 41, 76-85, 89-91, 98,
123, 131, 134, 141, 161, 222, 237,
280, 337, 343, 351, 387, 390
Thompson, Isaac 303, 308
Toledo II., Diego López 122
Torma, Franziska 12
Torricelli, Evangelista 159, 160,
219, 222-224, 226, 283, 302, 344,
391
Towneley, Richard 182
Tracey, William 260
Trajan 68
Von Treileben, Hans Albrecht 156,
160-169, 194, 221, 238, 248, 249,
322, 391, 392, 397
Triewald, Daniel 321
Triewald, Marten 285, 303, 304, 314,
316-347, 352, 382, 383, 397-399
Triger, Jacques 168
Troitzsch, Ulrich 145
Turriano, Juanelo 89, 131
Tyssen, Francis 253, 280, 281
Tyzack, John 282
- Ufano, Diego 90, 131, 141
- Valentini, Michael Bernhard 44
Valturio, Roberto 80
De Vargas, Gaspar 140
De Velasco, Pedro Vázquez 110
De Velasco y Velasco, Luis 141
Veranzio, Fausto 75
De Villafaña, Ángel 108
- Da Vinci, Leonardo 38, 57, 61-64, 117,
135, 136, 313
Vitruvius Pollio (Vitruv), Marcus 80,
358
Van Vreeswijck, Goosen 168
- Wachtmeister, Hans 170
Waldschmid, Johann Jacob 296
Walker, Adam 303, 308, 373, 374,
410
Waller, Richard 210, 213, 270
Wallis, John 228, 234
Watson, Ebenezer 354, 355
Weiss, Jürgen C. 261, 297
Weitbrecht, Josias 379
Westbeck, O. J. 346
Whistler, Daniel 195, 196
Whyte, Edward-Athenry 308
Wigen, Kären 13
Wilkins, John 171, 195, 196, 202, 207,
208, 417
Wilkinson, John 372
Williams, John 281, 282
Williams, Joseph 272, 282
Willughby, Francis 208
Witsen, Nicolaas Corneliszoon 104,
157
Wolff, Christian 336
Woodcroft, Bennet 32
Woodward, John 258
Wrangel, Carl Gustav 162
Wren, Christopher 195, 196
Wynter, William 91
- Ximénez, Andréu 131
- Zedler, Johann Heinrich 26, 116
Zollmann, Philip Henry 335
Zöllner, Johann Friedric 365