

Aus dem Zentrum Allgemeinmedizin Homburg/Saar der
Universität des Saarlandes, Direktor: Prof. Dr. Johannes Jäger, MME

**Empirische Arbeit zum subacromialen Schulter-
Impingement-Syndrom – Die Biokinematik als explo-
rativer Therapieansatz im Vergleich mit den konserva-
tiven Behandlungsansätzen der S2e-Leitlinie subacro-
miales Schulter-Impingement-Syndrom**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der theoretischen Medizin

**der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES**

2025

vorgelegt von:

Julian Schröer

geb. am: 31.01.1995 in Lingen (Ems)

Tag der Promotion: 23.04.2025

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. dent. M. Hanning

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Johannes Jäger

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Emmanouil Liodakis

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	7
1.1	Deutsche Zusammenfassung	7
1.2	Abstract – English version	8
2	EINLEITUNG	10
3	GEGENWÄRTIGER KENNTNISSTAND	12
3.1	Aufbau und Funktionsweise der Schulter	12
3.1.1	Die Schulter	12
3.1.2	Der Kapsel-Band-Apparat der Schulter	14
3.1.3	Mechanik der Schulter	16
3.1.4	Muskulatur der Schulter	17
3.2	Das Schulter-Impingement-Syndrom	19
3.2.1	Formen des subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms	20
3.2.2	Diagnostik des subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms	22
3.2.2.1	Neutral-Null-Methode	22
3.2.2.2	Painful-Arc Test	24
3.2.2.3	Hawkins-Kennedy-Test	25
3.2.2.4	Neer-Test	26
3.2.2.6	Bildgebungsverfahren zur Diagnostik eines subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms	28
3.2.3	Schmerzempfinden	31
3.3	Therapieverfahren	39
3.3.1	Suchkriterien für operative und konservative Behandlungsmethoden eines subacromialen Impingement-Syndroms	39
3.3.2	Operative Therapieverfahren – Subacromiale Dekompression	40
3.3.3	Konservative Therapieverfahren zur Behandlung eines subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms	44
3.3.3.1	Allgemeine Informationen zur Muskulatur	45
3.3.3.2	Muskelaktivität zur Reduktion von Schmerzen bei einem subacromialen Impingement-Syndrom	46
3.3.3.3	Muskeldehnung zur Reduktion von Schmerzen bei Patienten mit einem subacromialen Impingement-Syndrom	51

3.3.3.4	Aufbau einer Trainingseinheit Muskeldehnung + Kräftigung	53
3.3.3.5	Einbezug weiterer Faktoren in der konservativen Therapie für Patienten mit einem subacromialen-Impingement-Syndrom.....	54
3.3.3.6	Biokinematik.....	55
3.3.3.7	Weitere konservative therapeutische Methoden zur Funktionsverbesserung und Schmerzreduktion der Schulter bei SIS-Patienten.....	65
4	METHODIK	67
4.1	Vorbereitung	67
4.1.1	Therapieinhalte für die Interventionsstudie mit SIS-Patienten	68
4.1.2	Festlegen der Endpunkte	76
4.1.3	Formulierung der Hypothesen	77
4.2	Messmethodik.....	77
4.2.1	Digitale Messung mit dem Mobee® Med	78
4.2.2	Bestimmung der Messzeitpunkte	81
4.2.3	Ein- und Ausschlusskriterien	82
4.2.4	Kontrolle der Gruppen	84
4.3	Ethikantrag.....	85
4.4	Praktische Durchführung	85
4.4.1	Rekrutierung der Studienteilnehmer	85
4.4.1.1	Webseite	85
4.4.1.2	Medizinische Einrichtungen	86
4.4.2	Randomisierung	86
4.4.3	Anamnese und Erstgespräch.....	87
4.5	Statistik	87
4.5.1	Auswahl der statistischen Tests	88
4.5.2	Fallzahlberechnung	88
4.5.3	Auswertung des Datenmaterials mit IBM SPSS Statistics	89
5	ERGEBNISSE	92
5.1	Probanden.....	92
5.2	Effekte auf die Bewegungsamplitude	95
5.3	Effekte auf die Schmerzamplitude	131

5.4	Effekte auf die subjektive Schmerzwahrnehmung	165
5.5	Zusammenhangsprüfung mit Spearmans Rangkorrelationskoeffizienten	197
6	DISKUSSION	199
6.1	Interpretation der Ergebnisse	199
6.2	Kritische Betrachtung der eigenen Untersuchung	202
6.3	Vergleich der eigenen Ergebnisse mit denen aus der Literatur	212
6.4	Schlussfolgerungen / Konklusionen	214
7	LITERATURVERZEICHNIS	217
8	ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS	232
8.1	Abbildungsverzeichnis	232
8.2	Tabellenverzeichnis	237
9	ANHANG	244
9.1	Anhangsverzeichnis	261
10	PUBLIKATION / DANKSAGUNG	263
10.1	Publikation	263
10.2	Danksagung	263
11	LEBENS LAUF	265

Abkürzungsverzeichnis

AC-Gelenk	Acromioclaviculargelenk
ATP	Adenosintriphosphat
CGRP	Calcitonin Gene-related peptide
DGOÜ	Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie
Fatsat	Fettsignalunterdrückung
MRT	Magnetresonanztomographie
NGF	Nervenwachstumsfaktor
NRS	Numerische Rating Skala
PGE2	Prostaglandin E2
ROM	Range of Motion
SAPS	Subacromiales Schmerzsyndrom
SAD	Subacromiale Dekompression
SIS	Subacromiales Schulter-Impingement-Syndrom
SP	Substanz P
T2w	T2-Wichtung – Aufnahmetechnik einer MRT Untersuchung
VAS	Visuelle Analog Skala
ZNS	Zentrales Nervensystem

1 Zusammenfassung

An dieser Stelle folgt die Kurzzusammenfassung der Arbeit in Originalsprache und englischer Übersetzung.

1.1 Deutsche Zusammenfassung

Schmerzen im Bereich der Schulter sind als dritthäufigstes Beschwerdebild bei Patienten mit muskuloskelettalen Erkrankungen weltweit zu klassifizieren (GARVING et al., 2017). Die Epidemiologie beschreibt ein Aufkommen eines Schulter-Impingement-Syndroms bis zu 48,4 von 1.000 Patienten (GREVING et al., 2012). Verschiedene operative und konservative Therapieverfahren wurden in den vergangenen Jahrzehnten untersucht, um das Beschwerdebild des subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms zu untersuchen. Die angewendeten Methoden wurden dabei immer vielfältiger, statt spezifischer zu werden. Das Ziel der Arbeit ist es die bislang etablierten konservativen Behandlungsmethoden einem neuen explorativen Therapieansatz, der Biokinematik, welcher die Ursachen einer Schmerzentstehung näher betrachtet, gegenüberzustellen. Die Wirksamkeit der Interventionsmethoden wird über die Veränderung der Bewegungsamplitude, der subjektiven Schmerzwahrnehmung und der Veränderung der Schmerzamplitude, welche sich aus dem Differenzwert des Anfangs- und Endpunktes der subjektiven Schmerzwahrnehmung zusammensetzt, statistisch analysiert. Die Messung der Variablen erfolgt durch ein digitales Goniometer. In der Studie wurden $n = 66$ Probanden über einen achtwöchigen Interventionszeitraum in aktiver und passiver Bewegung, bilateral vermessen. Die Interventionsgruppen bestehen aus einer Gruppe, welche Kräftigungstraining und Mobilitätsübungen durchführt, einer zweiten Gruppe, welche die Biokinematik-Therapie anwendet und einer Kontrollgruppe. Die Messzeiträume finden zur Baseline, T1 = nach vier Wochen und T2 = nach acht Wochen Intervention statt. Die Ergebnisse werden mit der Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben und dem Kruskal-Wallis-Test für ungepaarte Stichproben statistisch analysiert. Die Ergebnisse ergaben für die Varianzanalyse nach Friedman signifikante Unterschiede im achtwöchigen Interventionszeitraum für die Bewegungsamplitude der Abduktion (Kraft- und Beweglichkeit ($p = 0,001$), Biokinematik ($p = <0,001$) Kontrollgruppe ($p = 0,001$)), der Innenrotation (Kraft- und Beweglichkeit ($p = <0,001$), Biokinematik ($p = <0,001$) Kontrollgruppe ($p = 0,035$)) und der Anteversion (Kraft- und Beweglichkeit ($p = 0,050$), Biokinematik ($p = <0,001$) Kontrollgruppe ($p = 0,050$)). Nach Kruskal-Wallis wurden in der Bewegungsamplitude signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ($p = <0,001$) erfasst. Für die Schmerzamplitude wurden signifikante Unterschiede durch die Varianzanalyse nach Friedman für die Abduktion (Kraft- und Beweglichkeit ($p = 0,071$), Biokinematik ($p = 0,005$) Kontrollgruppe ($p = 0,013$)), der Innenrotation, (Biokinematik ($p = 0,005$)) und der Anteversion (Biokinematik ($p = <0,001$)) festgestellt. Die subjektive Schmerzwahrnehmung ergab in der Varianzanalyse nach Friedman signifikante Unterschiede in der Abduktion (Kraft- und Beweglichkeit ($p = 0,003$), Biokinematik ($p = <0,001$) Kontrollgruppe ($p = 0,013$)), der Innenrotation (Kraft- und Beweglichkeit ($p = 0,004$), Biokinematik ($p = 0,001$)) und der Anteversion (Kraft- und Beweglichkeit

($p = 0,011$), Biokinematik ($p = <0,001$) Kontrollgruppe ($p = 0,004$) für die jeweiligen verschiedenen Bewegungsdurchführen. Die Ergebnisbefunde dieser wissenschaftlichen Arbeit dokumentiert die Wirksamkeit der etablierten konservativen Methoden, aber zeigt zudem die Wirksamkeit des explorativen Therapieansatzes der Biokinematik auf, in Bezug auf chronische Bewegungsschmerzen der Schulter. Die Erkenntnisse dieser Forschungsarbeit zur Schmerzursachenforschung können weiterhin als Grundlage weiterer wissenschaftlicher Untersuchungen herangezogen werden.

1.2 Abstract – English version

Empirical work on subacromial shoulder impingement syndrome - Biokinematics as an explorative therapeutic approach in comparison with the conservative treatment approaches of the S2e-guideline subacromial shoulder impingement syndrome

Shoulder pain is classified as the third most common complaint in patients with musculoskeletal disorders worldwide (GARVING et al., 2017). Epidemiology describes an incidence of shoulder impingement syndrome of up to 48.4 per 1,000 patients (GREVING et al., 2012). Various surgical and conservative treatment methods have been investigated over the past decades to examine the symptoms of subacromial shoulder impingement syndrome. The methods used have become increasingly varied instead of becoming more specific. The aim of the thesis is to compare the established conservative treatment methods with a new explorative therapeutic approach, the Biokinematic, which takes a closer look at the causes of pain development. The effectiveness of the intervention methods is statistically analyzed via the change in movement amplitude, subjective pain perception and the change in pain amplitude, which is made up of the difference between the start and end point of subjective pain perception. The variables were measured using a digital goniometer. In the study, $n = 66$ subjects were measured bilaterally over an eight-week intervention period in active and passive movement. The intervention groups consisted of one group performing strength training and mobility exercises, the second group using biokinetic therapy and a control group. The measurement periods take place at baseline, T1 = after four weeks and T2 = after eight weeks of intervention. The results were statistically analyzed using Friedman's analysis of variance for paired samples and the Kruskal-Wallis test for unpaired samples. The results showed significant differences for the analysis of variance according to Friedman in the eight-week intervention period for the movement amplitude of abduction (strength and flexibility ($p = 0.001$), biokinematics ($p = <0.001$) control group ($p = 0,001$)), internal rotation (strength and flexibility ($p = <0.001$), biokinematics ($p = <0.001$) control group ($p = 0.035$)) and anteversion (strength and flexibility ($p = 0.050$), biokinematics ($p = <0.001$) control group ($p = 0.050$)). According to Kruskal-Wallis, significant differences were recorded between the groups in the amplitude of movement ($p = <0.001$). For pain amplitude, significant differences were found by Friedman's analysis of variance for abduction (strength and mobility ($p = 0.071$), biokinematics ($p = 0.005$) control group ($p = 0.013$)), internal rotation, (biokinematics ($p = 0.005$)) and anteversion (biokinematics ($p = <0.001$)). The subjective perception of pain revealed significant differences in abduction

(strength and mobility ($p = 0.003$), biokinematics ($p = <0.001$) control group ($p = 0.013$)) in the Friedman analysis of variance, internal rotation (strength and flexibility ($p = 0.004$), biokinematics ($p = 0.001$)) and anteversion (strength and flexibility ($p = 0.011$), biokinematics ($p = <0.001$) control group ($p = 0.004$)) for the respective different movement executions. The results of this scientific study document the effectiveness of the established conservative methods, but also show the effectiveness of the explorative therapeutic approach of biokinematics in relation to chronic movement pain of the shoulder. The findings of this research into the causes of pain can also be used as a basis for further scientific studies.

2 Einleitung

Das Schulter-Impingement-Syndrom ist seit der Entdeckung 1852 eines der am kontroversesten diskutierten Beschwerdebilder. Schmerzen im Bereich der Schulter sind als dritthäufigstes Beschwerdebild bei Patienten mit muskuloskelettalen Erkrankungen weltweit zu klassifizieren (GARVING et al., 2017). Dabei gilt das Schulter-Impingement bei 7% bis 34% als Ursache für Schmerzen in der Schulter (CREECH, SILVER, 2023). Die Epidemiologie beschreibt ein Aufkommen eines Schulter-Impingement-Syndroms bis zu 48,4 von 1.000 Patienten (GREVING et al., 2012). Bei einem Auftreten des Schulter-Impingement-Syndroms von 12% in der Bevölkerung sind vor allem nur die Patienten in der Statistik inkludiert, die zum Arzt gehen, da die auftretenden Schmerzen schon sehr lange andauern, mehr als 3 Jahre (CREECH, SILVER, 2023), und auch während der Ruhephasen, z.B. im Schlaf, zu einem chronischen Alltagsproblem werden. Das Schulter-Impingement kann nach verschiedenen Stufen klassifiziert werden, sodass jene Patienten, die zwar an Schulterschmerzen leiden, aber den Arzt nicht aufsuchen, weil der Schmerz noch auszuhalten ist oder durch die Einnahme von Schmerzmitteln gelindert wurden, nicht in der Statistik auftauchen. Die Dunkelziffer könnte demnach sogar höher ausfallen. Trotz des hohen Aufkommens des Schulter-Impingement-Syndroms gibt es weder bei der Auswahl geeigneter Diagnostikverfahren (WATTS et al., 2017) noch bei der Anwendung geeigneter Operations- oder Therapieverfahren einen Gold-Standard, da lediglich Annäherungswerte für einen klaren Therapieerfolg erreicht werden können. Jedoch konnte in mehreren Studien von 1999 (BROX et al., 1999) bis 2019 (NAZARI et al., 2019) kein signifikanter Mehrwert einer subacromialen Dekompression gegenüber körperlicher Aktivität festgestellt werden. Neben den Risiken einer Operation haben Studien ergeben, dass sich direkte Kosten von der Diagnose bis zur Operation auf 4.139€ pro Patienten belaufen (VIRTA et al., 2012). Dabei sind indirekte Kosten, wie der Ausfall der Arbeitszeit von 205€ pro Fehltag, noch nicht berücksichtigt. Patienten, die sich einer Subacromialen Dekompression unterziehen, haben dabei eine längere Ausfallzeit gegenüber Patienten, die rein konservativ behandelt werden (KROMER et al., 2014). Die am 11.10.2021 veröffentlichte S2e-Leitlinie durch die Deutsche Vereinigung für Schulter- und Ellenbogenchirurgie e.V. und der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie- und Unfallchirurgie e.V. zum Schulter-Impingement-Syndrom beschreiben eine klare Struktur zur Vorgehensweise der Diagnostik und der Entscheidung zur geeigneten Therapiemaßnahme. Demzufolge wird eine Operation dann durchgeführt, wenn die vorangegangene Physiotherapie über einen Zeitraum von sechs Monaten keinen Erfolg erzielt (DVSE, 2021). Diese Vorgehensweise bezieht sich primär auf ein mechanisches Non-Outlet-Impingement (MNOI), bei der die Entzündungen der beteiligten Weichteile, z.B. Bursa subacromiales oder der beteiligten Sehnen der Rotatorenmanschette vorliegen. Diese wird herbeigeführt durch eine Einengung kaudal des Subacromialraumes. Die Analyse einiger RCTs zeigt auf, dass bereits nach sechs Wochen Anwendungen konservativer Behandlungsmethoden signifikante Verbesserungen im Hinblick auf das Schmerzempfinden erzielt werden konnten (TURGUT et al., 2017). Die Studie von Park untersuchte zudem den Einfluss biopsychosozialer Faktoren auf den Heilungsprozess bei Patienten mit einem Schulter-

Impingement-Syndrom (PARK et al., 2020). Ebenfalls hat Park festgestellt, dass eine Therapie, die rein auf die Erweiterung des subacromialen Raumes abzielt, keinen Bezug auf das Schmerzempfinden des Patienten aufweist. Therapieversagen hat verschiedene Ursachen, wie z.B. die Qualifikation des Therapeuten, die Motivation des Patienten, die Anwendung geeigneter diagnostischer Tests oder der nicht ausreichenden Aufklärung des Patienten durch geschultes Fachpersonal. Die daraus resultierende Empfehlung der subacromialen Dekompression führt zu einem erhöhten Risiko für auftretende Komplikationen von 7,9% während der Operation oder Post-operativ (SHIN et al., 2018) und einem erhöhten Kostenaufwand für die beteiligten Krankenkassen, Arbeitgeber und dem Patienten selbst. Die Auswahl und Anwendung einer geeigneten konservativen Behandlungsmethode ist essenziell, um bei Patienten mit einem Schulter-Impingement-Syndrom erfolgreiche Ergebnisse erzielen zu können. Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen neuen explorativen Ansatz zur konservativen Behandlung des Schulter-Impingement-Syndroms gegenüber den bereits bewährten Methoden zur Kräftigung und Mobilisation des Schulterblattes (BAŞKURT et al., 2011) zu stellen. Die Gruppen werden zudem mit einer Kontrollgruppe verglichen, um den Erfolg der konservativen Ansätze zu prüfen. Die drei Gruppen werden randomisiert und im Hinblick auf Funktionsstatus, Mobilität und Schmerzempfinden der Schulter über einen angemessenen Zeitraum überwacht. Die Inkludierung der Biokinematik, dem neuen explorativen Ansatz, verspricht einen Therapieerfolg durch die Einbindung der biopsychosozialer Faktoren auf die körperlichen Bewegungen. In der Forschungsfrage verspricht die Anwendung der Biokinematik einen signifikanten Mehrwert gegenüber den bislang gültigen konservativen Behandlungsansätzen, bezogen auf die Mobilität und dem Schmerzempfinden.

3 Gegenwärtiger Kenntnisstand

Im Kapitel des Gegenwärtigen Kenntnisstandes werden für die Thematik des Schulter-Impingement-Syndroms die grundsätzlich nötigen Informationen aufgearbeitet. Das Kapitel erläutert den anatomischen Aufbau der Schulter, beschreibt die Diagnostik und das Beschwerdebild des Schulter-Impingement-Syndroms, geht auf die darauffolgenden bekannten und neuen Therapieverfahren ein und analysiert den Kosten-Nutzen-Faktor für den Patienten und den behandelnden Mediziner und Therapeuten.

3.1 Aufbau und Funktionsweise der Schulter

Zur Einführung in die Thematik des Schulter-Impingement-Syndroms wird vorab auf den allgemeinen strukturellen Aufbau der Schulter, des dazugehörigen Kapsel-Band-Apparates und der Muskelstrukturen rund um die Schulter in kompakter Form eingegangen.

3.1.1 Die Schulter

Der anatomische Hintergrund der Schulter ist sehr umfangreich und schließt neben dem Schultergürtel und dem Schultergelenk, unter anderem auch den Thorax und das Sternum ein. Die Beleuchtung aller Aspekte der Schulter wären entsprechend umfangreich und sprengen den Rahmen dieser Arbeit. Damit dennoch ein Überblick über den strukturellen Hintergrund der Schulter erfasst werden kann, wird auf die Kernaspekte der Schulter in diesem Kapitel eingegangen.

Die Schulter setzt sich im Wesentlichen aus drei Knochen zusammen (WURZINGER, 2017):

- dem Schulterblatt (Scapula)
- dem Schlüsselbein (Clavicula)
- dem Oberarmknochen (Humerus)

Scapula:

Das Schulterblatt ist ein platter Knochen mit dreieckigem Umriss. Die drei Ecken (Angulus superior, Angulus inferior und Angulus lateralis), sowie drei Ränder (Margo medialis, Margo superio und Margo lateralis) bilden dabei das Schulterblatt. Die Pfanne des Schultergelenks (Cavitas glenoidalis) wird von der verdickten Angulus lateralis getragen. Durch das Collum Scapulae ist sie mit dem Rest des Knochens verbunden. Die Spina scapulae ist ein knöcherner Kamm, welcher von der Margo medialis zum Angulus lateralis verläuft und im Acromion endet.

Clavicula:

Das Schlüsselbein ist ein S-förmig gekrümmter Röhrenknochen. Dieser weist ein verdicktes sternales und ein abgeplattetes akromiales Ende auf. Bandanheftungsstellen an der Tuberculum conoideum und

Impressio ligamenti costoclavicularis ermöglichen eine Verbindung der Clavicula mit der Scapula, bzw. dem Thorax.

Humerus:

Der Oberarmknochen bildet das Verbindungsstück vom Schultergürtel zum Ellenbogen. Der Humeruskopf wird in der Gelenkpfanne des Schultergürtels hauptsächlich muskulär gehalten. Das Collum anatomicum grenzt den Kopf gegen das Corpus und zwei Apophysen ab. Am lateral gerichteten Tuberculum majus und ventral gerichteten Tuberculum minus humeri setzen die Muskeln der Rotatorenmanschette an. Das Ansatzfeld des M. deltoideus befindet sich lateral am Humerusschaft. Weiterhin bildet der distale Anteil des Humerus den proximalen Anteil des Ellenbogengelenks aus (WURZINGER, 2017).

Anhand der drei Knochen lässt sich die Schulter in ein Hauptgelenk mit vier Nebengelenken unterteilen. Das Schulterhauptgelenk (**Glenohumeralgelenk**) wird gebildet durch den runden Kopf des Humerus (Caput humeri) und durch eine Vertiefung (Glenoid) gebildet durch das Schulterblatt.

1. Acroimoclaviculargelenk (AC-Gelenk)
2. Sternoclaviculargelenk
3. Skapulothorakalgelenk
4. Subacromialgelenk

Verbunden werden die Scapula, Clavicula und der Humerus durch die umliegenden Muskeln und dem Kapsel-Band-Apparat.

Eine Übersicht über den Aufbau der Gelenkstrukturen der Schulter, weist Abb.1 auf.

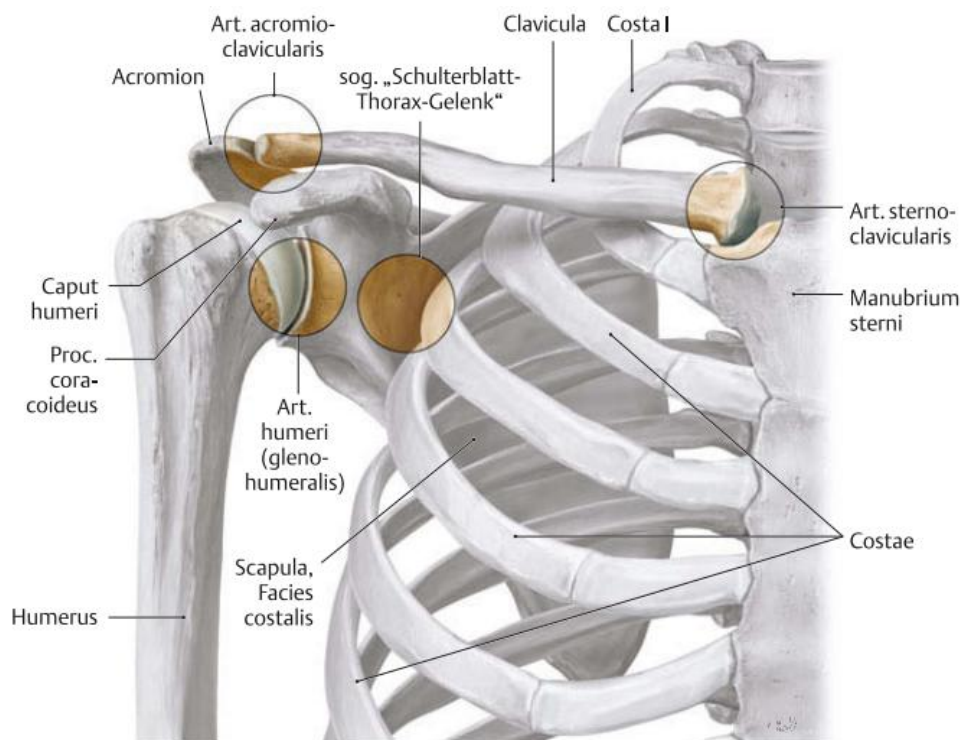


Abb. 1 Gelenke der Schulter im Überblick aus Duale Reihe Anatomie – Rechte Schulter in der Ansicht ventral (WURZINGER, 2017)

Im Gegensatz zu den anderen Gelenken des menschlichen Körpers, weist das Schulterhauptgelenk die Besonderheit auf, dass der Gelenkkopf des Humerus größer ist, als die Gelenkpfanne (WURZINGER, 2017). Da auch die Bandsicherung für die Articulatio glenohumeralis ungenügend ist, haben die umliegenden Muskeln neben der Funktion der Bewegungsdurchführung auch eine Sicherungsfunktion des Gelenks und haben die zentrale Rolle für die Zentrierung der Schulter.

3.1.2 Der Kapsel-Band-Apparat der Schulter

Neben der knöchernen Struktur wird die Schulter durch weitere Anteile des passiven Bewegungsapparates unterstützt. Beginnend mit dem Glenohumeralgelenk hat die meist an der Knorpel-Knochen-Grenze angeheftete Kapsel eine regelmäßige Öffnung zur Bursa subtendinea m. subscapularis (WURZINGER, 2017). Die dünne Gelenkkapsel wird, durch die überwiegend kranial und ventral abgrenzenden Bandstrukturen verstärkt. Die Ligamenta glenohumeralia superius, medium und inferius werden bei Außenrotationen angespannt. Das Ligamentum glenohumeralie inferius, dem Recessus axillaris dazwischenliegend, führt den Humeruskopf kaudal bei einer Abduktion. Das Ligamentum glenohumeralie inferius besteht aus zwei Teilen. Das Ligamentum coracohumeralie hemmt die Außenrotation bei adduziertem Arm. Das Ligamentum coracoacromiale bildet zusammen mit dem Acromion und dem Proc. Coracoideus das Schulterdach. Das Ligamentum coracoacromiale hat eine besonders starke Einwirkung auf das Acromion. Bei Durchtrennung des Ligamentum coracoacromiale biegt das Acromion bis zu zehnmal stärker gegenüber einem erhaltenen Band. Für das Proc. coracoideus hat das Ligamentum coracoacromiale lediglich eine zwei- bis dreifach stärkere Einwirkung auf die Biegung. Das Ligamentum coracoacromiale kann damit als Zuggurtung des Acromions verstanden werden,

welches auch die Lage der Biegeebenen der beiden Knochenfortsätze bestimmt (PUTZ, 1988). In Abb. 2 ist zusätzlich zu den in Abb. 1 aufgezeigten Knochenstrukturen der Kapsel-Band-Apparat der Schulter zu sehen.

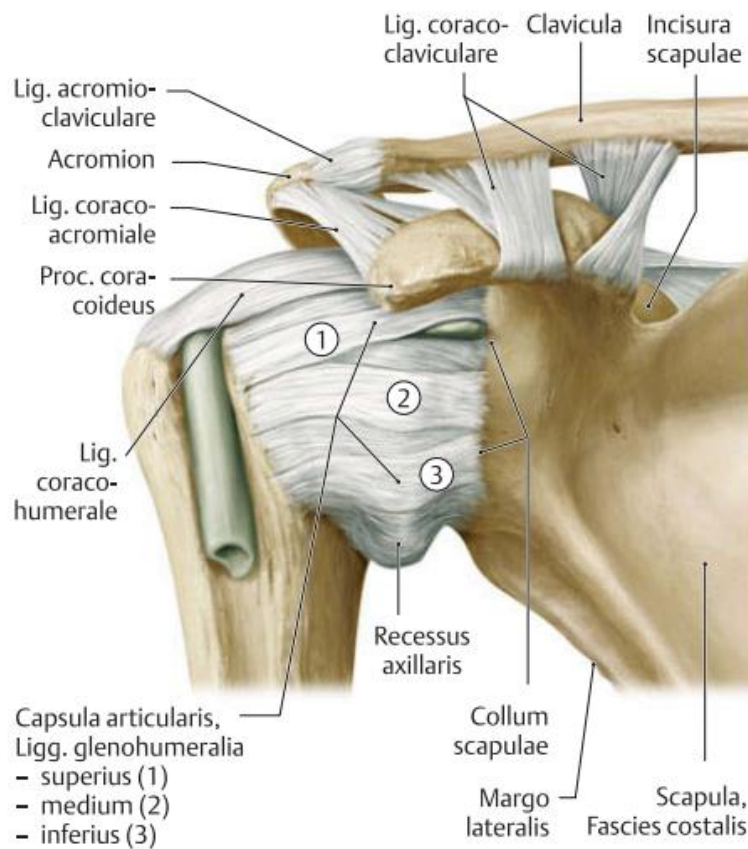


Abb. 2 Kapsel-Band-Apparat der Schulter aus Duale Reihe Anatomie – Rechte Schulter in der Ansicht ventral (WURZINGER, 2017)

Neben dem Kapsel-Band-Apparat sichert die Sehne des Caput longum m. bicipitis brachii den Humeruskopf gegen Luxationen nach kranial. Die Sehne verläuft intrakapsulär oder -artikulär über den Humeruskopf zum Tuberculum supraglenoidale (WURZINGER, 2017). Zur Reibungsminderung zwischen Gelenkkapsel und Humerusepiphyse, sowie zwischen Acromion und Lig. coracoacromiale sitzt die Bursa subacromialis. Zusammen mit der Bursa subdeltoidea, die zwischen dem M. deltoideus und der Humerusepiphyse liegt, ergeben die beiden Schleimbeutel das *subacromiale Nebengelenk*.

Das Sternoklavikulargelenk beeinflusst die Beweglichkeit des Schulterblattes und dementsprechend auch die Beweglichkeit der Gelenkpfanne des Schultergelenks. Die Lig. sternoclaviculares anterior und posterior verstärken die Gelenkkapsel dorsal und ventral. Das Lig. interclaviculare verbindet die Enden der Schlüsselbeine und verstärkt kranial die Gelenkkapsel. Das Lig. costoclaviculare verbindet das Schlüsselbein mit der ersten Rippe (WURZINGER, 2017).

Das Acromioclaviculargelenk (AC-Gelenk) ist die äußere Verbindung vom Ende des Schlüsselbeines mit dem Schulterdach. Das Lig. acromioclaviculare verstärkt die Gelenkkapsel kranial. Gemeinsam mit dem Lig. acromioclaviculare sichert das Lig. coracoclaviculare den Zusammenhalt zwischen

Schulterblatt und Schlüsselbein. Zwischen den beiden Anteilen des Lig. coracoclaviculare liegt eine kleine Bursa (WURZINGER, 2017).

Für alle Bewegungen des Schultergürtels sind die Nebengelenke mechanisch miteinander verbunden.

3.1.3 Mechanik der Schulter

Das mechanische Konstrukt der Schulter ermöglichen Bewegungen um verschiedenste Achsen. Das Sternoclaviculargelenk kann die Clavicula um eine vertikale und annähernd sagittale Achse bewegen. Bei Bewegungen der sagittalen Ebene wird das acromiale Ende des Schlüsselbeins angehoben und abgesenkt. Bewegungen um die vertikale Ebene führen das Schlüsselbein nach vorne und hinten. Durch die mechanische Kopplung der Clavicula mit der Scapula wird bei Bewegungen des Sternoclaviculargelenks das Schulterblatt am Rumpf kranial/kaudal bzw. dorsal/ventral verschoben (WURZINGER, 2017).

Die gemeinsame Arbeit von Akromioclaviculargelenk und Scapulothorakal gelenk ermöglichen dem Schulterblatt eine Rotation um 60-70° senkrecht durch die Mitte der Scapula. Bei dieser Bewegung wird der Angulus lateralis der Scapula bis zu 50° kranial und bis zu 20° nach kaudal gekippt. Für die Bewegungen der Abduktion des Armes über die Horizontale und der Adduktion ist dies entscheidend (WURZINGER, 2017).

Da es sich bei dem Schulterhauptgelenk um ein Kugelgelenk handelt, ist die Bewegung der Schulter sehr vielseitig. Das Schulterhauptgelenk lässt sich um drei Hauptachsen bewegen:

- um eine Transversalebene: Ante- und Retroversion
- um eine Sagittalebene: Abduktion und Adduktion
- um die Längsachse des Humerus: in Neutral-Null-Position eine Vertikalachse; Außen- und Innenrotation

Die schon äußerst umfangreiche Bewegung des Glenohumeralgelenks wird durch die Bewegungsmöglichkeiten der Gelenkpfanne gegenüber dem Thorax ergänzt. Die Gelenkpfanne wird versucht dauerhaft in eine optimale Position zum Humeruskopf zu bringen. Dementsprechend wird während der Bewegung des Glenohumeralgelenks auch die Scapula mit der Gelenkpfanne mitbewegt. Trotz der Nicht-Beteiligung des Lig. coracoacromiale an den Bewegungen des Glenohumeralgelenks, hemmt die Bandverbindung die Bewegung bei Abduktion des Armes. Das Tuberculum majus passt bei Abduktion über 120° nicht in dem unter dem Lig. coracoacromialen Subacromialraum. Bei einer Außenrotation des Humerus wird das Tuberculum minus nach lateral verschoben und führt zu einer weiteren Bewegungsamplitude über die 120° hinaus (WURZINGER, 2017).

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 1) fasst die Bewegungsmöglichkeiten der Schulter zusammen.

Tab. 1 Bewegungsmöglichkeiten der Schulter – Zusammengefasst nach (WURZINGER, 2017)

Anteil der Schulter	Bewegungsrichtung	Ausmaß der Bewegungsamplitude	
Glenohumeralgelenk		<i>Schultergelenk allein</i>	<i>Schultergelenk und Schultergürtel*</i>
	Ante-/Retroversion	90/0/30°	170/0/40°
	Adduktion/Abduktion	30/0/90°	40/0/160°
	Innen-/Außenrotation	70/0/60°	100/0/80°
Acromioclaviculargelenk + Scapulothorakalergelenk	Keine eigenständige Bewegung möglich. Unterstützt die Bewegung bei der Adduktion, Abduktion und Elevation.		
Sternoclaviculargelenk	Elevation/Depression	40/0/10°	
	Anteversion/Retroversion	30/0/25°	

* Einbezug der Beweglichkeit der Gelenkpfanne in die Bewegungsamplitude für Bewegungen in der Schulter

3.1.4 Muskulatur der Schulter

Die beschriebene Struktur des passiven Bewegungsapparates der Schulter zeigt auf, dass die Sicherung des Glenohumeralgelenks durch Bandstrukturen zwar gegeben, jedoch aufgrund von hohen mechanischen Belastungen anfällig für Verletzungen in unterschiedlichen Formen ist. Die zusätzliche Unterstützung wird durch den umliegenden Muskelapparat generiert. Des Weiteren wird die Verschiebung und Rotation der Scapula am Rumpf durch verschiedene funktionelle Muskelschlingen mit unterschiedlichen Zugrichtungen gewährleistet. Die Muskelschlingen bilden zudem eine mobile Befestigung für die Scapula und der Pfanne des Schultergelenks aus (WURZINGER, 2017).

Die Bewegungen der Scapula und der Cavitas glenoidalis werden durch folgende Muskelgruppen durchgeführt.

Bewegungen der Scapula:

1. *M. serratus anterior*

Verlagerung der Scapula nach ventral

2. *Mm. Rhomboidei; M. trapezius*

Verschiebung der Scapula nach dorsal

3. *M. trapezius; Mm. levator scapulae; Mm. rhomboidei*

Zug der Scapula nach kranial

4. *M. trapezius (Pars ascendens); M. serratus anterior (Pars inferior); M. pectoralis minor*

Zug der Scapula nach kaudal

Bewegung der Cavitas glenoidalis:

1. *M. trapezius (Partes descendens und ascendens); M. serratus anterior (Pars inferior)*

Rotation der Cavitas glenoidalis nach kranial

2. *M. pectoralis minor; M. levator scapulae; M. rhomboideus major*

Rotation der Cavitas glenoidalis nach kaudal

Bei den Bewegungen des Schultergelenks ist vor allem die aus vier Muskelgruppen bestehende Rotatorenmanschette hervorzuheben. Die Rotatorenmanschette ist an allen Bewegungen des Schultergelenks beteiligt und ist ein Hauptfaktor für die Zentrierung des Gelenkkopfes des Humerus in der Gelenkpfanne. Die zweite äußere Muskelhülle über die Rotatorenmanschette bildet der *M. deltoideus*. Der *M. deltoideus* hüllt kranial, ventral und dorsal das Schultergelenk ein und wirkt als entscheidender Muskel für eine kraftvolle Abduktionsbewegung der Schulter (WURZINGER, 2017). Eingeleitet wird die Abduktionsbewegung jedoch durch den *M. supraspinatus* als Teil der Rotatorenmanschette, welcher für die Rotationsbewegung des Schultergelenks unbedeutend ist. Die Sehne des *M. supraspinatus* verläuft unter dem Lig. coracoacromiale. Bei der Abduktionsbewegung des Schultergelenks wird dieser subacromiale Raum bei einem Winkel zwischen 60° und 120° besonders eng. Die Adduktionsbewegung des Schultergelenks wird bis zu 80% vom *M. pectoralis major*, *M. latissimus dorsi*, *M. teres major* und *Caput longum* des *M. trizeps brachii* durchgeführt.

Eine Übersicht über die Muskelgruppen der Schulter und deren Funktion liefert die nachfolgende Tabelle (Tab. 2).

Tab. 2 Übersicht der Muskulatur des Schultergelenks und deren Funktionsweise – Zusammengefasst nach (WURZINGER, 2017)

Muskel	Funktion der Muskulatur
Rotatorenmanschette	
<i>M. teres minor</i>	Adduktion; Außenrotation
<i>M. infraspinatus</i>	Adduktion; Außenrotation
<i>M. supraspinatus</i>	Abduktion
<i>M. subscapularis</i>	Innenrotation; Adduktion; Abduktion (durch kranialen Anteil)

Muskelgruppen des Schultergürtels		
M. deltoideus	Pars clavicularis	Anteversion; Innenrotation; Adduktion
	Pars acromialis	Abduktion
	Pars spinalis	Retroversion; Außenrotation; Adduktion
M. coracobrachialis		Adduktion; Innenrotation; Anteversion
M. pectoralis major		Adduktion; Innenrotation; Anteversion; Inspiration (durch kaudalen Anteil)
M. latissimus dorsi		Adduktion; Innenrotation; Retroversion
M. teres major		Adduktion; Innenrotation; Retroversion
Muskelgruppen vom Schultergürtel zum Unterarm		
M. biceps brachii		Abduktion; Anteversion; Adduktion (Caput breve); Flexion im Ellenbogengelenk
M. triceps brachii		Adduktion; Retroversion; Extension im Ellenbogengelenk

3.2 Das Schulter-Impingement-Syndrom

Das englische Wort *Impingement* bedeutet zusammenstoßen, aufeinandertreffen und beschreibt ein pathologisches Problem in der anatomischen Struktur des Menschen, bei der Weichteile eingeklemmt werden. Ein Impingement-Syndrom kann neben der Lokalisation in der Schulter unter anderem auch in der Hüfte festgestellt werden. Diese Arbeit findet seine zentrale Rolle im Bereich der Schulter. Schon im Jahre 1852 wurde durch Adams, R. von den ersten Aufkommen eines Schulter-Impingement-Syndroms in der Enzyklopädie der Physiologie und Anatomie in London berichtet (CONSIGLIERE et al., 2018). Im Jahre 1972 vertiefte der Forscher Neer diese Theorie und beschrieb bei dem Impingement-Syndrom der Schulter den Einbezug des Acromion (Pars anterior), des Lig. coracoacromiale und des Sehnenanteils der Rotatorenmanschette in die Erläuterung für diese Problematik (NEER, 1972). Der Einbezug dieser anatomischen Strukturen führt zum häufigsten ermittelten Impingement-Syndrom des Schultergelenks, dem subacromialen Schulter-Impingement-Syndrom. Die heutigen Statistiken ermitteln ein Aufkommen von Schulterbeschwerden als dritthäufigsten Grund für Probleme mit muskuloskelettalen Hintergrund (GARVING et al., 2017). Das subacromiale Schulter-Impingement-Syndrom wird dabei mit einer Statistik zwischen 7% bis 34% als Hauptgrund für Schmerzen in der Schulter angesehen (CREECH, SILVER, 2023). Viele Patienten klagen dabei über

die Beschwerden über einen Zeitraum von mehr als sechs Monaten bis über mehr als drei Jahre, so dass die Schmerzen als chronisch eingestuft werden. Trotz hoher Fallzahlen gibt es in der Terminologie bis zur Diagnostik und Therapie noch Unstimmigkeiten in der Klassifikation für ein subacromiales Schulter-Impingement-Syndrom. Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die verschiedenen Klassifikationen des subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms und beschreibt das derzeitige therapeutische Vorgehen in der Medizin.

3.2.1 Formen des subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms

Pathologisch betrachtet unterscheidet sich das subacromiale Schulter-Impingement-Syndrom (SIS) von dem sogenannten subacromialen Schmerzsyndrom (SAPS). Bei dem SAPS handelt es sich um eine Beschreibung der Schmerzsymptomatik im betroffenen Schultergelenk, welches sich bei Abduktion verstärkt. Der Schulterschmerz ist atraumatisch aufgetreten und liegt meist unilateral vor (DIERCKS et al., 2014). Das SIS bezieht sich auf die Einklemmung der Bursa subacromialis, der Supraspinatussehne oder der langen Sehne des M. biceps brachii in dem Raum zwischen dem Humeruskopf und dem coracoacromialen Schulterdach (ESCAMILLA et al., 2014). Die Lokalisation findet entsprechend im subacromialen Nebengelenk statt. Des Weiteren unterscheidet man bei einem SIS zwischen mechanischen Ursachen oder Nicht-mechanischen Ursachen. Unter mechanischen Ursachen versteht man eine kraniale strukturelle Veränderung des Subacromialraumes. Mechanische Veränderungen können sein (NEER, 2005):

- ein Knochensporn am Acromion
- Osteophyten des Schulterreckgelenkes (AC-Gelenk)
- Acromionmorphologie nach Bigliani (BIGLIANI et al., 1991)

Unter nicht-mechanischen Ursachen versteht man eine kaudale Verengung des Subacromialraumes durch Pathologien, wie einer fehlverheilten Fraktur des Tuberculum majus (SCHEIBEL, 2021).

Die mechanischen und nicht-mechanischen Ursachen werden unter dem Begriff *Primäres subacromiales Impingement* zusammengefasst. Es liegen extrinsische Faktoren zu Grunde, die zu strukturellen Veränderungen im Subacromialraum und damit zu einem Konflikt führen (SCHEIBEL, 2021). Im Gegensatz zum primären Outlet-Impingement steht das sekundäre Outlet-Impingement. Bei dem sekundären Outlet-Impingement sind als Ursache biomechanische Faktoren und degenerative Einflüsse im Bereich der Supraspinatussehne oder der Bursa subacromialis zu berücksichtigen. Ebenso stehen funktionelle Störungen des Glenohumeralgelenks im Zusammenhang mit einem sekundären Outlet-Impingement. Die Verdickung und entzündlichen Reaktionen der Sehne oder des Schleimbeutels führen zu einer Verengung im subacromialen Raum. Diese Entzündungserscheinungen werden ausgelöst, durch (SCHEIBEL, 2021):

- muskuläre Dysbalancen zwischen Rotatorenmanschette und M. deltoideus → führt zu vermehrter humeraler Translation
- ein gestörter skapulothorakaler Rhythmus
- kapsulär bedingte Bewegungseinschränkungen
- neurogene Veränderungen

Eine Übersicht über die Ursachen und Klassifikation des subacromialen Impingement-Syndroms der Schulter liefert die nachfolgende Abbildung (siehe Abb. 3). Zu beachten ist, dass meist multifaktorielle Ursachen bei der Entstehung eines subacromialen Impingement-Syndroms einhergehen.

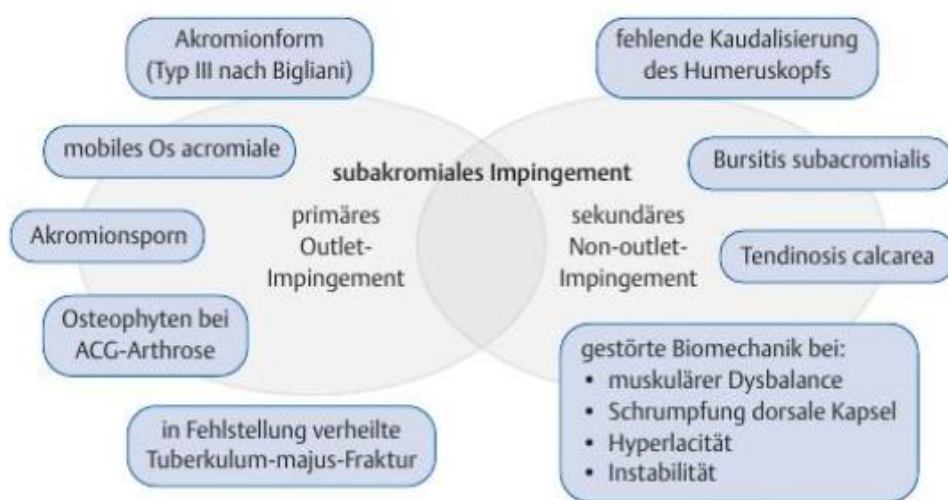


Abb. 3 Ursachen für ein subacromiales Schulter-Impingement, aus (SCHEIBEL, 2021)

Im Anschluss der Definition hat Neer das SIS noch in drei verschiedene patho-morphologische Stadien klassifiziert. Je nach Ausprägungsgrad des SIS definieren sich die Stadien wie folgt (NEER, 1983):

1. *Stadium I*

Eine akute Entzündungsreaktion, Ödem und Einblutung in die Rotatorenmanschette

2. *Stadium II*

Tendinitis und Fibrose der Rotatorenmanschette, sowie Progress zur Fibrose

3. *Stadium III*

Osteophyten der Acromionunterseite, Veränderungen im acromio-coracoidalen Bogen und mechanisch bedingte Rissbildungen in der Rotatorenmanschette

Als Folge eines SIS gibt es nach heutigem Kenntnisstand keine Begleiterkrankung, die durch das SIS einhergehen. Meist begleitet eine Entzündungsreaktion der Bursa subacromialis das SIS. Es entwickelt sich aus dem mechanischen Outlet-Impingement außerdem keine systematische Erkrankung (DVSE, 2021) In der Diskussion steht, ob ein kausaler Zusammenhang zwischen dem SIS und einer Supraspi-

natussehenruptur besteht. Aus der Literatur lassen sich Hinweise zwischen den Supraspinatussehnenruptur und morphologische Veränderungen des Acromions nach Bigliani (BIGLIANI et al., 1991), einem höheren Acromionindex nach Nyffeler (NYFFELER et al., 2006) oder einem niedrigen Acromionwinkel nach Banas (BANAS et al., 1995) ableiten. Ein signifikanter Hinweis liegt jedoch nicht vor.

3.2.2 Diagnostik des subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms

Die Diagnostik eines SIS erfolgt durch eine gezielte Anamnese des Patienten. Hierfür werden neben der Befragung des Patienten klinische Tests, Palpation und möglicherweise bildgebende Verfahren eingesetzt. Aus der Befragung des Patienten sollten sich folgende Informationen schließen lassen:

- Symptomatik der Beschwerden
- vorangegangenes Trauma oder Erkrankungen
- Lokalisation der Beschwerden
- das erste Auftreten der Beschwerden
- Dauer der Beschwerden
- tageszeitliche Verlauf
- tägliche Belastungen der Schulter
- bereits durchgeführte Maßnahmen zur Linderung der Beschwerden
- Erfolg dieser Maßnahmen

In Zusammenarbeit mit den gewonnenen Informationen folgen klinische Untersuchungen zur Beurteilung, ob weitere mechanische Beeinträchtigungen ein mögliches SIS begleiten. Eine Kombination aus Palpation, Prüfung der Bewegungsamplituden nach Neutral-Null-Methode und Inspektion der Stellung der Schulter unterstützen die Bestimmung des SIS (DVSE, 2021). Im folgenden Abschnitt werden die klinischen Tests zur Bestimmung des SIS erläutert.

3.2.2.1 Neutral-Null-Methode

Die Neutral-Null-Methode gilt als Methodik zur Bestimmung der Freiheitsgrade verschiedener Bewegungsamplituden. Die rein visuelle Bestimmung der Freiheitsgrade hat ergeben, dass eine hohe Varianz in der Bewertung durch den Beobachter erfolgt (TERWEE et al., 2005). Zur genauen Bestimmung der Winkelgrade der Bewegungen wird ein Goniometer verwendet. Das analoge Goniometer hat eine Abweichung in der wiederholten Messung von 8-10° zu erwarten und stellt sich somit als reliables Tool für eine Messung von Bewegungsamplituden heraus (KOLBER et al., 2012). Die Bestimmung der Freiheitsgrade folgt in einem Vergleich aktiver und passiver Bewegungen, sowie in einem internen Vergleich beider Schulterseiten. Bei den speziellen klinischen Tests zur Bestimmung eines SIS ist allen voran die Sensitivität der Tests zu beachten. Die Tests mit der höchsten klinischen Evidenz für

ein SIS liefern der Hawkins-Kennedy-Test, der Neer-Test und der Painful-Arc-Test. Weitere spezielle Tests der Schulter sind sensitiv zur Beurteilung der Beteiligung von weiteren Weichteilläsionen, aber nicht zielgerichtet auf das SIS anzuwenden. Eine kurze Übersicht der weiteren Tests ist in der nachfolgenden Tabelle (siehe Tab. 3) einzusehen.

Tab. 3 Klinische Untersuchungstechniken der Schulter nach (SCHMIDDEM et al., 2013)

Test	Zur Bestimmung der Beteiligung von
Jobe Test Drop-Arm-Test	M. supraspinatus Läsion
O'Brien-Test Supine-Flexion-Resistance-Test	Zur Bestimmung einer Bizepssehnenanker-Läsion
Speed Test	Läsion der Rotatorenmanschette Affektion der langen Bizepssehne
Lift-off Test Belly-Press-Test Bear-Hug-Test	M. subscapularis
Außenrotationstest in 0° oder 90° Abduktion Hornblower Zeichen	M. infraspinatus/M. teres minor Insuffizienz
Aprehension-Test; Relocation-Test Surprise-Test Sulkus-Test Posterior-Load-Test	Glenohumerale Instabilitäten

Trotz der Vielzahl der spezifischen Tests der beteiligten Strukturen in der Schulter bedarf es der Bestimmung der Tests für das SIS. Da jedoch viele Symptome und Bewegungsproblematiken zusammen einher gehen, ist es nicht einfach gezielte Diagnosen und die anschließende Therapie für lediglich eine Schulterproblematik zu bestimmen. Für die weitere Untersuchung und Durchführung der eigenen Studie wird sich auf die Tests mit der höchsten Sensitivität für das SIS bezogen. Es ist allerdings anzu-

merken, dass diese Tests, trotz der hohen Sensitivität, keine hohe Spezifität aufweisen (PARK et al., 2005). So kommt es vor, dass das SIS als Diagnose gestellt wird, obwohl eine andere Schulterpathologie vorliegt (DE WITTE et al., 2014). Die Forscherin Amy R. Watts hat in ihrem systematischen Review aus dem Jahre 2017 insgesamt 97 Studien inkludiert, bei denen neben den SIS sensitiven Tests Painful-Arc-Test, Hawkins-Kennedy-Test und Neer-Test, auch einige Tests aus Tabelle 3 ergänzend oder auch exklusiv verwendet worden sind, um ein SIS zu bestimmen (WATTS et al., 2017). Radiologische bildgebende Verfahren wurden in 61% der Studien genutzt, um ein SIS unterstützend zu bestimmen. Die differenzierte Nutzung verschiedener Tests in den Studien zeigt auf, dass es keinen Gold-Standard zur Bestimmung eines SIS gibt. Die spezifischen Tests müssen kombiniert angewendet werden, um eine erhöhte Wahrscheinlichkeit des Vorliegens eines SIS abschätzen zu können. Gerade bei der Bestimmung der Stufe I und Stufe II eines SIS nach Neer ist die Evidenz der Tests gering, sodass die Diagnose eines SIS abhängig von der Bewertung des behandelnden Arztes oder Therapeuten ist.

3.2.2.2 Painful-Arc Test

In der Literatur wird der Begriff des *Painful-Arc-Tests* nicht einheitlich benutzt. Bei der Durchführung des Painful-Arc-Tests wird der Patient gebeten den Arm bei einer leichten Außenrotation den Oberarm möglichst weit über den Kopf zu abduzieren. Physiologisch bedingt sollte der Patient dabei einen Bereich zwischen 0° und 180° schmerzfrei abdecken. In der passiven Bewegung wird der Arm vom Diagnostiker leicht nach außen rotiert und dann über die gesamte zu abduzierende Strecke geführt. Dabei achtet der Diagnostiker auf eine aufrechte Haltung und fixiert den Schultergürtel des Patienten mit der freien Hand. Tritt während des Tests eine Schmerzsymptomatik bei einem Bereich der Abduktion des Armes zwischen 60° und 120° auf, kann dies Rückschlüsse auf eine Schulter-Pathologie ergeben. Dieser Winkelraum wird dann als schmerzhafter Bogen bezeichnet, da das Gelenk in der aktiven und passiven Bewegung außerhalb dieses Bereiches bei einem subacromialen Impingement der Schulter schmerzfrei zu sein scheint (PÄSSLER, 2012). Der Painful-Arc-Test soll laut Literatur bei einem gesamten Schmerzbereich von 0° bis 180° einen unspezifischen Hinweis auf eine Frozen Shoulder und bei einem Schmerzauftreten von 120° bis 170° einen Hinweis auf eine Pathologie des AC-Gelenkes geben. Der Painful-Arc -Test weist eine Sensitivität von 75,8% und eine Spezifität von 61,5% für die Diagnose eines SIS auf (PARK et al., 2005). In der Abbildung 4 (siehe Abb. 4) ist die Durchführung des Painful-Arc-Tests noch einmal bildlich dargestellt.

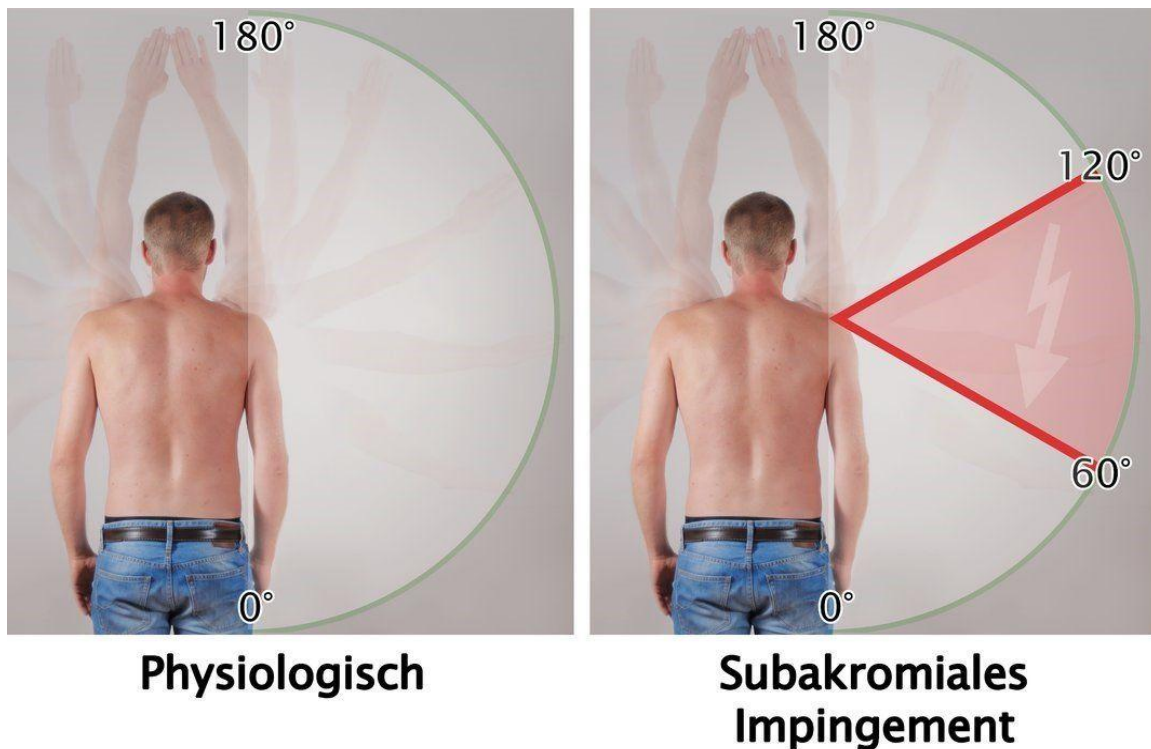


Abb. 4 Durchführung des Painful-Arc-Tests und Darstellung des Schmerzbereiches bei einem SIS. Abbildung aus (AMBOSS, 2022)

3.2.2.3 Hawkins-Kennedy-Test

Der Hawkins-Kennedy-Test gilt als weiterer klinischer Test zur Diagnostik eines SIS. Bei dem Hawkins-Kennedy-Test wird der Patient gebeten sich hinzusetzen. Der Diagnostiker greift unter das Ellenbogengelenk des Patienten und fixiert die eigene Hand an der gegenüberliegenden Schulter des Patienten. Der zu testende Arm wird nun auf 90° in Anteversion und 90° in Flexion des Ellenbogengelenkes gebracht. Der freie Arm des Diagnostikers greift das Handgelenk des zu testenden Armes und führt passiv eine Innenrotation des Unterarmes durch. Treten bei der geführten Innenrotation Schmerzen auf, gilt der Hawkins-Kennedy-Test als positiv und ist ein Hinweis auf ein vorliegendes SIS. Der Hawkins-Kennedy-Test ist bei einer studienabhängigen Sensitivität von 72-86% und Spezifität von 45-67% dem Neer-Test und Painful-Arc-Test überlegen (HEGEDUS et al., 2012). Die nachfolgende Abbildung 5 (siehe Abb. 5) zeigt die Durchführung des Hawkins-Kennedy-Tests.



Abb. 5 Darstellung der Durchführung des Hawkins-Kennedy-Tests (Eigene Darstellung)

3.2.2.4 Neer-Test

Der Neer-Test zählt neben dem Hawkins-Kennedy-Test und dem Painful-Arc-Test zu den qualitativen klinischen Tests für die Diagnostik eines SIS, bei dem die Freiheitsgrade bemessen werden können. Bei der Durchführung des Neer-Test erfolgt die Untersuchung von dorsal. Der Diagnostiker fixiert mit einer Hand die Scapula des Patienten. Dabei bewegt er mit der freien Hand den Arm des Patienten in eine Innenrotation. Aus der Innenrotation heraus wird der Arm in eine Anteversion geführt. Durch diese Bewegung wird das Tuberculum majus unter das Schulterdach gebracht. Wenn ein SIS vorliegt, wird der subacromiale bzw. subkorakoidale Raum durch dieses Manöver verengt und es kommt zu einer Einklemmsymptomatik der Weichteile. Der Test gilt als positiv, wenn bei der Anteversion zwischen 90° und 120° Schmerzen auftreten oder bei einer Außenrotation die Schmerzsymptomatik abnimmt (SCHMIDDEM et al., 2013). Der Neer-Test weist eine Sensitivität von 85,7% bis 88,7% und eine Spezifität für ein SIS von 48% bis 68,4% auf (SILVA et al., 2008). Die nachfolgende Abbildung (siehe Abb. 6) stellt die praktische Durchführung des Neer-Tests dar.



Abb. 6 Darstellung des Neer-Test zur Bestimmung eines SIS (Eigene Darstellung)

Abschließend zu den klinischen Tests fasst Michener et. al. zusammen, dass die einzelne Durchführung eines klinischen Tests hilft, um ein SIS zu diagnostizieren. Die Kombination der Tests lässt eine akzeptable klinische Relevanz für die Bestätigung eines SIS zu (MICHENER et al., 2009). Wie bereits erwähnt sind die Sensitivitäten der Tests für die Bestimmung eines SIS zwar hoch, weisen jedoch eine geringe Spezifität zu (WATTS et al., 2017). Somit lässt sich nicht ausschließen, ob bei der Untersuchung eine Differentialdiagnose als Ursachen für potenzielle Schmerzen in Frage kommen. Eine Vereinheitlichung und Standardisierung klinischer Tests sollten zukünftig erarbeitet werden.

3.2.2.5 Palpation der Schulter

Die Palpation der Schulter beschreibt ein druckvolles Abtasten verschiedener Bereiche der Schulter, um Schmerzen festzustellen. Mittels der Palpation lässt sich der Zustand der Muskulatur, der Tonus und mögliche Narben oder Adhäsionen in den betroffenen Schmerzbereichen ermitteln (MÜLLER-WOHLFAHRT, 2014). Für die Diagnostik eines SIS werden dabei die nachfolgenden Bereiche abgetastet (DVSE, 2021):

- Proc. coracoideus
- Sulcus intertubercularis
- Tuberculum major
- Tuberculum minor

Die Palpation als Diagnostikverfahren wird in der Praxis als erfolgreiches Diagnostiktool angesehen und in manchen Studien auch als unentbehrlich zur Beurteilung muskuloskelettaler Einflüsse auf ein

Beschwerdebild. Dabei weist die Palpation einen signifikanten Wert für die Reliabilität zur Identifikation von Schulter-Pathologien auf (NARANJO-CINTO et al., 2020). Ein großer Kritikpunkt bei der Palpation ist die notwendige Fachkompetenz des Diagnostikers. Der Diagnostiker benötigt Erfahrung in der Durchführung, der richtigen Positionierung des Patienten, hervorragende Anatomiekenntnisse und eine möglichst genaue objektive Wahrnehmung der abgetasteten Muskelbereiche zur Beurteilung von Pathologien. Diese Voraussetzungen machen die Palpation nicht weniger essentiell, aber benötigen ein hohes Maß an Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten des Diagnostikers.

3.2.2.6 Bildgebungsverfahren zur Diagnostik eines subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms

Die bildgebenden Verfahren unterstützen der Beurteilung der Pathologien der Schulter und lassen eine differenzierte Diagnostik zu. Unter der Methodik der bildgebenden Verfahren im Zusammenhang mit dem SIS zählen das Röntgen, MRT und die Sonografie.

Röntgen:

Das Röntgen der Schulter wird im Stehen in 0° Rotation und entspanntem Arm durchgeführt. Durch das Röntgen lässt sich ein primäres subacromiales Impingement bzw. Outlet- oder Non-Outlet-Impingement, durch die Abstandsmessung des subacromialen Raumes, der Sklerosierung des Tuberculum majus und der Acromionunterfläche, Verkalkungen, subacromiale oder inferiore Osteophyten oder durch fehlverheilte Frakturen des Tuberculum majus, feststellen (HABERMEYER, 2017). In der Outlet-Aufnahme kann die Acromionform nach Beglani (BIGLIANI et al., 1991) bestimmt und mögliche Sporne oder Osteophyten am AC-Gelenk ermittelt werden. Das Röntgen als bildgebendes Verfahren mit den dadurch bestimmten Parametern weist insgesamt eine geringe Reliabilität zur Bestimmung eines SIS auf. Das native Röntgen steht zur Bemessung der acromiohumeralen Distanz dem MRT und Ultraschall mit einer geringeren Reliabilität gegenüber. Diese Aussagen werden jedoch ohne hohe Evidenz getroffen (MCCREESH et al., 2015).

MRT:

Für muskuloskelettale Diagnostiken ist die Durchführung eines MRTs die wichtigste bildgebende Modalität. Bei einer durchschnittlichen Dauer von 20-30 Minuten können Knorpelschäden, subchondrale Knochenveränderungen und Kapsel-/Bandpathologien direkt ermittelt werden (HABERMEYER, 2017). Die Darstellung variabler morphologischer Pathologien der Schulter, mitunter Tendinosen, Partialrupturen und transmurale Rupturen, Instabilitäten und Verletzungen des Labrum glenoidale, Gelenkknorpels, des knöchernen Glenoids oder der Kapsel-Band-Strukturen, unterstützen den Diagnostiker in einer differenzierten Beurteilung der Schmerzursachen. Bei der Durchführung einer Schulter-MRT ist die Schichtführung und Angulation standardisiert. In allen drei Ebenen werden Aufnahmen angefertigt. Dabei wird die koronare Schichtung doppelt anguliert. Der Schichtstapel wird dem Verlauf des Humerus angepasst, sodass Partialvolumeneffekte, die eine Sicht auf die Anteile der Supraspinatussehne verdecken, offengelegt werden. Die Schichtung verläuft in der Muskelverlaufsrich-

tung des M. supraspinatus. Die sagittale Schichtung wird auf koronaren und axialen Aufnahmen parallel zur Glenoidgelenkfläche ausgerichtet. Die sagittalen T2w- oder PDw-fatsat-Aufnahmen werden vom Tuberculus majus zur Mitte der Fossa supraspinatus durchgeführt. Hierdurch soll gewährleistet werden, dass auch bei einer Retraktion des M. supraspinatus und M. infraspinatus die Querschnittsfläche der Rotatorenmanschettenmuskulatur abgeleuchtet werden kann (HABERMEYER, 2017). Bei der MRT-Untersuchung sollte der Patient so gelagert werden, dass Schmerzen auch in Ruhestellung nicht provoziert werden. Die Schulter wird weder in Innen- noch Außenrotation gelagert. Bei axialen Aufnahmen steht der Bizepssehnen sulcus bei 12:00 Uhr. Hierfür legt der Patient den Arm an den Oberschenkel mit dem Daumen nach oben ausgerichtet. Durch eine lokalanästhetische subacromiale Injektion ergibt sich eine Bildgebung des subacromialen Raumes. Ein subacromiales Impingement kann in einem MRT lediglich eine angeborene Veränderung des Acromions, z.B. Typen nach Bigliani (BIGLIANI et al., 1991), oder durch ein Anschlagphänomen erworbenes gebogenes Acromion darstellen. Die nachfolgende Abbildung (siehe Abb. 7) zeigt eine MRT-Aufnahme eines Patienten mit diagnostiziertem SIS.

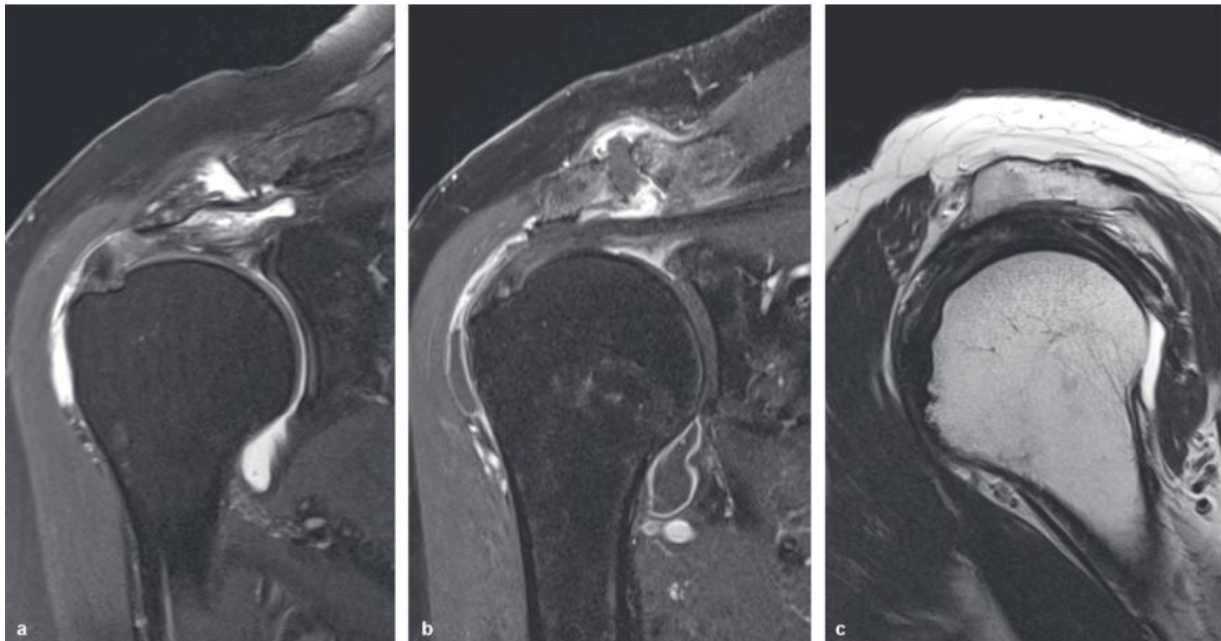


Abb. 7 Darstellung einer MRT-Aufnahme eines Patienten mit diagnostiziertem chronischen SIS. a) Erguss im Pdw-fatsat-Bild ist signalreich b) Nach Kontrastmittelzugabe reichert sich eine Synovialitis randständig an. c) Typ III Acromion nach Bigliani. Bedingt eine sekundäre subacromiale Knochenkonsole. Die Supraspinatussehne ist bei der Tendinose in der Struktur aufgelockert, verdickt und signalgesteigert. Abbildung aus (HABERMEYER, 2017)

Als Folge eines subacromialen Impingements aktiviert ein degeneratives verändertes AC-Gelenk. Eine klinische Auffälligkeit des AC-Gelenkes war vorab nicht gegeben. Die Degeneration des AC-Gelenkes bedingt zu osteophytären Anbauten am Schlüsselbein und am Acromion und führt zur Kapselhypertrophie (HABERMEYER, 2017). Zusammengefasst bedeutet ein MRT als bildgebendes Verfahren für eine Diagnostik eines SIS eine unterstützende Maßnahme zur Beurteilung, ob das SIS ätiologisch durch ein verändertes Acromion herbeigeführt wurde. Das MRT stellt eine Möglichkeit zur Beurteilung des Zustandes der Rotatorenmanschette dar. Die MRT-Aufnahme kann durch eine Innen-

oder Außenrotation des Humerus oder Retraktion durch den M. supraspinatus des Patienten bei der Lagerung beeinflusst werden. Steht die Supraspinatussehne in einem Winkel von 55° zum Hauptmagnetfeld, dann kommt es zu einem Magic-angle-Effect. Dieser stellt eine nicht vorhandene Pathologie der Supraspinatussehne dar, die durch das MRT verdickt erscheint (BUCK et al., 2010).

Sonographie:

Die Sonographie zeichnet sich durch eine einfache Reproduzierbarkeit, niedrige Kosten, geringe Strahlenbelastung und hoher Sensitivität aus. Die Untersuchungen mit dem Ultraschallverfahren werden nach den Richtlinien der Kassenärztlichen Bundesvereinigung im B-Mode durchgeführt. Für Untersuchungen des subacromialen Raumes wird ein 10-MHz-Linerarschallkopf verwendet, bei einer Eindringtiefe von 1-3 cm. Für die Darstellungen tiefer gelegenen Strukturen für muskelkräftige Patienten oder adipösen Patienten bzw. zur Darstellung des Labrum glenoidale bedarf es der Verwendung von 5- bzw. 7,5 MHz-Schallköpfen (HABERMEYER, 2017). Der Patient wird für die Untersuchung in eine sitzende Position gebracht und dem Monitor zugewandt. Der zu untersuchende Arm soll zum Start der Untersuchung frei hängen. Nach den Empfehlungen der DEGUM e.V. wird die Untersuchung in statischer und dynamischer Bewegung der Schulter geprüft (ACKERMANN, 2023). Die Sonographie ermöglicht eine Untersuchung der langen Bizepssehne und der Rotatorenmanschette. Bei der Untersuchung der subacromialen Weichteile mit der Sonographie kann eine Verdickung der Bursen oder der Supraspinatussehne festgestellt werden. Bei einer Kompression der Bursa subdeltoidea oder der Supraspinatussehne bei einer Abduktion kann mit einer Sensitivität von 0,79 ein indirekter Hinweis auf ein Impingementsyndrom gegeben sein (READ, PERKO, 1998). Ein Bursaerguss zeigt sich in den meisten Fällen lateral-distal. Zur weiteren Überprüfung muss der Schallkopf noch weiterhin Lateral oder Distal verschoben werden (HABERMEYER, 2017). Weiterhin wird nach Habermayer et. al. der Zustand der Rotatorenmanschette nach formalen Veränderungen und strukturellen Veränderungen untersucht. Unter den formalen Veränderungen versteht sich eine:

- Verschmälerung oder Ausdünnung der Sehne
- Konturumkehr: Unterbrechung oder Verlust der Konvexität
- fehlende Sehnendarstellung
- eine fehlende gleichzeitige Durchführung von Bewegungen bei dynamischen Untersuchungen

Strukturelle Veränderungen der Rotatorenmanschette werden auch als Echogenitätsveränderungen außerhalb der Sehnenstruktur bezeichnet. Die Echogenitätsveränderungen gelten als unsichere Zeichen und sollten im Seitenvergleich analysiert werden (HABERMEYER, 2017).

Mit der Sonographie ist auch eine Messung der acromiohumeralen Distanz möglich (MCCREESH et al., 2016). Die Untersuchung der acromiohumeralen Distanz erfordert jedoch eine hohe Expertise und Erfahrung des Diagnostikers. Die Sensitivität und Spezifität zur Bestimmung einer Tendopathie der

Rotatorenmanschette mit der Sonographie ist mit den Werten eines MRTs vergleichbar (ROY et al., 2015).

Als abschließendes Fazit zu den bildgebenden Verfahren lassen sich einige Punkte zusammenfassen. Die bildgebenden Verfahren lassen eine Beurteilung des Zustandes der Acromionform, der Rotatorenmanschette, der Supraspinatussehne und der Bursen zu. Weiterhin kann mittels der Verfahren der acromiohumale Abstand gemessen werden. Die Sonographie ermöglicht zudem noch eine Beurteilung des Zustandes in einer dynamischen Bewegung. Die Sensitivität der bildgebenden Verfahren zur Bestimmung einer Bursitis oder Tendinopathie der Rotatorenmanschette ist bei einem Wert von 0,79 und einer Spezifität von 0,94 recht hoch (ROY et al., 2015). Aus den erhaltenen Informationen ist es dem Diagnostiker möglich neben Hinweisen auf ein SIS auch Begleitpathologien zu erkennen. Als Kritikpunkt der bildgebenden Verfahren wird jedoch auch festgehalten, dass eine Fehlerquote zur Beurteilung durch mangelnde Erfahrung des Diagnostikers oder Innen- und Außenrotation des Patienten, während der Untersuchungen, durchaus gegeben ist. Weiterhin wird beim Röntgen und dem MRT die Schulter in einer Ruhestellung untersucht. Aufgrund der Erkenntnisse der speziellen klinischen Tests, treten Schmerzsymptomaten beim Painful-Arc-Test erst bei 60° bis 120° Abduktion und bei dem Neer-Test bei einer Anteversion zwischen 90° und 120° auf. Bildgebende Verfahren sollten diese Bewegungen und Winkelgrade bei der Beurteilung der acromiohumeralen Distanz berücksichtigen. Die bildgebenden Verfahren liefern lediglich Hinweise auf ein SIS, sodass die klare Ursache für ein primäres- oder sekundäres-Impingement-Syndrom der Schulter in der Interpretation des Diagnostikers liegt. Zur weiteren Bestimmung für ein SIS sollte der Faktor Schmerz berücksichtigt werden.

3.2.3 Schmerzempfinden

„Pain is an unpleasant sensory and emotional experience associated with, or resembling that associated with, actual or potential tissue damage.“ (MERSKEY, 1994)

Diese Definition von dem Begriff Schmerz wurde zum ersten Mal von der Internationalen Gesellschaft für die Forschung von Schmerzen im Jahre 1979 definiert und seit jeher kaum verändert. In der überarbeiteten Fassung von 1994 wurde der Teil der Definition entfernt, der beschreibt, dass Schmerz von Personen erläutert worden ist. Dies hätte zur Folge, dass mit der alten Definition ältere Menschen, Säuglinge oder Tiere in der Allgemeingültigkeit ausgeschlossen werden. Die aktuelle Definition wird auch von der Deutschen Schmerzgesellschaft e.V. übernommen. Diese Definition führt den Kontext hinzu, dass Schmerz ein unangenehmes Sinnes- und Gefühlserlebnis ist, welches einer tatsächlichen oder potenziellen Gewebeschädigung einhergeht oder „einer solchen ähnelt“ (NOBIS, 2020). Der Begriff des Schmerzes ist äußerst vielschichtig und geht in einer detaillierten Bearbeitung des Themas über den Rahmen dieser Arbeit hinaus. Es ist jedoch unabdingbar den wissenschaftlichen Hintergrund zwischen Schmerz und dem Zusammenhang unseres aktiven Bewegungsapparates zum Verständnis dieser Arbeit zur Kenntnis zu nehmen. Deshalb folgt in diesem Kapitel eine kompakte Zusammenfassung.

Der Prozess der Registrierung von Schmerzen bis zur Wahrnehmung bezeichnet man als Nozizeption. Ein Nozizeptor ist dabei eine freie Nervenendigung, die über markhaltige Nervenfasern mit dem Zentralen-Nervensystem (ZNS) verbunden ist. Die Endungen werden dabei als frei bezeichnet, weil Sie keine morphologischen Spezialisierungen aufweisen. Nozizeptoren werden in verschiedene Arten unterteilt, je nach Reiz, für den die Endungen empfindlich sind (MENSE, 2021):

- Mechano-Nozizeptoren → hohe mechanische Schwelle; Sie werden nur durch starke, gewebsschädigende Reize erregt.
- Thermo-Nozizeptoren → werden durch Temperaturen über 45°C oder unter 5°C aktiviert.
- Polymodale Nozizeptoren → sind gegenüber allen möglichen Schmerzreizen empfindlich.
- Stumme Nozizeptoren → reagieren auf keine Reize, aber entwickeln im entzündeten Gewebe eine Sensibilisierung (Überempfindlichkeit)

Die Mechano-, Thermo- und Polymodalen Nozizeptoren haben afferente Fasern. Afferent bedeutet in diesem Zusammenhang, dass Informationen aus der Peripherie zum ZNS geleitet werden (MENSE, 2021). Nozizeptiv sind also afferente Neuronen, die Informationen über objektive gewebsschädliche und subjektiv schmerzhaft Reize an das ZNS senden. Die Informationen über das Vorliegen eines Reizes werden über die Neurone im Rückenmark und Thalamus bis zur Großhirnrinde (Kortex) weitergeleitet, wo der Schmerz bewusst wahrgenommen wird. Schmerz wird also erst im Kortex vom Menschen registriert und entsteht entsprechend an dieser Stelle.

In der Nomenklatur werden Nervenfasern nach ihrem Faserdurchmesser nach Lloyd/Hunt (WHITWAM, 1976) oder ihrer Leitungsgeschwindigkeit von Aktionspotenzialen nach Erlanger/Gasser (SCHALOW et al., 1995) unterteilt. Muskel- und Faszienschmerzen werden über III- und IV-Fasern vermittelt (MENSE, 2021). Bei der Erregung eines Muskelnozizeptors, werden bei einem Schmerzreiz die axonalen Erweiterungen (Variokositäten) in den freien Endungen, die Neuropeptide (CGRP und SP) freigesetzt. Diese Reaktion führt zu einer Freisetzung weiterer entzündlicher Substanzen aus der nozizeptiven Endigung oder dem Blutplasma. Einer dieser Entzündungsmediatoren ist Prostaglandin E₂ (PGE₂), der zur Erregbarkeit der Nozizeptoren durch Schmerzreize erhöht. Schmerzmittel aus der Kategorie nichtsteroidalen Antirheumatika hemmen die Bildung von PGE₂ und vermindern somit einen Anstieg der Erregbarkeit der Nozizeptoren durch Schmerzreize. So hat eine nozizeptive Nervenendigung nicht nur die Funktion eines Sensors für objektiv gewebsschädliche/subjektiv schmerzhaft Reize, sondern wirkt auch aktiv auf die Mikrozirkulation in der Umgebung ein (MENSE, 2021). Bei allen Formen von Muskelschmerzen werden verschiedene Reizsubstanzen zusammen mit den Neuropeptiden und Entzündungsmediatoren freigesetzt, die in unterschiedlicher Konstellation auf die Muskelnozizeptoren einwirken. Besonders die Substanz ATP (Adenosintriphosphat) wird bei Muskel- und Faszienschmerz freigesetzt. ATP befindet sich in jeder Körperzelle, ist aber besonders in Muskelzellen hoch konzentriert vorzufinden. Neben ATP werden noch die Entzün-

dungsmediatoren NGF (Nervenzachsumsfaktor) und Protonen (H^+ Ionen) freigesetzt. Die Substanzen müssen für das Auslösen eines Muskel- oder Faszienschmerzes an ein Rezeptormolekül binden, welches in die Membran des Nozizeptors implementiert ist. Die H^+ Ionen können an mehrere Rezeptormoleküle gebunden werden. Bei Überlastungen steigt die Anzahl an H^+ Ionen-Konzentration im Gewebe auf das zehnfache an. Dies führt zu einem Absenken des PH-Wertes von 7,4 auf 6,4 bei erschöpfenden Muskelaktivitäten (HERMANSEN, OSNES, 1972). Die Freisetzung von vielen H^+ Ionen und die Bindung an viele mögliche Rezeptormoleküle ist ein Indikator für die Bedeutsamkeit einer Gewebsazidose als Schmerzfaktor bei Muskeln und Faszien (MENSE, 2021). Bei der Bindung von ATP und Protonen an Rezeptormolekülen werden Ionenkanäle geöffnet. Es entsteht eine Veränderung des negativen Membranpotenzials in positiver Richtung. Bei Entzündungen kann der Wachstumsfaktor NGF an TrkA (Tropomyosinrezeptorkinase A) Rezeptormoleküle binden. Dies führt nicht zu einer Öffnung von Ionenkanälen, allerdings zu einer Aktivierung von sekundären Botenstoffen, die zu einer Erregbarkeit der nozizeptiven Nervenendigungen führt. Hat eine nozizeptive Endigung in ihrer Membran eine höhere Ionenkonzentration, reagiert die Endigung stärker auf bestimmte Reize. Dies ist einer der Mechanismen der peripheren Sensibilisierung. Dies bedeutet, dass nozizeptive Endungen übererregbar gemacht werden, sodass die Reizschwelle des Nozizeptors niedrig gestellt wurde und stärker auf niedrigschwellige Reize reagiert oder eine stärkere Antwort liefert (MENSE, 2021).

Die stärkere Reaktion eines Nozizeptors auf einen überschwelligen Reiz als Teil der peripheren Sensibilisierung wird nach der IASP als *Hyperalgesie* bezeichnet. Die Hyperalgesie versteht sich als verstärkte Schmerzwahrnehmung bei einem Schmerzreiz. Dieser Faktor ist bei chronischen Schmerzen zu berücksichtigen, bei denen Patienten auf einen Test mit einem gesteigerten Schmerzgefühl reagieren und dieser länger als normal anhält.

Neben der Hyperalgesie ist die *Allodynie* zu berücksichtigen. Die Allodynie entsteht nicht zwingend durch die Folgen einer peripheren Sensibilisierung. Bei einer Allodynie versteht sich eine Reaktion auf Bewegungsschmerzen oder Berührungsreizen, die eigentlich nicht schmerzhaft sein sollten (MENSE, 2021).

Der Schmerz wird nach Mense in verschiedene Komponenten aufgeteilt, aus denen sich der spezifische Schmerz gezielter definieren lässt.

- *Sensorisch diskriminative Komponente:*

Die Art, Intensität und Lokalisation des Schmerzreizes lassen sich über die Sensorisch diskriminative Komponente ermitteln.

- *Affektive (emotionale) Komponente:*

Sie regelt die Intensität der Schmerzwahrnehmung. Besonders Tiefsomatische Schmerzen werden als sehr unangenehm wahrgenommen.

- *Vegetative (autonome) Komponente:*

Die Reaktion auf die Schmerzen im sympathischen und parasympathischen Nervensystem.

- *Motorische Komponente:*

Definiert sich durch unbewusste motorische Reflexe als Reaktion auf einen gesetzten Schmerzreiz.

- *Kognitive Komponente:*

Bewertet den Schmerz auf seine Bedrohlichkeit für den Patienten.

- *Psychomotorische Komponente:*

Äußert den Schmerz nach Außen, durch motorische oder akustische Reaktionen.

Der Schmerz wird nach seiner Definition zudem in verschiedene Formen eingeteilt. Diese werden im folgenden Abschnitt kurz erläutert.

Der akute Schmerz ist von außen durch deutliche Signale klar erkennbar. Die Signale, unter Anderem Verletzung und Entzündung, geben einen Hinweis auf die Schmerzquelle. Der akute Schmerz hat die Funktion eines Schutzes, begründet in der permanenten Erregung der peripheren Nozizeptoren. Der Patient wird von seinem biologischen System hingewiesen möglichst wenig Reize auf die betroffene Stelle auszuüben, um den Heilprozess zu beschleunigen. Der akute Schmerz klingt meist selbst wieder ab, sobald der Heilungsprozess fortgeschritten ist. Bei akuten Schmerzen wird in zwei Kategorien unterteilt (MENSE, 2021):

- **Somatische Schmerzen**

Somatische Schmerzen haben ihre Ursache in der Haut, dem Bindegewebe mitunter den Faszien, Muskeln, Knochen und Gelenken. Dies führt zu einer weiteren Unterteilung der Somatischen Schmerzen in Haut- und Tiefenschmerz.

- **Viszerale Schmerzen**

Kann auch als Eingeweideschmerz beschrieben werden. Die Ursache des Schmerzes liegt im Gastrointestinaltrakt, dem Thorax oder den Harnorganen.

Der akute Schmerz weist bei dem Patienten auf ein intaktes nozizeptives System hin, bei der der Schmerz eine natürliche Schutzfunktion darstellt.

Im Gegenzug zu den akuten Schmerzen, stehen die chronischen Schmerzen. Die natürliche Schutzfunktion für den Patienten findet in diesem Falle nicht mehr statt. Der chronische Schmerz ist dabei nicht eine Weiterentwicklung des akuten Schmerzes, sondern wird durch eine zentrale Sensibilisierung mit Umbauprozessen im ZNS inkl. des Kortex selbst zum Problem, auch wenn die ursprüngliche Schmerzquelle nicht mehr vorhanden oder erkennbar ist (MENSE, 2021). Eine Zeitdauer für die Un-

terscheidung zwischen akuten und chronischen Schmerz ist nicht entscheidend, wurde aber aus praktischen Gründen beim Vorliegen eines Schmerzes über mehrere Wochen bis ca. 3 Monate festgelegt. Die Umbauprozesse in den Stationen der Nozizeption über eine längere Dauer im Zusammenhang mit der zentralen Sensibilisierung führen beim Patienten zu einer erhöhten Schmerzwahrnehmung bei leichter gesetzten Reizen. Die Umbauprozesse im ZNS werden als Schmerzgedächtnis angemerkt und führen zu biopsychosozialen Problemen beim Patienten (MENSE, 2021). Dabei kann es bei dem Patienten zu Schwierigkeiten in der Muskelkoordination oder Fehlhaltungen, in Folge von Umbauprozessen im propriozeptiven System kommen. Weitere Folgen können Depressionen oder Katastrophisierungen oder Angstproblematiken sein. Auch ein Rückzug aus den sozialen Kontakten ist möglich (MENSE, 2021). Die erhöhte Schmerzwahrnehmung könnte auch die Begründung dafür sein, dass Patienten auch in der Ruhephase bei kaum vorhandenen Reizen einen Schmerz wahrnehmen, wenn die Schmerzschwelle entsprechend herabgesetzt worden ist. In Bezug auf das SIS beschreibt Park et. al ebenfalls, dass eine Therapie, die rein auf die Erweiterung des subacromialen Raumes abzielt, ohne die biopsychosozialen Faktoren zu berücksichtigen nicht vollständig beim Patienten erfolgreich sein wird (PARK et al., 2020). Ein Bezug zwischen der Nozizeption und dem SIS wird zum Ende dieses Kapitels noch einmal zusammenfassend erläutert.

Der chronische Schmerz kann zur verständnisvolleren Ätiologie noch in Unterformen gruppiert werden: (MENSE, 2021)

- Nozizeptiver Schmerz

Der nozizeptive Schmerz beschreibt den bereits kurz erläuterten Prozess des Umbaus am Nozizeptor und der Sensibilisierung durch Umbauprozesse an den Neuronen im ZNS. Das Nervensystem ist vollständig intakt. Die Schmerzen entstehen durch eine länger andauernde Reizung der Nozizeptoren. Die Schmerzen erreichen keine hohe Intensität, bereiten den Patienten durch die Dauer des Schmerzes allerdings längerfristig Alltagsprobleme.

- Neuropathischer Schmerz

Bei dem neuropathischen Schmerz liegt im Gegensatz zum nozizeptiven Schmerz eine Schädigung der nozizeptiven Strukturen im peripheren Nervensystem oder im ZNS vor. Der Patient wird von stärker spürbaren Schmerzintervallen begleitet. Als Ursache für neuropathische Schmerzen werden Kompressionen oder Einklemmsymptommatiken von Nerven oder Hirnwurzeln beschrieben. Die Schmerzen werden in diesem Fall aber nicht am Ort der Kompression wahrgenommen, sondern am Ort der sensiblen Versorgung der komprimierten Nervenfasern. Auch der Konsum von Alkohol oder das Vorliegen von Diabetes und Erkrankungen des Nervensystems, können als Ursachen für neuropathische Schmerzen angesehen werden. Mischformen aus nozizeptiven und neuropathischen Schmerz sind möglich.

- Noziplastischer Schmerz

Der Begriff des noziplastischen Schmerzes wurde nach der IASP 2016 in die Nomenklatur chronischer Schmerzen aufgenommen. Sie grenzt sich dahingehend vom neuropathischen und nozizeptiven Schmerz ab, wenn Schmerzen nicht spezifisch lokal wahrgenommen werden und größere Regionen betroffen sind. Nachweislich liegt keine Schädigung des nozizeptiven Systems vor. Eine veränderte zentrale Nozizeption wird als Ursache für noziplastische Schmerzen angenommen. Als Beispiel für noziplastische Schmerzen kann Fibromyalgie angesehen werden.

- Übertragener Schmerz

Der übertragene Schmerz ist im Hinblick auf diese Arbeit besonders hervorzuheben. Er beschreibt eine Übertragung des Schmerzes von einem Ort zum anderen. Der Schmerz wird nicht an der Schmerzquelle wahrgenommen, sondern an einer anderen Stelle (ARENDT-NIELSEN, SVENSSON, 2001). Am Beispiel von myofaszialen Triggerpunkten bedeutet dies, dass ein leicht gesetzter von außen ausgeübter Druck auf palpale Knoten nicht nur am Druckpunkt schmerzhaft wahrgenommen wird, sondern in einer Muskelverbindung an einer anderen Stelle, bei der zu diesem Zeitpunkt kein direkter Kontakt besteht, deutlich schmerzhafter empfunden wird (MENSE, 2021). Auch wenn der Schmerz an einem anderen Ort stärker als dem Druckpunkt wahrgenommen wird, so liegt die Schmerzquelle am Ort der äußeren Einwirkung. Durch die Behandlung am Ort des am schlimmsten wahrgenommenen Schmerzes kommt es zur Fehllokalisation der Schmerzquelle und entsprechend zu einer nicht erfolgreichen Therapie am Patienten. Die Mechanik des übertragenen Schmerzes kann aus theoretischen Modellen aus dem 20. Jahrhundert zurückgeführt werden. Die *convergence projection theory* nach Ruch bedeutet, dass ein Hinterhornneuron Afferenzen von der Haut und einem inneren Organ erhält. Wenn die Afferenz, die ursprünglich ein Signal aus dem viszeralen Bereich als Hautschmerz vom Gehirn fehlinterpretiert wird, kann die Lokalisation des Schmerzes und der Ursprungsort möglicherweise nicht ermittelt werden (MENSE, 1993). Diese sogenannten Head-Zones beschreiben eine Versorgung durch die Hinterhornneuronen derselben Signalkette mit einer differenzierten Bedeutung. Dieses Modell beschreibt jedoch nur die Übertragung von Schmerzen von den inneren Organen auf die Haut und ist bedingt für Muskelschmerzen anwendbar, da diese Reaktion auch nur in einem begrenzten Segment des Rückenmarks stattfindet (MENSE, 2021). Als Anmerkung kann eine Studie aus 1996 von Giamberardino et al. angemerkt werden, dass Eingeweideschmerzen auch in die Muskulatur übertragen werden können (GIAMBERARDINO et al., 1996). Die *convergence-facilitation*-Theorie nach MacKenzie aus dem Jahre 1909 beschreibt eine Schmerzübertragung über Segmentgrenzen (MENSE, 1993). Wall und Werman haben 1976 herausgefunden, dass im Rückenmark lange Kollateralen von Muskelafferenzen von kranial nach kaudal verlaufen (WALL, WERMAN, 1976). Nach Mense kann in der Theorie angenommen werden, dass die Kollateralen über ineffektive Synapsen mit den kaudalen Hinterhornneuronen verbunden sind. Diese Synapsen würden

über dauerhafte nozizeptive Impulse vom kranialen Muskel effektiv werden, sodass sich eine Verschaltung der Schmerzübertragung von kranial in den kaudalen Muskel ergibt. Daraus ergibt sich, dass die Schmerzübertragung von einem Muskel auf den anderen Muskel Zeit erfordert und von der Intensität der Schmerzen abhängt. Ebenfalls wird diskutiert, dass durch die Freisetzung von Substanzen aus den nozizeptiven Neuronen des ZNS und im Rückenmark diffundieren, die Erregbarkeit der Zellen im Nachbarsegment gesteigert wird. Auch die Freisetzung von Glutamat durch die Astrozyten und die Erregung der nozizeptiven Neuronen über die Astrozyten-Ketten an Hinterhornneurone in ein kaudales Segment sollten berücksichtigt werden (MENSE, 2021).

Neben der Erregung der Nozizeptoren spielt auch die Stärke der körpereigenen Hemmprozesse für das Schmerzempfinden eine Rolle. Unterteilt werden die Hemmprozesse in segmentale Hemmung und deszendierende Hemmung. Unter der segmentalen Hemmung versteht sich eine schmerzreduzierende Wirkung von dicken Fasern, die durch dasselbe Aktionspotenzial der afferenten Fasern ein benanntes Tor für nozizeptive Aktivitäten schließen. Das Schließen dieses Tores, durch die Erregung der dicken afferenten Fasern bewirkt, dass weniger Aktivität in dem nozizeptiven System vorliegt. Die Balance zwischen der Aktivität des nozizeptiven Systems und der dicken Afferenzen der nicht nozizeptiven Fasern entscheiden darüber, ob der Schmerz wahrgenommen wird oder nicht (MENSE, 2021). Die *gate controll theory* nach Melzack und Wall beschreibt, dass dieses Kontrollsystem der segmentalen Hemmung im dorsalen Hinterhorn (substantia gelatinosa) im Rückenmark angesiedelt ist (GALLAGI, 2005). In der Praxis können die dicken nichtnozizeptiven Fasern durch elektrische Impulse durch z.B. ein TENS-Gerät erregt werden und führen damit zu einem kontrollierten Schließen des Tores. Der Schmerz wird dann reduziert. Die *gate control theory* wird heutzutage noch kritisch betrachtet und findet in dieser Studie keine Anwendung. Jedoch gibt es auch bei dem SIS konservative Therapieanwendungen mit elektrischen Impulsen, auf die in den kommenden Kapiteln kurz eingegangen wird.

Die deszendierende Hemmung hat gegenüber der segmentalen Hemmung keine zeitbegrenzte Schmerzbefreiung, sondern eine allgemeine Reduktion der Schmerzintensität. Das deszendierende System ist multipel angelegt und ein Teil ist dauerhaft aktiv. Es besteht aus mehreren im Rückenmark parallel verlaufenden Bahnen aus einer Kette von Neuronen im Hinterhorn des Rückenmarks. Die Bahnen nutzen Transmittersubstanzen, wie Enkephalin, Noradrenalin und Serotonin und erhalten damit auch alle nozizeptiven Informationen über die Kollateralen (MENSE, 2021). Wie bereits erwähnt, ist ein Teil des deszendierenden Systems dauerhaft aktiv und wirkt bei jedem Schmerzimpuls als Schmerzhemmer. Das System ist allerdings nicht stark aktiv und hemmt den Schmerz bis zu einem bestimmten Grad. Das deszendierende System kann durch äußere Faktoren verstärkt werden und wirkt dadurch intensiver auf die Schmerzwahrnehmung. Der μ -Rezeptor, als Rezeptormolekül, bindet bei der Schmerzhemmung an das körpereigene Enkephalin. Dies ist derselbe Wirkpunkt, wie bei der Injektion von Morphin und führt zu einer Aktivierung des deszendierenden Systems. Die Aktivierung des deszendierenden Systems führt zu einer intakten Aufrechterhaltung der mentalen und motorischen Handlungsfähigkeit in Angst- oder lebensbedrohlichen Situationen (MENSE, 2021). Dauerhafter ge-

ringfügiger Stress bewirkt hingegen eine Verstärkung der Schmerzintensität. Dies hängt in der Theorie damit zusammen, dass bei Stress schmerzfördernde Trakte im deszendierenden System aktiviert werden. Auf spinaler Ebene sind Serotonin und Glutamat die wichtigsten Transmitter (NEUBERT et al., 2004). Gerade der Transmitter Serotonin findet in diesem Zusammenhang eine besondere Bedeutung, da im Rückenmark diverse Rezeptormoleküle vorzufinden sind, die die Nozizeption fördern oder hemmen. Es kommt also bei der Wirkung des Transmitters auf die aktivierten Rezeptormoleküle an und nicht auf den Transmitter selbst (MENSE, 2021).

Zur Beurteilung der vorliegenden Schmerzintensität des Patienten, kann der behandelnde Mediziner oder Therapeut auf die Numerische Rating-Skala (NRS) zurückgreifen. Bei der NRS gibt der Patient bei einer Skala von „0“ – kein Schmerz bis „10“ – stärkste vorstellbare Schmerzen, das eigene subjektive Wohlbefinden an (HILFIKER, 2010). Die bereits angesprochenen Schmerzmittel der nichtsteroidalen Kategorie oder Hauptalkaloide, wie z.B. Morphin haben eine unterschiedliche Wirkung im nozizeptiven oder deszendierenden System und beeinflussen die Wahrnehmung des Schmerzes durch den Patienten.

Die nun vorliegenden Informationen zur Nozizeption und der Begriffsdefinition des Schmerzes sind für die Behandlung eines SIS oder auch eines SAPS von Bedeutung. Wurzinger beschreibt in seinem Lehrbuch, dass AC-Gelenk Verschleiß als Ursache für chronische Schulterschmerzen gilt (WURZINGER, 2017). Die Deutsche Leitlinie für das subacromiale-Impingement beschreibt ebenso, dass das SAPS als unspezifisch gilt, keine radiologische oder intraoperative Zeichen vorliegen und dennoch am Ort des Schmerzes eine subacromiale Dekompression nach versagter konservativer Maßnahme empfohlen wird (DVSE, 2021). Für das SIS liegt unter anderem auch die Acromionform nach Bigliani, eine gestörte Muskeldysbalance oder eine Bursitis subacromialis als Ursache für Schmerzentstehungen in der Schulter vor (SCHEIBEL, 2021). Wird jedoch nur an der Schmerzquelle therapiert oder operiert und das Prinzip der Sensibilisierung der nozizeptiven Fasern oder das Prinzip der Schmerzübertragung nicht beachtet, so kann es zu Fehllokalisationen und falschen Begründungen in der Ursprungsentstehung für Schulterschmerzen kommen und die Gefahr einer nicht gezielten Therapie oder eines Teils unnötig hohen risikobehafteten Eingriffes bei dem Patienten wird groß.

Park beschreibt in seiner Studie, dass der Raum zwischen dem Acromion und dem Glenohumeralgelenk keine Korrelation zum Schmerzempfinden des Patienten aufweist (PARK et al., 2020). Therapieformen, die also nur darauf abzielen den Subacromialraum zu erweitern haben keinen therapeutischen Mehrwert für den Patienten. Auch McFarland fasst in seiner Studie zusammen, dass der Abriss der Supraspinatussehne und der darauffolgende Schmerz nicht auf den reinen Folgen eines SIS beruht und der Zustand der Rotatorenmanschette ebenso vom Alterungsprozess des Patienten abhängt (MCFARLAND et al., 2013). Dhillon kritisierte in der Studie aus dem Jahre 2019 ebenfalls die klinischen Tests für das SIS bei einer eher geringen Spezifität und den Ursachen eines SIS. Der Zustand der Rotatorenmanschette wird stark vom physischen Zustand des Patienten, dem Tabakkonsum, Infektionen, genetischen Faktoren, der Einnahme von fluoroquinolon Antibiotika und vorangegangenen

Verletzungen beeinflusst (DHILLON, 2019). Die Nervenendungen reagieren mit der Sensibilisierung auf diesen Zustand und die Entstehung eines Schmerzes erfolgt. Es gibt laut Dhillon keinen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Stufen des Risses der Supraspinatussehne und dem Schmerzempfinden des Patienten, da selbst Patienten nach einer fehlgeschlagenen Operation bei einer Ruptur der Supraspinatussehne trotzdem eine Reduktion der Schmerzintensität empfinden. Laut Dhillon ist die Einklemmsymptomatik als Schmerzursache fiktional und das Impingement sollte daher in das anterolaterale Schmerzsyndrom umbenannt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass wie bereits von Park eingeleitet, Therapien oder Operationen, die darauf ausgelegt sind, den Subacromialraum zu erweitern überdacht werden sollten. Die Therapie muss die Prinzipien der Nozizeption in der Behandlung von Schulterschmerzen mit einfließen lassen, um einen langfristigen Erfolg bei dem Patienten zu erreichen.

3.3 Therapieverfahren

Aus dem vorangegangenen Kapitel lässt sich die Kontroversität des subacromialen Impingement-Syndroms im therapeutischen Ansatz erahnen. In den vergangenen Jahren haben sich einige verschiedene Behandlungsansätze zur Schmerzreduktion und Erweiterung der Bewegungsamplitude des SIS etabliert. Eine kurze Vorstellung der gängigsten operativen und konservativen Behandlungsmethoden erfolgt in diesem Kapitel.

3.3.1 Suchkriterien für operative und konservative Behandlungsmethoden eines subacromialen Impingement-Syndroms

Um eine geeignete Auswahl, für die in dieser Studie relevanten wissenschaftlichen Forschungsarbeiten über operative und konservative Behandlungsmethoden eines subacromialen Impingement-Syndroms zu erhalten, wurden in den Datenbanken von Pubmed und Springer Suchkriterien verwendet. Die Suche schließt Studien aus den Jahren 1999 bis zum aktuellen Jahr mit ein. Das Hauptsuchmerkmal ist die Behandlung eines SIS gewesen. Hingegen ausgeschlossen worden sind Suchmerkmale zu Minderjährigen, Sportlern, klinischen Tests, Injektionen, Medikationen, Kortisontherapien, Akupunkturbehandlungen oder vorangegangenen Frakturen. Aus der erweiterten Suche ergaben sich bei der Datenbank von Pubmed 277 Studien frei verfügbare Studien, die für die Arbeit überblickt worden sind. Werden nur die RTCs gefiltert, ergibt sich aus der Suche eine Auswahl an insgesamt 18 Studien (Stand 07.12.2023). Bei der Suchmaschine von Springer ergaben sich aus dem Bereich Orthopädie und Unfallchirurgie zum Thema SIS insgesamt 127 Studien zur Behandlung vom SIS und 35 Studien zu Nicht-Operativen Behandlungsmethoden eines SIS (Stand 07.12.2023).

Das nachfolgende Kapitel ermöglicht eine Übersicht über die vereinzelt Ergebnisse der Studien aus den genannten Suchkriterien zur Behandlung eines SIS vor.

3.3.2 Operative Therapieverfahren – Subacromiale Dekompression

Da sich das Hauptmerkmal dieser Studie auf die konservativen Behandlungsmethoden eines SIS fokussiert, erfolgt bei der Vorstellung der etablierten operativen Therapieverfahren lediglich eine kompakte Vorstellung des Vorganges, der Operationsrisiken, der Operationskosten und der Langzeitergebnisse.

Die S2e-Leitlinie zum subacromialen Impingement beschreibt die Notwendigkeit einer Operation zur Schmerzreduktion und Erweiterung der Bewegungsamplitude des Schultergelenkes erst nach fehlgeschlagener vorangegangener Physiotherapie. Dennoch kann bei Vorliegen eines SIS auch eine Subacromiale Dekompression ohne vorangegangene Therapie erwogen werden (DVSE, 2021). Die Entscheidung zur primär operativen Therapie sollte in diesem Zusammenhang mit dem Patienten besprochen werden und setzt eine detaillierte Aufklärung des Patienten voraus. Es lässt sich aus der Literatur nicht ableiten, wann der ideale Zeitpunkt für den Einsatz einer Operation ist oder wann ein operativer Eingriff nach einem spezifisch festgelegten Zeitraum, ohne Verbesserung mit konservativen Maßnahmen, erfolgen sollte (DVSE, 2021). Die Subacromiale Dekompression beschreibt ein arthroskopisches Vorgehen, wobei die Durchführung im Subacromialraum durch den Begriff der Endoskopie ersetzt werden muss, da es sich dort um keinen Gelenkraum handelt (GOHLKE, 2002). Die Arthroskopie wird bei dem Patienten in Vollnarkose oder in Regionalanästhesie durchgeführt. Der Patient wird entweder in Seitenlage oder in Liegestuhlposition während des Eingriffes gelagert. Der Zugang zum Schultergelenk erfolgt dorsal 1-2 cm kaudal und medial des hinteren Acromioclaviculargelenkes. Das Arthroskop wird mit Richtung auf das Processus coracoideus in das Glenohumeralgelenk gebracht (GOHLKE, 2002). Im Schultergelenk angekommen, werden mittels einer Miniaturfräse überstehende Knochensporne entfernt oder Weichteilgewebe (u.a. Arthroskopische Bursektomie) abgetragen oder geglättet. Das Ziel des Eingriffes besteht in der Erweiterung des Subacromialraumes. Dadurch soll der Patient eine Schmerzreduktion erfahren, da die Einklemmsymptomatik der Weichteile als Ursprung für die Schmerzentstehung angesehen wird (BEARD et al., 2018). Eine Übersicht über prä- und postoperativen Zustand des Subacromialraumes zeigt die Bildserie unter Abbildung 8 (Siehe Abb. 8). Im Anschluss der SAD soll der Patient bei einer Dauer von 8-12 Wochen ein supervisiertes, physiotherapeutisches Training zur Wiederherstellung der normalen Schulterfunktion und Schmerzreduktion erhalten (CHRISTIANSEN et al., 2016).



Abb. 8 Darstellung der Subacromialen Dekompression prä-, intra- und postoperativ. Abbildung entnommen aus (MÜLLER-RATH, 2022)

Interessant ist dieses arthroskopische Verfahren, weil die Anzahl an SADs in den vergangenen 23 Jahren rasant angestiegen ist. Beard berichtet in seiner Studie einen Anstieg an SADs von 2523 Eingriffen im Jahre 2000 bis auf 21.355 Eingriffen im Jahre 2010 in England. In Deutschland fasst das Statistische Bundesamt das Jahr 2021 für Arthroskopien der Schulter in den Krankenhäusern auf insgesamt 161.178 Eingriffe zusammen (DESTATIS, 2022). Dies inkludiert dabei nur die Anzahl vollstationärer Patienten, die dabei einen arthroskopischen Eingriff im Krankenhaus erhalten haben. Eine Anzahl über ambulante Arthroskopien der Schulter liegt nach eigener Recherche leider nicht vor. Die Studie von Brökelmann und Reydelet aus dem Jahre 2005 beschreibt jedoch, dass zum damaligen Zeitpunkt 37% aller Schulteroperationen ambulant stattgefunden haben. Der Trend zur ambulanten Operation stieg seither stetig an (BRÖKELMANN, REYDELET, 2005). Die Anzahl von durchgeführten SADs kann in Deutschland dementsprechend auch deutlich höher angesehen werden als die vom Statistischen Bundesamt veröffentlichten Zahlen. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass die 161.178 Eingriffe jegliche arthroskopischen Eingriffe im Bereich der Schulter inkludieren, so auch Rekonstruktionen der Rotatorenmanschette oder Kalkdepotentfernungen. In einer Langzeitstudie von 20 Jahren schlussfolgern Jäger et al., dass bei einer Anzahl von 95 Patienten mit einer SAD, einer Resektion des Lig. Coracocromiale und einer Rekonstruktion der Rotatorenmanschette eine Erfolgsquote von 78,8% besteht (JAEGER et al., 2016). In einer weiteren Studie von Farfaras et al. mit einem Follow-Up von 10 Jahren ergibt sich ebenfalls eine signifikante Schmerzreduktion durch den Constant Score, Watson Score, Sonnabend Score und dem SF-36 Gesundheitsfragebogen. Anhand der gestellten Fragen können die verschiedenen Scores genutzt werden, um auf den Schmerzverlauf des Patienten Rückschlüsse zu ziehen. Bei der Studie von Farfaras et al. wurden 87 Probanden in drei Gruppen geteilt, die entweder eine Glättung des Schulterdachs mittels offenen operativen Verfahrens oder mittels Arthroskopie erhalten haben. Die dritte Gruppe wurde nicht operiert und konservativ behandelt. Im Anschluss der Operation erhielten die Probanden ebenfalls eine konservative Weiterbehandlung. Aus den Scores ergab sich zehn Jahre später eine signifikante Verbesserung der Schmerzen bei den opera-

tiven Maßnahmen und keine signifikante Verbesserung bei den konservativen Maßnahmen. Von den anfangs untersuchten 87 Probanden haben an dem Follow-Up 66 Probanden teilgenommen. Farafas et al. schließen darauf, dass eine vorangegangene Arthroskopie der Schulter zu besseren Resultaten in Bezug auf das Schmerzempfinden auf lange Zeit führt als der Einsatz von konservativen Maßnahmen allein (FARFARAS et al., 2018). In beiden Langzeitstudien muss angemerkt werden, dass die Auswirkung der postoperativen konservativen Maßnahmen nicht mit in die Scores einbezogen wird und bei einem Follow-Up >10 Jahre einige Faktoren auf die Beurteilung des Ergebnisses einwirken. Zudem wurden keine klinischen Tests zur Bestimmung des Schmerzzustandes oder der Bestimmung der Bewegungsamplituden der Schulter angewendet. Die Ergebnisse erfolgten durch subjektive Wahrnehmungen der Probanden und bildgebende Verfahren.

Shin et al. beschreiben ein Operationsrisiko von 7,9% bei der Arthroskopie der Schulter bei einer untersuchten Probandenanzahl von 27.032 Personen (SHIN et al., 2018). Dieses Operationsrisiko liegt damit über dem Durchschnitt der bisher in Studien angegebenen Risiken von 1,1% bis 6,5% (WIRTH, 2010). Der größte Fehler bei der SAD liegt bei der Indikation. So erhalten mehr als die Hälfte der Patienten eine arthroskopische subacromiale Dekompression, obwohl eine andere Beschwerdeursache vorgelegen hat (WIRTH, 2010). So fanden sich zudem Acromionfrakturen nach arthroskopischen und offenen SADs vor. Möglicherweise ist dieser Umstand nach Wirth auf ein zu ausgedünntes Acromion zurückzuführen. Die Infektionsgefahr ist mit einer prozentualen Rate von 0,04% bis 3,4% als gering einzuschätzen. Intraoperativ besteht die Gefahr, dass eine massive Extravasation von Spülflüssigkeit zu Nervenläsionen führen kann. Ebenfalls sind Hautnekrosen durch die Spülflüssigkeit möglich. Insgesamt sind Gefäßverletzungen eher gering. Allerdings beichtet McFarland von Neurologischen Komplikationen bei der Schulterarthroskopie von bis zu 30% (MCFARLAND et al., 1997). Diese Verletzungen sind darauf zurückzuführen, dass die Nerven entweder direkt beschädigt worden sind oder durch Fehllagerung und Kompression durch Flüssigkeitsextravasation herbeigeführt wurden. Oftmals sind sich die Patienten der Risiken eines operativen Eingriffes nicht bewusst. Der Patient hat die Möglichkeit auf ein vorangehendes Aufklärungsgespräch zu verzichten und setzt sich damit den Operationsrisiken unwissend aus (ULSENHEIMER, 2016).

Aus einer Studie von Virta et al. aus dem Jahre 2012 können die Kosten für eine Schulterbehandlung inklusive operativer Behandlung aus dem westlichen Schweden beispielhaft kalkuliert werden (VIRTA et al., 2012). Die Besonderheit von Schweden gegenüber Deutschland ist, dass Patienten bei einer Behandlung im Rahmen einer 12-monatigen Behandlung nicht mehr als 100€ Selbstbeteiligung für Behandlungen und nicht mehr als 200€ für Medikamente zahlen müssen. Die nun folgenden Werte dienen lediglich als Orientierung und können nicht 1:1 auf Deutschland übertragen werden. Dabei listen Virta et. al. die Kosten exemplarisch für den gesamten Ablauf der Behandlung, sowie den indirekten Kosten auf die Fehltage bei der Arbeit auf. Die nachfolgende Tabelle (siehe Tab. 4) zeigt eine kompakte Zusammenfassung der anfallenden Kosten für die Behandlung der Schulter auf.

Tab. 4 Exemplarische Kostenaufstellung (direkte und indirekte Kosten) für die Behandlung der Schulter inklusive SAD eines Patienten – Summen entnommen aus (VIRTA et al., 2012)

Maßnahme	Kostenfaktor
Bildgebende Verfahren	
Röntgen der Schulter	65,00€
Sonographie der Schulter	124,00€
MRT der Schulter	308,00€
Kosten Mediziner	
Kosten pro Arztbesuch (25 Minuten)	107,00€
Kosten für den Orthopäden inkl. Operation	335,00€
Kosten für einen ambulanten, unkomplizierten Schultereingriff	2.420,00€
Postoperativ	
Kosten Physiotherapie pro Behandlung (60 Minuten)	50,00€
Indirekte anfallende Kosten für Fehltage auf der Arbeit	205,00€ (Preis pro Fehltag)
SUMME	4.139,00€

Christiansen et al. begründen eine post-operative konservative Nachbehandlung nach einer SAD von einer Dauer zwischen 8-12 Wochen (CHRISTIANSEN et al., 2016). Dabei sollte der Patient zweimal wöchentlich in den ersten acht Wochen durch einen Therapeuten begleitet werden. Die indirekten Kosten für die Fehltage auf der Arbeit sind nur abschätzbar und wurden aus diesem Grund nicht in die Berechnung mit aufgenommen. Virta et al. führen in der eigenen Statistik bei einer Probandenanzahl von 181 Personen im Anschluss einer Schulteroperation durchschnittlich 9,08 Fehltage je Arbeitnehmer auf (VIRTA et al., 2012). Die Kosten für Schmerzmittel werden in der Statistik ebenfalls nicht angegeben. Insgesamt belaufen sich damit Kosten für eine SAD und deren Nachbehandlung pro Patienten zwischen 3.500€ bis 5.000€.

Die SAD wird bewusst so kritisch dargestellt, weil durch verschiedene Studien der vergangenen Jahre der Mehrwert einer Operation gegenüber den reinen konservativen Behandlungsansätzen in Frage gestellt wird. Die Operationsrisiken und Operationskosten könnten durch die kritische Betrachtung zukünftig deutlich reduziert werden. Die populärste Studie, die diesen Umstand kritisiert, stammt aus Oxford und wurde 2018 im Lancet publiziert. In der Studie von Beard et al. wurden 313 Patienten in drei Gruppen aufgeteilt. Eine Gruppe erhielt eine SAD, die zweite Gruppe hatte einen arthroskopischen Eingriff, aber ohne den subacromialen Raum zu erweitern, indem Weichteilgewebe oder Knochensporne entfernt worden wären. Die dritte Gruppe war eine Kontrollgruppe, mit dem Ziel nach

einem Follow-Up von sechs und zwölf Monaten die SAD und Arthroskopie kritisch gegenüber keiner Therapie zu betrachten. Im Ergebnis konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der SAD und der Arthroskopie, ohne Erweiterung des subacromialen Raumes festgestellt werden. Beide operativen Gruppen haben jedoch eine Verbesserung im *Oxford Shoulder Score* gegenüber der Kontrollgruppe aufweisen können, die keine Behandlung erhalten hat. Die Entfernung von Weichteilen oder der Ausdünnung des Acromions hat nach der Studie von Beard et al. also keinen Mehrnutzen (BEARD et al., 2018). Die Studie aus Oxford wurde im Nachgang massiv von den Verfassern der S2e-Leitlinie kritisiert. In der gemeinsamen Stellungnahme wird darauf hingewiesen, dass bei der Auswahl der Probanden auch Patienten mit einem SAPS in die Studie inkludiert worden sind und bei der SAD oder Arthroskopie entsprechend keine größere Signifikanz vorgelegen hat. Eine Operation ist entsprechend für den Patienten vorteilhafter, als keine Behandlung (SPORTMEDIZIN; GESELLSCHAFT FÜR ARTHROSKOPIE UND GELENKCHIRURGIE, 2017). Diese Aussage lässt sich auch nicht widerlegen. Aus dieser Aussage lassen sich jedoch einige vorangegangene gesammelten Informationen verbinden. Der größte Fehler liegt in der Indikation eines SIS (WIRTH, 2010). Die DGOU und die weiteren Verfasser der S2e-Leitlinie subacromiales Schulter-Impingement selbst bezeichnen das SAPS als subacromiales Schmerzsyndrom, bei der keine radiologischen Befunde oder intraoperativen Anzeichen vorliegen (DVSE, 2021). Eine Unterscheidung für ein SAPS und einem SIS ist somit schwer einzuschätzen. Der weitere Kritikpunkt ist, dass zwar operative Maßnahmen keiner Behandlung überwiegen, aber mit dem Erfolg konservativer Maßnahmen gleichzusetzen sind (HAAHR, ANDERSEN, 2006; NAZARI et al., 2019; PAAVOLA et al., 2021). Auch gehen Ketola et al. auf das höhere Kosten-Nutzen-Verhältnis der Operation mit anschließender konservativer Behandlung gegenüber der reinen konservativen Behandlung ein (KETOLA et al., 2009). In einer weiteren Studie fassen Köhler et al. die Ausfallzeiten bei Büroangestellten und körperlich aktiven Arbeitnehmern nach einer SAD zusammen. Dabei fehlen Büroangestellte nach einem operativen Eingriff signifikant länger bei der Arbeit im Vergleich zu körperlich aktiven Berufstätigen (KÖHLER et al., 2019). Saltychev et al. legen sich fest, dass bei den Stadien I und II eines SIS die körperliche Aktivität immer als erste Wahl angesehen werden muss und der Operation vorzuziehen ist (SALTYCHEV et al., 2015). Der Umstand, dass eine SAD bei Vorliegen eines SIS auch ohne vorangegangene konservative Behandlung in Erwägung gezogen werden kann, ist als kritisch anzusehen, da die Operationsrisiken und -kosten der konservativen Behandlung überwiegen (DVSE, 2021). Warum konservative Behandlungen möglicherweise nach mehr als sechs Monaten fehlschlagen und dann zu einer Operation geraten werden würde, wird ausführlich in der Diskussion erläutert.

3.3.3 Konservative Therapieverfahren zur Behandlung eines subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms

Die konservativen Therapiemaßnahmen zur Behandlung eines SIS stellen eine Alternative zu den operativen Maßnahmen dar. Seit der detaillierten Beschreibung des SIS im Jahre 1972 durch Neer, haben sich verschiedene konservative Verfahren etabliert, um die Schmerzen zu reduzieren und die einge-

schränkten Freiheitsgrade der Schulter zu erweitern. Im nachfolgenden Kapitel werden mit Hinblick auf die Methodik der eigenen Arbeit die wichtigsten konservativen Behandlungsansätze zusammengefasst dargestellt. Ebenso wird der explorative Ansatz zur Behandlung eines SIS, die Biokinematik, erläutert.

3.3.3.1 Allgemeine Informationen zur Muskulatur

Das menschliche Muskelgewebe hat die Fähigkeit, dass die Muskelzellen auf das Setzen von Reizen reagieren und die dadurch resultierende Kontraktion führt zu einem Zusammenziehen der gesamten Muskelzelle. Die Muskulatur kann durch den Aufbau verschiedener Gewebearten kategorisiert werden. Für die Bewegung des Skeletts ist die quergestreifte Skelettmuskulatur verantwortlich (DE MARÉES, 2017). Die Skelettmuskulatur ermöglicht durch die Verbindung durch die Sehnen an die Knochen jegliche Bewegungen des Körpers. Unter der Beobachtung eines Elektronenmikroskops lassen sich die kleinen Bausteine der Myofibrille, die Sarkomere, erkennen. Die Sarkomere sind durch die Z-Scheiben miteinander verbunden und ergeben dadurch die lange Gliederkette der Myofibrille. Jedes Sarkomer besteht aus zwei Gruppen von Eiweißmolekülen, den Aktin- und den Myosinfilamenten (DE MARÉES, 2017). Weiterhin wurden in den 70er Jahren im Inneren der Muskelzelle noch die Titinfilamente entdeckt, die sich innerhalb der Lücken zwischen den Aktin- und Myosinfilamenten spannen (JIN, 2000). Innerhalb einer Myofibrille mit den vorgestellten Bauelementen ändern sich die Längenverhältnisse bei einer Dehnung und Kontraktion der Muskulatur. Bei der Dehnung verlängern sich die freien Abschnitte der Titinfilamente. Bei der Muskelkontraktion verkürzen anhand der Filament-Gleit-Theorie (HUXLEY, HANSON, 1954) die Sarkomere. Diese Längenveränderung werden durch Nervenimpulse in den Gang gesetzt. In der Abbildung 9 werden die unterschiedlichen Längen von zwei Sarkomeren dargestellt (siehe Abb. 9).

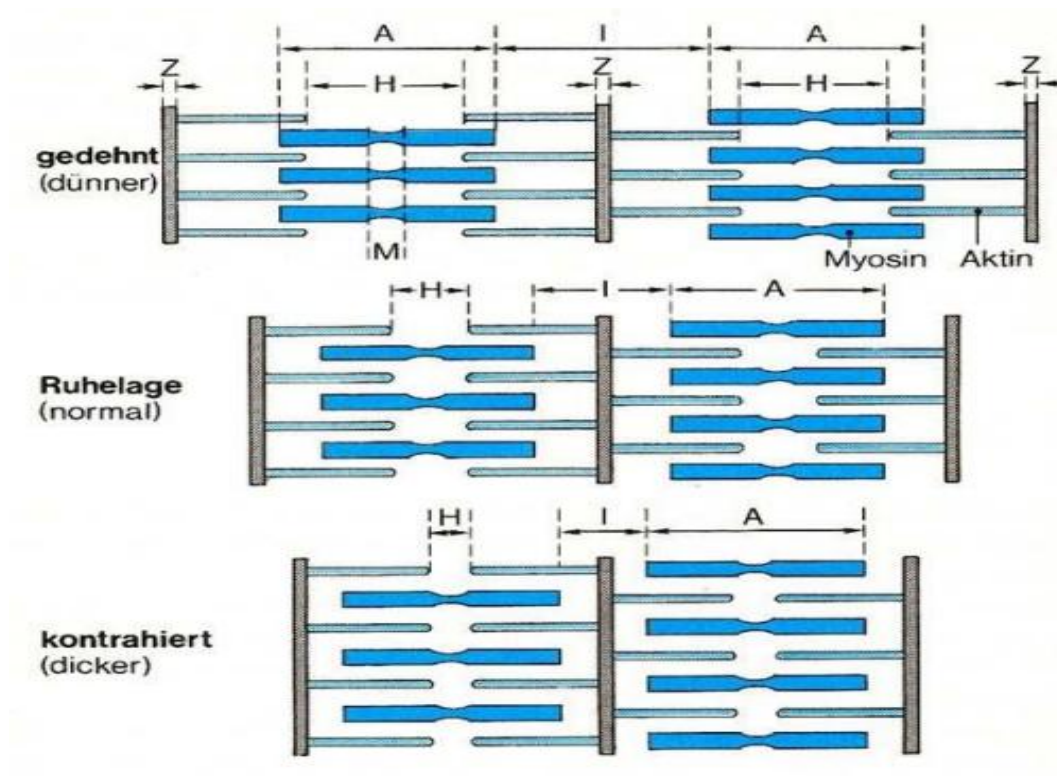


Abb. 9 Darstellung von zwei Sarkomeren in Ruhe, bei einer Kontraktion und bei Dehnung. Abbildung entnommen aus (MARKWORTH, 2013)

In der Schmerztherapie sind aus den Studien der vergangenen Jahrzehnte Methoden eingesetzt worden, die auf die Muskeldehnung oder Muskelhypertrophie gesetzt haben, um eine Reduktion der Schmerzen und eine Erweiterung der Bewegungsamplitude herbeizuführen.

3.3.3.2 Muskelaktivität zur Reduktion von Schmerzen bei einem subacromialen Impingement-Syndrom

Das körperliche Aktivität positive Eigenschaften auf den Gesundheitszustand des Menschen hat, ist weitreichend bekannt und durch zahlreiche Studien belegt worden (MIKO et al., 2020). Auch in Verbindung mit Schmerzen wird Bewegung als schmerzhemmender Prozess empfohlen. Die Bewegung ist dabei in der Definition vielschichtig. Aus den Empfehlungen der vorliegenden Studien für das SIS lassen sich Maßnahmen aus Krafttraining in Eigenregie oder unter Anleitung finden (STEURI et al., 2017). Um nachvollziehen zu können, welche Auswirkungen ein Krafttrainingsreiz auf das subjektive Schmerzempfinden und die Erweiterung der bislang eingeschränkten Bewegungsamplitude haben kann, werden vorab noch die verschiedenen Formen der Kontraktion der Muskulatur erläutert.

Behrends et al. beschreiben verschiedene Grundformen einer Muskelkontraktion (BEHRENDTS et al., 2021):

Isometrische Kontraktion → Spannungszunahme ohne Muskelverkürzung

Isotonische Kontraktion → Muskelverkürzung ohne Spannungszunahme

Auxotonische Kontraktion → Kontraktion bei gleichzeitiger Änderung von Muskellänge und Muskelspannung. Eine positive auxotonische Kontraktion führt zum Spannungsaufbau bei Verkürzung der Muskellänge. Eine negative auxotonische Kontraktion führt zum Spannungsabbau bei Verkürzung der Muskellänge.

Unterstützungszuckung → Übergang von isometrischer zu isotonischer Kontraktion

Anschlagszuckung → Übergang von isotonischer zu isometrischer Kontraktion

Die auxotonische Kontraktion gilt als häufigste Kontraktionsform. Begründet wird diese Aussage damit, dass sich bei physiologischen Bewegungen der Gelenkwinkel und damit auch der Hebel, über den der Muskel seine Kraft entfaltet, verändert wird (BEHRENDTS et al., 2021). Als Einflussfaktoren für die Entwicklung der Muskelkraft sind einzelne Faktoren aufzuführen.

1. Muskellänge

Um direkten Bezug auf die angesprochenen verschiedenen Hebel und Gelenkwinkel zu nehmen, spielt bei der Kraftentwicklung eines Muskels die Länge eine entscheidende Rolle. Für jede Muskelgruppe lässt sich ein optimaler Gelenkwinkel angeben, durch jenen die Kontraktionskraft der Muskulatur ein Maximum entfalten kann (GUTEWORT, 1995). Billeter & Hoppeler haben angenommen, dass dieser Sachverhalt damit begründet wird, dass sich die Aktin- und Myosinfilamente der Sarkomere in verschiedenen Gelenkwinkelstellungen unterschiedlich stark überlappen und sich damit eine differenzierte Anzahl an Querbrücken bilden kann (BILLETTER, 1994). Bei isotonischen und isometrischen Kontraktionen kann die Kraft ihr Maximum ebenfalls erreichen, wenn der Muskel im geringen Maße leicht vorgedehnt wird (MENSE, 2021).

2. Muskelfaserspektrum

Im menschlichen Körper lassen sich verschiedene Arten von motorischen Einheiten kategorisieren. Aus physiologischer Perspektive wird zwischen drei Muskelfasertypen unterschieden, die sich durch den Verlauf einer Einzelzuckung voneinander trennen lassen. Aus biochemischer Sicht wird zwischen Typ-I Muskelfasern, Typ-IIa und Typ-IIb Muskelfasern unterschieden (MENSE, 2021). Die Verteilung der Muskelfasertypen ist durch externe Umwelteinflüsse bedingt, jedoch primär genetisch veranlagt (HERBISON et al., 1982). Die nachfolgende Tabelle liefert eine Übersicht über die unterschiedlichen Muskelfasern hinsichtlich ihres Stoffwechsels und ihrer Farbgebung (siehe Tab. 5). Nach dem Größenprinzip nach Henneman (HENNEMAN, 1985) werden bei geringer Arbeit (zwischen 10-20% der Maximalkraft) nur die motorischen Einheiten mit niedriger Erregungsschwelle aktiviert. Dies sind die motorischen Einheiten mit Typ-I Fasern. Bei monotoner Arbeit werden immer dieselben motorischen Einheiten aktiviert. Dies hat zur Folge, dass bei gleichbleibender Leistung die gesamte Leistung auf die Typ-I Muskelfasern geleitet wird, sodass es zu einer Überlastung dieser Fasern kommt, da auch die nicht-aktiven motorischen Einheiten der Muskelgruppe mitbewegt werden müssen (MENSE,

2021). Um alle motorischen Einheiten aktivieren zu können, bedarf es somit eines Erregungsreizes >20% der Maximalkraft.

Tab. 5 Typen von Muskelfasern mit ihren physiologischen Merkmalen – Tabelle entnommen aus (MENSE, 2021)

Merkmale	Fasertyp I	Fasertyp IIa	Fasertyp IIb
Zuckungsverlauf	langsam	schnell	Schnell
Farbe der Faser	rot	rot/rosa	weiß
Stoffwechsel	oxidativ	Glykolytisch und oxidativ	glykolytisch
Ermüdbarkeit	gering	mittel	schnell

3. Muskelform

Die verschiedenen Formen der Muskulatur lassen sich in Klassen zusammenfassen, die wiederkehrend im menschlichen Körper vorzufinden sind. Die Unterscheidung liegt dabei in der Funktion des Muskels. Als einfachste Form können spindelförmige Muskeln klassifiziert werden. Die spindelförmigen Muskeln gehen beidseitig in eine oder mehrere Sehnen über. So können spindelförmige Muskeln zwischen einköpfig bis vierköpfig unterschieden sein (WIRHED, 1988). Neben den spindelförmigen Muskeln lassen sich im Körper noch die gefiederten Muskeln, die unterteilten Muskeln und Zwischensehnen, sowie die vielfach gezackten Muskeln vorfinden. Bei den gefiederten Muskeln wird zwischen einfach gefiederten und doppelt gefiederten Muskeln differenziert, je nachdem ob eine Sehne einseitig oder beidseitig in den Muskel einstrahlt. Der Muskel strahlt bei den gefiederten Muskeln seitlich in die Sehne ein. Bei gefiederten Muskeln liegt durch die seitliche Einstrahlung in die Sehne eine große Anzahl von Muskelfasern vor, sodass der physiologische Querschnitt des Muskels verhältnismäßig groß wird. Somit sind die gefiederten Muskeln primär für große Krafteinsätze angedacht und die spindelförmigen Muskeln vorrangig für schnelle Kontraktionen verantwortlich (GOLDSPINK, HARRIDGE, 2008).

4. Muskelquerschnitt

Aus einigen Studien der vergangenen Jahrzehnte konnte ermittelt werden, dass bei der Zunahme der Muskelmasse die Kraftleistung proportional zunimmt. Die Definition von Kraft wird dabei in Relativkraft und Maximalkraft bzw. Absolutkraft unterteilt (FORJASZ, 2011). Bei der Relativkraft wird die Kraftleistung eines Menschen im Verhältnis zum Körpergewicht gesetzt. Die Absolutkraft beschreibt die theoretische Aktivierung aller Muskelfasern im Muskel. In der Praxis können nicht hundert Prozent der Fasern willkürlich aktiviert werden. Somit spricht man bei der Maximalkraft von der Gesamtheit aller Fasern, die gleichzeitig willkürlich aktiviert werden können. Bei einer Zunahme der Muskelmasse vergrößert sich die Maximalkraft. Die Relativkraft verringert sich (HOLLMANN, 2000). In

den Angaben ist zu berücksichtigen, dass bei den Untersuchungen die Werte zur Kraftentwicklung schwanken. Hollmann & Hettinger begründen die Schwankungen damit, dass bei der physiologischen Untersuchung des Muskelquerschnitts die unterschiedlichen Anteile von Sarkoplasma, Myofibrillen, interstitiellem Bindegewebe und Fettgewebe sich lediglich abschätzen lassen und nicht exakt differenziert werden können (HOLLMANN, 2000). Neben dem Muskelquerschnitt spielt auch der Muskelfaserorientierung bei der Kraftentwicklung eine zentrale Rolle (WEINECK, 1997).

5. Neuromuskuläre Einflussfaktoren

Die Koordination der inneren Ansteuerungsmechanismen zwischen verschiedenen Muskeln (inter-muskuläre Koordination) und zwischen den motorischen Einheiten im Muskel (intramuskuläre Koordination) gilt ebenso als entscheidender Faktor bei der Kraftentwicklung der Skelettmuskulatur (TITTEL, 1994). Adaptationen durch Trainingsreize durch ein Krafttraining haben Kraftsteigerungen ohne morphologische Entwicklungen bei der Muskulatur bei Trainingseinsteigern ergeben. So lassen sich die Steigerungen der Kraft auf Lernprozesse der Bewegung zurückführen (SALE, 1994).

6. Muskelkraft in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht

Mit zunehmendem Alter lassen sich Muskelkraftverluste feststellen. Während Männer im siebten Lebensjahrzehnt nur noch 70-75% der Kraft im Vergleich zu Männern im dritten Lebensjahrzehnt aufweisen, stellt man bei Frauen ab dem 60. Lebensjahr keine statistisch gesicherte Differenz in den Kraftleistungen der Muskulatur fest (KINDERMANN, 1986). Trainingsspezifische Anpassungen der Kraftleistungen sind hingegen geschlechtsneutral und bis ins hohe Alter zu erreichen (ISRAEL, 1994).

7. Psychische Einflussfaktoren

Die Psyche einer Person, besonders der Faktor Motivation, hat einen direkten Bezug auf die Erbringung und Aufrechterhaltung von Maximalkraftleistungen, sowie von Kraftausdauerleistung (HOLLMANN, 2000).

8. Metabolische Einflussfaktoren

Zuletzt sind für die Kraftentwicklung der Muskulatur die metabolischen Hintergründe einzubeziehen. Eine trainingsadaptierte ATP-Resynthese bei gezielt durchgeführter Trainingsmethode führen zu einer höheren Laktatresistenz unter trainingsinduzierter Belastung, sowie einer Verbesserung der oxidativen Freisetzung an Energie (SHAW et al., 2010).

Insgesamt lässt sich zusammenfassend festhalten, dass die Konstitution der Muskulatur und diverse interne und externe Umwelteinflüsse für die Kraftentwicklung der Muskulatur entscheidend sind. Wie hängt aber nun die Kraftleistung und ein Krafttrainingsreiz für die Muskulatur mit der Reduktion von Schmerzen zusammen?

Die Interozeption wird als Vorgang verstanden, bei dem das Bewusstsein über den Zustand und Vorgänge im eigenen Körper informiert wird. Die Interozeption wird aufgeteilt in die Propriozeption und

Viszerozeption. Die Viszerozeption beschreibt die Informationsleitung von Eingeweiden und wird in diesem Zusammenhang vernachlässigt. Die Propriozeption umfasst die Informationsvermittlung zum Stellungsverhalten, Bewegungs- und Kraftsinn des Körpers (MENSE, 2021). Als Kraftsinn wird die Fähigkeit bezeichnet die Muskelkraft abzuschätzen, um eine Bewegung einzuleiten oder gegen einen Widerstand einzusetzen. Bislang ist nicht untersucht, welche Rezeptoren hauptsächlich für den Kraftsinn verantwortlich sind. Es ist nach aktuellem Studienstand abzuschätzen, dass Hautrezeptoren eine geringe Rolle für den Kraftsinn spielen (MENSE, 2021). Für die unbewusste Steuerung von Körperhaltung und Koordination der Muskulatur ist das Kleinhirn bedeutsam (LEPHART et al., 1998). Im Kortex entstehen die Vermittlungen von bewussten Empfindungen über die Körperhaltung oder ablaufende Bewegungen und eingesetzte Kraft (MENSE, 2021).

Aus einigen Studien vergangener Jahre lassen sich positive Ergebnisse zur Schmerzreduktion bei einem SIS nach einem vorher durchgeführten Training mit Krafttrainingsreizen feststellen. Bereits nach 6-Wochen Trainingstherapie aus einer Mischung zwischen Kräftigungsreizen und Muskeldehnungsreizen in täglicher Eigenregie (MCCLURE et al., 2004) oder unter Anleitung (BAŞKURT et al., 2011) konnten signifikante Ergebnisse in der Schmerzreduktion bei SIS-Patienten ermittelt werden. Bei der Aussage ist zu berücksichtigen, dass die Durchführung reiner Krafttrainingsreize oder die zusätzliche Einführung weiterer Krafttrainingsübungen keine signifikanten Effekte auf die Schmerzreduktion bei SIS-Patienten hervorbringen (CLAUSEN et al., 2021). Bezugnehmend auf den in Kapitel 3.2.3 erläuterten Prozess der Schmerzwahrnehmung führt ein reines Kräftigungstraining ebenso nicht zu einer Erhöhung der Schmerzschwelle, die als Folge der peripheren Sensibilisierung herabgesetzt worden ist. Ein aerobes Training hingegen hat Einfluss auf die Schmerztoleranz (ANSHEL, RUSSELL, 1994). Nach diesen Studienergebnissen kann ein Training, welches nur Wert auf die Vermehrung der Muskelkraftleistung oder Vergrößerung des Muskelquerschnitts legt nicht als Schmerzreduktionstherapie angesehen werden. In der Praxis finden sich Empfehlungen für Patienten mit einem SIS oder SAPS aus einer Kombination aus manueller Therapie und Eigenübungen, die aus Krafttraining, Dehnung und Mobilitätsübung bestehen (GEBREMARIAM et al., 2014). Aus den Studien geht hervor, dass Patienten bei einem Zeitraum zwischen sechs bis zwölf Wochen einen Zuwachs der Kraftleistung zu verzeichnen haben. Der Einbezug von Kräftigungsübungen in der Schmerztherapie kann also darauf zurückgeführt werden, dass Muskelgruppen, die über einen längeren Zeitraum nicht aktiviert worden sind und infolgedessen einer Deadaptation ausgesetzt waren einen Kraftverlust zu verzeichnen haben. Die adaptiven Prozesse eines Muskelhypertrophie- oder Kräftigungsreizes unterstützen den Muskel in der Wiederherstellung der ursprünglichen Kraftleistung. Im Rahmen der konservativen Maßnahmen für Patienten mit einem SIS oder SAPS werden Übungen zur Schulterblatt-Stabilisation und Schulterblatt-Rehabilitation in Form von Krafttrainingsreizen empfohlen (BAŞKURT et al., 2011; RAVICHANDRAN et al., 2020; STRUYF et al., 2013). Für die Verbesserung der Mobilität oder Reduktion von Schmerz ist der Einbezug von Dehnungsreizen und Mobilitätsübungen in der Schmerztherapie unabdingbar.

3.3.3.3 Muskeldehnung zur Reduktion von Schmerzen bei Patienten mit einem subacromialen Impingement-Syndrom

Da aus dem vorangegangenen Kapitel eine Muskeldehnung für eine erfolgreiche Schmerztherapie unverzichtbar erscheint, behandelt dieser Abschnitt die Eigenschaften einer Muskeldehnung in Bezug auf eine Schmerztherapie bei Patienten mit einem SIS.

Der Gesamtmuskel kann aus der Zusammensetzung verschiedener Bauteile verstanden werden. Nach Hill weist der Gesamtmuskel folgende Bauteile auf (MILLER, 2018) – entnommen aus (MENSE, 2021):

- Den kontraktilen, aktiven, Elementen → Sarkomere
- Den serienelastischen Elementen → Faszien, Sehnen, Titin
- Den parallelelastischen Elementen → Endomysium, Perimysium und den weiteren bindegewebsartigen Verbindungen zu den anderen Muskeln
- Den viskösen Elementen → bewegungsdämpfende Eigenschaft

Bei einer Dehnung der Muskulatur bilden den Hauptwiderstand die serien- und parallelelastischen Elemente, also die bindegewebsartigen Strukturen. Dies liegt darin begründet, dass bei einer Dehnung die kontraktilen Elemente, bis auf das Titin, keinen Dehnungswiderstand geben. Das Titin ist als Element ein zu geringer Teil des Muskelgewebes, als dass der Hauptwiderstand dadurch stark vergrößert werden würde. Die viskösen Elemente sind hauptsächlich bei schnellen Dehnungsvorgängen entscheidend, um den Dehnungsvorgang dämpfen zu können. Bei langsamen Dehnungen der Muskulatur spielen die viskösen Elemente kaum eine Rolle. Schlussfolgernd ist eine Dehnung der Muskulatur als Dehnung des Bindegewebes anzusehen (MENSE, 2021). Die Dehnungskurve des Gesamtmuskels ist aufgrund seiner viskoelastischen Eigenschaften nicht linear, sondern exponentiell ansteigend. Bei den Eigenschaften durch die viskoelastischen Elemente bei der Dehnung des Gesamtmuskels ist anzumerken, dass bei der Entlastung des Dehnungsvorganges eine Hysterese auftritt, die besonders bei statischen Dehnungsvorgängen vorzufinden ist. Außerdem ist anzumerken, dass nach der Entlastung ein Dehnungsrückstand festzustellen ist, der ebenso bei statischen Dehnungsvorgängen ausgeprägter ist. Um einen größeren Längenzuwachs des Gesamtmuskels herbeizuführen, müssen immer größere Kräfte aufgewendet werden (MAGNUSSON, 1998). Aus Vergleichsstudien zwischen den verschiedenen Dehnungsformen (statisch, dynamisch, ballistisch) und einer propriozeptiven neuromuskulären Fazilitierung ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf das Bewegungsausmaß am Beispiel einer Fuß-Dorsiflexion (KONRAD et al., 2017). Die Versuche fanden hauptsächlich an Tieren statt, konnten bis zum jetzigen Studienstand aber nicht widerlegt werden. In der Literatur finden sich abweichende Ergebnisse zwischen den Methoden, die auf unterschiedliche Belastungsparameter, Messverfahren sowie Kurz- und Langzeiteffekte zurückzuführen sind (MENSE, 2021). Entscheidend

ist der Zustand der Muskulatur durch seine viskoelastischen Eigenschaften während und im Anschluss eines Gesamtmuskel Dehnungsprozesses.

Bei der Übertragung einer Kontraktionskraft wird nach Hills Muskelmodell die Kraft der kontraktilen Elemente über die parallelelastischen Elemente auf die Sehne und im weiteren Verlauf auf die Knochen übertragen. Mense betont, dass in Hills Muskelmodell das Endomysium als Teil des Muskelgewebes außen vorgelassen wird. Das Endomysium umgibt nicht nur einzelne Muskelfasern, sondern besitzt auch Querverbindungen zu benachbarten Muskelfasern (MENSE, 2021). Auch bestehen zwischen dem Endomysium und Perimysium Verbindungen. Bei der Muskelkontraktion folgt demnach eine Kraftübertragung von den kontraktilen Elementen auf das Endomysium über das Perimysium auf die Sehne. Bei einem Dehnprozess des Gesamtmuskels verteilt sich die eingesetzte Kraft auf umgekehrten Weg über das Endomysium und Perimysium auf den Gesamtmuskel. Außerdem ist anzumerken, dass durch die makroskopisch nachweisbaren Querverbindungen von Muskelgruppen untereinander, bei einer Kontraktion auch die benachbarten Muskeln immer mitbewegt werden (MENSE, 2021). Mense stellt die Hypothese auf, dass das fasziale Gewebe an der Interozeption, also dem Informationsgehalt über den allgemeinen Zustand des Körpers, beteiligt sind. Er stützt seine Aussage damit, dass einerseits Faszien und andere Bindegewebe über eine Innervation von dünnen afferenten Fasern verfügen und andererseits die Aktionspotenziale der Faszie im hinteren Rückenmark verarbeitet werden. Die Verarbeitung dieser Potenziale wird teilweise an ein Hirnareal geleitet, dessen Teil als Ursprungsquelle für Sinnesempfindungen und damit auch Schmerzen angesehen wird (MENSE, 2021). Aus der Grundlagenliteratur lassen sich verschiedene kurz- und langfristige Effekte einer Muskeldehnung ableiten:

Kurzfristige Dehneffekte:

- Erweiterung der maximalen Bewegungsamplitude (SCHÖNTHALER, 2002)
- Die kurzfristige Erweiterung der Bewegungsamplitude ist aller Wahrscheinlichkeit nach durch eine steigende maximale Dehnungsspannung mit parallel steigender Satzanzahl zu begründen. Dieser Effekt ist unter Voraussicht auf eine Desensibilisierung der Nozizeptoren zurückzuführen (GLÜCK, 2005; KLEE, 2005)
- Die Ruhespannung sinkt während der ersten 4-5 Wiederholungen eines Kurzzeitdehnens bis zu 20% und bleibt dann konstant (KLEE, WYDRA, 2023)

Langfristige Dehneffekte:

- Es können keine langfristigen mechanischen Dehneffekte der Titinfilamente nachgewiesen werden. Die Titinfilamente verlaufen auch nach wiederholter Messung in identischen Bahnen. Daraus resultiert, dass auch eine langfristige Senkung der Ruhespannung als Folge einer Muskeldehnung nicht nachgewiesen werden kann (KLEE, 2005)

- Hypertrophie des Sehnengewebes als Reaktion auf die mechanischen Dehnungsspannungen. Nachweis einer höheren Zugfestigkeit des Sehnengewebes als Reaktion der Hypertrophie der kollagenen Fasern (KLEE, 2005)

Zur Schmerzbehandlung und Erweiterung der Bewegungsamplitude bei SIS-Patienten und Patienten mit einem SAPS haben sich Übungen zur Muskeldehnung in den konservativen Therapieplan fest implementiert. Aus den Studien lassen sich Dehnungsübungen für die Muskelgruppen der Rotatorenmanschette, des Schultergürtels und den Muskelgruppen von der Schulter bis zum Unterarm ableiten (vgl. Tab. 2). Die Tests nach Neer, Hawkins-Kennedy und Painful-Arc legen nahe, dass die für die Abduktion und Adduktion, Außen- und Innenrotation, Anteversion und Extension beteiligten Muskeln in Ihrer Muskellänge eingeschränkt sind und durch verschiedene Dehnmethoden eine erweiterte Bewegungsamplitude und korrelierte Schmerzreduktion herbeiführen. Die durchgeführten Dehnübungen dieser Muskelgruppen führten in Kombination mit Kräftigungsübungen der Muskelgruppen des Schulterblattes bereits nach 4 Wochen zu signifikanten Verbesserungen der Schulterbeweglichkeit und Schmerzreduktion bei SIS-Patienten und Patienten mit einem Frozen-Shoulder Syndrom (FERLITO et al., 2023; MCCLURE et al., 2004). Aus den Studien ergaben sich unterschiedliche Therapieansätze zur Muskeldehnung. In der Studie von Mc Clure wurden die aktiven und passiven Dehnübungen täglich über drei Sätze bei einer Dehnungsdauer von 30 Sekunden je Trainingssatz gehalten (MCCLURE et al., 2004). Baskurt et al. führte mit seinen Probanden dreimal wöchentlich Muskeldehnung und Muskelkräftigung über einen Zeitraum von sechs Wochen durch (BAŞKURT et al., 2011). Tauqeer et al. führen eine Muskeldehnung und Muskelkräftigung mit den Probanden über einen vierwöchigen Zeitraum bei fünf Interventionen pro Woche und einer durchschnittlichen Dauer zwischen 30 und 45 Minuten durch (TAUQEER et al., 2024). Die Dehnungsintensität wird bei dem Großteil der Studien durch die Visuelle-Analog-Skala oder Numerische-Analog-Skala subjektiv bestimmt (SHIRE et al., 2017). Die resultierenden Effekte aus den Forschungsstudien sind sehr differenziert zu betrachten. So finden sich, je nach Messmethodik, unterschiedliche Ergebnisse in der Verbesserung der Range of Motion (ROM) mal dominanter in der Außenrotation und der Extension oder größere Muskelkraftzuwächse in den Muskelgruppen um das Schulterblatt. Für die eigene Studie lassen sich aus den vergangenen Studien vergleichbare Interventionszeiträume, Interventionsdauer, Interventionsumfänge und spezifische Übungen ableiten. Weitere Faktoren, die bei dem Aufbau eines spezifischen Interventionsprogrammes bei Patienten mit einem SIS eine Rolle spielen werden unter Kapitel 3.3.3.5 erläutert.

3.3.3.4 Aufbau einer Trainingseinheit Muskeldehnung + Kräftigung

Nach den Erkenntnissen aus der Grundlagenliteratur zur Muskeldehnung und Muskelkraft und der trainingsmethodischen Übertragung auf Patienten mit einem SIS lassen sich spezifische Belastungskomponenten ermitteln zur Bestimmung eines geeigneten Interventionsprogrammes für die eigene Studie. Die nachfolgende Tabelle fasst die Belastungskomponenten anhand der vorliegenden kumulierten Studien für Patienten mit einem SIS zusammen (siehe Tab. 6).

Tab. 6 Kumulierte Belastungskomponenten für eine Interventionstherapie bei Patienten mit einem SIS – Eigene Darstellung

Belastungskomponente	Ergebnisse aus den Studien	Quellenverweis
Trainingsintensität	Visuelle-Analog-Skala (VAS) während der Intervention → Keine Evidenz zur Einhaltung einer spezifischen Nummer auf der VAS oder NAS während der Aktivität	(MOSLEHI et al., 2021; STRUYF et al., 2013)
Trainingsdauer	3 Übungen zur Muskelkräftigung 3 Übungen zur Muskeldehnung <i>Gesamtdauer der Intervention = 30-45Minuten</i>	(CAMARGO et al., 2015; HOTTA et al., 2020; STRUYF et al., 2013)
Trainingsumfang	<i>1 bis 3 Einheiten wöchentlich</i> Tägliche Interventionen in Eigenregie. Dabei 1-mal wöchentlich Intervention unter Supervision	(AYTAR et al., 2015; STRUYF et al., 2013; TURGUT et al., 2017)
Interventionsdauer	<i>4 bis 12 Wochen</i>	(BAŞKURT et al., 2011; CAMARGO et al., 2015; DILEK et al., 2016; STRUYF et al., 2013)
Übungsauswahl	<i>Muskelkräftigung:</i> Fokus auf die Muskelreizsetzung der Rotatorenmanschette. Stabilisationsübung für das Schulterblatt. Hilfsmittel: Therra-Band <i>Muskeldehnung:</i> Codman Übung; Mobilisierung der Rotatorenmanschette, des Glenohumeralgelenks und des Schulterblattes. Hilfsmittel: Therra-Band	(MOSLEHI et al., 2021; STRUYF et al., 2013; TURGUT et al., 2017)

3.3.3.5 Einbezug weiterer Faktoren in der konservativen Therapie für Patienten mit einem subacromialen-Impingement-Syndrom

Neben den Hauptkriterien für die Interventionsplanung einer konservativen Therapie für Patienten mit einem SIS, spielen weitere Faktoren eine Rolle, die aus den Erkenntnissen vergangener Studien hervorgegangen sind.

Angeleitetes Training und Feedback:

Aus der Studie von Eliason et. al, Ferlito et. al und Moslehi et. al wurden die Auswirkungen von taktischem und verbalem Feedback während der Interventionsdurchführung bei Patienten mit einem SIS oder SAPS ausgewertet (ELIASON et al., 2021; FERLITO et al., 2023; MOSLEHI et al., 2021). Aus den Daten hat sich ergeben, dass eine unter Anleitung geführte Durchführung einer Intervention positive Auswirkungen auf die Schmerzreduktion, die Funktion der Schulter und die Beweglichkeit des Schulterblattes der Patienten hat. Die Kräftigung des Schulterblattes führte zudem zu einer verbesserten Außenrotation. Die Untersuchung nach Liaghat et. al weist hingegen der vorherigen Aussage keinen signifikanten Mehrwert eines angeleiteten Trainings gegenüber eines in Eigenregie strukturierten Training auf (LIAGHAT et al., 2021). Ein psychologischer Vorteil für den Patienten oder die Auswirkung auf die Übungsausführung durch Fachpersonal wurde nach heutigem Kenntnisstand nicht untersucht.

Bewegungsdurchführung im Vergleich zur manuellen Therapie:

Aus der Studie von Moezy et. al ergibt sich die Schlussfolgerung, dass bei Patienten mit einem SIS die Durchführung von Bewegungsübungen signifikante Verbesserungen in Bezug auf die Funktion der Schulter gegenüber einer Behandlung nach manueller Therapie hervorbringt. In Bezug auf das Schmerzempfinden konnten in diesem Hinblick keine signifikanten Veränderungen zwischen den beiden Interventionsverfahren festgestellt werden (MOEZY et al., 2014). Saltychev et. al priorisieren die Durchführung körperlicher Aktivität bei SIS Patienten der Stufe I und Stufe II (SALTYCHEV et al., 2015).

Übungen zur Stabilisation des Schulterblattes:

In weiteren Untersuchungen wurde geprüft, ob gezielte Übungen zur Kräftigung und Stabilisation des Schulterblattes einen signifikanten Mehrwert zur Schmerzreduktion oder Funktionsverbesserung bei SIS-Patienten beitragen. Die Durchführung von Übungen zur Schulterblatt-Stabilisation weisen in Bezug auf eine Kontrollgruppe signifikante Verbesserungen zur Schmerzreduktion und Funktionsverbesserung der Schulter auf (STRUYF et al., 2013). Der Einbezug von gezielten Übungen zur Schulterblatt-Stabilisation bringt jedoch keinen signifikanten Mehrwert gegenüber allgemeinen Mobilitäts- oder Kräftigungsübungen im Schultergelenk oder Schultergürtel hervor (TURGUT et al., 2017). Nach diesen Aussagen ist festzuhalten, dass körperliche Aktivität im Allgemeinen positive Veränderungen auf das Schmerzempfinden und den Funktionszustand für Patienten mit einem SIS mit sich bringen.

3.3.3.6 Biokinematik

Die Erkenntnisse der Biokinematik im nachfolgenden Kapitel beruhen auf den kumulierten Forschungsergebnissen von Walter Packi, der zwischen 1983 und 2005 an dem Zusammenhang zwischen Schmerzbewusstsein und der Bewegung des Menschen forschte. Die vorgestellten Informationen beruhen auf dem aktuellen Stand, der von Packi vor seinem Ableben zusammengetragen worden ist. Ich

danke in diesem Zusammenhang der Familie Packi für die Bereitstellung der Forschungsdaten von Walter Packi zum Zwecke dieser Forschungsarbeit. Packis Theorie wird gezielt vorgestellt, da die Methodik der Biokinematik in der therapeutischen Anwendung für diese Forschungsarbeit entscheidend ist. Packi entwickelte die Therapie der Biokinematik nicht in Zusammenarbeit mit einer Universität, sondern in seiner praktischen Tätigkeit als Allgemeinmediziner.

Der Begriff Biokinematik setzt sich zusammen aus den Begriffen der Kinematik, also der Geometrie bewegter Körper und der Kybernetik, als Lehre der wesentlichen Eigenschaften von dynamischen Systemen (PACKI, 2016). Die Grundlagen der Kinematik definieren die Lehre der Bewegung. Sie betrachtet die Bewegungsgesetze unabhängig vom Begriff der Kraft und weiteren sonstigen dynamischen Vorstellungen. Die Abspaltung zur ursprünglichen geometrischen Bewegungslehre geht auf A.M. Ampère aus dem Jahre 1834 zurück (A.M., 1834). Die Grundlagen der Kinematik dienten Packi als Forschungsgrundlage für die daraus resultierende Entwicklung der Biokinematik (BURMESTER, 1888). Dieser Begriff beschreibt den Zusammenhang von natürlichen Gesetzen auf das biologische System Mensch. Die Bewegungsgesetze werden üblicherweise mit den mathematischen Kenntnissen der Kinematik beschrieben. Diese Kenntnisse beziehen sich jedoch auf unbelebte, technische Komponenten, wie ein Fahrrad oder ein Flugzeug. Im Gegensatz zu unbelebten Gegenständen, besteht das biologische System des Menschen aus Materie, die lebt und sich selbstständig permanent erneuert. Die Gesetzmäßigkeiten technischer, nicht lebender Objekte, sind nicht gleichwertig auf biologische, lebende Subjekte, übertragbar. Der Mensch unterliegt den Gesetzen der Biokinematik und nicht nur der Kinematik. In der Natur existieren keine Kreisbewegungen, da sie energetisch instabil sind (PACKI, 2016). Ein Rad kann jedoch nur unter permanenter externer Energiezuführung wirken und macht biologisch keinen Sinn. Ein Rad und weitere technische Komponenten können durch Abrieb verschleifen und dadurch beschädigt werden. Wenn es im menschlichen Körper keinen Verschleiß gibt, kann dieser auch nicht als Schmerzsache in Frage kommen. Für Packi gehört zu jedem Schmerz ein funktionsgestörter Muskel. Um Bewegungsvorgänge zu verstehen, müssen die Gesetze der Kinematik, Physik und Anatomie verstanden werden (PACKI, 2016).

Kinematische Grundlagen:

Der menschliche Körper hat sich im Verlauf der Evolution, als ein in sich geschlossenes und logisches System entwickelt, um sich in der Umwelt optimal zu bewegen. Im Laufe der Evolution haben sich biologische Bauteile angepasst, die im Körper bestimmte Aufgabe übernehmen: Dort, wo Druckkräfte auftreten, finden sich druckfeste Bauelemente, wie Knochen und Knorpel, dort, wo Zugkräfte auftreten, finden sich zugfeste Elemente, wie Bänder, Sehnen und Muskeln. Gelenke sind primär kraftfrei. Um diesen Zusammenhang näher zu verstehen, bedarf es des Verständnisses der allgemeinen Bewegungsgesetze.

Eine allgemeine Bewegung setzt sich aus Translation und Rotation zusammen. Die Bewegung ist dann eine unendlich kleine Drehung um einen Mittelpunkt und eine unendlich kleine Verschiebung in sich

selbst. Diese Herleitung beruht auf dem zweiten Newton'schen Axiom. Sowohl Kraft als auch Bewegung lässt sich demnach in eine rotatorische und translatorische Komponente zerlegen. Im menschlichen Körper wird sich niemals eine rein kreisförmige oder eine rein geradlinige Bewegung vorfinden lassen (PACKI, 2016). Für die Gesetzmäßigkeit einer Bewegung lassen sich nur allgemeingültige Regeln aufstellen, wenn die Bewegung selbst gesetzmäßig erfolgt. Dies bedeutet, dass eine Bewegung eines Körperteils in stets identischen Bahnen hin- und rückbewegt wird, die Bewegung durch die beteiligten Elemente zustande kommt oder durch äußere Faktoren veränderbar wird bzw. von deren Kontrolle abhängt. Ob die Bewegung aus der Willkürkontrolle erfolgt oder passiv unbewusst durchgeführt wird, hat auf den Bewegungsablauf keine Auswirkung. Die Gelenkbewegung oder auch die Bewegung zweier Knochen zueinander findet gesetzmäßig statt.

Zur näheren Erläuterung der Gesetzmäßigkeiten einer Bewegung wird auf den Begriff der kinematischen Ketten eingegangen. Als eine kinematische Kette wird eine Verbindung von mindestens zwei bis unendlich viele miteinander verbundenen starren Gliedern bezeichnet. Das Vorliegen unterschiedlicher Längen dieser Glieder ist dabei ebenso möglich. Kinematische Ketten werden in offene und geschlossene Ketten unterteilt. Eine offene Kette liegt vor, sobald ein Elementpaar einer Kette gelöst wird. Nur geschlossene Ketten haben die Möglichkeit Kräfte und Bewegungen zu übertragen (HAGEDORN, 2009) (REULEAUX, 1875). Im menschlichen Körper findet man eine offene kinematische Kette, wenn die Betrachtung nur die Knochen einbeziehen würde. Durch die Einbindung von Funktionselementen, wie Muskeln und Bänder, findet sich für jede Bewegung eine geschlossene kinematische Kette (PACKI, 2016). Als ein kinematisches Element bezeichnet man die Gesamtheit aller Oberflächenteile eines festen Körpers, der während einer Bewegung mit einem anderen festen Körper in Berührung kommt. Die beiden zusammengehörigen Elemente dieses Körpers bilden ein Elementpaar (BURMESTER, 1888). Reuleaux unterteilte die Elementpaare in höhere und niedere Elementpaare (REULEAUX, 1875). Niedere Elementpaare sind Gelenkpartner mit einer kongruenten geometrischen Struktur. Als Beispiel führt Packi für ein niederes Elementpaar die Hüftprothese an. Bei dem Einsetzen der Hüftprothese gleitet eine Kugel in eine Hohlkugel (PACKI, 2016). Niedere Elementpaare weisen eine geringere Materialbelastung auf, aber eine hohe Reibung durch viele Berührungspunkte. Bei niederen zwangsläufigen Elementpaaren folgt keine Änderung des Bewegungsvorganges, wenn die Bewegung umgekehrt wird (BURMESTER, 1888). Dem gegenüber steht das höhere Elementpaar, welches dadurch definiert ist, dass die geometrische Form der Gelenkpartner unterschiedlich ist, wie es bei einem Kugellager der Fall ist. Höhere Elementpaare berühren einander punktförmig oder in besonderen Fällen linienförmig. Es findet bei höheren Elementpaaren eine geringere Reibung statt, aber die Materialbelastung ist hoch. Charakteristisch für höhere Elementpaare ist, dass die Bewegung der zugehörigen Elementpunkte stets verschieden ist, da die Bewegungen unterschiedliche Bahnen verlaufen. Für höhere Elementpaare kann keine Systematik erstellt werden (BURMESTER, 1888). Biologische Gelenke sind immer höhere Elementpaare. Ein physisch ausgebildeter Mechanismus gibt durch seine Längen- und Winkelverhältnisse seiner Bauelemente die Bewegungen exakt vor. Bei ei-

nem Viergelenkmechanismus bestimmten die Längen- und Winkelverhältnissen der einzelnen Stangen, welche Richtung die bewegte Ebene nimmt. Im Gegensatz zum menschlichen Körper ist es bei maschinellen Apparaturen einfacher eine Bewegung zu erfassen. Bei Maschinenbauteilen lassen sich Bewegungen exakt definieren, da die Dimensionen der beteiligten Elemente konstant bleiben und damit in Teilen um feste Drehpunkte kreisen. Für die weitere Ausarbeitung der Systematik einer Bewegung, folgt an dieser Stelle ein Hinweis auf die Grundlagenliteratur (PACKI, 2016).

Im menschlichen Körper ist die Muskulatur der einzig variable Anteil einer Bewegung. Die Muskulatur ist die einzige Struktur, die physikalisch Arbeit verrichten kann. Dabei kommt es zu einer Längenänderung unter Energieverbrauch. Die Bewegung des Menschen wird also durch eine sich ständig verändernde Systematik beeinflusst. Es ist also entscheidend herauszufinden, nach welcher Gesetzmäßigkeit sich die Bewegung im menschlichen Körper verändert (PACKI, 2016). Ein Bewegungsvorgang, auch wenn er veränderlich ist, kann nur nach geometrischen Gesetzmäßigkeiten erfolgen, die auf Translation und Rotation beruhen. Um die kinematischen Grundlagen einer biologischen Bewegung im menschlichen Körper zu verstehen, bedarf es folgenden Gedankengangs. An jeweils zwei Knochen, die sich relativ zueinander bewegen, inserieren an bestimmten Punkten Muskeln und Sehnen. Die Sehnen bleiben während einer Bewegung in Ausdehnung und Lokalisation konstant (PACKI, 2016). Eine Muskelfaser setzt sich aus einem kontraktilen und einem tendinösen Anteil zusammen. Der kontaktile Anteil ist in der Länge veränderlich, während der tendinöse Anteil in der Länge unveränderlich bleibt (PACKI, 2016).

Wenn bei einem Muskel die Winkel- und Längenverhältnisse vorgegeben sind, dann ist die Bewegungseinheit bestimmt. Die möglichen weiteren Muskeln, die Gelenklinie und die Gelenkbänder sind geometrisch festgelegt. Alle Bauteile sind voneinander abhängig. Wenn das System nachträglich verändert werden soll, dann müssen alle beteiligten Elemente verändert werden, damit das System funktioniert. Wenn nur ein Teil verändert wird, ohne das restliche System zu berücksichtigen, dann kommt es zwangsläufig zu einem Anpassungsdruck auf das veränderte Teil. Die biologischen Elemente passen sich immer notwendigerweise den einwirkenden Kräften an. Die Vererbung dieses Kräfteverhältnismusters wird a priori als etwas Abstraktes vererbt. Dieses abstrakte Kraftmuster modifiziert sich im Laufe der Zeit und wird als physische Erscheinung durch die biologischen Elemente sichtbar (PACKI, 2016).

Eigenschaften einer Bewegung:

Jede Bewegung, egal ob Technik oder Biologie, besteht aus drei Komponenten:

Bewegungsimpuls

Damit eine Bewegung durchgeführt werden kann, wird ein Kraftimpuls benötigt. Für die Tatsache, dass eine Bewegung durchgeführt werden kann, ist die Stärke des Kraftimpulses unerheblich. Ein Rad dreht, unabhängig von der Stärke des Kraftimpulses.

Bewegungsumfang (Amplitude)

Die Bewegungsamplitude definiert den potenziellen Bewegungsumfang auf einer festgelegten Bewegungsbahn. An der Schulter definiert dies am Beispiel der Abduktion den Bewegungsumfang von 0° bis 180°.

Bewegungsbahn (Geometrie)

Die Bewegungsbahn bezeichnet den Verlauf einer Raumkurve, an denen sich beispielhaft der Schwerpunkt eines starren Körpers bewegt. Die Bewegungsbahn wird bestimmt durch die geometrischen Strukturen eines Körpers (GOTTFRIED, 1966). Das Rad eines Fahrrads besitzt durch seinen Aufbau aus Nabe, Speichen und Felge einen festen Körper mit einer vorgegebenen Bahn. Es kommt zu einer Abweichung der Bewegungsbahn, sobald in der Struktur des Rades eine Störung, z.B. beim Entnehmen einer Speiche, vorliegt.

Der funktionelle, menschliche Bewegungsapparat besteht aus den Bauteilen: Knochen mit Gelenkoberflächen, Gelenkbändern und Muskeln. Zu einer vollständigen Bewegungseinheit werden mindestens zwei Knochen, ein Gelenkband und zwei Muskeln benötigt. Diese werden in der embryonalen Entwicklung geometrisch genau aufeinander abgestimmt und zueinander passend im Wachstum entwickelt. Knochen und Bänder sind nicht-variable Anteile einer Bewegungseinheit. Sie übernehmen Zug- und Druckkräfte, werden bewegt, aber verrichten selbst keine Arbeit. Der einzig variable Anteil einer Bewegungseinheit ist der Muskel. Dieser verändert seine Form während der Bewegung, indem er aktiv verkürzt und somit seine geometrische Form ändert. Der Muskel besteht aus einzelnen Muskelfasern, die jeweils in eine unterschiedliche Richtung ziehen. Die innere geometrische Anordnung der einzelnen Muskelfasern bestimmt die Bahn der jeweils bewegten Knochen.

Die Muskelfasern sind bei jeder Einzelaktivität beansprucht und potenziell störanfällig. Im Rahmen einer Störung dieses System kommt es zur Veränderung der Bewegungsbahn, sodass Kraftfluss und Bewegungslauf nicht mehr zu den nicht veränderlichen Strukturen des Körpers passen, Schmerz entsteht (PACKI, 2016). Alle Umstände, die den geometrischen Verlauf einer Bewegung stören, kommen als Schmerzursache in Frage.

Schmerz ist ein Gedanke:

Unter dem vorangegangenen Kapitel (siehe Kapitel 3.2.3) wurde bereits der Begriff des Schmerzes nach den wissenschaftlichen Arbeiten nach Mense (MENSE, 2021) erläutert und durch die Arbeiten von Park (PARK et al., 2020) und Dhillon (DHILLON, 2019) mit dem SIS in Verbindung gebracht. Packi kritisiert die 1994 verfasste Definition des Schmerzes und stellt die daraus resultierenden Therapieverfahren zur Reduktion des Schmerzes in Frage.

Üblicherweise wird eine Schmerzerscheinung für sich allein betrachtet und bekämpft. Dadurch haben sich hunderte Formen des Schmerzes ergeben, die sich in der heutigen Zeit in 150 verschiedene Kopfschmerzen, Nervenschmerzen, Knochen- und Gelenkschmerzen und viele mehr unterteilen lassen. Im

Mangel einer wissenschaftlichen Schmerzdefinition, wird ein Schmerz topografisch beschrieben, mit der Folge einer Vielzahl an therapeutischen Maßnahmen. Mittels des technischen Fortschritts (Bildgebung, Molekularbiologie, Mikroskopie) können heutzutage anatomische Details bis in den Molekularbereich dargestellt werden. Auch physiologische und biochemische Vorgänge lassen sich mit der heutigen Technik betrachten. Die Schmerztherapie ist trotz dieser Entwicklung nur schleppend vorangekommen und führt bis zum heutigen Tag zu keiner einheitlichen Therapie. Therapiert wird der Patient bei Schmerzen z.B. durch Medikation, Operation, physikalischer Therapie, Psychotherapie oder einer Kombination dieser. Die Vielzahl von Millionen chronischen Schmerzpatienten zeigt, dass diese Therapien und die wissenschaftlichen Kenntnisse über den Schmerz noch unzureichend sind, eine einheitliche Schmerztherapie mit schlüssigen Theorien fehlt (PACKI, 2016).

Wenn Schmerz entsteht, ist im Körper etwas vorgefallen. Schmerz wird erst zum Schmerz, wenn ein Bewusstsein vorhanden ist. Im Rahmen einer Bewusstlosigkeit wird Schmerz nicht gespürt. Der Schmerzprozess besteht nach Packi aus zwei Vorgängen: Zum einen bedarf es einer Störung der Bewegungsbahn und zum anderen deren bewusster Verarbeitung. Die Bewusstseinsprozesse sind dabei abstrakte nichtmaterielle Gedankenvorgänge, während die körperliche Veränderung materiellen Realitäten entspricht. Der Schmerz wird somit zu einer Abstraktion einer materiellen Veränderung des physischen Körpers. Schmerzen sind nach Packi von Bewegung abhängig. Schmerz kann durch Bewegung verstärkt oder Immobilisierung abgeschwächt werden. Wenn also Bewegungen den Schmerz verstärken können, muss gefragt werden, was an der Bewegung falsch ist? Schmerz ist demnach eine kranke Bewegung (PACKI, 2016).

Bei einer Bewegung kontrahiert der Gesamtteil aller Fasern des aktiven Muskels, während der antagonistische Anteil aller Muskelfasern gleichsinnig verlängert wird. Theoretisch kann ein Muskel jederzeit ungestört verkürzen. Tritt aber während der Kontraktion des aktiven Muskels in seinem Antagonisten eine innere geometrische Störung auf, wird der dadurch bewegte Knochen nicht wie vorgesehen geführt, es kommt zu einer Bahnabweichung (PACKI, 2016). Wird beispielhaft ein Gegenstand in die Hand genommen und der Ellenbogen gebeugt, kontrahiert als Teil einer Muskelkette der M. biceps brachii, während der M. trizeps brachii verlängert. Bei einer Bewegung wird immer der jeweils stärkste aktiv kontrahierende Muskel, in diesem Fall der M. biceps brachii, wahrgenommen. Der antagonistische Anteil (M. triceps brachii) wird unbewusst geregelt. Die Wahrnehmung konzentriert sich immer auf den Teil einer Kette mit der besten Funktion, weil dort die Kraft der Kette reguliert wird (PACKI, 2016). Schmerz wird innerhalb einer Muskelkette immer dort wahrgenommen, wo die größte Kraft generiert wird. Dem passiven, nicht bewusst wahrgenommenen Muskel wohnt die Schmerzursache inne, während der aktiv kontrahierende Teil der Muskulatur als schmerzhaft wahrgenommen wird, um einen mechanischen Schaden am bewegungsgestörten Antagonisten zu verhindern. Schmerz und Schmerzursache sind immer räumlich getrennt. Eine Therapie am Ort des Schmerzes ist demnach nicht zielgerichtet (PACKI, 2016).

Als Schmerzsache kommen jegliche Umstände infrage, die auf die geometrisch relevanten Strukturen eines Muskels einwirken und diese verändern können. Ein gestörter Muskel wirkt nur dann schmerzverursachend, wenn er rekrutiert wird. Der Körper verfügt über alternative Bewegungsmuster, die eingesetzt werden können, sobald eine gestörte Bewegung vorliegt. Eine Einschränkung der Bewegungsamplitude ist im Gegensatz zur Störung einer Bewegungsbahn für die Schmerztherapie nicht von Bedeutung. Eine Erhöhung des Bewegungsumfanges hat auf die geometrische Bahn keinen Einfluss. Bei der Innervation eines Muskels werden alle Fasern gleichzeitig aktiviert und führen zu einer gezielten Bewegung. Die innere geometrische Anordnung der Muskelfasern bestimmt die Bahn der bewegten Knochen. Während einer Bewegung kontrahiert der Muskel und erzeugt Kraft und Bewegung, indem die kontraktile Anteile, verkürzen und die geometrische Form des Muskels verändert wird. Der Muskel leistet Arbeit ($\text{Arbeit} = \text{Kraft} \cdot \text{Weg}$) (PACKI, 2016).

Therapie nach der Biokinematik:

Die Arbeit an der Muskulatur steht im Vordergrund für die Therapie der Biokinematik. Aus dem Aufbau des Skelettmuskels lassen sich Rückschlüsse ziehen, wo genau die Reize gesetzt werden müssen, um den Effekt einer Schmerzreduktion herbeiführen zu können (vgl. Abb. 10).

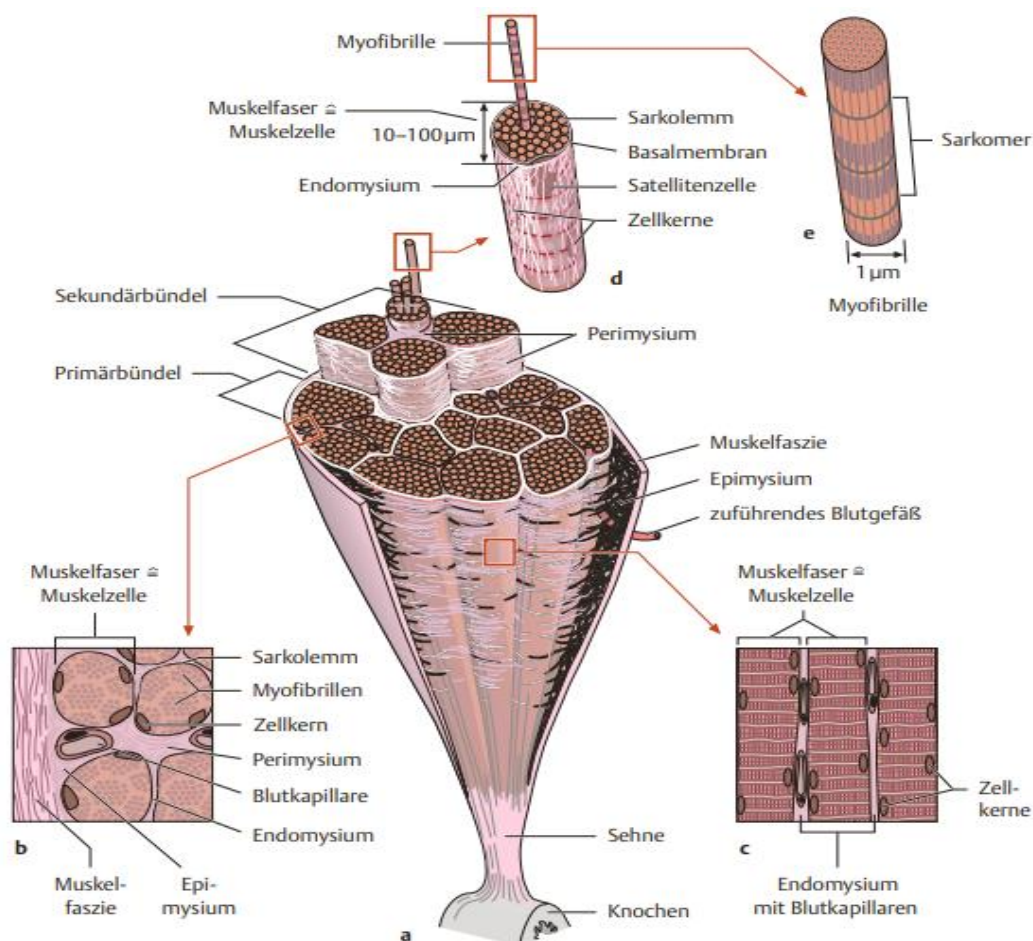


Abb. 10 Aufbau des Skelettmuskels – Abbildung entnommen aus (SCHÜNKE, 2018) – Illustrationen von M. Voll und K. Wesker

Ein Muskel ist aus verschiedenen Bauelementen aufgebaut. Die kontraktile Elemente der Muskelzelle, die Myofibrille, besteht aus einer Kette von Sarkomeren. Das Sarkomer enthält die Myofilamente Aktin und Myosin. Das Perimysium gilt als Bindegewebsstrang. Es fasst die Muskelfasern zu Bündeln zusammen. Dem Epimysium, welches als Verschiebespalt zwischen den Muskelfaserbündeln und der Faszie liegt. Das Epimysium weist gegenüber der Straffheit der Faszie eine lockere Struktur auf. Innerhalb der Sekundärbündel liegen Primärbündel, die eigentlichen Muskelzellen, von denen jede vom Endomysium umhüllt wird. Die Faszie ist als eine aus straffem Bindegewebe bestehende Umhüllung des Muskels zu verstehen. Die Gesamtheit dieser Bauelemente bildet einen Muskel (MENSE, 2021).

Das Aktin-Myosin-System ermöglicht ein bewusstes Kontrahieren der Muskulatur, bei dem die Myosin- und Aktin-Filamente gegeneinander gleiten und diesen Vorgang ständig Wiederholen. Die Filament-Gleit-Theorie nach Huxley und Hanson aus dem Jahre 1954 erklärt den Prozess der Muskelkontraktion (HUXLEY, HANSON, 1954).

In der Therapie der Biokinematik ist das Bindegewebe der Muskulatur das Zielorgan für eine effektive Schmerzbehandlung. Während das Aktin-Myosin-System aktiv und bewusst kontrolliert werden kann, entzieht sich das Bindegewebe der Bewusstseinskontrolle. Der Zustand des Bindegewebes kann nicht willkürlich in Form oder Funktion verändert werden (PACKI, 2016). Nach Packi ist das endomysiale System für die Entstehung von chronischen Bewegungsschmerzen verantwortlich. Das endomysiale System weist einige Eigenschaften auf, auf deren Kenntnis sich eine gezielte Schmerztherapie gründet. Die folgenden Ausführungen zum endomysialen System fassen den Wissenstand von Walter Packi zusammen: Demnach sind bei der Aktivierung des endomysialen Systems innerhalb eines Muskels isolierte, einzelne Faserstränge von ca. einem Millimeter Durchmesser zu ertasten. Diese Fasern können die Gesamtheit des Muskels durchlaufen. Der Muskel besteht aus der Summe seiner Einzelfasern. Die Regulation dieser Faser entzieht sich der bewussten Kontrolle. Es ist möglich, dass mehr als eine Einzelfaser ertastet werden kann. Eine pathologische Faserspannung kann z.B. durch eine Dehnüberlastung des betroffenen Muskels installiert werden. Packi geht davon aus, dass die biologische Funktion des Schmerzes darin besteht, den bewegungsgestörten Faseranteil eines Muskels vor der unkontrollierten Aktivität des Agonisten zu schützen (PACKI, 2016). Am Beispiel der Armflexion wird der M. biceps brachii als schmerzhaft wahrgenommen. Der bewegungsgestörte Faseranteil ist in der Muskulatur des M. triceps brachii zu ertasten. Die Armflexion wird durch Schmerz gehemmt, um den Faseranteil im M. triceps brachii zu schützen. Ist eine Faserspannung einmal durch eine Überdehnung installiert, bleibt diese Spannung so lange unverändert (selbst unter Narkose), bis diese durch Reizsetzungen an den Insertionsstellen der Faser aufgelöst wird. Packi beschreibt in seiner Theorie, dass an einer Insertionsstelle dieser Einzelfasern hypothetisch Messorganellen vorzufinden sind, welche den Funktionszustand der Faser kontrollieren. Im Falle einer Aktivierung sind diese Organellen am Insertionspunkt auf ca. ein bis zwei Millimeter angeschwollen und lassen sich palpatorisch tasten. Diese Verquellung kann sich auf mehrere Muskeln innerhalb einer Kette erstrecken. Mittels Reizsetzung an den Messorganellen verschwindet als zentrale Reizantwort die palpable Verquellung der Faser. Ein

Auflösen einer Faserspannung folgt einem zweistufigen Schwellenprozess und ist nicht kontinuierlich. Packi geht davon aus, dass ein reflektorischer Regulationsvorgang vorliegt (PACKI, 2016).

Das Therapieprinzip der Biokinematik sieht vor, an den palpablen Messorganellen einen Reiz zu setzen, der als Reizantwort des Gehirns den Spannungszustand der Faser auflöst. Die Reizsetzung kann über adäquate (natürlich) und inadäquate (unnatürlich) Methoden erfolgen. Unter den inadäquaten Methoden finden sich Injektionen eines Lokalanästhetikums, Akupunktur, thermische Reize oder auch Druckreize. Die Muskulatur muss selbst nicht belastet werden. Es reicht eine Reizsetzung an den Mechanorezeptoren, um eine Veränderung der Muskulatur herbeizuführen. Zum Verständnis fügt Packi als Metapher das Umhängen eines Eisbeutels an einem Thermostaten an. Die Simulation einer nicht existierenden Situation führt dazu, dass eine Änderung der Temperatur induziert wird. Stimulation der Mechanorezeptoren durch inadäquate Methoden (s.o.) kann entsprechend zu einer Veränderung der Muskulatur führen, ohne dass die Muskulatur mechanischen Reizen ausgesetzt werden muss (PACKI, 2016). Der Einsatz gezielter und geführter physiologischer Muskelaktivität fällt unter die adäquaten Methoden. Das Auflösen der Faserspannung führt zum Verschwinden des Schmerzes. Wenn eine Muskelkette betroffen ist, findet die Reizsetzung am Ende der Kette statt. Eine Reizsetzung inmitten der Kette führt lediglich zu einem vorübergehenden Erfolg. In der Praxis werden die einzelnen funktionsveränderten Fasern in der gesamten Kette nacheinander aufgesucht und korrigiert (PACKI, 2016). Packi empfiehlt vorrangig den Einsatz mechanischer Reize, da der Muskel einen mechanischen Apparat darstellt. Die Faserspannung bleibt nach dieser Reizsetzung so lange deinstalliert, bis ein erneuter Überdehnungsreiz eine neue Faserspannung reinstalliert.

Die Maßnahmen zur Auflösung der Faserspannung werden nachfolgend kurz erläutert:

Druckpunkttechnik:

Packi setzt zur Auflösung der Faserspannung mittels der Druckpunkttechnik voraus, dass an der Insertionsstelle der Muskulatur die palpable Verquellung ertastet und durch die Finger des Therapeuten ein bestimmter Druckreiz ausgelöst wird. Die Intensität des Druckreizes ist dabei weniger entscheidend als seiner Haltedauer. Es wird empfohlen den punktuellen Druck etwa 60 Sekunden aufrecht zu erhalten, bis die palpable Faserspannung spürbar verschwunden ist. Es sollte während der Ausübung des Druckes keine, auch nicht minimale Bewegung an der Druckstelle stattfinden, wobei der Druck selbst schmerzhaft empfunden werden kann. (PACKI, 2016). Die Fingerdruckpunkttechnik ist in keinem Zusammenhang mit den myofaszialen Triggerpunkten zu sehen.

Injektionstechnik:

Mit der Injektionstechnik werden die chemischen Eigenschaften des Lokalanästhetikums genutzt, um myofasziale Strukturen zu erreichen, die palpatorisch nicht oder schlecht erreichbar sind. Durch die Verteilung der Flüssigkeit im Gewebe, muss diese nicht direkt an der Messorganelle appliziert werden, da sich die Lösung verteilt und einen größeren Bereich abdeckt (PACKI, 2016).

Muskellängentraining:

Die natürlichste und effektivste Methode zur Auflösung der Faserspannung besteht in der Aktivierung der bewegungsgestörten Muskelkette. Ein Patient versucht eine schmerzhafte Bewegung zu vermeiden und weicht durch die Aktivierung anderer Muskeln in eine Schonhaltung aus, sobald eine schmerzhafte Bewegungsstörung vorliegt. In der Therapie wird der Muskel aktiv in die Auslängung gebracht, die er schmerzfrei freiwillig zu leisten bereit ist und aus dieser Position zu maximaler Haltearbeit (ohne jede Verkürzung) angeleitet. Dadurch kommt es zu einer Auflösung der Spannung des endomysialen Bindegewebes der so belasteten Muskulatur, die Bewegung wird frei. Der Organismus passt sich der geforderten Belastung an (PACKI, 2016).

Durch das Auflösen der Faserspannung, wird ein Umbauprozess in Gang gesetzt, der dem Muskel wieder die freie Verfügbarkeit der Bewegungsamplitude ermöglicht. Dieser Umbauprozess kann nur vom Patienten selbst durchgeführt werden (PACKI, 2016). Muskellängentraining unterscheidet sich vom Dehnen, indem Muskelketten in ihrer Gesamtheit gezielt rekrutiert werden. Dieses Prinzip lässt sich auf jede Muskelkette im gesamten Körper anwenden. Dabei können auch externe Hilfsmittel mit in den Prozess einbezogen werden. Diese Hilfsmittel unterstützen die bewusste Führung des Körpers in die Bewegung. Die Möglichkeit, die eigene Muskulatur und damit auch den Körper eigenständig und bewusst beeinflussen und umstrukturieren zu können, sodass jede Bewegung schmerzfrei durchgeführt werden kann, ist das Ziel der Biokinematik (PACKI, 2016).

In der medikamentösen Behandlung eines Schmerzes, muss zwischen Hypnotika und Analgetika unterschieden werden. Die Analgetika beeinflussen die Schmerzintensität, solange sich der Wirkstoff im Organismus befindet. Die Kontrolle über die Willkürmuskulatur bleibt erhalten. Bewegungen können über diesen Zeitraum schmerzärmer durchgeführt werden. In diesem Falle sind die Reizschwellen der Muskulatur angehoben, sodass die Hemmschwelle des Patienten zur Durchführung einer zuvor schmerzhaften Bewegung herabgesetzt wird. Die Einnahme von Analgetika kann somit als unterstützende Maßnahme für den Zeitraum der Therapie einbezogen werden. Die Einnahme von Hypnotika (Opiate und deren Analoga) hingegen führt zu einer Veränderung der bewussten Wahrnehmung des eigenen Körpers. Der Körper ist von der reziproken Kontrolle entkoppelt. Bei der Einnahme von Hypnotika ist der Schmerz immer noch vorhanden, wird aber anders bewusst wahrgenommen. Der Einsatz von Hypnotika verändert die Wahrnehmung der Reizschwelle und stört in diesem Sinne die Therapie. Eine Abstinenz von Hypnotika von mindestens fünf Tagen gilt als Voraussetzung zur Anwendung der Biokinematik (PACKI, 2016).

Packi führt verschiedene Begründungen für ein Therapieversagen der Biokinematik auf. Bestimmte Muskelgruppen sind für die Palpation schwer zugänglich. Dies betrifft unter anderem die Muskulatur im Brustraum. Die Alternative besteht in der Durchführung assistierter Beübung, mit dem Ziel eine Reduktion des Schmerzes herbeizuführen (Längentraining). Voraussetzung dafür sind Durchhaltevermögen und Motivation von Patient und Therapeut. Anatomische und funktionelle Kenntnisse über den

menschlichen Körper sind Grundvoraussetzung für einen geeigneten Therapeuten der Biokinetik. Weiter sind extreme in die Kraft trainierte Patienten (Bodybuilder, hypertroph trainierte Muskeln (M. rectus abdominis), Gewichtheber) kaum zu therapieren, da ihr erlerntes Trainingsprogramm ein Verkürzungs-/Krafttraining beinhaltet: das Gegenteil des notwendigen Längentrainings. Schließlich ist bei extrem adipösen Patienten der palpatorische Zugang zur gestörten Muskelkette erschwert bis unmöglich (PACKI, 2016).

Packi betont, dass die Biokinetik die klassische Medizin weder revolutioniert noch entwertet. Sie ergänzt die etablierten therapeutischen Verfahren mit einem genaueren Blick auf die Funktion der Muskulatur. In der heutigen Arbeitswelt wird Schmerz, sofern dieser im Alltag keine maßgebliche Einschränkung mit sich bringt, in den Hintergrund gerückt. Die Verdrängung des Schmerzes und das Verweigern der Konfrontation mit dem Schmerz, birgt die Gefahr zur Entwicklung von unterschwelligem Ängsten bis hin zu depressiven Zuständen. „Eine erfolgreiche Schmerztherapie bedingt, daß der Patient aus seiner passiven Haltung herauskommt und lernt, seinen Körper als etwas zu betrachten, was man gezielt und nahezu beliebig aktiv verändern kann“ (PACKI, 2016).

3.3.3.7 Weitere konservative therapeutische Methoden zur Funktionsverbesserung und Schmerzreduktion der Schulter bei SIS-Patienten

Zur Vervollständigung der Übersicht der bekannten Ergebnisse von verschiedenen therapeutischen Maßnahmen wird in diesem Abschnitt kurz auf die weiteren methodischen Verfahren zur Funktionsverbesserung der Schulter und einer Reduktion des Schmerzempfindens bei SIS-Patienten eingegangen. Die aufgezeigten Ergebnisse erfolgen nach dem jetzigen Kenntnisstand.

Elektro-Therapie:

Der Einsatz von Interferenzstrom in der postoperativen Phase findet bei verschiedenen therapeutischen Maßnahmen statt. Die Studie von Ucurum et. al untersuchte 2018 die Auswirkungen einer Reizstromtherapie gegenüber den Ergebnissen durch körperliche Aktivität bei SIS-Patienten (GUNAY UCURUM et al., 2018). Die Studie hat ergeben, dass beide Gruppen jeweils signifikante Ergebnisse auf das Schmerzempfinden aufweisen. Ein signifikanter Mehrwert einer Überlegenheit zwischen den Methoden konnte nicht festgestellt werden. Ucurum et. al. stellten fest, dass das mentale Wohlbefinden durch den Einsatz von Interferenzstrom positiv begünstigt worden ist.

Ultraschall & Hyperthermie:

Eine therapeutische Anwendung mit Ultraschall hat nach jetzigem Kenntnisstand keinen signifikanten Mehrwert für die Verbesserung des Schmerzempfindens oder der Verbesserung der Schulterfunktion bei SIS-Patienten oder Patienten mit einem SAPS (DONG et al., 2015). Im Vergleich zur Ultraschalltherapie oder Durchführung von körperlicher Aktivität weist der Einsatz von Hyperthermie eine kurzfristige Verbesserung des Schmerzempfindens und einer Funktionsverbesserung der Schulter auf (DONG et al., 2015; GEBREMARIAM et al., 2014).

Subacromiale-Injektionstherapie:

Der Einsatz einer subacromialen Injektion verschiedener Wirkstoffe führt bei einem kurzfristigen Injektionsintervall zu einer kurzfristigen Symptomreduktion bei SIS-Patienten (DVSE, 2021). Bei der Auswahl des Injektionsportals zeigte sich kein Portal den Anderen signifikant überlegen (OGBEIVOR, 2019). Es liegen nicht genügend Studien vor, um bestimmen zu können, ob Injektionen mit nicht-steroidalen Antiphlogistika Injektionen mit Corticosteroiden gleichwertig oder unter- und überlegen sind. Der Einsatz von Hyaluronsäure oder Placebo-Injektionen hat sich hingegen als klinisch unterlegen herausgestellt (PENNING et al., 2012). Die höhere Dosierung von Injektionen mit Corticosteroiden führte zu keiner signifikanten Verbesserung gegenüber einer geringeren Dosis (SUMANONT et al., 2018). Die Therapie mit Cortison-Injektionen zeigte sich nur im kurzfristigen Vergleich einer Bewegungstherapie bezüglich des Schmerzempfindens überlegen. Ein langfristiger Effekt zur Schmerzreduktion bei Patienten mit einem SIS bleibt aus (BURGER et al., 2016).

Tape-Behandlung

Aus der Studienlage lassen sich keine Empfehlungen für eine Schmerztherapie durch den Einsatz von Tape im Bereich des Schultergelenks oder des Schultergürtels ableiten. Kurzfristige Verbesserungen der Schulterfunktion und einer Reduktion des Schmerzes konnten in einigen Studien vereinzelt beobachtet werden (STEURI et al., 2017)

Aus den vorliegenden Ergebnissen der weiteren Therapiemaßnahmen lässt sich feststellen, dass die beschriebenen Methodiken keinen langfristigen Therapieerfolg zur Funktionsverbesserung der Schulter oder eine langfristige Schmerzreduktion herbeiführen. Die Auswahl der verschiedenen Therapiemethoden für die eigene Studie inkludiert somit die Methoden mit dem größten Potenzial einer dauerhaften Schmerzreduktion und Funktionsverbesserung der Schulter.

4 Methodik

Aus den kumulierten Ergebnissen (siehe Tab. 6) für einen experimentellen Versuchsaufbau eines Interventionsprogrammes für Patienten mit einem diagnostizierten Schulter-Impingement-Syndrom lässt sich eine Struktur für die eigene Studie ableiten. Das folgende Kapitel umfasst den Aufbau des eigenen explorativen Forschungsansatzes.

4.1 Vorbereitung

Der Aufbau der eigenen Interventionsstudie orientiert sich an den Vergleichsstudien der vergangenen Jahre für Patienten mit einem SIS. Die zusätzliche Implementierung der Biokinetik in den Therapieprozess ergibt einen im eigenen Rahmen realistisch umsetzbaren Überblick über die Belastungskomponenten für den Interventionsaufbau (siehe Tab. 7).

Tab. 7 Übersicht über die Belastungskomponenten für den strukturellen Ablauf der eigenen Intervention für Patienten mit einem SIS (Eigene Darstellung)

Belastungskomponente	Ergebnisse aus den Studien	Quellenverweis
Trainingsintensität	Nummerische-Analog-Skala zur Bestimmung der Belastungsintensität	(HILFIKER, 2010; MOSLEHI et al., 2021; STRUYF et al., 2013)
Trainingsdauer	Gesamtdauer der Intervention = 30-45Minuten	(CAMARGO et al., 2015; HOTTA et al., 2020; STRUYF et al., 2013)
Trainingsumfang	2 Einheiten wöchentlich	(AYTAR et al., 2015; STRUYF et al., 2013; TURGUT et al., 2017)
Interventionsdauer	8 Wochen	(BAŞKURT et al., 2011; CAMARGO et al., 2015; DILEK et al., 2016; STRUYF et al., 2013)
Übungsauswahl	<i>Muskelkräftigung und Muskeldehnung</i> Fokus auf die Muskelreizsetzung der Rotatorenmanschette. Stabilisationsübung für das Schulterblatt. Hilfsmittel: Therra-Band Mobilisierung der Rotatorenmanschette, des Glenohumeralgelenks und des Schulterblattes. Hilfsmittel: Therra-Band	(MOSLEHI et al., 2021; PACKI, 2016; STRUYF et al., 2013; TURGUT et al., 2017)

	Biokinetik Auflösung der Faserspannung durch adäquate Methoden Kontrollgruppe Codman Übung, Bewegungsübungen zur Entspannung des Muskeltonus	
--	--	--

Die zusammengefassten Faktoren aus Tab. 7 ergeben einen Rahmen, in welchem der Interventionsablauf für die Patienten angepasst wird. So ergeben sich für die Interventionen drei Gruppen, welche über einen Zeitraum von acht Wochen bei jeweils zwei angeleiteten Interventionen von je einer Dauer zwischen 30-45 Minuten vom Studienleiter betreut werden. Die nachfolgenden Kapitel stellen den Inhalt der einzelnen konservativen Interventionsmethoden im Detail dar.

4.1.1 Therapieinhalte für die Interventionsstudie mit SIS-Patienten

Zur Übersicht der einzelnen konservativen Therapieansätze werden die Belastungskomponenten und die dazugehörigen Hilfsmittel im Detail aufgeschlüsselt. Der Überblick soll einen unmissverständlichen Hintergrund zur praktischen Anwendung während des Interventionszeitraumes ermöglichen. Eine Bildergalerie zu den einzelnen Übungen sind im Anhang dieser Arbeit vorzufinden.

Muskelkräftigung und Muskeldehnung

Im Kapitel 3.1.4 wurden die beteiligten Muskelgruppen vorgestellt, die für die Bewegungen des Schultergelenkes verantwortlich sind (siehe Tab. 2). Eine Auswahl an Bewegungsreizen, die gezielt die Muskeln beanspruchen, welche in ihrer Bewegung eingeschränkt sind, werden als unabdingbar angesehen. In Bezug auf die vorgestellten klinischen Tests nach Painful Arc, Hawkins-Kennedy und Neer betrifft dieser Fall jene Muskeln, die für die Abduktion, Innenrotation und an einer Anteversion des Schultergelenkes beteiligt sind. Das Ziel dieser Gruppe ist die Rekrutierung der Muskeln, die einem Hypertrophiereiz der Muskulatur ausgesetzt sind und dem Muskel in der vollumfänglich zur Verfügung stehenden Bewegungsamplitude nutzen. Der gezielte Fokus auf Reizungen der Rotatorenmanschette und einer Reizung der umliegenden Muskeln des Schulterblattes zeigen positive, signifikante Einflüsse auf das subjektive Schmerzempfinden des Patienten und einer erweiterten Bewegungsamplitude bei Patienten mit einem SIS (BAŞKURT et al., 2011; MCCLURE et al., 2004; STRUYF et al., 2013). Die vorangegangenen Vergleichsstudien setzten bei der Übungsauswahl aus einer Mischung zwischen Eigengewichtsübungen, Übungen mit einem elastischen Widerstand in Form eines Thera Bandes oder Training an Maschinen mit Zusatzgewichten. In jedem Falle lag ein Widerstand gegenüber dem Schultergelenk vor. Ein signifikanter Vorteil eines bestimmten ausgewählten Widerstandes gegenüber den anderen gewählten Widerständen konnte nicht festgestellt werden (SHIRE et

al., 2017). Ebenso sind keine signifikanten Unterschiede in der Auswahl einer Übungsstrategie festzustellen. Nach Shire liegt dies an einer mangelnden Qualität der vorliegenden Vergleichsstudien für Patienten mit einem SIS. Der Hauptgrund liege in einer zu geringen Sample Size der einzelnen Studien. Demnach ist der Einbezug von Übungen, die gezielt eine Schulterblatt-Stabilisation anstreben gegenüber allgemeinen Muskelreizen im Bereich der Schulter mit entsprechenden Widerständen häufig (SHIRE et al., 2017).

Für den Ablauf der Intervention für die Muskeldehnung in Kombination mit einer Muskelkräftigung für SIS-Patienten im Rahmen dieser Studie ergibt sich folgender Rahmen:

Tab. 8 Vorstellungen der Übungsauswahl für die Interventionsgruppe Muskeldehnung und Muskelkräftigung - Eigene Darstellung

Übung	Zielmuskulatur	Hilfsmittel	Sätze	WH	Intensität (RPE-Skala*)
Übungen zur Muskeldehnung					
Außenrotation und Retroversion	M. pectoralis major M. supraspinatus M. deltoideus Pars acromialis M. biceps brachii M. coracobrachialis	Widerstandsband	2	60 Sekunden statisch	4-6 von 10
Muskeldehnung der Brustmuskulatur	M. pectoralis major M. supraspinatus M. deltoideus Pars acromialis M. biceps brachii	Widerstandsband	2	60 Sekunden statisch	4-6 von 10
Übungen zur Muskelkräftigung					
Retraktion mit vorangegangener Außenrotation	M. Trapezius M. teres minor M. infraspinatus	Kurzhanteln	2	8-15	4-6 von 10
Satellitenübung (BRINKMANN, 2021)	Rotatorenmanschette M. teres minor M. infraspinatus M. supraspinatus M. subscapularis	Kleiner Ball	2	8-15	4-6 von 10

	Schultergürtel M. deltoideus Pars acromialis M. deltoideus Pars spinalis M. coracobrachialis M. biceps brachii M. trizeps brachii				
Stehendes Rudern	M. teres major M. latissimus dorsi M. biceps brachii	Widerstandsband	2	8-15	4-6 von 10
Außenrotation	M. teres minor M. infraspinatus M. deltoideus pars spinalis M. biceps brachii	Widerstandsband	2	8-15	4-6 von 10
Aufwärtsrotation bei gebeugter 90° Stellung des Ellen- bogengelenkes	M. teres minor M. infraspinatus M. supraspinatus M. subscapularis M. deltoideus Pars spinalis M. latissimus dorsi	Widerstandsband	2	8-15	4-6 von 10

* Die RPE-Skala als visuelles Mittel zur Beschreibung der Belastungsintensität nach Borg (BORG, 1962)

Biokinematik

Der Ursprung zur Therapie nach Biokinematik wurde im Kapitel 3.3.3.6 ausführlich beschrieben. Der nachfolgende Absatz erläutert detailliert den Einsatz adäquater Methoden zur Auflösung der Faser-
spannung im endomysialen Gewebe in einer gestörten Kette als Ursache des Schmerzes am Beispiel
eines Patienten mit subacromialen Schulter-Impingement-Syndrom. Vorangestellt wurde immer eine
ausführliche Anamnese und Untersuchung durch einen Arzt.

Anamnese:

Während der Anamnese gilt es herauszufinden, ob beim Patienten Ereignisse stattgefunden haben, die
physische Traumata verursacht haben könnten. Diese Ereignisse können auch weit in der Vergangen-
heit des Patienten liegen. Weiterhin gilt es dem Patienten deutlich zu machen, dass die Schmerzursa-
che und der Ort des Schmerzes, in diesem Falle das Areal des Schultergelenkes, immer räumlich ge-
trennt sind (PACKI, 2016).

Palpation:

Bei der körperlichen Untersuchung wird das schmerzfrei mögliche Bewegungsausmaß der Schulter
und der HWS unter Anwendung der Neutral-Null-Methode erfasst, sowie die Funktion der ersten vier
Rippen. Die so detektierten funktionsgestörten Muskeln werden in der gesamten Kette auf tastbare
endomysiale Verquellungen durch Palpation untersucht und dokumentiert. Die Verquellungen/ Mess-

organellen finden sich in der Regel dort, wo Lastrichtungswechsel auftreten. Dies entspricht im Körper oft dem Muskel-Sehnen-Knochen-Übergang (PACKI, 2016). Die Verquellung ist druckschmerzhaft und teils nicht immer markant zu tasten, laut Packi bei muskelschwachen Menschen leichter. Gibt ein Patient während der Untersuchung des Bewegungsausmaßes multiple, nicht lokalisierbare Schmerzen an, liegen mehrere Störungen in verschiedenen Ketten parallel vor. Es gilt in diesem Falle jede Kette einzeln zu ertasten, bis alle Verquellungen lokalisiert werden können. Es muss stets unterschieden werden, ob eine Verletzung der Struktur zu ertasten ist oder eine Funktionsstörung eines Muskels vorliegt. Diese Differenzierung bedarf zwingend der Einschätzung eines Arztes (PACKI, 2016). Die Patienten dieser Studie wurden vorab vom Allgemeinmediziner umfangreich untersucht

Therapeutische Palpation (Fingerdrucktechnik):

Pathologische Spannungen des Endomysiums sind durch die Stimulation der zugehörigen Mechanorezeptoren auflösbar (PACKI, 2016). Die Therapie muss stets bis zum Ende der Muskelkette erfolgen, kann also mehrere Muskeln innerhalb einer Kette betreffen. Das Auflösen einer Spannung nur eines einzelnen Muskels innerhalb einer Muskelkette führt lediglich zum kurzfristig anhaltenden Erfolg. Dabei sind Druckrichtung, Druckintensität und die zeitliche Dauer entscheidend für das Auflösen der Verquellung. Setzt der behandelnde Arzt den Druck auf die Verquellung zu groß an, führt das zu einer Gegenreaktion des Patienten, durch Aufbau einer Gegenspannung (PACKI, 2016). Der Druck muss eine gewisse Zeit wirken. Als Orientierung wird von Packi ca. eine Minute angegeben, bis in einer zweistufigen Reaktion Spannung und Verquellung nachlassen. Die Druckausübung muss ohne Lageveränderung durchgeführt werden. Die Druckintensität wird subjektiv konstant gehalten. Der Patient nimmt ebenso das Nachlassen der pathologischen Muskelspannung wahr, wodurch im Idealfall die freie Beweglichkeit wieder hergestellt ist, der Muskel aber mindestens trainingsfähig geworden ist (PACKI, 2016).

Die Fingerdruckpunkttechnik gilt als reine passive Maßnahme zur Auflösung der pathologischen Faserspannung. Die Probanden der Studie führten zur Baseline und T1 ein Gespräch mit dem Arzt der Packi-Klinik, der zur Baseline die oben beschriebene Anamnese mit anschließender Palpation und Fingerdrucktechnik an jedem SIS-Patienten durchführte. Danach wurde der Patient im weiteren Verlauf an die Physiotherapeuten der Packi-Klinik übergeben. Erkannte der Arzt im Verlaufe des Gespräches in T1 eine neue Verquellung in einer Muskelkette, wurde der Vorgang wiederholt.

Damit der Patient nachhaltig die geometrische Störung des Bewegungsapparates aufheben kann, ist seine aktive Mitarbeit entscheidend. Durch assistierte Beübung der Gesamtheit der inkriminierten Muskelketten werden diese auf ihre normale Länge und Funktion gebracht. Die Hintergrundinformationen zum Muskellängentraining wurden bereits unter Kapitel 3.3.3.6 erläutert. Für den Abschnitt der Methodik werden die spezifischen Übungen für Patienten mit einem Schulter-Impingement-Syndrom (siehe Tab. 9) im Einzelnen vorgestellt. Die Übungsauswahl wird vom Arzt im Anschluss der Untersuchung individuell bestimmt. Die Übungen zum Muskellängentraining werden durch die Physiothe-

rapeuten der Packi-Klinik nach den Regeln der Biokinetik ausgeführt. Dabei wurde exakt derselbe Studienrahmen eingehalten (Vgl. Tab. 7), wie bei den anderen beiden Studiengruppen. Die Kontrolle der Einhaltung des Studienrahmens erfolgte durch Einzelgespräche des Studienleiters mit dem Klinikleiter, den Physiotherapeuten und den Patienten. Nach der achtwöchigen Intervention in der Klinik für Biokinetik war für die SIS-Patienten die Studie offiziell abgeschlossen und die Ergebnisse wurden ausführlich ausgewertet

**Tab. 9 Vorstellungen der Übungsauswahl für die Interventionsgruppe Biokinetik
- Eigene Darstellung**

Übung	Zielmuskulatur	Hilfsmittel	Sätze	WH	Intensität (RPE-Skala*)
Übungen zum Muskellängentraining					
Pectoralis Übung (PACKI, 2016)	M. pectoralis major	Widerstandsband kommt im Verlauf des Therapiezeit- raumes zur Belas- tungssteigerung zum Einsatz	2	60-90 Sek.	8-10 von 10
Flanke (PACKI, 2016)	M. obliquus ext. / int. Abdominis Mm. Intercostalissimi externi / interni begrenzt auf die ersten vier Rippen M. quadratus lumborum Oberkörper/Schulterregion: M. pectoralis major M. levator scapulae M. infraspinatus M. supraspinatus M. teres minor Kopf/Nacken: M. sternocleidomastoideus M. rectus capitis posterior major M. rectus capitis posterior minor M. obliquus capitis superior M. obliquus capitis inferior Mm. scaleni	Widerstandsband kommt im Verlauf des Therapiezeit- raumes zur Belas- tungssteigerung zum Einsatz	2	60-90 Sek.	8-10 von 10

Schulteraußenrotation an der Wand (PACKI, 2016)	Rotatorenmanschette M. teres minor M. infraspinatus M. supraspinatus M. subscapularis M. deltoideus pars spinalis M. biceps brachii	Wand	2	60-90 Sek.	8-10 von 10
Normalisierung des Bewegungsausmaßes der unteren HWS (PACKI, 2016)	M. obliquus capitis superior	Widerstandsband kommt im Verlauf des Therapiezeit- raumes zur Belas- tungssteigerung zum Einsatz	2	60-90 Sek.	8-10 von 10

* Die RPE-Skala als Visuelles Mittel zur Beschreibung der Belastungsintensität nach Borg (BORG, 1962)

Zusammengefasst lässt sich der Ablauf der Biokinematik also wie folgt darstellen:

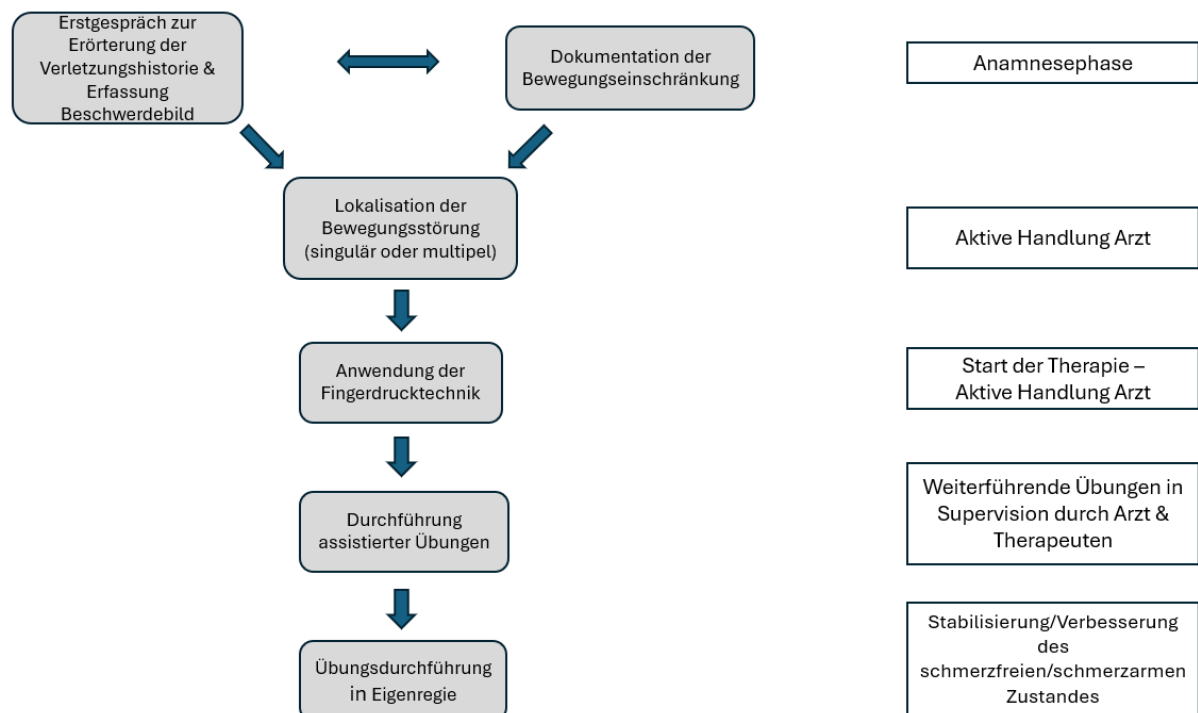


Abb. 11 Darstellung des Ablaufes einer Therapie mit der Biokinematik – Eigene Darstellung

Kontrollgruppe

Die dritte Interventionsgruppe stellt die Kontrollgruppe dar. Aus ethischer Sichtweise werden die Teilnehmer der Kontrollgruppe nicht vollständig unbehandelt über den Interventionszeitraum von acht Wochen begleitet. Statt einer gezielten Übungsauswahl zur Behandlung eines subacromialen Schulter-*Impingement*-Syndroms erhalten die Patienten dieser Gruppe Übungen zur allgemeinen Bewegung oberhalb der Gürtellinie. In keiner Vergleichsstudie konnten signifikante Verbesserungen zur Schmerzreduktion oder Verbesserung der Freiheitsgrade durch diese Übungen bei Patienten festgestellt werden, die an einem SIS leiden. Aus diesem Grunde werden die ausgewählten im vorgegebenen Rahmen der Studie (vgl. Tab. 7) für die Patienten der Kontrollgruppe angewendet. Das Aufrechterhalten der Motivation und das subjektive wahrgenommene Wohlbefinden des Patienten stehen bei dieser Intervention im Vordergrund. Das körperliche Aktivität positive Effekte auf die Stimmung des Patienten haben kann, wurde bereits in einigen Studien der vergangenen Jahre belegt (EKKEKAKIS, 2012). Außerdem werden in der Kontrollgruppe Übungen ausgewählt, bei der mittels eines Tennisballs die Faszie des Patienten in einer dynamischen Bewegung im Bereich des Schultergelenkes gereizt werden soll. Aus den vorangegangenen Kapiteln lässt sich schließen, dass die Reizsetzung inmitten einer Muskelkette lediglich zu einer kurzfristigen Schmerzreduktion und einer Verbesserung der Bewegung führt (PACKI, 2016). Auch gibt es zum jetzigen Zeitpunkt eine geringe Anzahl an randomisierten, kontrollierten Studien, die eine Verbindung von einem Rollen über die Faszien und der damit verbundenen Reduktion von Schmerzen belegen. Im Jahre 2022 untersuchte eine Gruppe aus Japan die Effekte vom Faszienrollen auf Hüftschmerzen (IKUTOMO et al., 2022). Die Effekte zur Beweglichkeit und der Schmerzreduktion waren vergleichbar mit den Effekten eines statischen Dehnens. Aus den Ergebnissen von Schönthaler haben sich kurzfristige Effekte einer Erweiterung der Bewegungsamplitude bei Dehnungsübungen ergeben (SCHÖNTHALER, 2002). Da kurzfristige Effekte einen positiven Einfluss auf das Wohlbefinden des Patienten haben können, wurden auch die dynamischen Bewegungen mit Einwirkung eines Reizes auf die beteiligte Faszie innerhalb der Übung in den Interventionsplan der Kontrollgruppe implementiert. Die nachfolgende Tabelle (vgl. Tab. 10) fasst den Interventionsablauf der Kontrollgruppe zusammen:

Tab. 10 Vorstellungen der Übungsauswahl für die Kontrollgruppe - Eigene Darstellung

Übung	Zielmuskulatur	Hilfsmittel	Sätze	WH	Intensität (RPE-Skala*)
Inklination und Reklination der Wirbelsäule mit dem Fokus auf die Brustwirbelsäule	M. pectoralis major M. supraspinatus M. deltoideus Pars acromialis M. latissimus dorsi M. trapezius	-	2	8-15	4-6 von 10
Lateralflexion der Halswirbelsäule	M. obliquus capitis superior	-	2	8-15	4-6 von 10
Armschwung nach dorsal und ventral bei Außenrotation und gestreckten Ellenbogen	M. pectoralis major M. supraspinatus M. deltoideus Pars clavicularis M. latissimus dorsi M. teres major	-	2	8-15	4-6 von 10
Pendelbewegung unilateral mit Außenrotation	M. teres minor M. infraspinatus M. deltoideus Pars spinalis	Kurzhantel zwischen 1 Kg bis 5 Kg	2	8-15	4-6 von 10
Übungen mit Druckreizsetzung in einer dynamischen Bewegung					
Abduktion unilateral an einer Wand mit Fixpunkt durch Ball am Ursprung des M. levator Scapulae	M. supraspinatus M. subscapularis M. deltoideus Pars acromialis	Tennisball	2	8-15	4-6 von 10
Außenrotation unilateral an einer Wand mit Fixpunkt durch Ball am Ansatz des M. pectoralis major	M. teres minor M. infraspinatus M. deltoideus Pars spinalis	Tennisball	2	8-15	4-6 von 10

* Die RPE-Skala als Visuelles Mittel zur Beschreibung der Belastungsintensität nach Borg (BORG, 1962)

Abschließend zu den Erläuterungen der einzelnen Interventionsmaßnahmen lässt sich anmerken, dass der Ablauf der Interventionen streng kontrolliert wird und Abweichungen des Interventionsrahmens (vgl. Tab. 7) nur in Absprache mit dem Studienleiter vorher zu besprechen sind.

4.1.2 Festlegen der Endpunkte

Bei Patienten mit einem SIS liegt nach den klinischen Tests (vgl. Kapitel 3.2.2) eine Einschränkung der Freiheitsgrade in der Abduktion (Painful-Arc-Test), Innenrotation bei 90° Beugung des Ellenbogens (Hawkins-Kennedy-Test) und der Anteversion (Neer-Test) vor. In den Bewegungen treten in bestimmten Winkelgraden subjektiv stark wahrgenommene Schmerzen auf, die vom Patienten verschieden, intensiv wahrgenommen werden. Das Ziel dieser Studie ist, dass die spezifischen Einschränkungen, die mit einem SIS einher gehen in der Baseline untersucht werden und im Verlauf des Interventionszeitraumes von acht Wochen in den drei Gruppen erfasst und in den jeweiligen Effekten miteinander verglichen werden. Der Patient mit einem SIS gilt als symptomfrei, sobald die Schulter uneingeschränkt und subjektiv schmerzfrei über die verschiedenen Körperachsen bewegen kann. Hierfür wird im zeitlichen Verlauf des Patienten die Baseline mit folgenden Outcomes als Ausgangspunkt angenommen:

Bewegungsamplitude:

Die Bewegungsamplitude gilt als primärer Endpunkt für die eigene Untersuchung. Die Bewegungsamplitude kann statistisch und objektiv exakt zu den verschiedenen Messzeitpunkten erfasst und mit den eigenen Werten und denen der anderen Patienten verglichen werden. Die Bewegungsamplitude wird nach der Neutral-Null-Methode vermessen und weicht mit einem klassischen Goniometer lediglich zwischen 8°-10° in den Vergleichsmessungen ab (KOLBER et al., 2012).

Schmerzamplitude:

Aus den Untersuchungen zum SIS lässt sich als Ergebnis festhalten, dass das Einsetzen des Schmerzes ab einem bestimmten Winkelgrad eintritt und bei Verlassen des Schmerzbereiches der Schmerz nachlässt oder gar verschwindet. Am Beispiel des Painful-Arc-Tests tritt dieser Schmerzwinkel in der Abduktion bei Patienten üblicherweise zwischen 60° und 120° auf (AMBOSS, 2022; PARK et al., 2005). Das Erweitern der Bewegungsamplitude kann in diesem Fall nicht als reiner Erfolg zur Befreiung der Symptomatik bei einem SIS angesehen werden, wenn eine Schmerzamplitude, diese beschreibt den Bereich zwischen dem Eintrittswinkel und Austrittswinkel des subjektiv wahrgenommenen Schmerzes, auch nach der Erweiterung der Bewegungsamplitude vorhanden bleibt. Als sekundärer Endpunkt für diese Studie wird also neben der Bewegungsamplitude auch die Schmerzamplitude zu den verschiedenen Messzeitpunkten der Patienten erfasst und soll Auskunft über den Erfolg der einzelnen konservativen Interventionsstrategien geben. Wie die Schmerzamplitude gemessen wird, ist unter Kapitel 4.2 einzusehen.

Schmerzintensität:

Als tertiärer Endpunkt wird für die Studie die Schmerzintensität im Bereich der Schmerzamplitude über die Numerische-Analog-Skala (NRS) ermittelt (HILFIKER, 2010). Die Schmerzintensität wird vom Patienten subjektiv selbst eingeschätzt und wird dementsprechend nicht so stark als Ergebnis

gewichtet, wie die objektiv vermessenen Daten der Bewegungs- und Schmerzamplitude. Die Schmerzintensität kann aber Auskunft über das Wohlbefinden des Patienten geben. Da das SIS eine Einschränkung der Lebensqualität im Alltag für die Patienten darstellen kann, soll über die Schmerzintensität der Zustand des Patienten der biopsychosozialen Faktoren ermittelt werden. Der Einfluss biopsychosozialer Faktoren für den erfolgreichen Abschluss einer Therapie für Patienten mit einem SIS wurde in der Studie von Park erläutert und soll dementsprechend auch Bedeutung in der eigenen Studie finden (PARK et al., 2020).

4.1.3 Formulierung der Hypothesen

Nach der Festlegung der verschiedenen Endpunkte lassen sich für die eigene Studie anhand der Fragestellung die Forschungshypothese und Nullhypothese formulieren. Es gibt bis zum Zeitpunkt der Studie keine offiziellen Messdaten, die die Wirksamkeit der Biokinematik auf das Beschwerdebild des subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms bestätigen. Die klinische Studie sammelt demnach Messwerte zur Prüfung der Wirksamkeit der Intervention durch die Biokinematik. Die weiteren konservativen Interventionsmaßnahmen, welche in der S2e-Leitlinie Schulter-Impingement zusammengefasst worden sind, bestätigen den Einfluss der konservativen Interventionen für das Krankheitsbild SIS. Die Formulierung der Hypothesen sieht demnach vorrangig vor deskriptiv Daten für die Biokinematik als explorativen Therapieansatz zu sammeln und im weiteren Verlauf durch die Formulierung der Hypothesen die Wirksamkeit der Biokinematik den bisherigen konservativen Behandlungsansätzen gegenüberzustellen.

Nullhypothese:

H₀: Die Erweiterung der Bewegungsamplitude und die Auswirkung auf die Funktionalität der Schulter durch die Anwendung der Biokinematik bei Patienten mit einem SIS ist gleich der erwarteten Erweiterung der Bewegungsamplitude durch herkömmliche konservative Behandlungsansätze.

Forschungshypothese:

H₁: Die Erweiterung der Bewegungsamplitude und die Auswirkung auf die Funktionalität der Schulter durch die Anwendung der Biokinematik bei Patienten mit einem SIS unterscheidet sich von der erwarteten Erweiterung der Bewegungsamplitude durch herkömmliche konservative Behandlungsansätze.

4.2 Messmethodik

Für die Messung von Beweglichkeitsanalysen haben sich in den vergangenen Jahren verschiedene Methoden validiert. Die Freiheitsgrade der einzelnen Gelenkstrukturen lassen sich entweder visuell schätzen oder mit einem Goniometer bemessen. Aus den Ergebnissen dieser Messmethoden haben sich jedoch genauso Kritikpunkte zur Reliabilität dieser Messungen gehäuft. Die visuelle Schätzung weist einen hohen Standardfehler auf (ABU-RAJAB, 2010) und die Goniometer-Messungen haben eine hohe Fehlerstreuung und sind abhängig vom Untersucher (LENSEN et al., 2007). Als Goldstan-

dard für Messverfahren gelten optische Verfahren. Durch den hohen Aufwand in der Durchführung eines optischen Verfahrens ist diese Messmethode in einer nicht-stationären Praxis ungeeignet. Einige Unternehmen haben aus diesem Grund Geräte entwickelt, die an die Messgenauigkeit eines optischen Verfahrens herankommen und validierte Messergebnisse liefern. Für die eigene Studie wird der Mobee®Med des Unternehmens Sportmed AG verwendet. Der Mobee®Med hat im Vergleich zum Optischen Verfahren eine 1% mittlere Abweichung, $r=.98$ (KRAUS et al., 2020). Das Gerät ist sensorgestützt, sodass die Messgenauigkeit der Winkelgrade bei ± 1 liegt (EWERT, VAN LOOCK, 2014). Die Messmethodik mit dem Mobee®Med wird für den Gebrauch in dieser Studie im nachfolgenden Kapitel vorgestellt.

4.2.1 Digitale Messung mit dem Mobee®Med

Der Mobee®Med kann als ein sensorbasiertes, softwaregestütztes Goniometer betrachtet werden. Die Software von Mobee® ermöglicht eine einfache Verwaltung und Anonymisierung der Patientendaten. So werden neue Patientendaten nach der Datenschutz-Grundverordnung in der Software unkenntlich gemacht. Dies hat auch den Vorteil, dass der Untersucher in der Messung selbst keinen Einblick auf die vorherigen Messdaten bekommt und somit verblindet wird. Die Software von Mobee® lässt aber nach Ablauf der Studie einen intraindividuellen Vergleich der Messdaten zu. Auf diesen Umstand wird im statistischen Teil dieser Studie, unter Kapitel 4.6 näher eingegangen.

Der Mobee®Med ermöglicht eine Vielzahl von Messungen der Freiheitsgrade der verschiedenen Gelenke des menschlichen Körpers. Für die Messung der Schulter stehen die Abduktion, die Innenrotation und die Anteversion, bei Mobee® als Flexion in der Schulter bezeichnet, als Messoption zur Verfügung. Mit diesen Bewegungsrichtungen können die für ein SIS relevanten klinischen Tests Painful Arc Test, Hawkins-Kennedy Test und der Neer Test digital bei jedem Patienten erfasst werden. Die Software bietet zudem die Möglichkeit eines intraindividuellen Vergleichs zwischen einer aktiven und passiven Bewegung und der optischen Darstellung der linken und rechten Schulter. Für die Messung der Freiheitsgrade benötigt der Untersucher die Hardware mit den Sensoren, die Software auf einem mobilen Endgerät, z.B. einem Laptop und einen Bluetooth Dongle zur Verbindung der Software und Hardware. In einem Editor der Software kann die Messung für das SIS vorab bestimmt werden und ist im weiteren Verlauf der Studie reproduzierbar. Eine Übersicht über die Auswahl der Struktur der Messung zeigt die nachfolgende Abbildung (vgl. Abb. 12).

	Gelenk	Bewegung	Seite	Art
1	Schulter	Abduktion-Adduktion	links	aktiv
2	Schulter	Abduktion-Adduktion	links	passiv
3	Schulter	Abduktion-Adduktion	rechts	aktiv
4	Schulter	Abduktion-Adduktion	rechts	passiv
5	Schulter	Außenrot.-Innenrot. (bei 90° /	links	aktiv
6	Schulter	Außenrot.-Innenrot. (bei 90° /	links	passiv
7	Schulter	Außenrot.-Innenrot. (bei 90° /	rechts	aktiv
8	Schulter	Außenrot.-Innenrot. (bei 90° /	rechts	passiv
9	Schulter	Extension-Flexion	links	aktiv
10	Schulter	Extension-Flexion	links	passiv
11	Schulter	Extension-Flexion	rechts	aktiv
12	Schulter	Extension-Flexion	rechts	passiv

Abb. 12 Auswahl der klinischen Tests zur Messung der Outcomes für Patienten mit einem subacromialen-Schulter-Impingement-Syndrom mit dem Mobee® Med – Bild entnommen aus Mobee®360 der Sportmed AG (EGEN, 2024)

Insgesamt enthält jede Messung eines Patienten zwölf Bewegungen. Die Messungen finden zuerst aktiv und dann im direkten Anschluss passiv statt. Unabhängig von der Seite mit dem SIS wird zuerst immer die linke Körperseite vermessen. Die Messung startet mit dem Painful Arc Test, gefolgt vom Hawkins-Kennedy Test und dem Neer Test.

Die Patientendaten werden vor der ersten Messung in der Software von Mobee® erfasst und im Anschluss anonymisiert. Vor dem Start der Messung werden die Patienten im Einzelgespräch über das Messverfahren aufgeklärt. Die Hardware mit dem Sensor wird nach Anweisung der Software auf Höhe des Ellenbogens, beim Painful Arc Test und Neer Test, oder des Unterarmes, beim Hawkins-Kennedy Test, befestigt. Der Patient wird das gesamte Messverfahren in eine sitzende Position gebracht, um mögliche Ausweichbewegungen über die Unterseite des Körpers zu reduzieren. Die Messungen finden in ihrer Gesamtheit nach der Neutral-Null-Methode (vgl. Kapitel 2.2.2.1) statt (PÄSSLER, 2012). Auf der Hardware des Sensors befindet sich ein optischer Knopf zum Starten und Beenden der Messung, welcher vom Untersucher betätigt wird. Die nachfolgende Beschreibung der Durchführung der klinischen Tests gibt einen kurzen Überblick über die Messung der Freiheitsgrade der Schulter.

Painful Arc Test:

Der Patient wird, auf einem Stuhl sitzend, möglichst nahe an einer Wand platziert. Der zu bemessende Arm wird direkt an der Hüfte, bei einer leichten Außenrotation, für den Start der Messung platziert. Die Abduktion wird bei andauerndem Kontakt der Hand zur Wand möglichst weit nach oben geführt. Das Kontakthalten zur Wand hat den Hintergrund, dass eine Ausweichbewegung des Patienten nach vorne, während der Messung nicht stattfinden kann und die Bewegung reproduzierbar bleibt. Hat der Patient in der aktiven Bewegung den eigenen höchstmöglichen Winkel erreicht, wird der Arm wieder

zurück in die Ausgangsposition gebracht und die Messung mit einer Betätigung des Starts/Stopps-Knopfes beendet. Die Messung wird anschließend mit Unterstützung des Untersuchers passiv wiederholt. In der passiven Bewegung wird die Abduktion durch den Untersucher unterstützt, bis ein Signal vom Patienten die Messung beendet. Die Messung wird auf der anderen Seite nach demselben Schema wiederholt.

Hawkins-Kennedy Test:

Für die Durchführung des Hawkins-Kennedy Tests wird der Patient gebeten bei 90° Anteversion der Schulter und 90° Flexion des Ellenbogengelenkes den Arm auf Höhe des Ellenbogens auf den Oberarm des Untersuchers zu legen. Der Untersucher greift unter den Arm des Patienten auf die gegenüberliegende Schulter, um die Armbewegung des Patienten zu minimieren und den Arm des Patienten zu stabilisieren. Für die Ausgangsposition des Tests befindet sich der Unterarm des Patienten im rechten Winkel zum eigenen Oberarm. Mit Betätigung des Starts/Stopps-Knopfes beginnt der Patient eine Neigung des Unterarmes zum Boden. Die Bewegung wird so weit durchgeführt, dass die Schulter des Patienten nicht zur Decke anhebt oder ein Schmerz einsetzt. Das Abheben der Schulter wird vom Untersucher beobachtet und auch taktil spürbar durch eine Erhöhung des Druckes vom Arm des Patienten auf den abgelegten Arm des Untersuchers. Der Patient wird gebeten den Arm in die Ausgangsposition zurückzuführen und der Untersucher beendet die Übung durch drücken des Sensors. Die Übung wird passiv auf derselben Seite wiederholt. Dafür greift der Untersucher mit der freien Hand an den Unterarm des Patienten und führt den Arm in eine Innenrotation nach unten. Der Patient beendet mit einem Signal die Übung oder der Untersucher beobachtet ein Ausweichen in der Bewegung des Patienten. Die Messung wird auf der anderen Körperseite wiederholt.

Neer Test:

Der Patient wird sitzend in Position gebracht. Bei der Durchführung des Neer-Test erfolgt die Untersuchung von dorsal. Der Diagnostiker fixiert mit einer Hand die Scapula des Patienten. Dabei bewegt er mit der freien Hand den Arm des Patienten in eine Innenrotation. Aus der Innenrotation heraus wird die Messung gestartet und der Arm zuerst aktiv in eine Anteversion geführt. Eine Ausweichbewegung seitens des Patienten wird durch die Fixierung der Scapula des Patienten möglichst geringgehalten. Sobald der Patient den Arm nicht mehr kontrolliert weiterführen kann oder der subjektiv wahrgenommene Schmerz zu groß wird, ist der Arm in die Ausgangsposition zurückzuführen und die Messung wird durch den Diagnostiker beendet. Der Test gilt als positiv, wenn bei der Anteversion zwischen 90° und 120° Schmerzen auftreten oder bei einer Außenrotation die Schmerzsymptomatik abnimmt (SCHMIDDEM et al., 2013). Die Messung wird abschließend noch passiv wiederholt und auf der anderen Körperseite ebenso durchgeführt.

Während der Messung der Freiheitsgrade bietet die Software von Mobee® die Möglichkeit den Winkelraum vom ersten Einsetzen eines subjektiv wahrgenommenen Schmerzes bis zum Abklingen oder Aussetzen dieses Schmerzes zu bestimmen. Für die Bestimmung dieser Winkelräume wird während

der aktiven und passiven Bewegung der erläuterten Tests auf ein akustisches oder optisches Signal vom Patienten reagiert. Eine kleine Ausweichbewegung, das Verziehen der Gesichtsmuskeln oder das Verlauten eines Schmerzsignals sind hierbei als typische Indikatoren für das Einsetzen eines subjektiv wahrgenommenen Schmerzes anzusehen. Der Patient wird gebeten für einen Moment den Arm in dieser Position nicht zu bewegen und wird gegebenenfalls kurz vom Untersucher gestützt. Durch das Drücken des optischen Knopfes auf der Hardware des Sensors von Mobee® wird der aktuell eingenommene Winkel registriert. Der Patient wird anschließend gebeten die Bewegung fortzusetzen. Im Gespräch mit dem Diagnostiker soll der Patient ein Signal wiedergeben, sobald der Schmerz subjektiv nicht mehr vorhanden ist oder die Bewegung selbst aufgrund des ansteigenden Schmerzreizes nicht mehr fortgeführt werden kann. Der Untersucher bittet den Patienten erneut den Arm kurz still zu halten und stützt die Bewegung für diesen Moment. Mit dem erneuten Drücken auf den optischen Knopf des Sensors wird der zweite Winkel in der Software registriert. Ist der Schmerz subjektiv nicht mehr vorhanden, wird der Patient gebeten die Bewegung in die maximal zu führende Bewegungsamplitude weiterzuführen, wie unter den einzelnen klinischen Tests erläutert worden ist. Nach Beendigung der Messung werden in der Software von Mobee® zwei Amplituden abgebildet. Die *blaue* Amplitude gibt dabei den allgemeinen Freiheitsgrad der durchgeführten Bewegung des Patienten wieder. Die *orange* Amplitude stellt den Winkelraum dar, in welchem der Patient das Ein- und Austreten des subjektiv wahrgenommenen Schmerzes registriert hat. Dieser Bereich wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit als **Schmerzamplitude** bezeichnet.

Nach Abschluss jeder einzelnen Messung kann der Diagnostiker zusammen mit dem Patienten den empfundenen Schmerz in der Software von Mobee® beschreiben. Die Software bietet bei der Beschreibung der Schmerzamplitude eine Auswahl an Charakteristik des empfundenen Schmerzes an, sowie die empfundene Intensität dieses Schmerzes. Für die eigene Studie soll bei der numerischen Beschreibung des Schmerzes vom Patienten die Ziffer angegeben werden, die vom Patienten während der Bewegung am höchsten einzustufen ist. Zur Beurteilung der vorliegenden Schmerzintensität des Patienten, kann der behandelnde Mediziner oder Therapeut auf die Numerische Rating-Skala (NRS) zurückgreifen. Bei der NRS gibt der Patient bei einer Skala von „0“ – kein Schmerz bis „10“ – stärkste vorstellbare Schmerzen, das eigene subjektive Wohlbefinden an (HILFIKER, 2010). Die Beschreibung der Charakteristik des Schmerzes wird während der Studie ebenfalls erfasst, spielt für die Forschungshypothese und den weiteren Verlauf der Studie eine weniger entscheidende Rolle.

Die Software von Mobee® bietet nach dem Abschluss der Messung aller klinischen Tests eine Gesamtübersicht zum Bewegungszustand des Patienten an. Diese Daten können im weiteren Verlauf zum intraindividuellen Vergleich der Patienten zu den verschiedenen Messzeitpunkten genutzt werden.

4.2.2 Bestimmung der Messzeitpunkte

Unter Kapitel 4.1 wurde aus Vergleichsstudien zum SIS aus den vergangenen Jahren (siehe Tab. 7) die Interventionsdauer von acht Wochen für die eigene Studie bestimmt. Zur Registrierung von Unter-

schieden der einzelnen Interventionen auf die Bewegungsamplitude, der Schmerzamplitude und der Schmerzintensität der SIS-Patienten, während der Durchführung der einzelnen klinischen Tests, werden neben der Baseline Messung und der Messung nach dem achtwöchigen Interventionszeitraum ein weiterer Messzeitpunkt eingefügt. Die Messung nach der Hälfte des Interventionszeitraumes soll potenzielle kurzfristige Effekte der verschiedenen Interventionen erfassen. Ebenso soll mit einem dritten Messzeitpunkt die Gefahr von Messfehlern zum intraindividuellen Vergleich geringgehalten werden und die biopsychosozialen Faktoren berücksichtigt werden. So besteht die Gefahr, dass der Patient nach der Abschlussmessung im Vergleich zur Baseline Untersuchung andere biopsychosoziale Faktoren vorliegen hat, die mit der eigentlichen Intervention weniger zu tun hatten und verfälschte Ergebnisse zu potenziellen Verbesserungen der Outcomes erfasst werden. Das Einfügen einer *Zwischenmessung* erlaubt die Registrierung weiterer Daten und ermöglicht ein weiteres individuelles Gespräch mit dem Patienten zum Erfassen des subjektiven Wohlbefindens. Aus dem Einzelgespräch kann weiterhin rausgehört werden, ob Störfaktoren der Studie in den Alltag des Patienten implementiert worden sind, die auf Bitten des Diagnostikers bis zum Ablauf der Studie zu unterlassen sind. Die Zwischenmessung wird genau zwischen der Baseline-Messung und der Abschlussmessung implementiert. So ergeben sich für die Studie drei Messzeitpunkte, bei der die Messung mit dem Mobee® Med wiederholt wird:

Messzeitpunkte:

Baseline = Aufklärungsgespräch und vor dem Start der ersten Interventionsmaßnahme

T1 = Nach vier Wochen Intervention der jeweiligen Interventionsgruppe

T2 = Nach acht Wochen Intervention der jeweiligen Interventionsgruppe und Abschlussmessung

4.2.3 Ein- und Ausschlusskriterien

Die Bestimmung der Ein- und Ausschlusskriterien sind essenziell für die Eingliederung einer bestimmten Patientengruppe für die eigene Studie. Das nachfolgende Kapitel fasst die wesentlichen Faktoren zusammen, die zu berücksichtigen sind, damit ein Patient zum Studienteilnehmer wird.

Einschlussfaktoren:

Als zentrales Einschlusskriterium für diese Studie kann die Diagnostik eines positiven subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms durch einen Mediziner angenommen werden. Der Mediziner führt mit dem Patienten ein Einzelgespräch und stellt in diesem Zusammenhang mit seinen diagnostischen Methoden das subacromiale Schulter-Impingement-Syndrom fest. Ein bildgebendes Verfahren zur Bestätigung der Diagnose ist nicht verpflichtend. Die Diagnostik des Patienten durch den Mediziner sollte länger als sechs Wochen alt sein, damit die Schmerzsymptomatik als chronisch eingestuft werden kann (MENSE, 2021). Die Patienten haben ein Mindestalter von 18 Jahren zu Beginn der Studie zu erreichen, um potenzielle Einflussfaktoren, die bei Studien mit Kindern- und Jugendlichen einhergehen zu vermeiden sind. Eine Begrenzung eines Höchstalters gibt es bei dieser Studie nicht. Weitere

biologische Faktoren zum Geschlecht, Größe, Gewicht etc. sind für die Integrierung von Patienten für diese Studie zu vernachlässigen.

Ausschlussfaktoren:

Als klare Ausschlusskriterien für die Integrierung eines Patienten in die Studie kommen sämtliche Faktoren in Frage, die als Störfaktor auf die durchzuführenden Interventionen mit den SIS-Patienten einwirken. Hierzu zählen insbesondere die Durchführung weiterer zentraler Behandlungsmaßnahmen durch eine außenstehende Person oder Institution, die zielgerichtet das diagnostizierte SIS behandeln. Auch die regelmäßige Einnahme von Schmerzmitteln der Stufe 2 und mehr nach dem WHO-Stufenplan (POGATZKI-ZAHN et al., 2007) führen zum Ausschluss der Studie. Die Einwirkung von leichten und schweren Opiaten führen zur Wahrnehmungsstörung der Bewegung und der Registrierung von Schmerzen (MENSE, 2021). Weiterhin werden Personen ausgeschlossen, die durch den Einsatz einer Prothese eine Bewegung in den oberen Extremitäten durchführen. Eine Prothese spiegelt nicht den natürlichen, biologischen Aufbau des aktiven Bewegungsapparates dar und kann dementsprechend nicht berücksichtigt werden. Auch werden Personen ausgeschlossen, die derzeit oder >sechs Monaten in einem physisch fordernden Leistungssport aktiv gewesen sind. Die ausgewählte Stichprobe der Studie soll versuchen die Merkmalsausprägung der gesamten Population widerzuspiegeln. Ein Leistungssportler unterscheidet sich in der Merkmalsausprägung in den Einflussfaktoren des Bewegungsapparates von der Gesamtpopulation und wird für diese Studie ebenfalls nicht berücksichtigt. Die Einschätzung des psychologischen Zustandes des Patienten muss individuell berücksichtigt werden. Das andauernde Schmerzen zur Verminderung des psychologischen Wohlbefindens, bis hin zu depressiven Merkmalen führen können ist in einigen Studien belegt worden (KROENKE et al., 2011). Patienten, die sich psychisch nicht im Stande fühlen aktive Bewegungsreize in den Interventionsmaßnahmen durchzuführen, können in der Studie nicht berücksichtigt werden.

Drop-Out Kriterien und Compliance:

Die Patienten werden nach der Aufnahme in die Studie über die Interventionsabläufe aufgeklärt. Über den Interventionszeitraum sind für jeden Patienten insgesamt 16 angeleitete Interventionen in Kleingruppen bis zu drei Personen gleichzeitig vorgesehen. Von den potenziellen 16 Terminen sind für die Messung valider Ergebnisse die Teilnahme an mindestens 70% der Termine, dies entspricht zwölf Interventionsterminen, vorzusehen. Es wird beim Erstgespräch mit dem Patienten ein gemeinsames Startdatum festgelegt, damit Abwesenheiten seitens des Patienten kalkulierbar sind. Sollte der Patient unter die 70% der Interventionstermine fallen, werden die Messungen für die Studie nicht berücksichtigt und der Patient wird zwar zu Ende betreut, aber nicht in den Daten verarbeitet. Ebenfalls als Drop-Out Kriterium gilt die Aufnahme einer weiteren Intervention für die Behebung des SIS, während des Interventionszeitraumes. Die Bereitschaft des Patienten zwei Termine in der Woche im Interventionszeitraum durchzuführen, sind substanziell für den Erfolg der eigenen Studie. Die Termine werden in jeder Woche mit den Patienten individuell besprochen, um eine möglichst hohe Terminflexibilität

beiderseits anbieten zu können. Die Probanden sind somit nicht an feste Uhrzeiten oder Tage im Rahmen der Studie gebunden.

4.2.4 Kontrolle der Gruppen

Aufgrund des Distanzunterschiedes zwischen der Klinik für Biokinetik und dem Wohnort des Studienleiters, werden die Interventionen der Patienten an zwei Standorten parallel durchgeführt. Die Gruppe der Biokinetik wird am Standort der Packi Klinik in Bad Krozingen in Freiburg am Breisgau betreut, während die Interventionsgruppe I und die Kontrollgruppe vom Studienleiter im Landkreis Emsland in der Stadt Meppen betreut werden. Wie dieser Umstand in der praktischen Durchführung zu berücksichtigen ist, wird unter Kapitel 4.4 erläutert. Für die Interventionsdurchführung wird auf die Qualifikation der jeweiligen Interventionsleiter hingewiesen. Der Studienleiter ist Akademiker für Sport- und Gesundheitsmanagement und hat im Rahmen der Studiengänge Fachkenntnisse für die Bewegungsbetreuung von Menschen erworben. Die Klinik für Biokinetik stellt für den Interventionszeitraum der Patienten zwei ausgebildete Allgemeinmediziner und vier ausgebildete Physiotherapeuten zur Verfügung. Die Allgemeinmediziner und Physiotherapeuten werden vor dem Start der Interventionen über den Interventionsrahmen detailliert aufgeklärt, sodass die Interventionen mit einer maximalen Gruppengröße von drei Personen stattfinden, bei zwei Interventionen die Woche und einer Dauer von je 30-45 Minuten. Die Intervention der Biokinetik beschränkt sich indes auf die in Tab. 9 vorgestellten Übungen. Die Allgemeinmediziner führen vorab ein Einzelgespräch mit den Patienten und führen die Fingerdruckpunkttechnik an dem jeweiligen Muskelstrang durch. Damit dieser Ablauf in Bad Krozingen und in Meppen gewährleistet ist, findet eine wöchentliche, telefonische Kontaktaufnahme seitens des Studienleiters mit den Patienten statt. Die Patienten beschreiben dann den Ablauf der Intervention mit ihren eigenen Worten. Die Messung wird vom Studienleiter immer selbst vor Ort mit den Patienten in einer Einzeluntersuchung bei einer Dauer von jeweils 30 Minuten durchgeführt. Im Rahmen dieses Gespräches zur Baseline, T1 und T2 erläutern die Patienten dem Studienleiter ihr Wohlbefinden und ob der Interventionsrahmen eingehalten worden ist. Diese engmaschige Kontrolle ermöglicht die Kontrolle von weiteren Einflussfaktoren seitens der Patienten oder der externen Therapeuten. Über die verschlüsselte Stammdatentabelle werden mit dem Start der Baseline-Untersuchung das Datum für die Zwischenmessung und Abschlussmessung direkt in Absprache mit den einzelnen Probanden festgelegt. Die Kontrolle über die einzelnen Interventionen erfolgt über Case Report Forms für jeden Probanden, die vom Studienleiter oder vom behandelnden Physiotherapeuten und Mediziner nach Abschluss jeder Intervention ausgefüllt werden. Die Case Report Forms erfassen zudem eine Abschlussstatistik über die einzelnen Interventionen der Probanden, sodass der Studienrahmen immer eingehalten worden ist.

4.3 Ethikantrag

Die Studie wurde am 07.10.2022 der Ethikkommission der Ärztekammer des Saarlandes vorgelegt. Am 21.10.2022 wurde die Studie seitens der Ethikkommission unter der Kennnummer 112/22 uneingeschränkt für gültig erklärt. Im Rahmen des Erstgesprächs werden die Teilnehmer schriftlich und mündlich über die Verarbeitung der anonymisierten Daten aufgeklärt. Die personenbezogenen Daten werden in einer passwortgeschützten Datei auf dem Computer des Studienleiters gesichert. Der Computer ist nicht öffentlich zugänglich und befindet sich im Wohnhaus des Studienleiters. Eine Kopie der Datei wird nicht angefertigt. Nur auf Anfragen des Doktorvaters wird die Datei entschlüsselt. Die Patienten werden in dieser Datei mit einer Kennziffer versehen, die fortan als anonyme Identifikation des Patienten gilt. Das Datenschutzblatt wird von jedem Patienten vor Beginn der Interventionen an den Studienleiter unterschrieben ausgehändigt. Die Datenschutzerklärungen werden analog in einem Ordner beim Studienleiter in einem geschlossenen Dokumentenschrank aufbewahrt. Nach Abschluss der Studie werden die Dokumente gebündelt an die Universität des Saarlandes versendet und archiviert.

4.4 Praktische Durchführung

Mit der Genehmigung durch die Ethikkommission werden im weiteren Verlauf der Studie die Patienten rekrutiert. Das nachfolgende Kapitel beschreibt den Ablauf der Rekrutierung der Studienteilnehmer, über die Randomisierung und Zuordnung zu den jeweiligen Interventionsgruppen.

4.4.1 Rekrutierung der Studienteilnehmer

Als Voraussetzung für die Studienteilnahme gilt, dass die Teilnehmer eine Bereitschaft zur Interventionsteilnahme mit je zwei betreuten Einheiten pro Woche über einen Zeitraum von acht Wochen haben. Aus diesem Grund findet die Rekrutierung im Umkreis von 15 km von den jeweiligen Interventionsstandorten statt. Die Intervention der Interventionsgruppe I und der Kontrollgruppe findet in einer Gesundheitsanlage (3lifesports), in der Grabbestraße 7 in 49716 Meppen, statt. Die Interventionsgruppe der Biokinematik wird in der Klinik für Biokinematik in der Herbert-Hellmann-Allee 29-31 in 79189 Bad Krozingen durchgeführt. Jeder Patient, welcher für die Studie potenziell in Frage kommt, muss vorab von einem ausgebildeten Mediziner die Diagnose eines SIS erhalten. Aus diesem Grund werden vor Allem die örtlichen Arztpraxen und weitere medizinische Einrichtung für eine Zusammenarbeit im Rahmen dieser Studie gebeten.

4.4.1.1 Webseite

Als Möglichkeit zur kompakten Aufklärung zum Hintergrund der Studie und Interventionsablauf wird eine Internetseite erstellt, die mittels QR-Codes oder Suchmaschine aufgerufen werden kann. Die Webseite ist aufrufbar, unter: <https://www.fitness-zuhause-coach.de/> und fasst alle für den Patienten notwendigen Informationen zusammen. Die Webseite wurde über den Webseiteneditor von Ionos erstellt und ist von einem Computer oder mobilen Endgerät aufrufbar (SCHRÖER, 2022). Über die

verschiedenen Bereiche der Webseite wird der Patient über das Schulter-Impingemet-Syndrom aufgeklärt und kann das eigene Schmerzempfinden der Schulter in der Bewegung mittels eines kleinen erklärten Selbsttests bestätigen. Die weitere Diagnose wird selbstverständlich durch einen Schulmediziner durchgeführt. Weiterhin wird der Hintergrund dieser Studie für den Patienten in einfacher Sprache erklärt und der Studienleiter stellt sich als Ansprechpartner vor. Über die Probandeninformation erhalten die potenziellen Probanden die Datei mit allen notwendigen Informationen als PDF-Datei als Download zur Verfügung. Über die Webseite sind verschiedene Call-to-action Button verstreut, die eine direkte Kontaktaufnahme mit dem Studienleiter ermöglichen. Als Kontaktaufnahme stehen den Probanden ein Webseitenkontakt, ein E-Mail Kontakt und ein Kontakt über eine Handynummer zum Studienleiter zur Verfügung (SCHRÖER, 2022). Nach der Kontaktaufnahme folgt ein persönliches Telefongespräch zum Probanden und die Einladung zur Anamnese, sobald eine bestätigte Diagnose vom Mediziner vorliegt.

4.4.1.2 Medizinische Einrichtungen

Zur Auswahl der umliegenden Arztpraxen oder sonstigen medizinischen Einrichtungen, werden jene Institutionen ausgewählt, die einen direkten Kontakt zu Schulter-Patienten haben. Dies betrifft vorrangig die Praxen der Allgemeinmediziner, die Orthopädie- und Unfallchirurgen, die Neurologen und die jeweiligen Abteilungen in den örtlichen Krankenhäusern. Für die weiteren gesundheitlichen Einrichtungen wurden die Krankenkassen und Physiotherapiepraxen für eine potenzielle Zusammenarbeit angefragt. Für eine hohe Erfolgsquote bei dem jeweiligen Zusammenarbeiten wurde für jede Institution ein persönliches Gespräch mit dem jeweiligen leitenden Arzt oder Leiter der jeweiligen Institution vereinbart. In einem Vorabschreiben wurden die leitenden Personen wissenschaftlich fundiert über die Studie und deren Mehrwert für die Praxen und Institutionen aufgeklärt. Die Webseite wird als schnelle Lösung verwendet, um Patienten, unabhängig vom Mediziner, über die Studieninhalte zu informieren. Der Mediziner ist unter diesen Umständen in seiner Praxistätigkeit möglichst wenig eingeschränkt. Nach der jeweiligen Zustimmung der Institutionen wird eine Auslage mit Visitenkarten des Studienleiters, analogen Probandeninformationen und dem QR-Code mit dem Zugriff auf die Webseite im Eingang vorbereitet.

In Bad Krozingen wurde neben den vorangegangenen Rekrutierungsversuchen noch eine Zeitungsannonce für eine Probandensuche in der Badischen Zeitung in Auftrag gegeben.

4.4.2 Randomisierung

Um eine möglichst ähnliche Strukturgleichheit unter den drei Studiengruppen zu erhalten, wurde eine stratifizierte Blockrandomisierung vorbereitet. Als Merkmale für die Einteilung der Gruppen werden das Geschlecht, das derzeitige Alter des Probanden (über 50 Jahre und unter 50 Jahre alt) und die Einnahme von Schmerzmitteln Level 1 des WHO-Stufenplans in den vergangenen 7 Tagen ausgewählt. Über die Webseite *sealedenvelope* wurden die Studiendaten in das Raster der Webseite eingetragen,

um eine Codierung für die Randomisierung der Studie zu erhalten (LTD., 2022). Aus den acht Sub-Kategorien durch die Merkmalsausprägungen wurden acht Spalten in Microsoft Excel eingetragen, die mit dem randomisierten Code aus der Webseite versehen worden sind (MICROSOFT, 2018). Aus der im Erstgespräch durchgeführten Anamnese werden die Probanden in die Stammdatentabelle eingetragen und anonymisiert. Aus der Anamnese ergibt sich eine Zuteilung in Hinblick auf die Merkmalsausprägung, sodass die anonymisierte Ziffer des Probanden einer zufälligen Zuordnung der Studiengruppe erfolgt. Die Probanden werden nicht informiert, welcher Studiengruppe sie zugeteilt werden. Im Rahmen der durchgeführten Interventionen ist darauf zu achten, dass bei einer maximalen Gruppengröße von drei Personen auch nur die Studienteilnehmer aus derselben Interventionsgruppe zusammen betreut werden. Eine zweiseitige Verblindung ist nicht erfolgt, da der Studienleiter zwei der drei Interventionsgruppe selbst betreut. Eine vollständige Randomisierung aller drei Interventionsgruppen ist im Zuge der Studie durch einen Distanzunterschied der Studienorte von 660 km nicht realisierbar gewesen. Somit wurde für die Studie lediglich eine Teilrandomisierung durchgeführt. Dieser Punkt wird in der abschließenden Diskussion aufgegriffen.

4.4.3 Anamnese und Erstgespräch

Mit der ersten Kontaktaufnahme und der Terminvereinbarung mit dem Studienleiter erfolgt der erste persönliche Kontakt mit dem Probanden. Ziel des Erstgesprächs ist die Erläuterung der Schulterbeschwerden durch den Patienten, der Erstuntersuchung durch Palpation und Durchführung der klinischen Tests, der persönlichen Erläuterung und Aufklärung der Studie, sowie dem Ausfüllen der Datenschutzverordnung.

Zur Erfassung der Probandendaten wurde ein digitaler Anamnesebogen mittels der Software von Microsoft Forms vorbereitet (MICROSOFT, 2022). Im Fragebogen werden Daten zum Beschwerdebild, der Dauer der Beschwerden, der Diagnostik durch den Schulmediziner und der Aufnahme von weiteren Maßnahmen erfasst. Der Fragebogen umfasst weiterhin alle notwendigen Daten, die unter Kapitel 4.2.3 als Ein- und Ausschlusskriterien erläutert worden sind. Laut der Analyse von Microsoft Forms beträgt die Zeit zum Ausfüllen des Anamnesebogens zwischen fünf bis sieben Minuten. Der Anamnesebogen wird immer zusammen mit dem Studienleiter im Erstgespräch durchgeführt. Der Anamnesebogen wird mit der in der Stammdatentabelle anonymisierten Bezifferung des Probanden versehen, um eine anschließende Zuordnung zu ermöglichen. Im Anschluss der Baseline Untersuchung wird der Proband durch die in Kapitel 4.4.2 erläuterte Randomisierung einer Interventionsgruppe zugeteilt und die ersten Interventionstermine vereinbart.

4.5 Statistik

Für den nachfolgenden Kapitelabschnitt erfolgt die Erläuterung des statistischen Settings der klinischen Studie, anhand des vorher festgelegten Studiendesigns. Die gesamte Erhebung der Studiendaten erfolgt prospektiv.

4.5.1 Auswahl der statistischen Tests

Der Studienaufbau sieht vor, dass drei Interventionsmaßnahmen zu je drei Messzeitpunkten in der Datenerhebung erfasst werden. Aus diesem Umstand ergibt sich, dass eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt wird. Als Voraussetzung für die Anwendung des parametrischen Tests ist eine Normalverteilung der Daten notwendig und die Merkmalsausprägung muss mindestens intervallskaliert sein. Sind diese Voraussetzungen nicht erfüllt, wird auf den Kruskal-Wallis-Test für mehr als zwei unverbundene Stichproben zurückgegriffen (KRUSKAL, 1952). Das Studiendesign hat zudem die Möglichkeit, dass durch die wiederholten Messungen mit gepaarten Stichproben der Unterschied der Merkmalsausprägung zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten verglichen werden kann. Als Alternative zur Varianzanalyse mit gepaarten Stichproben, wird der Friedman-Test, als nicht-parametrischer Test, für die statistische Analyse verwendet, wenn die Voraussetzungen der Varianzanalyse nicht gegeben sind (CONOVER, 1999).

4.5.2 Fallzahlberechnung

Zur Ermittlung der Sample-Size werden Parameter aus der Vergleichsstudie von Moezy et. al. verwendet (MOEZY et al., 2014). Die RCT von Moezy et. al. untersuchte die Effekte von Übungen zur Schulterblatt-Stabilisation im Vergleich zu alternativen konservativen Methoden bei Patienten mit einem SIS. Als Outcomes wurden die Bewegungsamplitude der Schulter, die Körperhaltung und das Schmerzempfinden der Patienten über einen Zeitraum von sechs Wochen ermittelt. Bei einer begleiteten assistierten Intervention von drei Übungseinheiten pro Woche bei insgesamt 18 Interventionen je Patient, sind die Studienrahmenbedingungen vergleichbar mit den Bedingungen und angestrebten Outcomes der eigenen Studie. Die Ergebnisse von Moezy et. al. wiesen signifikante Unterschiede zwischen den Studiengruppen auf.

Zur Ermittlung der Sample-Size für die eigene Studie werden die Werte der Baseline und Post-Tests der Abduktion inkl. der Standardabweichung in eine Berechnung der *Effect Size* (d) eingetragen. Hierfür wurde die Webseite *Psychometrica* verwendet, welche eine Umwandlung der Ergebnisse eines Pre-Tests und Post-Tests und der Standardabweichung in die *Effect Size* (d) = 0,368 ermöglicht (LENHARD, 2016). Der daraus resultierende Wert der *Effect Size* wurde mittels weiterer Umwandlung der Webseite *Psychometrica* in den für die Varianzanalyse erforderlichen f -Wert verändert. Bei einem f -Wert von 0,184 wurde dieser Wert A priori in den Sample-Size Rechner von G*Power (Version 3.1.9.4) eingetragen (BARTLETT, 2022). Als weitere Parameter für G*Power wurde als statistischer Test die ANOVA: Repeated measures, within-between interaction verwendet. Für einen Fehler 1. Art wird α auf 0,05 gesetzt und für den Fehler 2. Art $1-\beta$ der Wert von 0,8 angegeben. Aus den Studienrahmenbedingungen ergeben sich eine Gruppenanzahl von drei Gruppen bei drei Messzeitpunkten (Baseline, T1 und T2). Aus der Berechnung von G*Power hat sich als Sample-Size für die eigene Studie für eine statistische Power von 0,813 bei einer Sample-Size von 63 Probanden. Bei einer kalkulierten Drop-Out-Rate von 20% ergibt sich für die eigene Studie eine anvisierte Sample-Size von insge-

samt 75 Probanden. Die nachfolgende Abbildung fasst die beschriebenen Ergebnisse noch einmal in G*Power zusammen (vgl. Abb. 13).

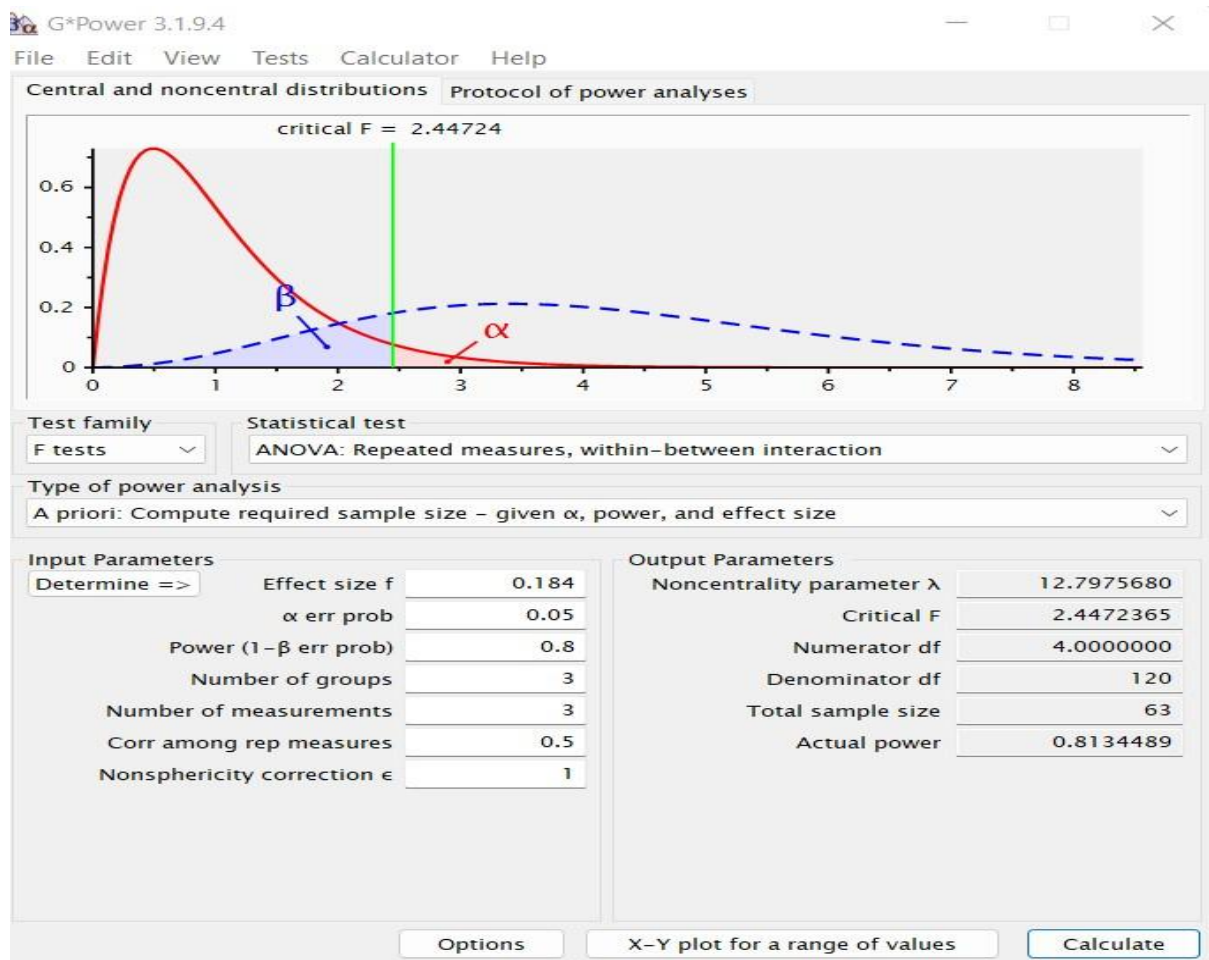


Abb. 13 Berechnung der Sample-Size mittels G*Power (Version 3.1.9.4) – Abbildung aus (BARTLETT, 2022)

4.5.3 Auswertung des Datenmaterials mit IBM SPSS Statistics

Die gesamte statistische Auswertung erfolgte mit der Statistiksoftware IBM SPSS Statistics (Version 29.0.1.0) für Windows 11 (IBM, 2024). In SPSS wurden die verschiedenen Outcomes zu den verschiedenen Messzeitpunkten in der Variablenansicht sortiert und entsprechend skaliert. Die subjektive Schmerzwahrnehmung entspricht ordinalskalierten Werten, während die Freiheitsgrade und die Schmerzamplitude metrisch skaliert worden sind. Zur Ermittlung der Schmerzamplitude wurde der jeweilige Winkelgrad zu Beginn und Ende der subjektiven Schmerzwahrnehmung der Probanden festgehalten. Der Differenzwert dieser Winkelgrade dient zudem als Messwert zum Vergleich mit gepaarten Stichproben, um eine Erweiterung oder Reduktion des Abstandes des Schmerzeinssetzens beim Probanden festzustellen. Eine Unterteilung zu den aktiven und passiven Bewegungen erfolgte ebenso. Neben den Datensätzen zu den Messungen wurden weiterhin Daten zum Alter der Probanden, der Geschlechterzuordnung, der abgeschlossenen Behandlungstermine und zur Schmerzmitteleinnahme zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten erfasst. Die Datenverarbeitung der Probanden mit der vergleichsweisen beschwerdefreien Seite wurden wie folgt verarbeitet. Die Bewegungsamplitude wurde

auch für die gesunde Seite vollständig zur Baseline bis zur T1 und T2 in SPSS erfasst. Eine Veränderung der Bewegungsamplitude über den Friedman Test ist demnach im Rahmen der Interventionsmaßnahmen auch als präventives Mittel vor einem Einsetzen einer Schmerzsymptomatik zu beobachten. Die Werte für die Schmerzamplitude für die beschwerdefreie Seite wurden frei gelassen, wenn zum Messzeitpunkt kein Schmerzwinkel vom Probanden angegeben worden ist. Die Schmerzintensität wurde bei *Keinem Schmerz* mit Nullwerten ausgefüllt. Die Begründung für diese Entscheidung liegt darin, dass im Verlaufe der Interventionsmaßnahmen, bei einer Reduktion von Werten >0 auf einen schmerzfreien 0 Wert, eine Verzerrung der Wirksamkeit der Maßnahmen eintritt. Der Nullwert gilt als gültiger Wert für die subjektive Schmerzfreiheit in der numerischen Analogskala und ist demnach in der Datenerfassung mit aufzunehmen.

Infolge der Datenübertragung in SPSS wurden zu den Messwerten der Freiheitsgrade und der Schmerzamplitude Tests auf Normalverteilung durchgeführt. Aus dem Kolmogorov-Smirnov-Test und dem Shapiro-Wilk-Test haben sich vereinzelt Werte zur Signifikanz von $p < 0,05$ ergeben, sodass die Messwerte als nicht normalverteilt angesehen werden (MASSEY JR, 1951; SHAPIRO, 1965). Die weiteren Tests zur Hypothesenprüfung folgen demnach in der Gesamtheit der Messdaten nicht den parametrischen Tests der Varianzanalyse, sondern den nicht-parametrischen Tests nach Friedman und Kruskal-Wallis. Bei der Verwendung der nicht-parametrischen Tests wird für die deskriptive Statistik auf Mediane als Lagemaß und Quantile für das Streumaß zurückgegriffen. Bei der Auswahl der graphischen Darstellung der Verteilung der Merkmale wird der Boxplot verwendet. Der Boxplot fasst die Lage- und Streumaße graphisch zusammen. Der Boxplot kann für ordinal- und intervallskalierte Merkmale verwendet werden. Aus der Grafik kann grob die Form der Verteilungsdichte dargestellt werden (WOOLDRIDGE, 2013).

Im Rahmen der Testauswahl für die konfirmatorische Statistik werden kurz der Friedman-Test und der Kruskal-Wallis-Test erläutert. Der Friedman-Test gilt als Alternative für gepaarte Stichproben zur Varianzanalyse mit Messwiederholung, wenn die Normalverteilung nicht gegeben ist. Der Friedman-Test wird verwendet, um signifikante Unterschiede in den Messwerten zwischen drei oder mehr Gruppen festzustellen (CONOVER, 1999). Für den Friedman-Test müssen die Messwerte mindestens ordinalskaliert sein. Mit diesen Voraussetzungen kann der Friedman-Test für die Prüfung der Hypothesen für die drei Outcomes verwendet werden. Aus den Ergebnissen des Friedman-Test kann anhand des P-Wertes $p < 0,05$ die Nullhypothese verworfen oder $p > 0,05$ die Nullhypothese beibehalten werden. Aus den Ergebnissen vom Friedman-Test lässt sich jedoch nicht feststellen, welche Interventionsmaßnahme sich von den anderen unterscheidet. Aus diesem Grund wird bei einem signifikanten Ergebnis ein Post-Hoc-Test durchgeführt. Für die Interpretation der Ergebnisse wird ein Unterschied zwischen der Baseline Untersuchung zu T1, von Baseline zu T2 und T1 zu T2 für jede Gruppe durchgeführt. Für den paarweisen Vergleich wird eine Bonferroni-Korrektur für multiples Vergleichen durchgeführt. Die Durchführung des Friedman-Test für die eigene Studie folgte nach einer Zuteilung der Daten in die drei Interventionsgruppen. Für jede Bewegung nach den klinischen Tests und den drei Messzeitpunk-

ten wurde für die Bewertung der Freiheitsgrade, der Schmerzamplitude und der Schmerzintensität der Friedman-Test durchgeführt. Des Weiteren wurde auch für die passive Bewegung der Prozess wiederholt. Als Testvariabel wurden die verschiedenen Outcomes zu den drei Messzeitpunkten in die Teststatistik von SPSS eingegeben.

Der Kruskal-Wallis-Test ist eine Erweiterung des U-Tests, bei dem mehr als zwei unverbundene Stichproben statistisch geprüft werden. Der Test wird verwendet bei drei oder mehr unabhängigen Gruppen. Mit dem Kruskal-Wallis-Test werden die Lage von Wahrscheinlichkeitsverteilungen eines Merkmals miteinander verglichen (KRUSKAL, 1952). Die Teststatistik des Kruskal-Wallis-Tests interpretiert die Messergebnisse in Ränge. Das Signifikanzniveau α und die Fallzahlen pro Gruppe bestimmen einen unteren und oberen kritischen Wert in der Teststatistik. Anhand der kritischen Werte kann die Nullhypothese angenommen oder verworfen werden. Der Einsatz von SPSS führt zudem zu einer Berechnung des p-Wertes, bei der die Ergebnisse ebenfalls interpretiert werden können. Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, ob ein Gesamteffekt der Interventionen auf die Gruppen stattgefunden hat. Der Test lässt jedoch keine Interpretation zu, welche Gruppe sich von den anderen unterscheidet. Durch den Einsatz des DunnBonferroni Post-Hoc-Tests kann ein paarweiser Vergleich zwischen den Gruppen durchgeführt werden und potenzielle Unterschiede festgestellt werden (DUNN, 1964). Für die Durchführung des Kruskal-Wallis-Test wurde die gesamte Variabel der *Gruppe* mit den Teststatistiken der einzelnen Outcomes zu den drei Messzeitpunkten eingefügt.

5 Ergebnisse

Das nachfolgende Kapitel fasst die Ergebnisse der Studie zusammen. Zunächst folgt eine gesamtheitliche Darstellung der Probandendaten. Weiterführend werden die Merkmalsverteilungen deskriptiv dargestellt und schlussendlich folgt die Zusammenfassung der Teststatistiken der nicht-parametrischen Tests für die Annahme oder Ablehnung der Nullhypothese. Der Zeitraum zur Erfassung der Messdaten erfolgte vom 03.12.2022 bis zum 30.08.2023.

5.1 Probanden

In der Studie wurden insgesamt 66 Probanden in die Interventionsmaßnahmen eingeschlossen. Für die Berechnung der Altersverteilung wurden die Geburtsdaten der Probanden in SPSS in die Werte der exakten Jahre transformiert. Eine Übersicht über die demographischen Werteverteilungen der Probandendaten sind in den nachfolgenden Tabellen für die Altersverteilung und der abgeschlossenen Interventionstermine (vgl. Tab. 11), die Geschlechterverteilung (vgl. Tab. 12) und einer Zusammenfassung der Schmerzmitteleinnahme Stufe 1> des WHO-Stufenplans, während des Interventionszeitraumes (vgl. Tab. 13) zu finden. Aus den demographischen Werten ergibt sich eine gleichmäßige Verteilung der Randomisierungsparameter zum Alter, der Schmerzmitteleinnahme und des Geschlechts unter den drei Interventionsgruppen.

Tab. 11 Demographische Werte der Probanden zum Alter und der Anzahl abgeschlossener Behandlungen – Eigene Darstellung

Gruppe	Variabel	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.-Abweichung
Kraft/Beweglichkeit (N=22)	Alter	31,84	82,11	53,78	13,64
	Behandlungen	2,00	15,00	12,36	2,55
Biokinematik (N=23)	Alter	20,51	78,59	58,08	14,34
	Behandlungen	2,00	15,00	12,00	3,11
Kontrollgruppe (N=21)	Alter	21,31	79,57	56,53	14,78
	Behandlungen	12,00	15,00	12,95	1,11

Tab. 12 Demografische Werte der Probanden zur Geschlechterverteilung in den Interventionsgruppen – Eigene Darstellung

Gruppe	Geschlecht	Häufigkeit absolut	Häufigkeit relativ
Kraft/Beweglichkeit	Männlich	10	45,5
	Weiblich	12	54,5
	Gesamt	22	100,0
Biokinematik	Männlich	8	34,8
	Weiblich	15	65,2
	Gesamt	23	100,0
Kontrollgruppe	Männlich	10	47,6
	Weiblich	11	52,4
	Gesamt	21	100,0

Tab. 13 Zusammenfassung der Einnahme von Schmerzmitteln der Probanden der Stufe 1> des WHO-Stufenplans, während des Interventionszeitraumes – Eigene Darstellung

Schmerzmitteleinnahme Baseline					
			Ja	Nein	Gesamt
Gruppe	Kraft	Schmerzmitteleinnahme	11	11	22
	Biokinematik	Schmerzmitteleinnahme	6	17	23
	Kontrollgruppe	Schmerzmitteleinnahme	10	11	21
Gesamt		Schmerzmitteleinnahme	27	39	66
Schmerzmitteleinnahme T1					
Gruppe	Kraft	Schmerzmitteleinnahme	6	15	21
	Biokinematik	Schmerzmitteleinnahme	2	18	20
	Kontrollgruppe	Schmerzmitteleinnahme	4	17	21
Gesamt		Schmerzmitteleinnahme	12	50	62

Schmerzmitteleinnahme T2					
Gruppe	Kraft	Schmerzmitteleinnahme	3	18	21
	Biokinematik	Schmerzmitteleinnahme	1	18	19
	Kontrollgruppe	Schmerzmitteleinnahme	2	19	21
Gesamt		Schmerzmitteleinnahme	6	55	61

Im Zeitraum der Datenerhebung hat es einen Drop-Out von 7,58% während des Interventionszeitraumes ergeben. Damit lag die Drop-Out-Rate unter den erwarteten 20%. Die Inkludierung von insgesamt 61 Probanden in die Auswertung über den gesamten Interventionszeitraum liegt damit unter den mit G*Power berechneten 63 Personen. Durch eine Alternativlosigkeit weiterer Datenerhebungen, durch das Fehlen der Messinstrumente über den Erhebungszeitraum hinaus, wurde sich in Absprache mit dem Doktorvater geeinigt, dass ein zu erwartender bemessener Effekt mit zwei Personen unter dem von G*Power berechneten Wert als ausreichend gilt. Die Abbildung 14 (vgl. Abb. 14) zeigt in einem Flow-Chart den gesamten Prozess von der Rekrutierung bis zum Abschluss der Datenerhebung auf. Die Tabelle 14 gibt weiterhin eine Übersicht über den Drop-Out in den einzelnen Gruppen wieder.

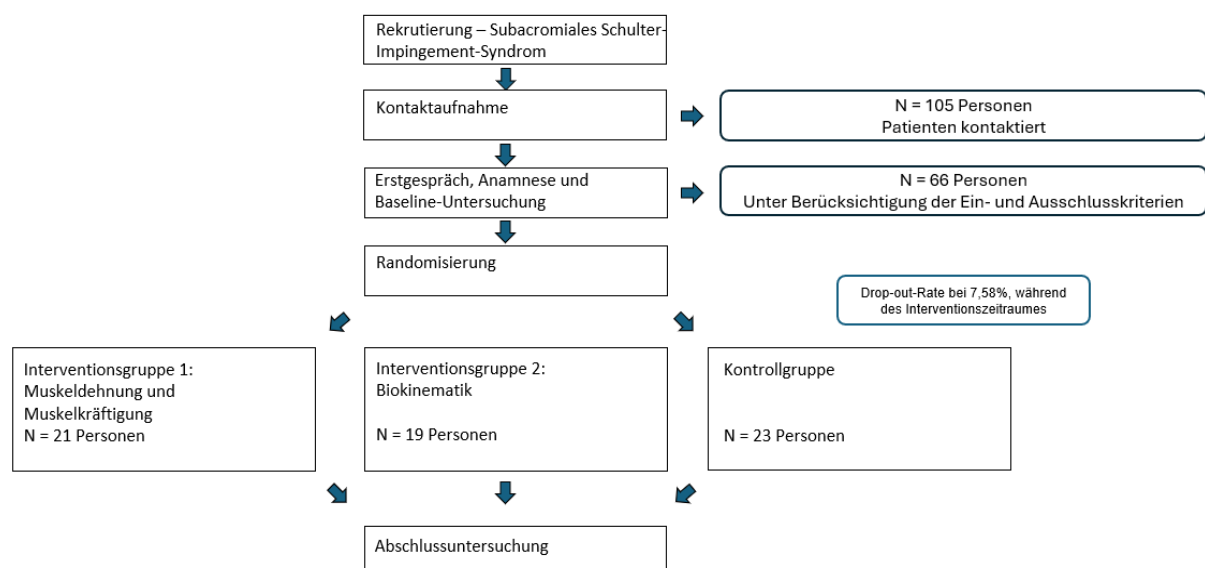


Abb. 14 Flowchart zur Patientenstatistik vom Erstkontakt bis zum Abschluss der Untersuchung – Eigene Darstellung

Tab. 14 Übersicht über den Drop-out in den einzelnen Interventionsgruppen – Eigene Darstellung

Gruppe	Variabel	Häufigkeit	Prozent
Kraft/Beweglichkeit	Abgeschlossen	21	95,5
	Abgebrochen	1	4,5
	Gesamt	22	100,0
Biokinematik	Abgeschlossen	19	82,6
	Abgebrochen	4	17,4
	Gesamt	23	100,0
Kontrollgruppe	Abgeschlossen	21	100,0

Als Gründe für einen Drop-Out wurden verschiedene Gründe angegeben. Zu den Gründen zählten bei zwei Probanden die terminliche Unvereinbarkeit mit den Interventionsterminen. Die weiteren drei Drop-Outs wurden mit einer beschwerdefreien Bewegung zum Messzeitpunkt T1 seitens der Probanden begründet. Die weiteren Interventionstermine zum Messzeitpunkt T2 wurden anschließend seitens dieser Probanden nicht mehr wahrgenommen.

5.2 Effekte auf die Bewegungsamplitude

Die Ergebnisse zur Bestimmung des Effekts der verschiedenen Interventionsprogramme auf die Bewegungsamplitude wurden deskriptiv in Boxplots dargestellt. Unter den einzelnen Boxplots zu den verschiedenen klinischen Tests über die Messzeiträume folgt eine Beurteilung der Effekte durch die statistischen Tests. Die Abbildungen wurden jeweils entsprechend zusammengefasst, sodass die drei Interventionsgruppen zu den drei Messzeitpunkten miteinander verglichen werden können.

Abduktion:

Die Ergebnisse der Abduktion gelten als Ermittlung der Effektwerte in der Anwendung des Painful-Arc-Test. Der Proband gilt als uneingeschränkt beweglich in der Abduktion, sobald eine Bewegungsamplitude zwischen 0° und 180° erreicht wird. Die Abbildungen 15 bis 18 (vgl. Abb. 15-18) fassen die Messungen aller Probanden in der Abduktion aktiv und passiv, sowie die linke und rechte Körperseite deskriptiv in verschiedenen Boxplots zusammen.

Abduktion aktiv Links

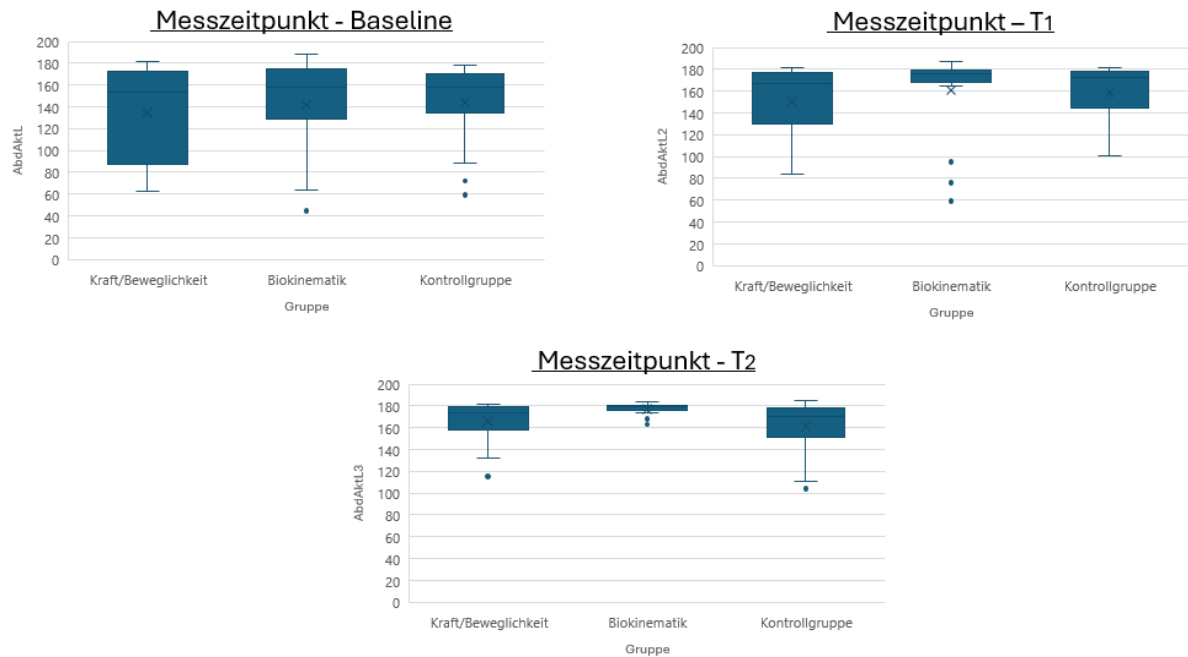


Abb. 15 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Die verschiedenen Boxplots für die Bewegungsamplitude der Abduktion aktiv links sind über die drei Messzeitpunkte schief verteilt. Die unterschiedlichen Längen der Whisker und die Streuung des Medians durch den horizontalen Strich in den Boxplots deuten klar auf eine schiefe Verteilung der Messdaten hin. Die Punkte unter den Boxplots visualisieren die Ausreißer-Daten der einzelnen Messungen für die Abduktion aktiv links. Die Größe der Boxen zur Baseline lassen auf eine große Varianz der Verteilung schließen. Die Größe der Varianz wird bis zum Messzeitpunkt T1 visuell deutlich geringer bei der Gruppe der Biokinematik, sowie auch ein merklicher Unterschied bei der Gruppe der Kräftigungsübungen in Verbindung mit Beweglichkeitsübungen. Bis zum Messzeitpunkt T2 wird Verteilung der Varianz in diesen beiden Gruppen noch einmal deutlich geringer. Die Ausreißer, die zum Zeitpunkt T1 noch in einer geringen Häufigkeit aufgetreten sind, wurden zum Messzeitpunkt T2 noch einmal deutlich verringert. Die anfänglich hohe Varianz lässt sich damit begründen, dass das subacromiale Impingement-Syndrom bei den Probanden meist unilateral aufgetaucht ist, sodass neben der potenziell beschwerlichen rechten Schulterseite auch die beschwerdefreie linke Schulter in die Messdaten inkludiert worden ist. Somit lassen sich die häufigen Datenverteilungen der Bewegungsamplitude zum Maximum erklären. Ziel der Studie ist, dass die Interventionsmaßnahmen einen Effekt auf die Bewegung beider Schulterseiten haben und somit eine uneingeschränkte Bewegung beidseitig durchführbar wird. Auf die weitere detaillierte Beschreibung der nachfolgenden Boxplots wird zum Nutzen der Lesbarkeit verzichtet. Besondere Auffälligkeiten in den Boxplots werden in Textform aufgenommen.

Abduktion passiv Links

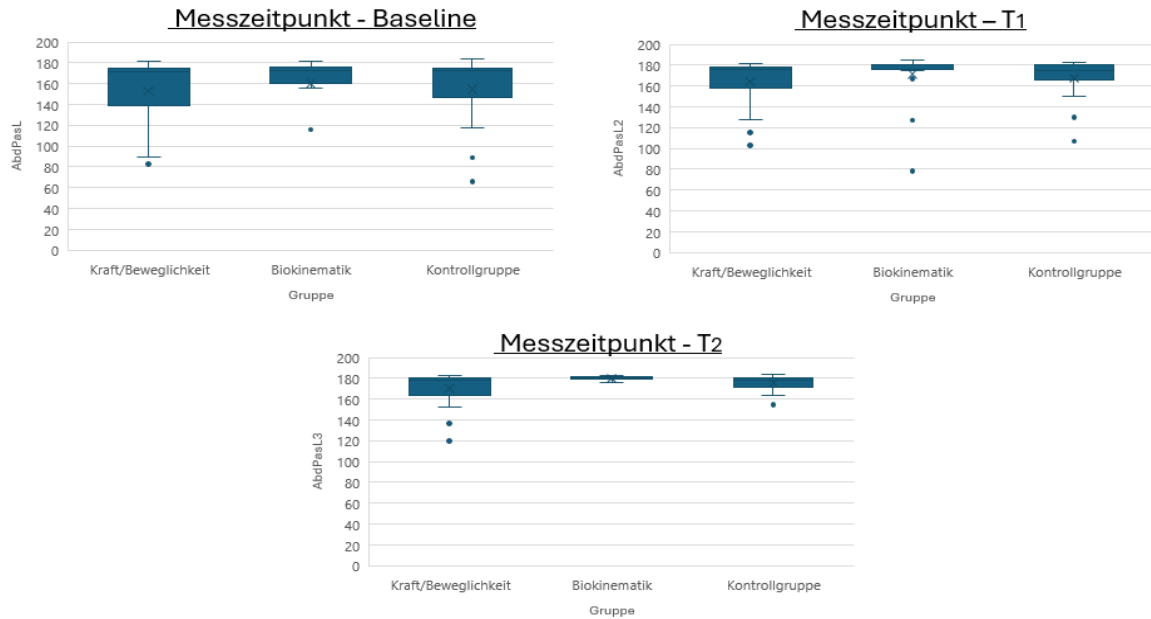


Abb. 16 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Die Boxplots zur passiven Bewegungsamplitude der Abduktion links, weisen einen ähnlichen Charakter im Vergleich zur aktiven Bewegung auf. Lediglich die anfänglichen Varianzen sind visuell geringer im direkten Vergleich zur aktiven Bewegung. Der Effekt der passiven Unterstützung in dem Potenzial durch den Diagnostiker bei der Durchführung der Bewegung wird in dieser Studie nicht erfasst.

Abduktion aktiv Rechts

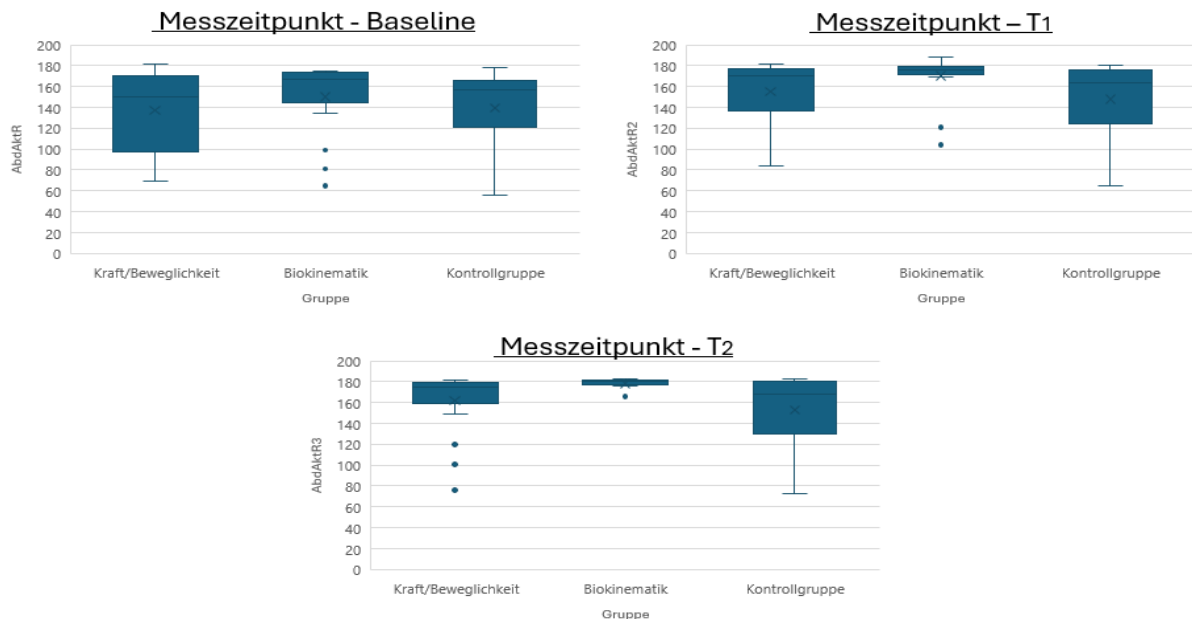


Abb. 17 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Abduktion passiv Rechts

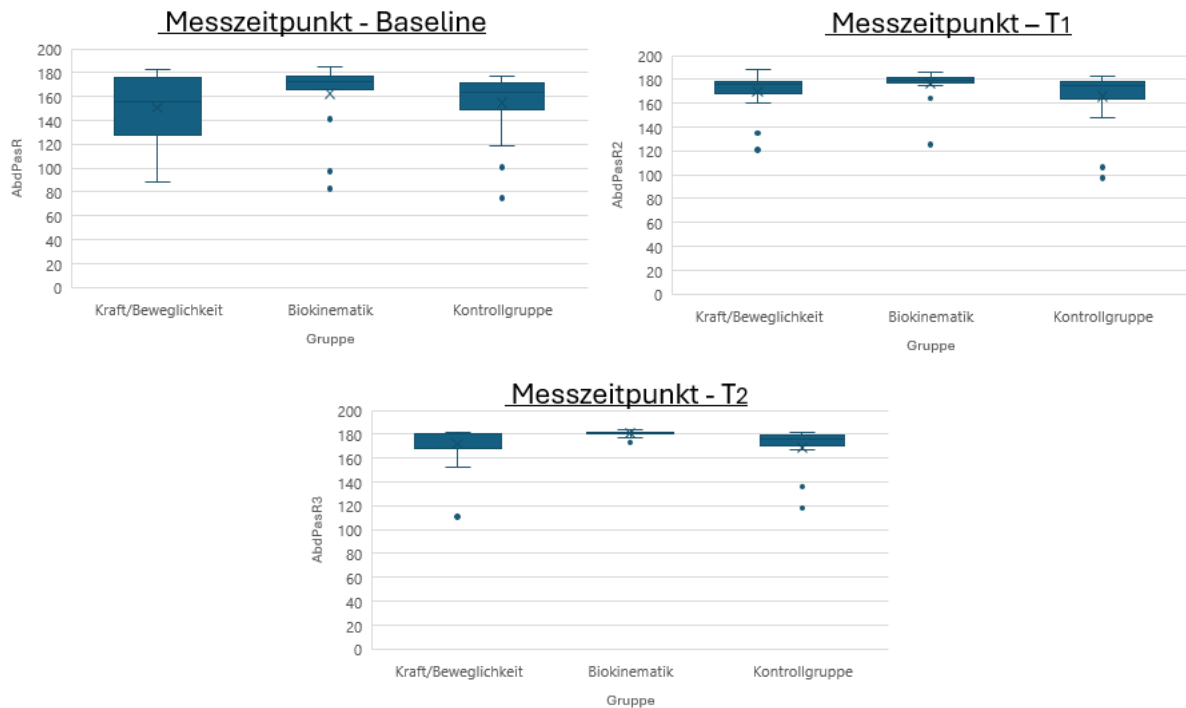


Abb. 18 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Die Abbildung 19 (vgl. Abb. 19) zeigt die Messung der Bewegungsamplitude der Abduktion in der Baseline-Messung für einen zufälligen Probanden aus dem erhobenen Datensatz. Die Messung mit dem digitalen Goniometer gibt exakte Winkelgrade an, die während der Messung vom Probanden in der Abduktion erreicht worden sind. Die Endpunkte der Messung wurden vom Diagnostiker angegeben, sobald eine Ausweichbewegung seitens des Probanden im Ansatz erkannt wird oder die Bewegung selbstständig nicht weitergeführt werden konnte. Die orangenen Bereiche stellen die Schmerzbereiche dar, die unter Kapitel 5.3 behandelt werden.

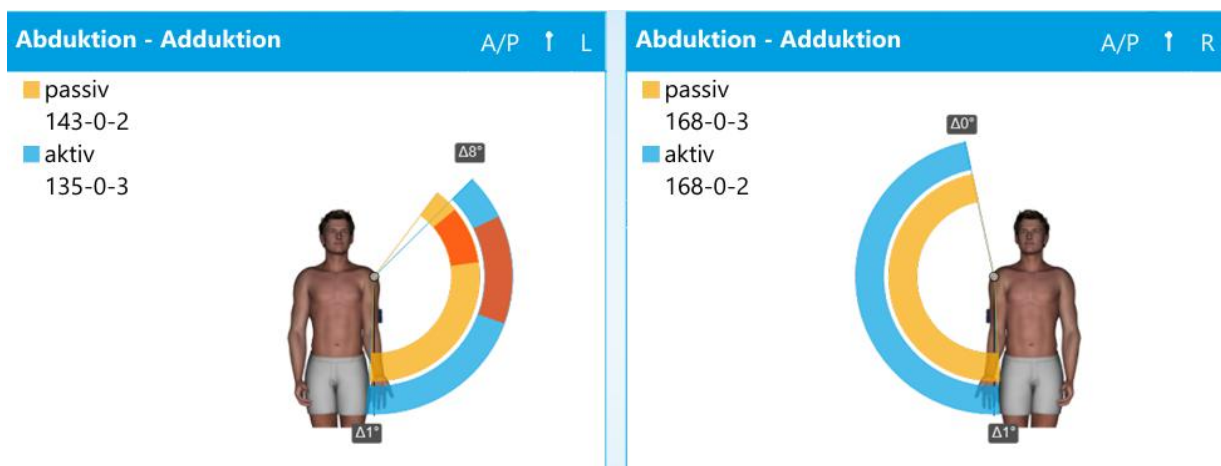


Abb. 19 Darstellung einer Beispielmessung der aktiven Abduktion eines zufälligen Probanden mit dem Mobee® Med der Sportmed AG – Abbildung entnommen aus Mobee®360 der Sportmed AG (EGEN, 2024)

Tab. 15 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die Bewegungsamplitude der Abduktion über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
Abduktion aktiv links					
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		153 ± 42,74	167 ± 32,99	174 ± 18,76
	95% Konfidenzin- tervals des Mittelwertes	Untergrenze	114,97	134,94	157,27
		Obergrenze	153,89	164,97	174,35
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,016		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,002	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,005		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		158 ± 41,69	176 ± 37,05	179 ± 5,50
	95% Konfidenzin- tervals des Mittelwertes	Untergrenze	122,97	143,41	174,19
		Obergrenze	160,93	178,09	179,49
	p-Wert Baseline - T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,002		
	p-Wert T1 - T2 ^{ab}			0,018	
	p-Wert Baseline - T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		158 ± 34,85	172 ± 26,43	170 ± 22,92
	95% Konfidenzin- tervals des Mittelwertes	Untergrenze	128,27	146,63	150,80
		Obergrenze	160,01	170,70	171,67
	p-Wert Baseline - T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbunde- nen Stichpro- ben	0,016		
	p-Wert T1 - T2 ^{ab}			0,251	
	p-Wert Baseline - T2 ^{ab}		0,025		
	Abduktion passiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		171 ± 31,73	176 ± 23,15	178 ± 16,94
	95% Konfidenzin- tervals des Mittelwertes	Untergrenze	138,65	153,61	162,57
		Obergrenze	167,54	174,68	178,00

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,012		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			<0,001	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,001		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		160 ± 29,29	180 ± 25,03	180 ± 1,73
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	147,09	159,44	179,17
		Obergrenze	173,76	182.86	180,83
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	<0,001		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,225	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		172 ± 34,05	175 ± 20,51	178 ± 7,29
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	139,36	167,90	171,83
		Obergrenze	170,35	176,57	178,46
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,108		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,059	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
	Abduktion aktiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		150 ± 39,10	170 ± 28,79	175 ± 28,62
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	119,41	142,27	148,92
		Obergrenze	154,10	168,49	174,98
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,012		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,655	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,002		

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		167 ± 35,70	176 ± 20,60	180 ± 4,54
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	133,75	160,86	176,02
		Obergrenze	166,25	180,14	180,40
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	<0,001		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,029	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		157 ± 33,55	163 ± 37,82	168 ± 37,39
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	124,30	130,59	135,65
		Obergrenze	154,84	165,03	169,68
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,050		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,012	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,001		
	Abduktion passiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		156 ± 28,34	176 ± 17,44	180 ± 16,47
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	137,82	161,63	164,28
		Obergrenze	163,61	177,51	179,21
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,005		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,039	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,001		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		172 ± 26,42	179 ± 12,94	181 ± 2,65
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	150,59	170,44	179,41
		Obergrenze	174,65	182,56	181,96
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman	<0,001		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,346	

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}	bei verbundenen Stichproben	<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		163 ± 26,04	175 ± 22,96	176 ± 19,28
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	142,53	155,40	159,89
		Obergrenze	166,23	176,31	177,44
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	<0,001		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,108	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Zur Bestimmung eines Unterschiedes der Bewegungsamplitude in der Abduktion bei Patienten mit einem subacromialen Impingement-Syndrom der Schulter über einen Interventionszeitraum von acht Wochen wurde eine Varianzanalyse bei verbundenen Stichproben nach Friedman durchgeführt. Im Zeitraum der ersten vier Wochen der Interventionsmaßnahmen sind in allen Interventionsgruppen signifikante Unterschiede in Bezug auf die Bewegungsamplitude der Abduktion im Vergleich zur Baseline-Untersuchung festzustellen ($p < 0,05$). Die signifikanten Unterschiede gehen sowohl aktiv als auch passiv und auch bilateral aus den Ergebnissen der p-Werte hervor. Die statistisch signifikanten Unterschiede sind ebenso nachweisbar im Zeitraum von der Baseline-Messung zur Abschlussmessung nach acht Wochen Interventionen (vgl. Tab. 15 Medianwerte + p-Werte = Baseline zu T2 ($p < 0,05$)). Im Zeitraum der Zwischenmessung nach vier Wochen und der Abschlussmessung nach acht Wochen Interventionen sind nicht-signifikante Unterschiede festzustellen. Die nicht-signifikanten Unterschiede in diesem Zeitraum sind bei der Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen in der Abduktion aktiv rechts ($p = 0,655$) statistisch zu belegen. In der Gruppe der Biokinematik sind die nicht-signifikanten Unterschiede zum Zeitraum T1 bis T2 bei der Abduktion passiv links ($p = 0,225$) und der Abduktion passiv rechts ($p = 0,346$) nachzuweisen und betrifft damit die passive Abduktion der Bewegungsamplitude. Die Kontrollgruppe weist zum Zeitraum T1 bis T2 in der Abduktion aktiv links ($p = 0,251$), der Abduktion passiv links ($p = 0,059$) und der Abduktion passiv rechts ($p = 0,108$) nicht-signifikante Unterschiede in der Bewegungsamplitude auf. Dem Zeitraum der Zwischenmessung ausgeschlossen, lassen sich insgesamt in allen Interventionsgruppen bereits nach vier Wochen Interventionen signifikante Unterschiede in Bezug auf die Bewegungsamplitude statistisch belegen. Zur Bestimmung der statischen Unterschiede auf die Bewegungsamplitude der Abduktion zwischen den Gruppen zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten folgt die statistische Auswertung durch die Anwendung des

Kruskal-Wallis-Test. Der Kruskal-Wallis-Test wurde für die Bewegungsamplitude der Abduktion unilateral, sowie aktiv und passiv im Einzelnen unterschieden.

Tab. 16 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Abduktion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,854	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Abduktion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,227	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Abduktion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,020	Nullhypothese ablehnen

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Aus den Ergebnissen des Kruskal-Wallis-Test für die Bewegungsamplitude der Abduktion aktiv links (vgl. Tab. 16) ist der Wert für den Zeitpunkt nach acht Wochen der Interventionsdurchführung (T2) signifikant ($p = 0,020$). Durch das Auftreten eines signifikanten Wertes lässt sich feststellen, dass im Vergleich der Messdaten zur Abschlussuntersuchung ein signifikanter Unterschied in der Bewegungsamplitude der Abduktion aktiv links auftritt. Zur weiteren Untersuchung zwischen welchen Interventionsgruppen dieser Unterschied ermittelt werden kann, wird ein Post-Hoc-Test durchgeführt (vgl. Tab. 17).

Tab. 17 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Teststatistik	Anp. Sig. ^a
T2		
Kraft/Beweglichkeit-Kontrollgruppe	2,476	1,000
Kraft/Beweglichkeit-Biokinetik	14,768	0,025
Kontrollgruppe-Biokinetik	-12,292	0,085

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Bei den Ergebnissen des Post-Hoc-Tests werden die Signifikanzwerte von der Bonferroni-Korrektur angepasst. Da lediglich zum Zeitpunkt von T2 signifikante Unterschiede ermittelt worden sind, werden die Werte für die Baseline-Messung und die Zwischenmessung in der Tabelle nicht berücksichtigt. Aus den Ergebnissen des Post-Hoc-Tests lassen sich signifikante Unterschiede zwischen der Biokinetik-Gruppe zur Gruppe der Kraft- und Beweglichkeit ermitteln für die Effekte auf die Bewegungsamplitude der Abduktion aktiv links ($p = 0,025$).

Tab. 18 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Abduktion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,701	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Abduktion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,032	Nullhypothese ablehnen
T2	Die Verteilung von Abduktion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,013	Nullhypothese ablehnen

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der weiterführende Kruskal-Wallis-Test ermittelt signifikante Unterschiede für die Effekte auf die Bewegungsamplitude der Abduktion passiv links (vgl. Tab. 18). In der passiven Bewegungsdurchführung der Abduktion der linken Seite sind sowohl in der Zwischenmessung ($p = 0,032$) als auch in der Abschlussmessung ($p = 0,013$) signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zu erkennen. Für diese beiden Zeiträume wird weiterführend ein Post-Hoc-Test durchgeführt (vgl. Tab. 19).

Tab. 19 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Teststatistik	Anp. Sig. ^a
T1		
Kraft/Beweglichkeit-Kontrollgruppe	-3,857	1,000
Kraft/Beweglichkeit-Biokinetik	-14,255	0,033

	Teststatistik	Anp. Sig. ^a
Kontrollgruppe-Biokinematik	10,398	0,191
T2		
Kraft/Beweglichkeit-Kontrollgruppe	-1,333	1,000
Kraft/Beweglichkeit-Biokinematik	-14,961	0,022
Kontrollgruppe-Biokinematik	13,628	0,044

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Zum Zeitpunkt der Zwischenmessung ergeben sich signifikante Unterschiede auf die Bewegungsamplitude der passiven Durchführung der Abduktion links zwischen der Biokinematik und der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe ($p = 0,033$). In der Abschlussmessung sind die signifikanten Unterschiede sowohl zwischen der Biokinematik Anwendung und der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe ($p = 0,022$), als auch zwischen der Biokinematik und der Kontrollgruppe ($p = 0,044$) festzustellen.

Tab. 20 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Abduktion aktiv Rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,243	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Abduktion aktiv Rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,018	Nullhypothese ablehnen
T2	Die Verteilung von Abduktion aktiv Rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,013	Nullhypothese ablehnen

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Test wurde zur Unterschiedsprüfung für die Auswirkungen der Interventionen auf die Bewegungsamplitude der Abduktion rechtsseitig wiederholt (vgl. Tab. 20). Für die aktive Abduktion ergeben sich signifikante Unterschiede nach vier Wochen ($p = 0,018$) und acht Wochen interven-

tionsdurchführung ($p = 0,013$). Für die beiden Zeiträume wurde entsprechend ein Post-Hoc-Test durchgeführt (vgl. Tab. 21).

Tab. 21 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Teststatistik	Anp. Sig. ^a
T1		
Kraft/Beweglichkeit-Kontrollgruppe	2,310	1,000
Kraft/Beweglichkeit-Biokinematik	14,920	0,024
Kontrollgruppe-Biokinematik	-12,611	0,075
T2		
Kraft/Beweglichkeit-Kontrollgruppe	1,095	1,000
Kraft/Beweglichkeit-Biokinematik	14,919	0,023
Kontrollgruppe-Biokinematik	-13,823	0,041

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Zwischen der Biokinematik-Gruppe und der Kraft- und Beweglichkeitsübungen-Gruppe unterscheiden sich die Effekte auf die Bewegungsamplitude der Abduktion rechts in aktiver Ausführung zum Zeitpunkt nach vier Wochen signifikant ($p = 0,024$). Nach Abschluss der Interventionen bei einem Zeitraum von acht Wochen unterscheidet sich der Effekt auf die Bewegungsamplitude zwischen der Biokinematik und der Kraft- und Beweglichkeitsübungen-Gruppe ($p = 0,023$) und der Biokinematik mit der Kontrollgruppe ($p = 0,041$) signifikant.

Tab. 22 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Abduktion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,134	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Abduktion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,005	Nullhypothese ablehnen
T2	Die Verteilung von Abduktion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	<0,001	Nullhypothese ablehnen

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Abschließend für die Bewegungsamplitude der Abduktion wird der Kruskal-Wallis-Test rechtsseitig in der passiven Ausführung unter den Interventionsanwendungen der Gruppen verglichen (vgl. Tab. 22). So lassen sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen in der Zwischenmessung ($p = 0,005$) und der Abschlussmessung ($p = <0,001$) feststellen. Ein paarweiser Vergleich wird entsprechend für die Bewegungsamplitude der passiven Abduktion der rechten Seite durchgeführt (vgl. Tab. 23). Die Ergebnisse der Gesamtheit aller Kruskal-Wallis-Tests lassen sich abschließend entsprechend zusammenfassen und geben einen Überblick über die Effekte auf die Bewegungsamplitude der Abduktion. Die Signifikanzwerte werden nach der Bonferroni-Korrektur angepasst zur Vermeidung von Fehlern 1. Art.

Tab. 23 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Teststatistik	Anp. Sig. ^a
T1		
Kraft/Beweglichkeit-Kontrollgruppe	3,548	1,000
Kraft/Beweglichkeit-Biokinematik	17,532	0,005
Kontrollgruppe-Biokinematik	-13,985	0,039

	Teststatistik	Anp. Sig. ^a
T2		
Kraft/Beweglichkeit-Kontrollgruppe	4,095	1,000
Kraft/Beweglichkeit-Biokinematik	20,852	0,001
Kontrollgruppe-Biokinematik	-16,757	0,008

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Der paarweise Vergleich der Gruppen für die Bewegungsamplitude der Abduktion passiv rechts stellt signifikante Unterschiede in den Ergebnissen der Zwischenmessung für die Biokinematik-Gruppe und der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe ($p = 0,005$), sowie der Biokinematik-Gruppe und der Kontrollgruppe ($p = 0,039$) fest. In der Abschlussmessung sind signifikante Unterschiede zwischen der Biokinematik-Gruppe und der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe ($p = 0,001$), sowie der Biokinematik-Gruppe und der Kontrollgruppe ($p = 0,008$) ermittelt worden. Als gesamtheitliches Fazit für die Auswirkungen der einzelnen Interventionen auf die Bewegungsamplitude der Abduktion kann festgehalten werden, dass jede Interventionsgruppe durch entsprechende Bewegungsreize signifikante Veränderungen in der Bewegungsamplitude der Schulter in der Abduktion vorweisen kann. Die Varianzanalyse nach Friedman hat ebenso ergeben, dass die Kraft- und Beweglichkeitsübungen und auch die Biokinematik-Übungen bereits nach der Zwischenmessung von vier Wochen signifikante Unterschiede vorzuweisen hatten. Der Kruskal-Wallis-Test und die anschließenden paarweisen Vergleiche nach Dunn haben ergeben, dass es zwischen den Gruppen ebenso signifikante Unterschiede im Zeitraum der Zwischenmessung und der Abschlussmessung gegeben hat. Die Biokinematik voran hatte diese Unterschiede entweder mit der Gruppe der Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe oder mit dieser genannten Gruppe und auch der Kontrollgruppe gleichzeitig. Die angegebenen Werte für die Hypothesenprüfung sind Median-Werte. Für ein weiterführendes Fazit der Auswirkungen der Interventionen auf die Bewegungsamplitude werden nachfolgend die Tests für die Innenrotation und die Anteversion wiederholt und ausgewertet.

Innenrotation:

Die Ergebnisse der Innenrotation gelten als Ermittlung der Effektwerte in der Anwendung des Hawkins-Kennedy-Tests. Der Proband gilt als uneingeschränkt beweglich in der Innenrotation, sobald eine Bewegungsamplitude zwischen 0° und schmerzfreien Endpunkt erreicht wird. Der Endpunkt gilt als erreicht, sobald der Patient schmerzfrei in der Bewegung über begleitende Muskelgruppen ausweicht. Die Abbildungen 20 bis 23 fassen die Messungen aller Probanden in der Innenrotation aktiv und passiv, sowie die linke und rechte Körperseite deskriptiv in verschiedenen Boxplots zusammen

Innenrotation aktiv Links

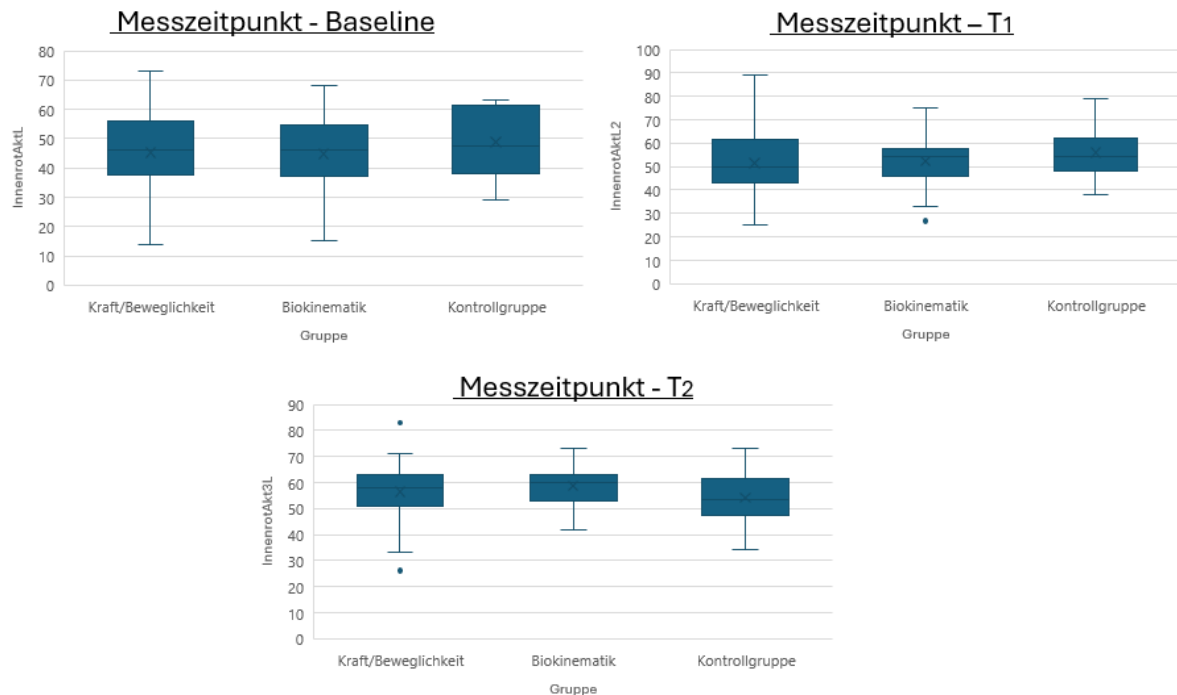


Abb. 20 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Im Vergleich zu den Messdaten der Bewegungsamplitude für die Abduktion sind die Boxplots geringer gestreut. In der Gesamtheit der bilateralen, sowie aktiven und passiven Durchführung der Innenrotation liegt eine schiefe Verteilung vor. Zur Einhaltung der Einheitlichkeit wird das Vorgehen zur Auswertung der deskriptiven und konfirmatorischen Statistiken, mit denen zur Bewertung der Bewegungsamplitude der Abduktion wiederholt. Die Boxplots sind über die Messzeiträume der Interventionsgruppen symmetrischer verteilt im Vergleich zur Abduktion. Es liegen insgesamt weniger Ausreißer vor als bei der Abduktion.

Innenrotation passiv Links

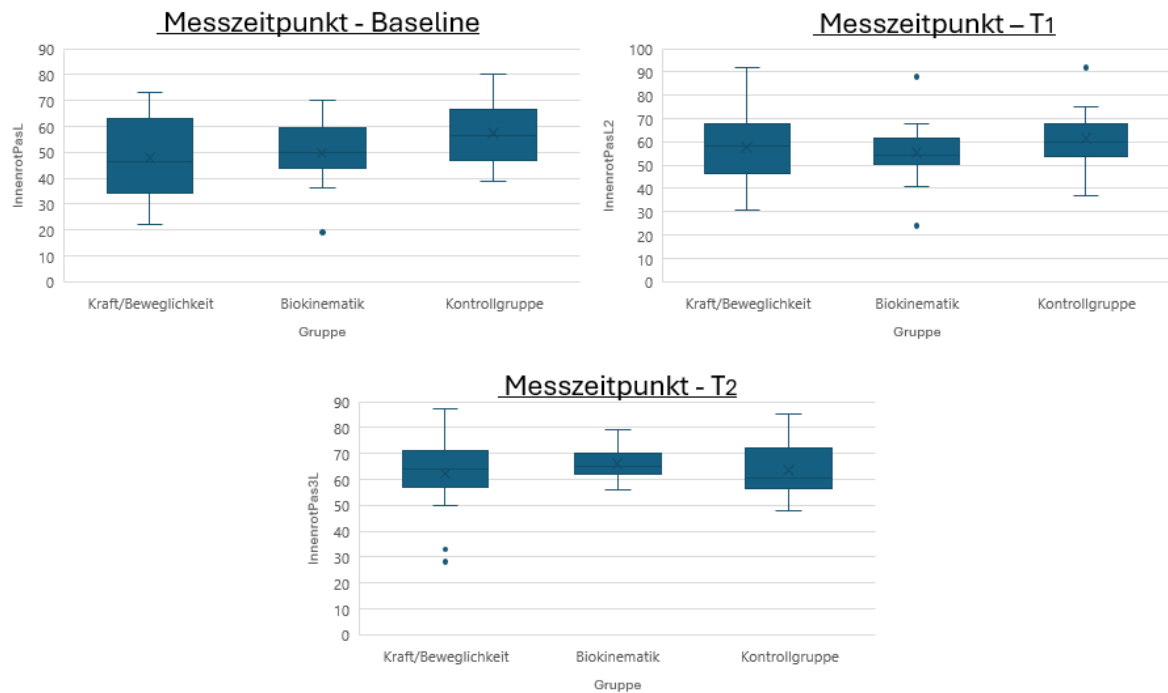


Abb. 21 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Die passiven Messdaten der Bewegungsamplitude sind vergleichbar mit denen der aktiven Bewegung.

Innenrotation aktiv Rechts

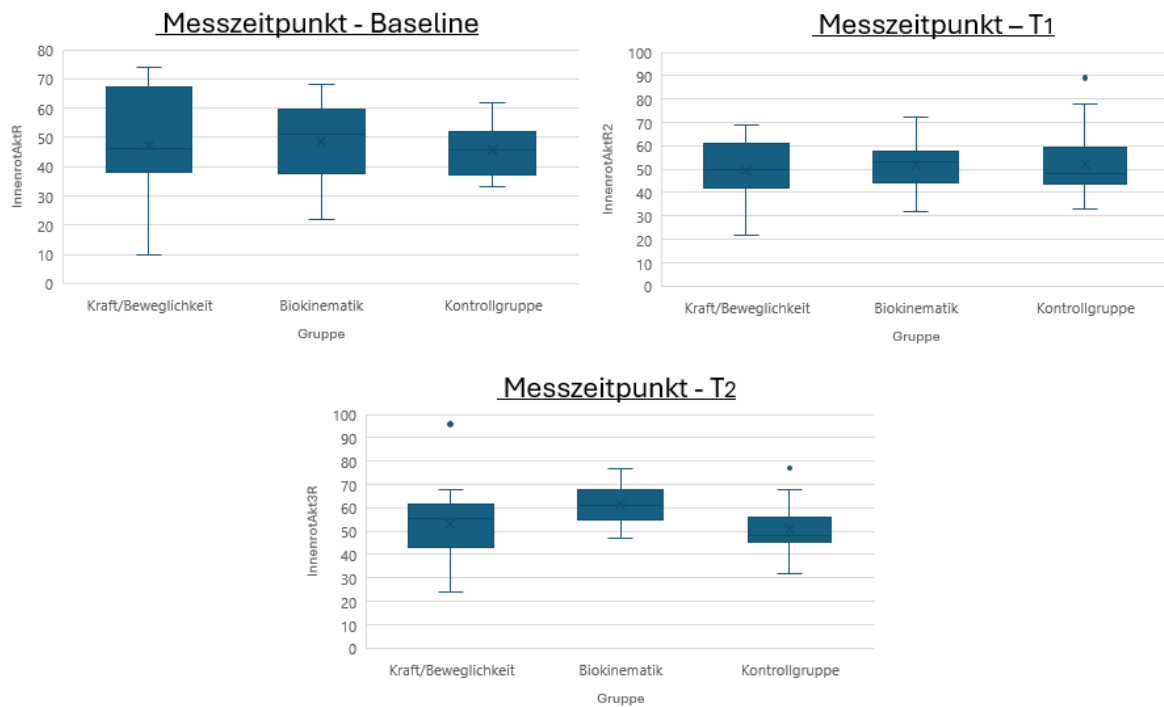


Abb. 22 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Innenrotation passiv Rechts

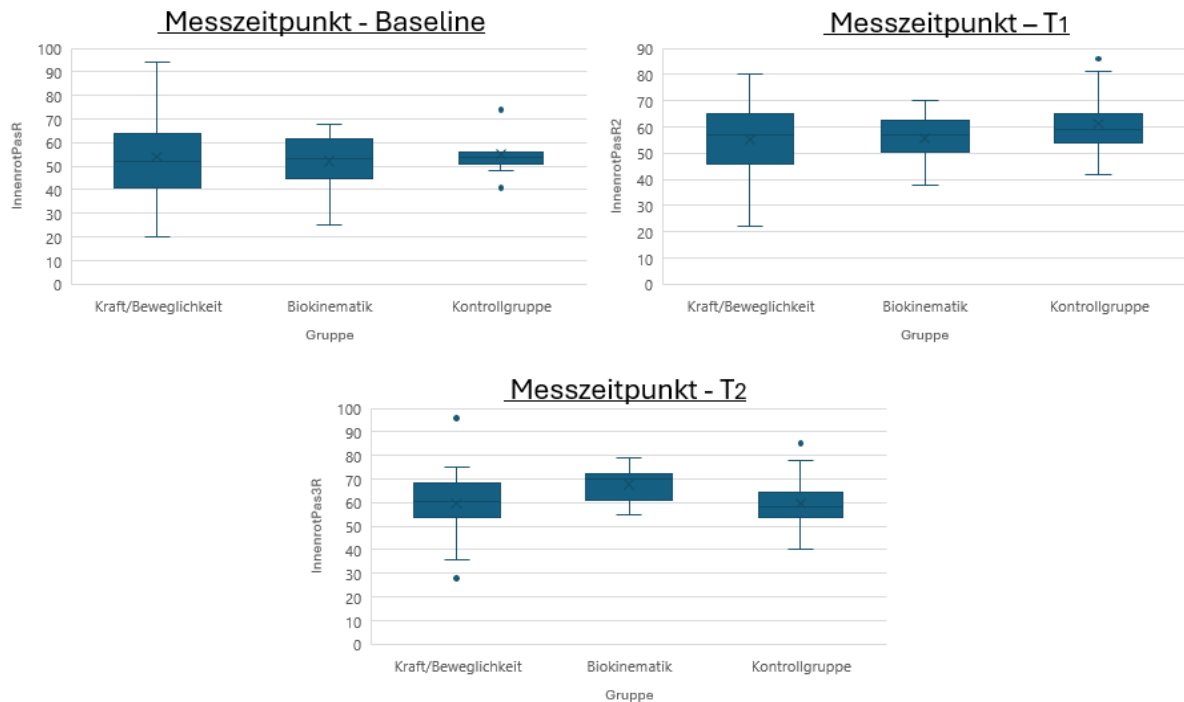


Abb. 23 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

In der Baseline Untersuchung der Kraft- und Beweglichkeitsübungs-Gruppe liegt der obere Whisker unter dem Wert 100. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Goniometer zu den ersten Messungen noch über das Handgelenk der Probanden zu Ausweichbewegungen geführt hat. Die Messdaten wurden über den weiteren Verlauf der Messzeiträume angeglichen.

Die Abbildung 24 (vgl. Abb. 24) zeigt die Messung der Bewegungsamplitude der Innenrotation in der Baseline-Messung für einen zufälligen Probanden aus dem erhobenen Datensatz. Die Messung mit dem digitalen Goniometer gibt exakte Winkelgrade an, die während der Messung vom Probanden in der Innenrotation erreicht worden sind. Die Endpunkte der Messung wurden vom Diagnostiker angegeben, sobald eine Ausweichbewegung seitens des Probanden im Ansatz erkannt wird oder die Bewegung selbstständig nicht weitergeführt werden konnte. Die orangenen Bereiche stellen die Schmerzbereiche dar, die unter Kapitel 5.3 behandelt werden.

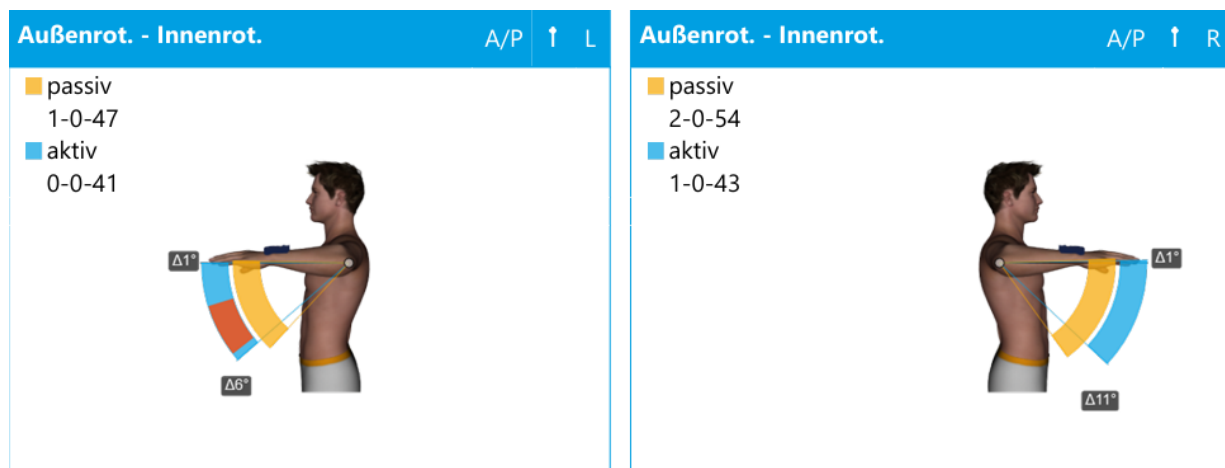


Abb. 24 Darstellung einer Beispielmessung der Innenrotation eines zufälligen Probanden mit dem Mobee®Med der Sportmed AG – Abbildung entnommen aus Mobee®360 der Sportmed AG (EGEN, 2024)

Tab. 24 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die Bewegungsamplitude der Innenrotation über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	Innenrotation aktiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		46,00 ± 15,15	50,00 ± 15,42	58,00 ± 12,55
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	37,11	44,28	50,62
		Obergrenze	53,26	58,72	62,04
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,020		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,157	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		46,00 ± 12,42	54,50 ± 11,50	60,00 ± 8,43
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	38,32	46,97	54,57
		Obergrenze	51,09	57,73	62,70
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,317		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,059	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		47,50 ± 11,76	54,50 ± 11,34	54,50 ± 9,71
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	42,07	50,54	49,65
		Obergrenze	55,65	61,16	58,75
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,052		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,346	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,021		
	Innenrotation passiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		46,50 ± 15,37	58,50 ± 15,83	64,00 ± 13,30
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	39,75	50,19	56,09
		Obergrenze	56,13	65,01	68,20
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,003		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,180	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		50,00 ± 12,30	54,50 ± 12,68	65,00 ± 5,60
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	43,33	49,42	63,36
		Obergrenze	55,97	61,28	68,75
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,134		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			<0,001	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		56,50 ± 12,20	60,00 ± 11,32	60,50 ± 9,92
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	50,38	56,15	58,86
		Obergrenze	64,47	66,75	68,14
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman	0,035		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,134	

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}	bei verbundenen Stichproben	0,013		
	Innenrotation aktiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		46,00 ± 18,13	50,00 ± 12,47	55,50 ± 16,22
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	37,30	43,46	45,56
		Obergrenze	57,37	55,48	60,74
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,593		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			1,000	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,033		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		51,00 ± 13,04	53,00 ± 9,80	61,00 ± 8,56
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	42,00	47,46	57,51
		Obergrenze	55,41	56,64	65,76
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,071		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			<0,001	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,012		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		45,50 ± 9,13	48,00 ± 13,39	48,00 ± 10,44
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	40,30	46,07	45,92
		Obergrenze	50,84	58,21	55,68
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,166		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,655	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,035		
	Innenrotation passiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		52,00 ± 20,46	57,00 ± 14,34	60,50 ± 14,98
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	42,73	48,25	52,74
		Obergrenze	65,40	62,07	66,76

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,033		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,005	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,033		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		53,00 ± 12,27	57,00 ± 9,02	70,00 ± 7,50
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	45,75	51,38	64,12
		Obergrenze	58,37	59,82	71,35
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,197		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			<0,001	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		54,00 ± 8,89	59,00 ± 11,54	58,00 ± 10,20
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	50,08	56,08	54,83
		Obergrenze	60,35	66,56	64,37
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,109		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,655	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,366		

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

In der Tabelle 24 (vgl. Tab. 24) wurden die statistischen Daten für die Bewegungsamplitude der Innenrotation zusammengefasst. Die dort enthaltenden Werte geben Medianwerte der Bewegungsamplitude für die Innenrotation bilateral, sowie in aktiver und passiver Bewegungsdurchführung an. Zur Bestimmung eines Unterschiedes der Bewegungsamplitude der Innenrotation wurde eine Varianzanalyse nach Friedman für die einzelnen Gruppen über den Messzeitraum von acht Wochen durchgeführt. Dabei wird der Zeitraum von der Baseline bis zur Zwischenmessung und der Zeitraum von der Zwischenmessung zur Abschlussuntersuchung mit aufgefasst. Für die aktive Durchführung der Innenrotation auf der linken Seite sind für den Zeitraum von Baseline bis zur Abschlussmessung für die Kraft- und Beweglichkeitsgruppe ($p = <0,001$), die Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) und die Kontrollgruppe ($p = 0,021$) signifikante Unterschiede vorhanden. Die Kraft- und Beweglichkeitsgruppe weist ebenso innerhalb der ersten vier Wochen nach Interventionsstart signifikante Unterschiede

($p = 0,020$) in der Bewegungsamplitude der Innenrotation aktiv auf der linken Seite auf. In der passiven Ausführung der Bewegung sind die Unterschiede der drei Gruppen über den Interventionszeitraum von acht Wochen ebenso signifikant. In der passiven Bewegung sind innerhalb der ersten vier Wochen signifikante Unterschiede bei der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe ($p = 0,003$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,035$) anzunehmen. Auf der rechten Seite sind die Unterschiede der Bewegungsamplitude der Innenrotation in aktiver Bewegung in den Gruppen Kraft- und Beweglichkeitstraining ($p = 0,033$), Biokinematik ($p = 0,012$) und Kontrollgruppe ($p = 0,035$) ebenso signifikant im Zeitraum von Baseline zur Abschlussintervention. Auf der rechten Seite liegen keine signifikanten Unterschiede im Zeitraum von Baseline bis zur Zwischenmessung für die aktive Innenrotation in allen drei Gruppen vor. Für die passive Innenrotation der rechten Seite ergeben sich signifikante Unterschiede für die Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen ($p = 0,033$) und die Biokinematik ($p = <0,001$) für den Zeitraum von Baseline zur Abschlussmessung nach acht Wochen. Die Kontrollgruppe weist über den gesamten Interventionszeitraum keine signifikanten Unterschiede in der passiven Innenrotation der rechten Seite auf. Die Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen hat signifikante Unterschiede innerhalb der ersten vier Wochen festzustellen ($p = 0,033$). Aus der Varianzanalyse nach Friedman für die Bewegungsamplitude der Innenrotation ergeben sich signifikante Unterschiede bilateral und in aktiver und passiver Bewegungsdurchführung über den Interventionszeitraum von acht Wochen für die Kraft- und Beweglichkeitsgruppe und der Biokinematik. Die Kontrollgruppe weist nur über die passive Bewegung auf der rechten Seite keine signifikanten Unterschiede über diesen Zeitraum auf. Die Gruppe der Kraft- und Beweglichkeit kann signifikante Unterschiede in der Bewegungsamplitude der Innenrotation, bis auf die aktive Innenrotation rechtsseitig, bereits nach vier Wochen Interventionsbeginn aufweisen. Zur Bestimmung der statistischen Unterschiede auf die Bewegungsamplitude der Innenrotation zwischen den Gruppen zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten folgt die statistische Auswertung durch die Anwendung des Kruskal-Wallis-Test. Der Kruskal-Wallis-Test wurde für die Bewegungsamplitude der Innenrotation unilateral, sowie aktiv und passiv im Einzelnen unterschieden. Bei signifikanten Unterschieden wird im Nachgang des Kruskal-Wallis-Tests ein Paarweiser Vergleich zur genaueren Bestimmung des Unterschieds durchgeführt.

Tab. 25 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Innenrotation aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,657	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Innenrotation aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,629	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Innenrotation aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,466	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Für einen Unterschiedsvergleich zwischen den unabhängigen Stichproben der einzelnen Interventionsgruppen zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten für die Bewegungsamplitude der Innenrotation wurde der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Der Kruskal-Wallis-Test weist keine signifikanten Unterschiede zu den verschiedenen Messzeitpunkten für die Bewegungsamplitude der Innenrotation in aktiver Durchführung linksseitig auf. Aus diesem Grund wird auf einen weiteren Post-Hoc-Test verzichtet.

Tab. 26 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Innenrotation passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,186	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Innenrotation passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,257	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Innenrotation passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,628	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Die passive Durchführung der Innenrotation linksseitig weist durch die Anwendung des Kruskal-Wallis-Test keine signifikanten Unterschiede für die Bewegungsamplitude über die drei Messzeitpunkte vor. Es wird daher auf einen weiteren paarweisen Vergleich der Stichproben verzichtet.

Tab. 27 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Innenrotation aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,725	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Innenrotation aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,770	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Innenrotation aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,013	Nullhypothese ablehnen

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Für die Bewegungsamplitude der Innenrotation wurde bei aktiver Durchführung der rechten Seite der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Das Testergebnis zeigt einen signifikanten Unterschied für die Bewegungsamplitude zum Zeitpunkt der Abschlussmessung nach acht Wochen zwischen den drei Interventionsgruppen ($p = 0,013$). Ein Post-Hoc-Test wird für diesen Zeitpunkt durchgeführt zur Bestimmung des Unterschiedes (vgl. Tab. 28).

Tab. 28 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Bewegungsamplitude der Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Teststatistik	Anp. Sig. ^a
T2		
Kraft/Beweglichkeit-Kontrollgruppe	3,469	1,000
Kraft/Beweglichkeit-Biokinematik	15,672	0,014
Kontrollgruppe-Biokinematik	-12,203	0,087

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Aus dem anschließenden paarweisen Vergleich ergibt sich ein signifikanter Unterschied für die Bewegungsamplitude der Innenrotation zwischen der Biokinetik und der Gruppe mit den Kraft- und Beweglichkeitsübungen ($p = 0,014$). Die Signifikanzwerte wurden durch die Bonferroni-Korrektur angepasst.

Tab. 29 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

Nullhypothese		Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Innenrotation passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,905	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Innenrotation passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,435	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Innenrotation passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,030	Nullhypothese ablehnen

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Test wurde abschließend für die Unterschiedsbestimmung der Bewegungsamplitude der Innenrotation für die passive Bewegung rechtsseitig durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung ergibt der Kruskal-Wallis-Test einen signifikanten Unterschied zwischen den Stichproben ($p = 0,030$). Für die weiterführende Bestimmung wird ein Post-Hoc-Test durchgeführt (vgl. Tab. 30).

Tab. 30 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Bewegungsamplitude der Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Teststatistik	Anp. Sig. ^a
T2		
Kraft/Beweglichkeit-Kontrollgruppe	1,536	1,000
Kraft/Beweglichkeit-Biokinetik	13,496	0,044
Kontrollgruppe-Biokinetik	-11,961	0,097

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Der Post-Hoc-Test ergibt einen signifikanten Unterschied zwischen der Biokinetik und der Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen ($p = 0,044$) zum Zeitpunkt der Abschlussmessung.

Als abschließendes Fazit für die Bewegungsamplitude der Innenrotation kann festgehalten werden, dass die drei Gruppen über den achtwöchigen Interventionszeitraum signifikante Unterschiede im Vergleich zur Baseline-Untersuchung vorweisen. Die Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen weist weiterhin bereits signifikante Unterschiede nach den ersten vier Wochen der Intervention auf. Der Kruskal-Wallis-Test hat ergeben, dass diese Unterschiede sich nicht-signifikant von den Stichproben der anderen beiden Gruppen zum Zeitpunkt nach vier Wochen unterscheiden. Signifikante Unterschiede für die Bewegungsamplitude zwischen den Gruppen der Biokinetik und der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe konnten zum Zeitpunkt der Abschlussmessung in aktiver und passiver Durchführung rechtsseitig nachgewiesen werden.

Anteversion:

Die Ergebnisse der Anteversion gelten als Ermittlung der Effektwerte in der Anwendung des Neer-Tests. Der Proband gilt als uneingeschränkt beweglich in der Anteversion, sobald eine Bewegungsamplitude zwischen 0° und 180° erreicht wird. Der Endpunkt gilt als erreicht, sobald der Patient schmerzfrei in der Bewegung über begleitende Muskelgruppen ausweicht. Die Abbildungen 25 bis 28 fassen die Messungen aller Probanden in der Anteversion aktiv und passiv, sowie die linke und rechte Körperseite deskriptiv in verschiedenen Boxplots zusammen

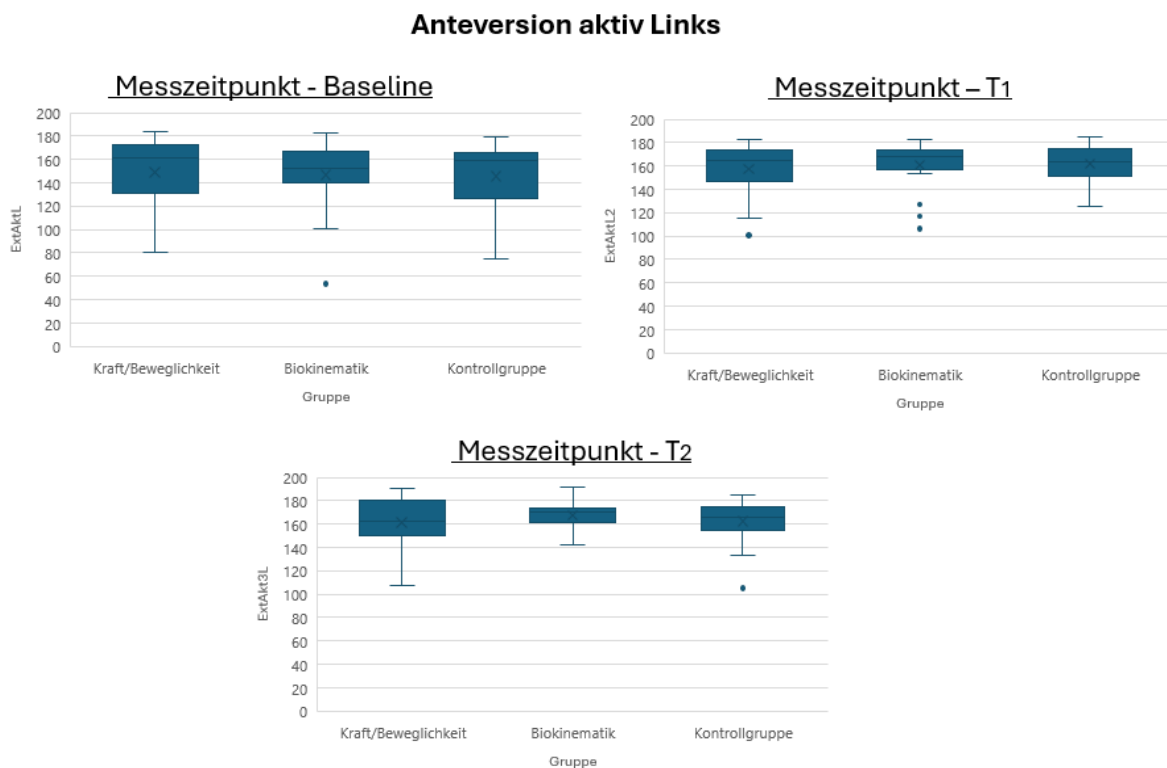


Abb. 25 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Die Boxen werden über den Interventionszeitraum von T1 und T2 visuell kleiner und verschieben sich in Richtung der oberen Grenze. Die kleineren Boxen bedeuten eine geringere Streuung der Werte von der Baseline zur Abschlussmessung. Die Ausreißer sind zum Zeitpunkt T2 kaum vorhanden. Der untere Whisker verkürzt sich geringfügig in Richtung der Boxen über die Messzeitpunkte. Die Werte kumulieren in der Box in der Baseline zwischen 120° bis 165° bis zur T2 von 150° bis 175°. Die Tabelle 31 liefert die Medianwerte inklusive Standardabweichung für die verschiedenen Durchführungen der Anteversion zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten (vgl. Tab. 31).

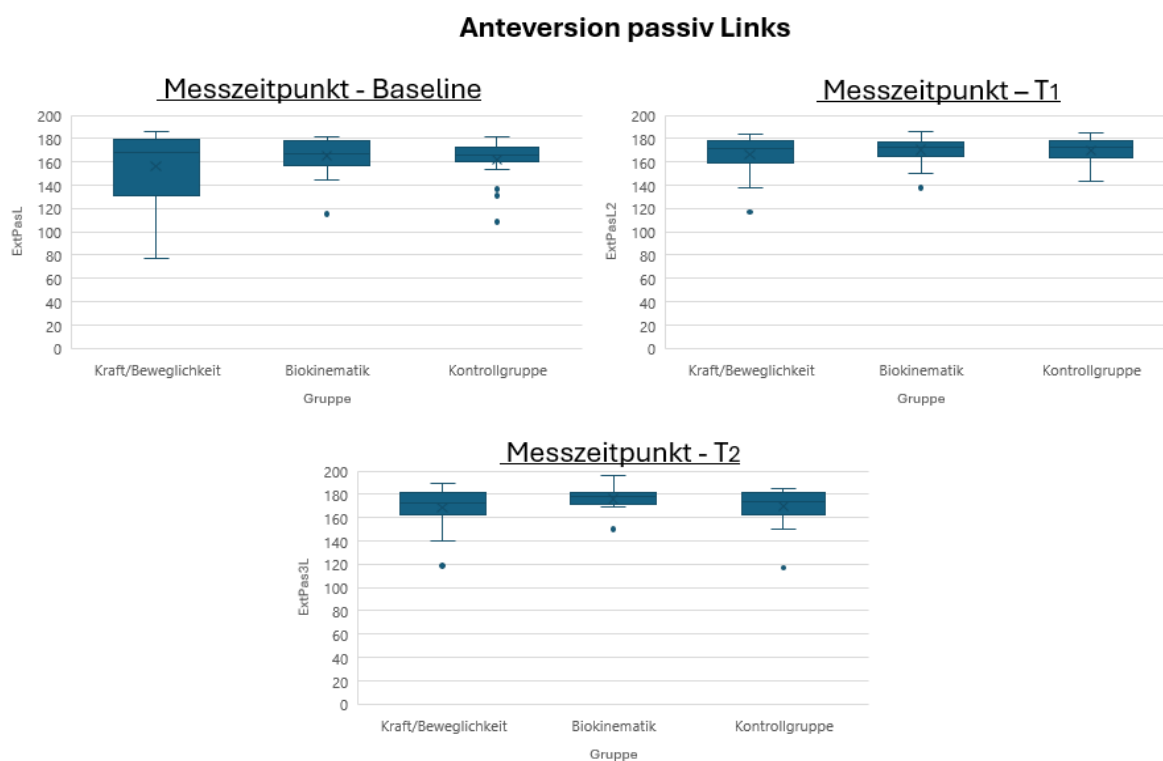


Abb. 26 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Anteversion aktiv Rechts

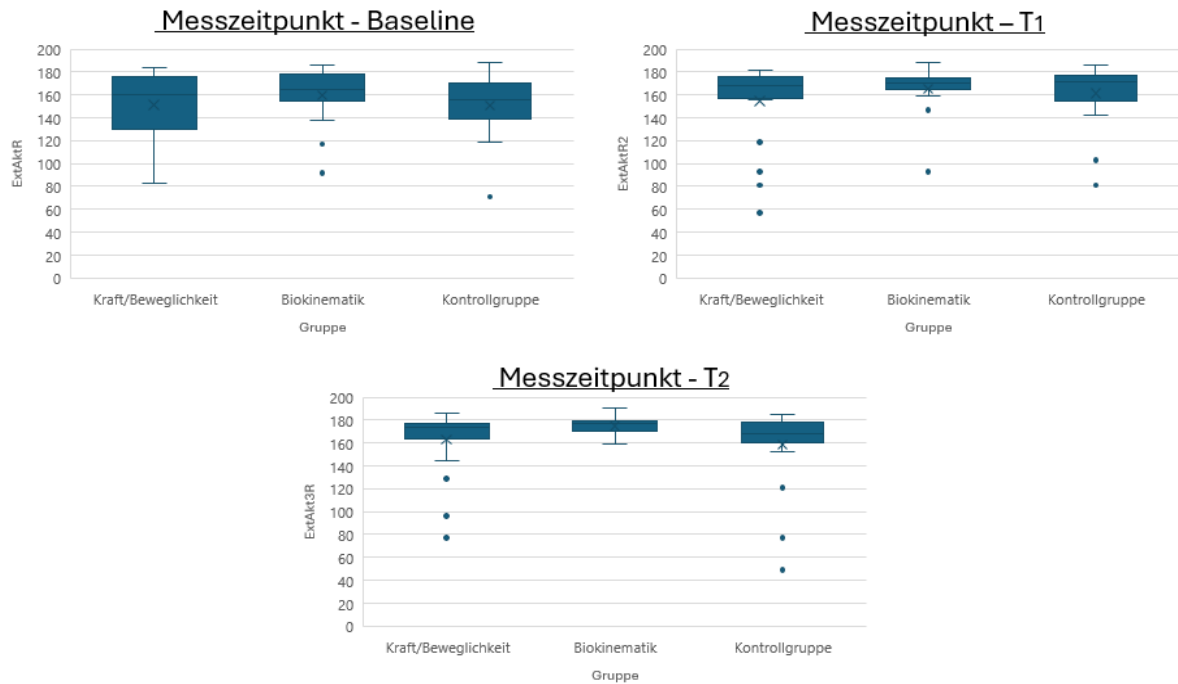


Abb. 27 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Besonders auffällig bei der aktiven Anteversion rechts, sind einige Ausreißer in den Werten der Bewegungsamplitude (vgl. Abb. 27) zum Zeitpunkt von T2. Die Ausreißer sind vor allem in der Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsintervention und der Kontrollgruppe zu verzeichnen. Die Ausreißer befinden sich im Winkelraum zwischen 40° und 135°.

Anteversion passiv Rechts

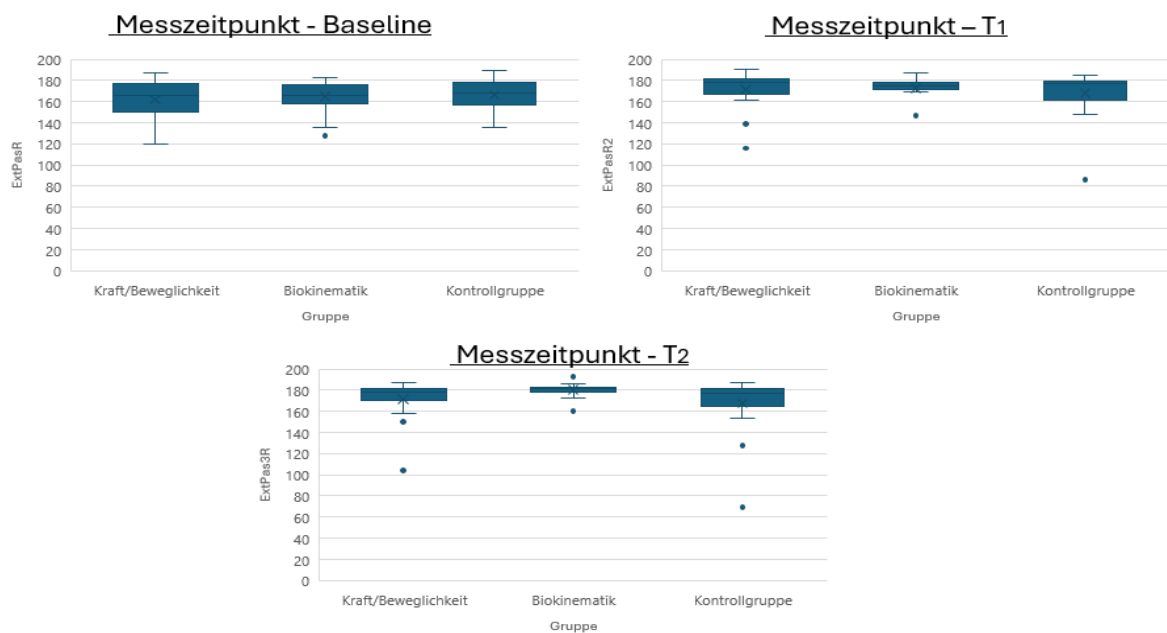


Abb. 28 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Die Abbildung 29 (vgl. Abb. 29) zeigt die Messung der Bewegungsamplitude der Anteversion in der Baseline-Messung für einen zufälligen Probanden aus dem erhobenen Datensatz. Die Messung mit dem digitalen Goniometer gibt exakte Winkelgrade an, die während der Messung vom Probanden in der Anteversion erreicht worden sind.

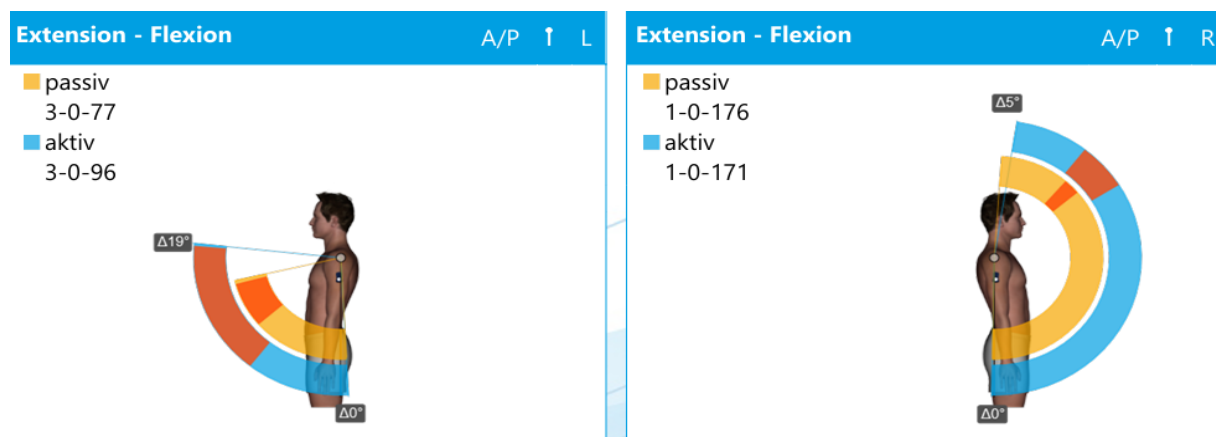


Abb. 29 Darstellung einer Beispielmessung der Anteversion eines zufälligen Probanden mit dem Mobee®Med der Sportmed AG – Abbildung entnommen aus Mobee®360 der Sportmed AG (EGEN, 2024)

Tab. 31 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die Bewegungsamplitude der Anteversion über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	Anteversion aktiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		161 ± 31,43	165,00 ± 21,40	162,00 ± 22,67
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	134,93	147,74	151,11
		Obergrenze	163,54	167,22	171,75
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,513		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,275	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,074		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		152,00 ± 29,26	168,00 ± 20,63	170,00 ± 11,51
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	133,35	151,10	161,92
		Obergrenze	159,99	170,40	173,02
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse	0,003		

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}	nach Friedman bei verbundenen Stichproben		0,467	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		159,00 ± 32,51	163,00 ± 14,91	166,00 ± 19,11
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	130,96	155,31	153,83
		Obergrenze	160,56	168,88	171,22
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,275		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,371	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,050		
	Anteversion passiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		168,00 ± 31,71	171,00 ± 17,11	173,00 ± 17,29
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	141,66	158,83	160,89
		Obergrenze	170,53	174,41	176,63
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,180		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,371	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,025		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		167,00 ± 15,80	173,00 ± 11,45	178,00 ± 9,09
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	157,95	165,09	171,46
		Obergrenze	172,34	175,81	180,23
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,012		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,090	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		166,00 ± 17,09	173,00 ± 12,33	174,00 ± 16,07
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	154,08	164,01	162,64
		Obergrenze	169,64	175,23	177,27

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	p-Wert Baseline zu T ₁ ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,016		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,180	
	p-Wert Baseline zu T ₂ ^{ab}		0,001		
	Anteversion aktiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		160,00 ± 30,46	168,00 ± 35,59	174,00 ± 28,60
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	137,13	138,56	149,75
		Obergrenze	164,87	170,96	175,78
	p-Wert Baseline zu T ₁ ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,827		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,002	
	p-Wert Baseline zu T ₂ ^{ab}		0,050		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		164,50 ± 24,32	170,00 ± 19,88	177,00 ± 7,15
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	147,41	155,39	171,17
		Obergrenze	171,60	175,17	178,28
	p-Wert Baseline zu T ₁ ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,180		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,039	
	p-Wert Baseline zu T ₂ ^{ab}		0,018		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		156,00 ± 31,40	171,00 ± 25,83	168,00 ± 34,97
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	136,42	149,43	142,70
		Obergrenze	165,01	172,95	174,54
	p-Wert Baseline zu T ₁ ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,005		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,127	
	p-Wert Baseline zu T ₂ ^{ab}		0,371		

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	Anteversion passiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		166,00 ± 21,37	178,00 ± 16,74	178,00 ± 18,19
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	152,27	163,62	162,96
		Obergrenze	171,73	178,86	179,51
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,039		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,827	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,025		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		166,00 ± 14,80	174,50 ± 11,82	182,00 ± 6,60
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	157,79	166,77	177,08
		Obergrenze	171,26	177,83	183,44
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,003		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			<0,001	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		168,00 ± 14,14	177,00 ± 21,58	177,00 ± 26,61
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	159,99	158,22	155,56
		Obergrenze	172,86	177,87	179,78
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,025		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,513	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,074		

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Die Tabelle 31 zeigt neben den Medianwerten und dem 95% Konfidenzintervall der verschiedenen Stichproben der Interventionsgruppe zu den einzelnen Messzeitpunkten auch die Ergebnisse der Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben (vgl. Tab. 31). Für die Anteversion aktiv links weist die Biokinematik als einzige Interventionsgruppe signifikante Werte über den Interventionszeitraum für die Bewegungsamplitude auf ($p = <0,001$). Bereits im Zeitraum nach vier Wochen lassen sich auf der linken Seite in aktiver Bewegung signifikante Unterschiede feststellen ($p = 0,003$).

In der passiven Bewegung linksseitig sind die Ergebnisse für alle drei Interventionsgruppen nach acht Wochen Intervention signifikant unterschiedlich. Die p-Werte der Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen ($p = 0,025$), die Biokinematik ($p = <0,001$) und die Kontrollgruppe ($p = 0,001$) sind zum Zeitraum zwischen Baseline und T2 alle signifikant unterschiedlich. Die Biokinematik ($p = 0,012$) und die Kontrollgruppe ($p = 0,016$), sind bereits signifikant unterschiedlich. Die aktive Durchführung der Anteversion rechtsseitig spiegelt die Ergebnisse der linken aktiven Anteversion wider. Die Biokinematik weist über den Interventionszeitraum von Baseline zur Abschlussmessung signifikante Unterschiede ($p = 0,018$) auf. Die Ergebnisse der Kraft- und Beweglichkeitsübungen und der Kontrollgruppe sind über diesen Zeitraum nicht signifikant unterschiedlich. Die Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsintervention hat signifikante Unterschiede zum Zeitraum von T1 zu T2 ($p = 0,002$)- Bei der Kontrollgruppe sind im Zeitraum von Baseline zu T1 signifikante Unterschiede ($p = 0,005$) festzustellen. In der passiven Anteversion rechtsseitig sind die Unterschiede der Ergebnisse für die Bewegungsamplitude über den achtwöchigen Interventionszeitraum für die Kraft- und Beweglichkeitsgruppe ($p = 0,025$) und die Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) signifikant. Die Kontrollgruppe hat signifikante Unterschiede in den Messwerten der Bewegungsamplitude zwischen Baseline und T1 ($p = 0,025$). In diesem Zeitraum sind auch die Werte der Bewegungsamplitude für die Kraft- und Beweglichkeitsgruppe ($p = 0,039$) und der Biokinematik ($p = 0,003$) signifikant unterschiedlich. Die Varianzanalyse nach Friedman lässt sich für die Bewegungsamplitude der Anteversion zusammenfassen, dass in der aktiven Bewegungsdurchführung lediglich die Gruppe der Biokinematik signifikante Unterschiede aufweist. In der passiven Bewegung sind auch die Ergebnisse der Kraft- und Beweglichkeitsübungen neben der Biokinematik ebenfalls signifikant unterschiedlich. Die Kontrollgruppe hat über den Interventionszeitraum keine signifikanten Unterschiede für die Bewegungsamplitude der Anteversion festzustellen.

Der nachfolgende Kruskal-Wallis-Test soll Unterschiede in den Messergebnissen für die Bewegungsamplitude der Anteversion über die drei Messzeitpunkte zwischen den Interventionsgruppen bestimmen.

Tab. 32 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Anteversion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Anteversion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,701	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Anteversion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,838	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Anteversion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,865	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Die aktive Durchführung der Anteversion linksseitig weist durch die Anwendung des Kruskal-Wallis-Test keine signifikanten Unterschiede für die Bewegungsamplitude über die drei Messzeitpunkte vor. Es wird daher auf einen weiteren paarweisen Vergleich der Stichproben verzichtet.

Tab. 33 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Anteversion passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Anteversion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,786	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Anteversion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,924	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Anteversion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,531	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Die passive Durchführung der Anteversion linksseitig weist durch die Anwendung des Kruskal-Wallis-Test keine signifikanten Unterschiede für die Bewegungsamplitude über die drei Messzeitpunkte vor. Es wird daher auf einen weiteren paarweisen Vergleich der Stichproben verzichtet.

Tab. 34 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Anteversion aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Anteversion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,343	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Anteversion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,768	Nullhypothese ablehnen
T2	Die Verteilung von Anteversion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,209	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Die aktive Durchführung der Anteversion rechtsseitig weist durch die Anwendung des Kruskal-Wallis-Test keine signifikanten Unterschiede für die Bewegungsamplitude über die drei Messzeitpunkte vor. Es wird daher auf einen weiteren paarweisen Vergleich der Stichproben verzichtet.

Tab. 35 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Anteversion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Anteversion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,965	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Anteversion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,856	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Anteversion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,028	Nullhypothese ablehnen

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Test wurde abschließend für die Unterschiedsbestimmung der Bewegungsamplitude der Anteversion für die passive Bewegung rechtsseitig durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung ergibt der Kruskal-Wallis-Test einen signifikanten Unterschied zum Zeitpunkt

der Abschlussmessung zwischen den Stichproben ($p = 0,028$). Für die weiterführende Bestimmung wird ein Post-Hoc-Test durchgeführt (vgl. Tab. 36).

Tab. 36 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Bewegungsamplitude der Anteversion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Teststatistik	Anp. Sig. ^a
T2		
Kraft/Beweglichkeit-Kontrollgruppe	-0,786	1,000
Kraft/Beweglichkeit-Biokinematik	-13,503	0,048
Kontrollgruppe-Biokinematik	12,717	0,070

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Der Post-Hoc-Test ergibt einen signifikanten Unterschied zwischen der Biokinematik und der Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen ($p = 0,048$) zum Zeitpunkt der Abschlussmessung.

Als Abschlussfazit für die Bewegungsamplitude der Anteversion kann nach Anwendung des Kruskal-Wallis-Test festgehalten werden, dass signifikante Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen einzig zum Zeitpunkt von T2 in der passiven Durchführung der rechten Seite nachzuweisen sind.

Als abschließendes Gesamtfazit für die Effekte auf die Bewegungsamplitude nach der deskriptiven und statistischen Auswertung der verschiedenen Bewegungsrichtungen und Anwendung der klinischen Untersuchungstechniken für die Bestimmung eines subacromialen-Impingement-Syndroms kann wie folgt festgehalten werden. Die Biokinematik zeigt nach der Varianzanalyse nach Friedman kurzfristige signifikante Unterschiede auf die Bewegungsamplitude der Abduktion, der Innenrotation und Anteversion in bilateraler, sowie aktiver und passiver Bewegungsdurchführung. Der Kruskal-Wallis-Test hat abschließend ergeben, dass zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung signifikante Unterschiede zwischen der Biokinematik und der Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen in der Abduktion, der rechten Seite in aktiver und passiver Durchführung der Innenrotation und in der passiven Durchführung der Anteversion rechtseitig vorliegen. Für die Kraft- und Beweglichkeitsgruppe sind nach der Varianzanalyse nach Friedman signifikante Unterschiede in der Bewegungsamplitude der Abduktion und Innenrotation über den achtwöchigen Interventionsraum nachzuweisen. Für die Kontrollgruppe ergab die Varianzanalyse nach Friedman signifikante Unterschiede für die Bewegungsamplitude der Abduktion und der aktiven Bewegung der Innenrotation über den Messzeitraum von acht Wochen.

5.3 Effekte auf die Schmerzamplitude

Mit der Messung des digitalen Goniometers kann der Eintritts- und Austrittswinkel der Schmerzwahrnehmung der Probanden gemessen werden. Die Literatur gibt für die verschiedenen klinischen Untersuchungstechniken Schmerzwinkel an, welche positive Anzeichen für ein SIS widerspiegeln. In der Praxis ermöglicht die Aufnahme der Schmerzwinkel eine Range zu erfassen, in welcher der Patient Schmerzen in der Bewegung verspürt. Das Ziel der Erfassung dieser schmerzhaften Range ermöglicht die Bestimmung eines Differenzwertes zwischen Eintrittswinkel und Austrittswinkel des schmerzhaften Gefühls beim Patienten. Die Interventionsmaßnahmen sollen hinsichtlich einer Reduktion dieser Range geprüft werden, um die Auswirkungen der einzelnen Interventionen zu erfassen. Da der Schmerz in der Theorie zu den angegebenen Werten einsetzt und wieder abklingt, aber in der Praxis auch von diesen Werten in den einzelnen Messungen abweichen könnte, wird der Differenzwert dieser beiden Winkelgrade für die Auswertung herangezogen, um vergleichbare Werte in der Gesamtheit für die einzelnen Bewegungen zu schaffen. Bei der Datenanalyse in SPSS wurden Schmerzwinkel angegeben, welche zur Baseline oder Zwischenmessung nach vier Wochen erfasst worden sind. So werden die nachfolgenden Werte als 0-Werte bewertet. Diese Entscheidung der Bewertung liegt darin begründet, dass vorher erfasste Schmerzwinkel eines Probanden für den weiteren statistischen Verlauf ausgewertet werden können. Das Auslassen des Datenfeldes berücksichtigt lediglich die zu diesem Messzeitpunkt erfassten Schmerzwinkel und würde vorherige erfasste schmerzhaft Bewegungen außer Acht lassen.

Abduktion:

Die Bewegung der Abduktion spiegelt den klinischen Test des Painful-Arc-Tests für als Indikationswert eines SIS wider. Der Painful-Arc-Test gibt in der Literatur einen klaren Winkelbereich an, in welchem der Patient einen Schmerzbeginn und das Abklingen der Schmerzwahrnehmung angibt. Die Schmerzwinkel werden während der Datenerfassung mit dem Probanden abgestimmt. Sobald ein Schmerzgefühl beim Probanden in der Abduktion einsetzt, meldet der Patient mittels Gestik und akustischem Signal dem Diagnostiker den Beginn des Schmerzgefühls. Der Diagnostiker erfasst diesen Wert durch einen Tastendruck auf dem Goniometer. Der Endpunkt wird durch Rücksprache mit dem Probanden ebenfalls bestimmt. Weicht der Patient in der Bewegung aus, wird eine zumutbare Schmerzschwelle überschritten oder ist die Bewegung nicht weiter durchführbar, wird dieser Punkt weiterhin als Schmerzpunkt aufgefasst. Klingt der Schmerz ab einem bestimmten Winkelgrad vom Probanden subjektiv spürbar ab, wird dieser Winkelgrad ebenfalls als Endpunkt erfasst. Setzt der Schmerz nach einer schmerzfreien Range oberhalb des vorher bestimmten Endpunktes wieder ein, so wird der oberste Winkelgrad als neuer definierter Endpunkt des Austrittswinkels erfasst, um einen Differenzwert bestimmen zu können. Der Eintrittswinkel und Austrittswinkel wird mit SPSS erfasst und mittels Datentransformation einen Differenzwert dieser beiden Punkte für die jeweilige Bewegung

bestimmt. Die Abbildungen 30 bis 33 (vgl. Abb. 30 bis 33) geben die Differenzwerte der Schmerzwinkelgrade der Abduktion über den zeitlichen Interventionsablauf der jeweiligen Interventionsgruppen an. Da die Schmerzwinkel bilateral erfasst worden sind, aber die Indikation für das SIS auch beim Probanden unilateral vorliegen kann, wird neben den Boxplots für die deskriptive Statistik auch eine Tabelle mit den verarbeiteten Fällen über die Zeiträume angegeben, um einen Überblick über die Inkludierung des Wertes n (= Anzahl der Fälle) für die Datenauswertung anzugeben. Die Interventionsmaßnahme gilt als deskriptiv unterschiedlich, wenn die Box des Boxplots sich dem Wert 0 annähert. Der 0-Wert bedeutet, dass kein Differenzwert in der Messung der Bewegungsamplitude aufgefasst worden ist und der Patient die Bewegung schmerzfrei durchführen konnte. Damit orientiert sich die Beurteilung des Unterschiedes der Interventionsmaßnahmen nicht an den angegebenen Eintritts- und Austrittswinkel der subjektiven Schmerzwahrnehmung des Probanden des Painful-Arc-Tests, sondern am Schmerzgefühl des Probanden über die gesamte Bewegungsamplitude, während der Durchführung der Abduktion.

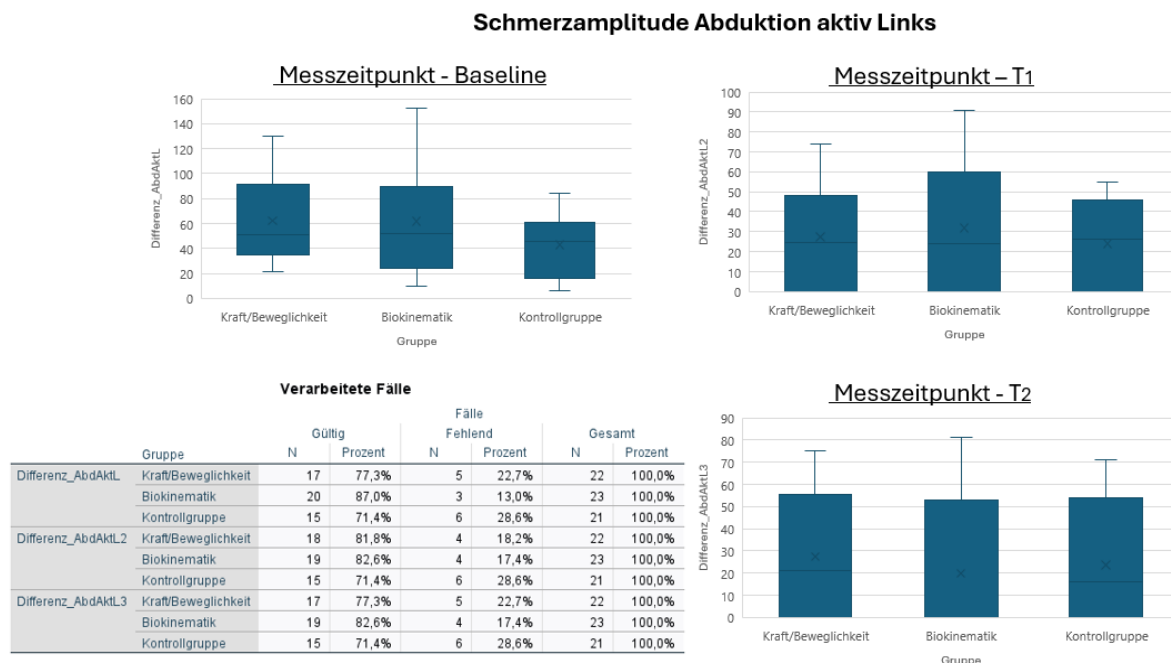


Abb. 30 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

In der Bewegung der aktiven Abduktion links wurden zur Baseline für die Kraft- und Beweglichkeitsübungen-Gruppe (n = 17 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 20 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 15 Personen) Differenzwerte erfasst. Nach der achtwöchigen Intervention wurden für die Kraft- und Beweglichkeitsübungen-Gruppe (n = 17 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 19 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 15 Personen) Differenzwerte erfasst. Die Messwerte der Baseline sind über die drei Interventionsgruppen schief verteilt. Mit der Messung der Werte über die Zwischenmessung zur Abschlussmessung gleichen sich die Werte einer Normalverteilung an und einer gleichen Annäherung des Mittelwertes. Die Boxen haben in der Abschlussmessung eine obere Reich-

weite zu Differenzwerten zwischen 50 bis 60. Es sind wenige Ausreißer in den Boxen zum Zeitpunkt von T2 enthalten, sodass die Streuung um den Median recht groß verteilt ist.

Schmerzamplitude Abduktion passiv Links

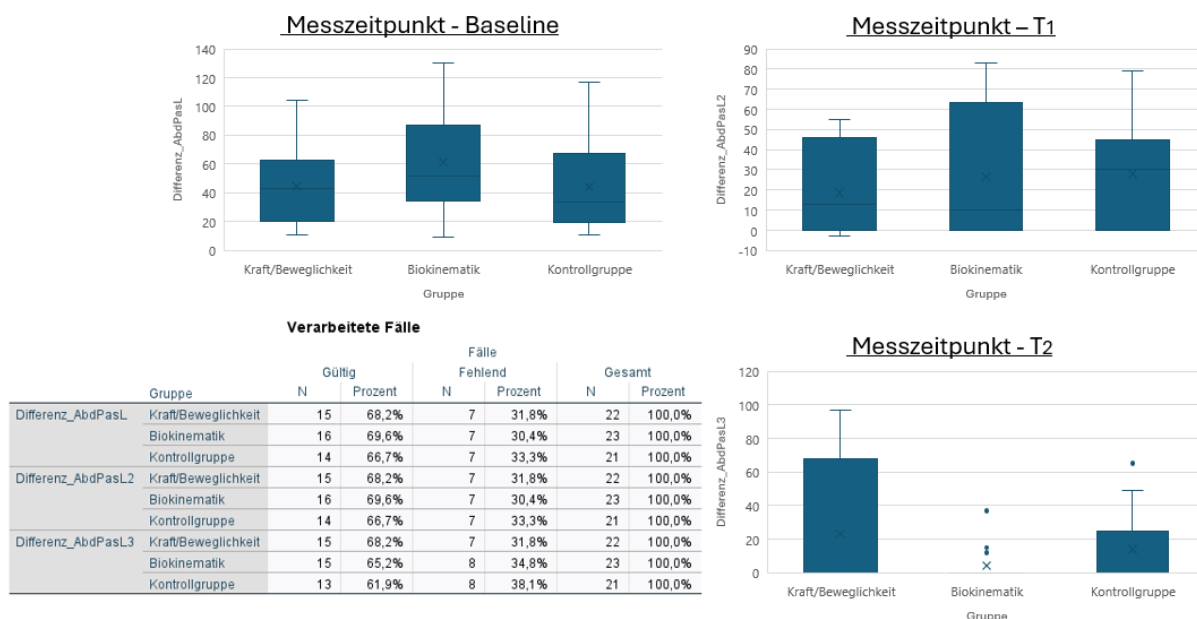


Abb. 31 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

In der passiven Bewegung der Abduktion linksseitig sind im Vergleich zur aktiven Abduktion weniger Werte in der Datenverarbeitung aufgenommen worden. Die Werte von T1 sind in der passiven Abduktion vergleichbar mit den Werten der aktiven Abduktion. Zum Zeitpunkt der Abschlussmessung unterscheiden sich die Werte deskriptiv. So ist die Box der Kontrollgruppe visuell geringer. Bei der Biokinematik ist die Box im 0-Wert verschwunden und zeigt wenige Ausreißer.

Schmerzamplitude Abduktion aktiv Rechts

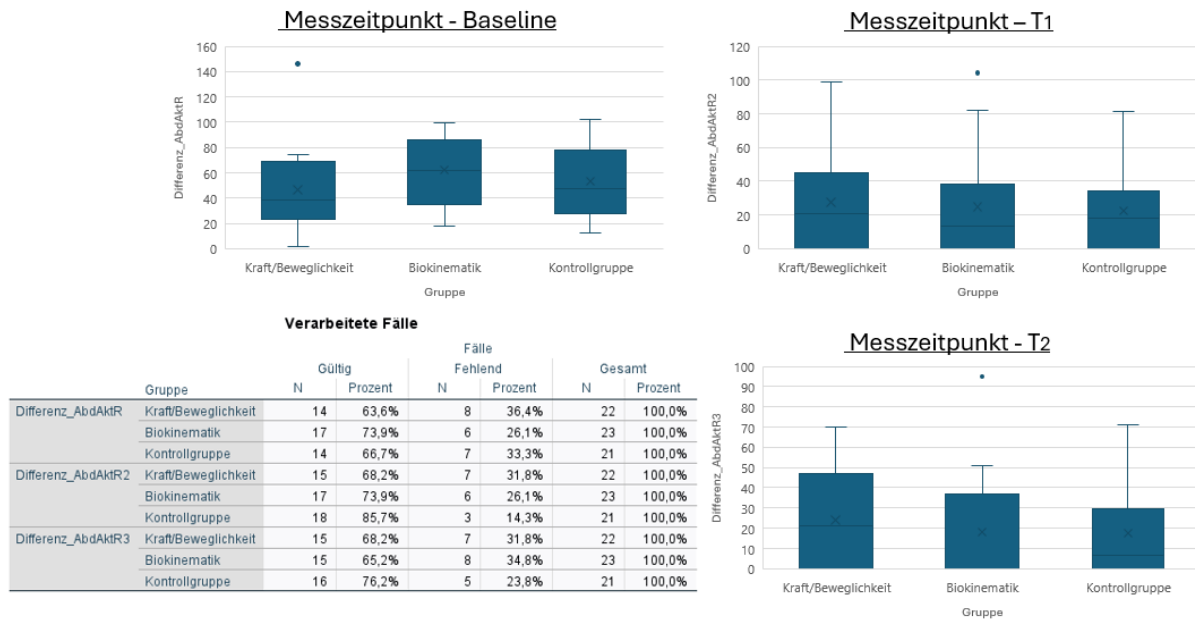


Abb. 32 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

In der Bewegung der aktiven Abduktion rechts wurden zur Baseline für die Kraft- und Beweglichkeitsübungen-Gruppe (n = 14 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 17 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 14 Personen) Differenzwerte erfasst. Nach der achtwöchigen Intervention wurden für die Kraft- und Beweglichkeitsübungen-Gruppe (n = 15 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 15 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 16 Personen) Differenzwerte erfasst. Damit sind in der Relation zur linken Seite weniger Schmerzwerte auf der rechten Seite vorhanden. Die Verteilung der Boxplots über die drei Messzeiträume sind miteinander vergleichbar. Auch auf der rechten Seite sind zum Zeitpunkt von T2 die Medianwerte im Vergleich gleichmäßig gestreut. Der Median liegt beim Messzeitpunkt T2 im Vergleich zur linken Seite differenziert verteilt vor.

Schmerzamplitude Abduktion passiv Rechts

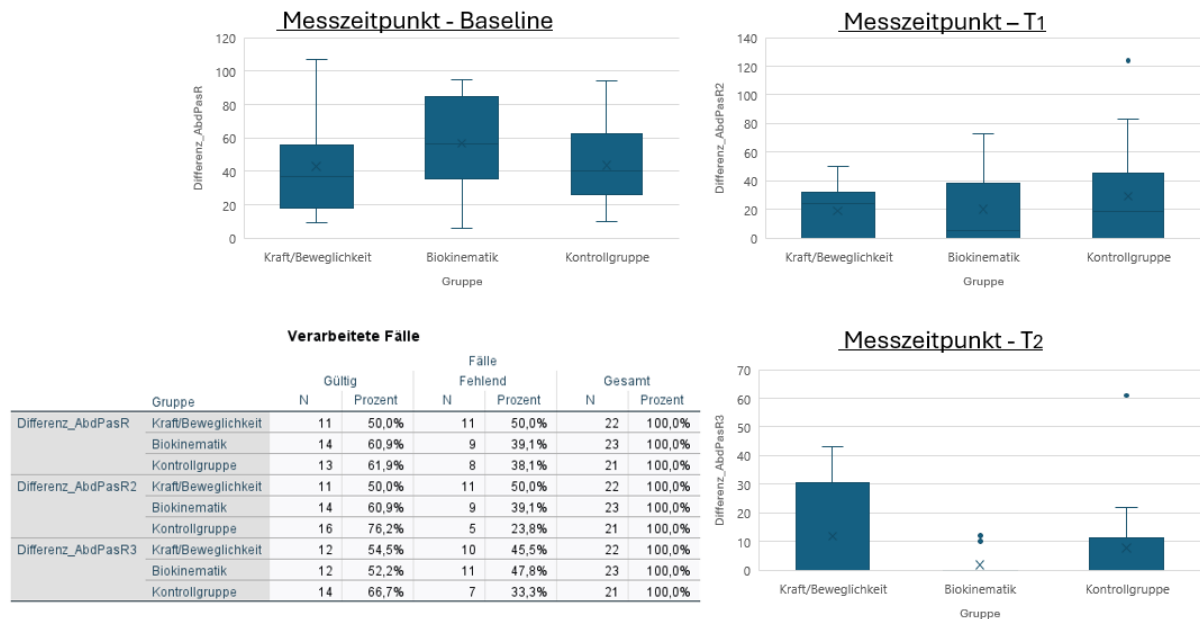


Abb. 33 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

In der passiven Bewegung der Abduktion rechtsseitig sind im Vergleich zur aktiven Abduktion weniger Werte in der Datenverarbeitung aufgenommen worden. Hinsichtlich der Baseline und T1 sind die Werte der passiven und aktiven Schmerzamplitude der rechten Seite miteinander vergleichbar. Die Messung zum Zeitpunkt T2 sind vergleichbar mit den Werten der passiven Abduktion der linken Seite. So ist die Box der Gruppe der Biokinematik dem 0-Wert nahe und hat wenige Ausreißer. Die Kontrollgruppe verschiebt den Boxplot insgesamt in Richtung des 0-Wertes, streut aber weiterhin um den Median.

Die statistische Auswertung der Schmerzamplitude der Abduktion folgt unter Zuhilfenahme der Auswertung der p-Werte nach der Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben (vgl. Tab. 37).

Tab. 37 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die Schmerzamplitude der Abduktion über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	Schmerzamplitude Abduktion aktiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		51,00 ± 35,69	24,50 ± 25,23	21,00 ± 29,24
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	43,88	14,73	12,32
		Obergrenze	80,59	39,82	42,39
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,002		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,083	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,317		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		51,50 ± 42,16	24,00 ± 30,64	0,00 ± 31,08
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	41,97	17,23	4,86
		Obergrenze	81,43	46,77	34,82
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,059		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,033	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,003		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		46,00 ± 24,40	26,00 ± 19,78	16,00 ± 25,96
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	29,29	12,98	9,29
		Obergrenze	56,31	34,88	38,04
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,071		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,527	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,071		
		Schmerzamplitude Abduktion passiv links			
Kraft/	Median ± Standardabweichung		43,00 ± 27,21	13,00 ± 22,07	0,00 ± 35,00
Beweglichkeit	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	29,60	6,38	3,62
		Obergrenze	59,73	30,82	42,38

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,005		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,206	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,071		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		51,50 ± 37,47	10,00 ± 31,16	0,00 ± 10,23
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	41,54	10,14	-1,40
		Obergrenze	81,46	43,36	9,93
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,020		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,011	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		33,50 ± 30,98	30,50 ± 26,21	0,00 ± 26,76
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	26,32	13,01	-2,25
		Obergrenze	62,10	43,28	30,10
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,109		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,020	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,013		
	Schmerzamplitude Abduktion aktiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		38,50 ± 36,02	21,00 ± 28,90	21,00 ± 24,12
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	25,49	11,60	10,58
		Obergrenze	67,08	43,60	37,29
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,033		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,564	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,109		

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		62,00 ± 27,50	13,00 ± 32,10	0,00 ± 27,92
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	48,22	8,27	2,54
		Obergrenze	76,49	41,26	33,46
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,008		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,132	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,005		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		47,50 ± 28,55	18,00 ± 24,36	6,50 ± 21,89
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	36,73	10,39	5,77
		Obergrenze	69,70	34,61	29,10
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,033		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,739	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,013		
	Schmerzamplitude Abduktion passiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		37,00 ± 30,47	24,00 ± 17,17	0,00 ± 16,79
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	22,56	7,55	1,16
		Obergrenze	63,44	30,63	22,50
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,007		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,739	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,007		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		56,50 ± 27,84	5,00 ± 26,44	0,00 ± 4,30
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	40,71	5,16	-0,90
		Obergrenze	72,86	35,69	4,57
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman	0,008		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,008	

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}	bei verbundenen Stichproben	0,004		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		40,00 ± 24,82	18,50 ± 34,70	0,00 ± 16,90
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	28,40	10,88	-1,97
		Obergrenze	58,52	47,87	17,54
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,166		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,020	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Für die Entscheidung der Annahme oder Verwurf der Nullhypothese der Interventionseffekte über den Interventionszeitraum der jeweiligen Gruppen, wurde eine Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben durchgeführt. Für die Schmerzamplitude der aktiven Abduktion der linken Seite ergeben sich signifikante Unterschiede für den Zeitraum von Baseline zur Abschlussmessung nach acht Wochen Intervention für die Gruppe der Biokinematik ($p = 0,003$). Die Werte für die Gruppe der Kraft- und Beweglichkeits-Intervention und der Kontrollgruppe sind über diesen Zeitraum nicht-signifikant unterschiedlich. In der passiven Abduktion derselben Seite sind die Werte für die Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,013$) signifikant unterschiedlich für den Zeitraum von Baseline bis T2. Die Werte für die Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen sind über keinen Zeitraum signifikant unterschiedlich für die Schmerzamplitude der passiven Abduktion. Im Zeitraum der Baseline zur Zwischenmessung nach vier Wochen weist die Gruppe der Biokinematik für die passive Abduktion linksseitig signifikante Unterschiede ($p = 0,020$) für die Schmerzamplitude auf. Die aktive Abduktion der rechten Seite zeigt signifikante Unterschiede von Baseline zur Abschlussmessung für die Biokinematik ($p = 0,005$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,013$). Es sind keine signifikanten Unterschiede für die Schmerzamplitude der aktiven Abduktion der rechten Seite über den Interventionszeitraum für die Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen vorhanden. Die Gruppe der Biokinematik ($p = 0,008$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,033$) weisen nach den ersten vier Wochen des Interventionsstarts signifikante Unterschiede in den Werten der Schmerzamplitude auf. In der passiven Abduktion der rechten Seite sind die Werte der Schmerzamplitude in der Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen ($p = 0,007$), der Biokinematik ($p = 0,004$) und der Kontrollgruppe ($p = <0,001$) allesamt signifikant unterschiedlich über den gesamten Interventionszeitraum von Baseline zu T2. Die

Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen ($p = 0,007$) und der Biokinetik ($p = 0,008$) zeigen signifikante Unterschiede in der Schmerzamplitude der passiven Abduktion der rechten Seite nach vier Wochen Interventionsstart. Zusammenfassend für die Varianzanalyse nach Friedman kann für die Schmerzamplitude der Abduktion festgehalten werden, dass die Gruppe der Biokinetik über den achtwöchigen Interventionszeitraum für die passive und aktive Bewegung bilateral signifikante Unterschiede aufweist. Die Kontrollgruppe zeigt ebenfalls, bis auf die aktive Abduktion der linken Seite, signifikante Unterschiede über den Interventionszeitraum. Die Kraft- und Beweglichkeitsgruppe zeigt, bis auf die passive Abduktion rechtsseitig, keine signifikanten Unterschiede über den Interventionszeitraum für die Schmerzamplitude. Für einen Unterschiedsvergleich der Schmerzamplitude zwischen den Gruppen über die verschiedenen Messzeiträume wird der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Liegen signifikante Unterschiede im Kruskal-Wallis-Test vor, so wird ein paarweiser Vergleich zur weiteren Analyse der Identifikation des Unterschieds durchgeführt.

Tab. 38 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Abduktion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,361	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Abduktion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,891	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Abduktion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,579	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Die Ausführung des Kruskal-Wallis-Tests für die aktive Abduktion der linken Seite zeigt, dass über den gesamten Interventionszeitraum keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf die Unterschiede der Schmerzamplitude vorliegen. Es wird auf die Ausführung eines Post-Hoc-Tests verzichtet.

Tab. 39 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Abduktion passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Abduktion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,344	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Abduktion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,687	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Abduktion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,179	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Die Ausführung des Kruskal-Wallis-Tests für die passive Abduktion der linken Seite zeigt, dass über den gesamten Interventionszeitraum keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf die Unterschiede der Schmerzamplitude vorliegen. Es wird auf die Ausführung eines Post-Hoc-Tests verzichtet.

Tab. 40 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Abduktion aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Abduktion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,180	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Abduktion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,849	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Abduktion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,578	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Die Ausführung des Kruskal-Wallis-Tests für die aktive Abduktion der rechten Seite zeigt, dass über den gesamten Interventionszeitraum keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug

auf die Unterschiede der Schmerzamplitude vorliegen. Es wird auf die Ausführung eines Post-Hoc-Tests verzichtet.

Tab. 41 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Abduktion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Abduktion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,318	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Abduktion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,743	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Abduktion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,312	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Die Ausführung des Kruskal-Wallis-Tests für die passive Abduktion der rechten Seite zeigt, dass über den gesamten Interventionszeitraum keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf die Unterschiede der Schmerzamplitude vorliegen. Es wird auf die Ausführung eines Post-Hoc-Tests verzichtet.

Insgesamt kann für die Schmerzamplitude der Abduktion festgehalten werden, dass nach der Varianzanalyse nach Friedman signifikante Unterschiede für gepaarte Stichproben innerhalb der Gruppen über den Interventionszeitraum vorliegen. Der Kruskal-Wallis-Test zeigt auf, dass die Unterschiede zwischen den Gruppen für jegliche Ausführung der Abduktion in Bezug auf die Schmerzamplitude nicht-signifikant unterschiedlich sind.

Innenrotation:

Die Bewegung der Innenrotation spiegelt die Ausführung des Hawkins-Kennedy-Tests wider. In der Bewegung der Innenrotation gibt der Proband mittels Gestik, Mimik oder akustischem Signal das Einsetzen des Schmerzsignals an den Diagnostiker weiter. Der Endpunkt wird bestimmt durch die weitere Absprache mit dem Probanden. Ist ein Schmerzsignal ab einem gewissen Winkelgrad nicht mehr seitens des Probanden spürbar, wird dieser Wert an den Diagnostiker zur Bestimmung des Austrittspunktes der Schmerzwahrnehmung festgelegt. Der Endpunkt wird ebenfalls bestimmt, sobald der Proband in der Bewegung eine nicht mehr zumutbare Schmerzschwelle überschreitet oder die Bewegung nicht

mehr, ohne ein Ausweichen der Bewegungsbahn, weitergeführt werden kann. Der Differenzwert zwischen Einsetzen und Reduktion in der Innenrotation bilateral und in aktiver und passiver Durchführung wird für die Unterschiedsbestimmung in der Schmerzamplitude über die verschiedenen Zeitpunkte der Intervention statistisch ausgewertet. Die Interventionsmaßnahme gilt als deskriptiv unterschiedlich, wenn die Box des Boxplots sich dem Wert 0 annähert. Der 0-Wert bedeutet, dass kein Differenzwert in der Messung der Bewegungsamplitude aufgefasst worden ist und der Patient die Bewegung schmerzfrei durchführen konnte. Damit orientiert sich die Beurteilung des Unterschiedes der Interventionsmaßnahmen nicht an den angegebenen Eintritts- und Austrittswinkel der subjektiven Schmerzwahrnehmung des Probanden des Hawkins-Kennedy-Tests, sondern am Schmerzgefühl des Probanden über die gesamte Bewegungsamplitude, während der Durchführung der Innenrotation. Die Abbildungen 34 bis 37 zeigen deskriptiv die Boxplots der verschiedenen Ausführungen der Innenrotation der verschiedenen Interventionsmaßnahmen über den zeitlichen Ablauf des Interventionszeitraumes (vgl. Abb. 34 bis 37).

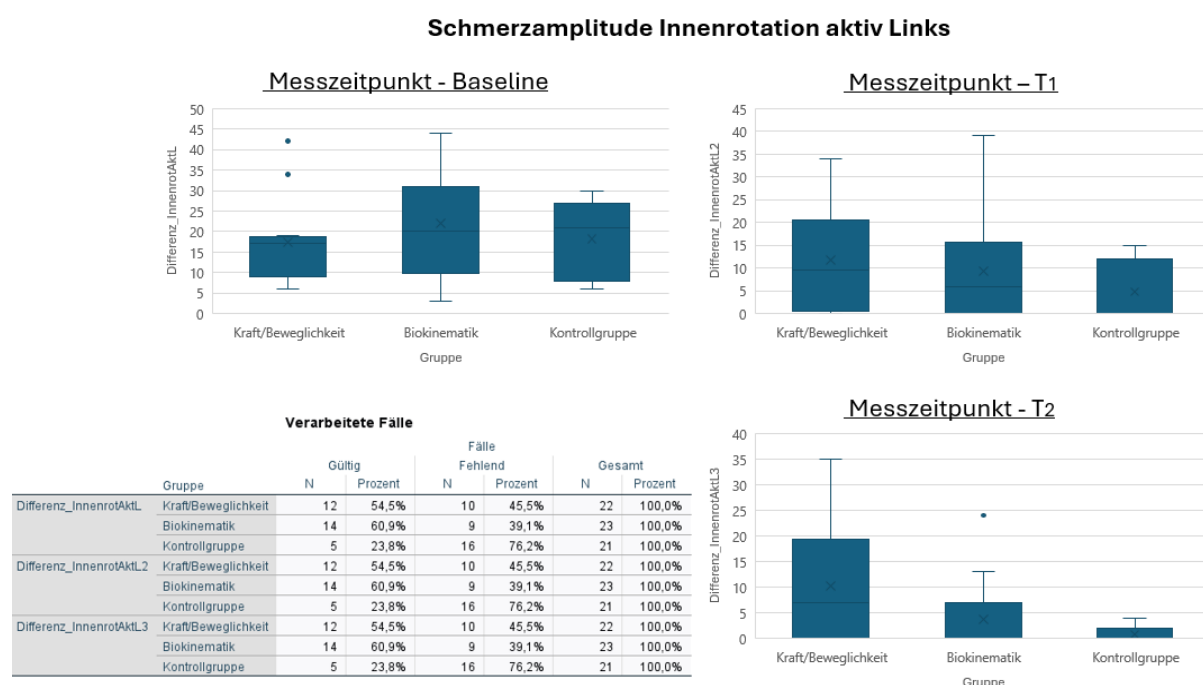


Abb. 34 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

In der Bewegung der aktiven Innenrotation links wurden zur Baseline für die Kraft- und Beweglichkeitsübungen-Gruppe (n = 12 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 14 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 5 Personen) Differenzwerte erfasst. Nach der achtwöchigen Intervention wurden für die Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe (n = 12 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 14 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 5 Personen) Differenzwerte erfasst. Die geringe Anzahl der Messwerte in der Kontrollgruppe ist in der Datenanalyse auffällig. So sind in der Datenauswertung der Bewegungsamplitude in der aktiven Innenrotation für die Kontrollgruppe die Amplituden in der Bewegungsbreite nicht erreicht worden, ein Schmerzwinkel wurde lediglich für etwa ¼ der Probandendaten der Kon-

trollgruppe auf der linken Seite aufgefasst. Die Aussagekraft solcher kleinen Fallzahlen für die Schmerzamplitude wird in der Diskussion näher erläutert. Die oberen Whisker der Interventionsgruppen Biokinematik und der Kontrollgruppe verkürzen sich über den Interventionszeitraum von acht Wochen in Richtung der Box.

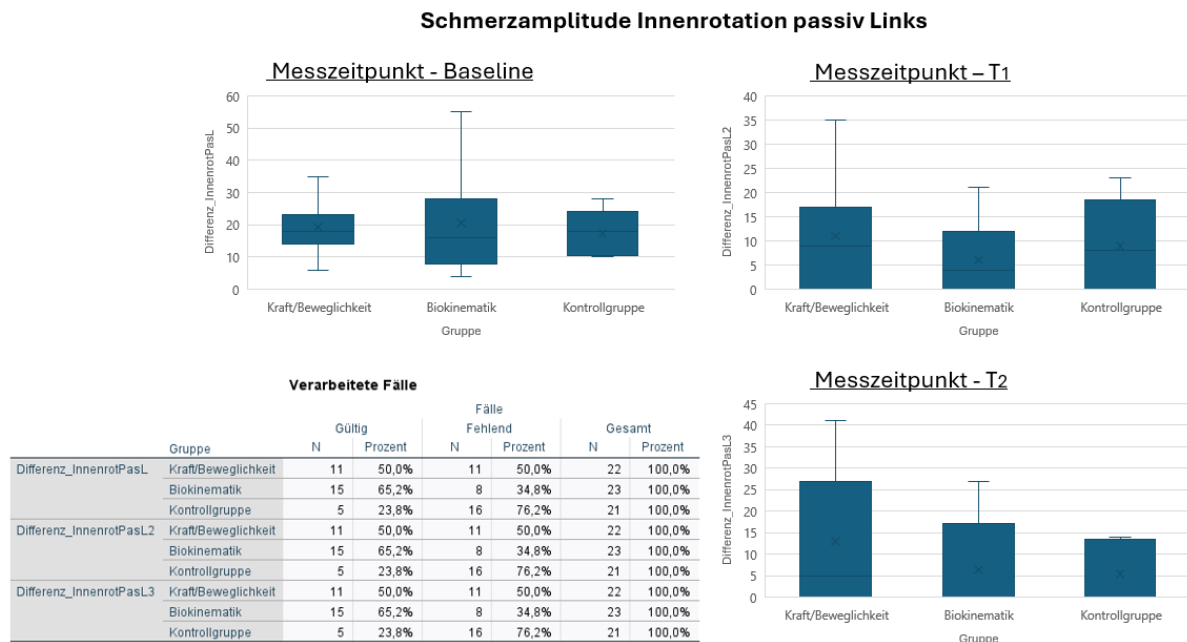


Abb. 35 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

In der Bewegung der passiven Innenrotation links wurden zur Baseline für die Kraft- und Beweglichkeitsübungen-Gruppe (n = 11 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 15 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 5 Personen) Differenzwerte erfasst. Die Werte zeigen zur Baseline einen vergleichbaren Wert mit der aktiven Bewegung der Abduktion der linken Seite. Somit sind zur Baseline die Schmerzen bei den Probanden unabhängig von einer aktiven oder passiven Bewegung relativ gleichmäßig verteilt.

Schmerzamplitude Innenrotation aktiv Rechts

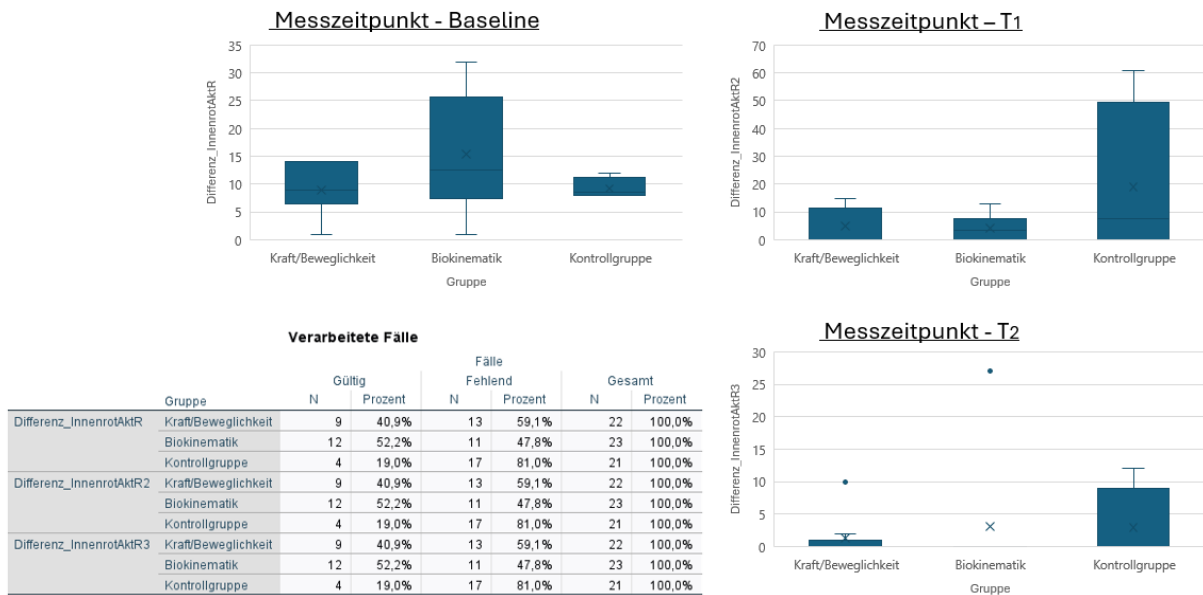


Abb. 36 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

In der Bewegung der aktiven Innenrotation rechts wurden zur Baseline für die Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe (n = 9 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 12 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 4 Personen) Differenzwerte erfasst. Nach der achtwöchigen Intervention wurden für die Kraft- und Beweglichkeitsübungen-Gruppe (n = 12 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 14 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 5 Personen) Differenzwerte erfasst. Im Vergleich zur Gesamtheit der Schmerzangaben auf der linken Seite in der aktiven Bewegung, sind für die Innenrotation auf der rechten Seite acht Schmerzangaben weniger protokolliert worden. Im Seitenvergleich zu den Schmerzangaben der Abduktion liegt die Differenz bei sechs Schmerzangaben mehr für die linke Seite der aktiven Bewegung. In der aktiven Innenrotation sind im Vergleich der Bewegungen der Innenrotation (n = 25 Personen) zur Abduktion (n = 46 Personen) geringere Schmerzangaben für die rechte Seite erfasst worden. Bei einer kleinen Stichprobe der Kontrollgruppe (n = 4 Personen) ist die Verschiebung der Größe und Richtung des Boxplots über die Messzeiträume zu beachten. Zur Baseline umfasst der Boxplot eine kleine Varianz, welche sich in der Zwischenmessung visuell weit ausbreitet und zur Abschlussmessung in Richtung der Null-Differenz verschiebt, aber eine größere Varianz aufweist als zur Baseline. Die Boxplots der Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe und der Biokinematik-Gruppe reduzieren und verschieben sich über die Interventionsmesszeitpunkte ähnlich.

Schmerzamplitude Innenrotation passiv Rechts

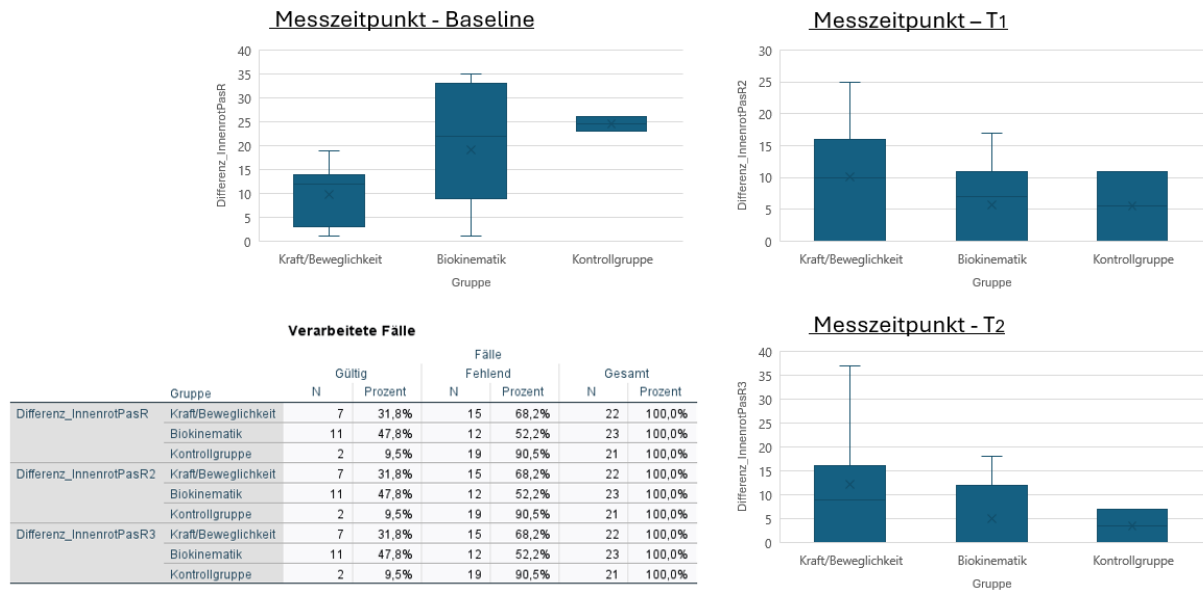


Abb. 37 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

In der Bewegung der passiven Innenrotation rechts wurden zur Baseline für die Kraft- und Beweglichkeitsübungen-Gruppe (n = 7 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 11 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 2 Personen) Differenzwerte erfasst. Im Vergleich zur aktiven Bewegung der Innenrotation rechts sind weniger Angaben von fünf Personen über alle Interventionsgruppen gemacht worden. Nach diesen Angaben liegen bei 1/3 aller Probanden Schmerzen in der passiven Innenrotation der rechten Seite vor.

Eine statistische Auswertung, unter Angaben der Mediane und Standardabweichungen und der 95% Konfidenzintervalle über die Varianzanalyse nach Friedman zur Schmerzamplitude der Innenrotation folgt unter Tabelle 42 (vgl. Tab. 42).

Tab. 42 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die Schmerzamplitude der Innenrotation über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung

Gruppe	Variable	Baseline	T1	T2
Schmerzamplitude Innenrotation aktiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung	17,00 ± 10,82	7,00 ± 10,64	3,50 ± 10,94
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	10,46	4,31
		Obergrenze	24,21	16,09
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	0,206		
	Varianzanalyse			

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}	nach Friedman bei verbundenen Stichproben		1,000	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,248		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		20,00 ± 13,23	7,00 ± 13,97	0,00 ± 9,96
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	14,55	4,12	0,18
		Obergrenze	29,59	19,01	11,68
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,033		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,206	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,013		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		21,00 ± 9,96	9,00 ± 10,07	0,00 ± 2,00
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze		2,92	-2,18
		Obergrenze		18,41	4,18
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,180		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,157	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,046		
	Schmerzamplitude Innenrotation passiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		18,00 ± 7,76	10,00 ± 10,01	20,00 ± 14,93
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	13,97	4,73	7,05
		Obergrenze	24,39	17,44	34,66
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,132		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,705	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,414		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		16,00 ± 14,58	4,00 ± 13,96	18,00 ± 5,00
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	12,46	1,06	13,59
		Obergrenze	28,61	15,94	24,08

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,008		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,414	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,655		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		18,00 ± 7,33	14,00 ± 7,38	13,50 ± 0,71
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	8,29	7,77	7,15
		Obergrenze	26,51	19,12	19,85
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	1,000		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,157	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		1,000		
	Schmerzamplitude Innenrotation aktiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		9,00 ± 4,42	6,00 ± 7,95	0,00 ± 5,12
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	5,61	3,26	-0,25
		Obergrenze	12,39	12,07	6,62
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,096		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,102	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,020		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		12,50 ± 10,59	5,50 ± 13,48	0,00 ± 9,48
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	8,69	1,07	-1,19
		Obergrenze	22,14	16,64	10,86
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,021		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,157	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		9,00 ± 5,50	7,00 ± 23,77	3,00 ± 4,90
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	4,77	-4,55	-1,14

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	tervalls des Mittelwertes	Obergrenze	18,43	39,41	9,14
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,655		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,083	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,083		
	Schmerzamplitude Innenrotation passiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		12,00 ± 6,37	9,50 ± 7,52	14,00 ± 11,00
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	3,82	4,02	4,10
		Obergrenze	15,60	14,78	21,01
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,705		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,157	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,705		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		20,00 ± 11,93	7,00 ± 12,92	0,00 ± 10,59
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	11,51	0,65	0,52
		Obergrenze	26,66	16,27	13,98
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,007		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,480	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,035		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		24,50 ± 2,12	11,00 ± 17,35	8,00 ± 4,20
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	5,44	-28,09	0,81
		Obergrenze	43,56	58,10	14,19
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman	0,157		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,157	

Gruppe	Variable	Baseline	T1	T2
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}	bei verbundenen Stichproben	0,317	

a. Das Signifikanzniveau ist ,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Zur Bestimmung eines signifikanten Unterschiedes für die einzelnen Interventionen in Bezug auf die Schmerzamplitude der Innenrotation über den Interventionszeitraum von insgesamt acht Wochen, wurde die Varianzanalyse nach Friedman durchgeführt. Bei der aktiven Innenrotation links waren die Unterschiede von der Baseline zur Abschlussmessung bei der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,013$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,046$) signifikant. Die Unterschiede für die Schmerzamplitude der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe waren für die aktive Bewegung der linken Seite zu keinem Zeitpunkt signifikant unterschiedlich. Im Zeitraum von der Baseline zur Zwischenmessung nach vier Wochen sind die Unterschiede in der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,033$) ebenfalls signifikant. Die Unterschiede der Schmerzamplitude der passiven Innenrotation links sind bei keiner der drei Interventionsmaßnahmen über den Interventionszeitraum signifikant unterschiedlich. Die Schmerzamplitude der aktiven Bewegung der rechten Seite weist signifikante Unterschiede für die Kraft- und Beweglichkeitsgruppe ($p = 0,020$) und der Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) über den Interventionszeitraum von acht Wochen auf. Die Biokinematik-Gruppe zeigt ebenfalls in der Zwischenmessung nach vier Wochen ($p = 0,021$) signifikante Unterschiede. In der Schmerzamplitude der passiven Innenrotation rechts sind signifikante Unterschiede in der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,035$) zu erfassen. Für die Schmerzamplitude der Innenrotation kann festgehalten werden, dass die Biokinematik, bis auf die passive Innenrotation der linken Seite, signifikante Unterschiede über den achtwöchigen Interventionszeitraum aufweist. Die Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen verzeichnet signifikante Unterschiede in der aktiven Innenrotation rechts und die Kontrollgruppe in der aktiven Innenrotation links für die Schmerzamplitude. Die aktive Bewegung sollte in diesem Kontext höher als die passive Bewegung angesehen werden, um eine alltagsnahe Bewegung reproduzieren zu können. Die geringe Fallzahl der Kontrollgruppe muss im Zusammenhang der statistischen Auswertung erwähnt bleiben.

Zur weiteren Prüfung signifikanter Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich der Schmerzamplitude der Innenrotation werden im weiteren Verlauf die Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Test analysiert (vgl. Tab. 43 bis Tab. 47).

Tab. 43 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Innenrotation aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,582	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Innenrotation aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,986	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Innenrotation aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,036	Nullhypothese ablehnen

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Test wurde für die Schmerzamplitude der Innenrotation aktiv links durchgeführt. Aus dem Ergebnis ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung ($p = 0,036$). Zur weiteren Bestimmung des Unterschieds wird ein paarweiser Vergleich durchgeführt (vgl. Tab. 44).

Tab. 44 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Schmerzamplitude in der Bewegung der Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Teststatistik	Anp. Sig. ^a
T2		
Kraft/Beweglichkeit-Kontrollgruppe	10,573	0,034
Kraft/Beweglichkeit-Biokinematik	5,837	0,312
Kontrollgruppe-Biokinematik	4,736	0,711

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Aus dem anschließenden Post-Hoc-Test ergibt sich ein signifikanter Unterschied ($p = 0,034$) zwischen der Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe gegenüber der Kontrollgruppe. Die Angaben der p-Werte folgen nach der Anpassung durch die Bonferroni-Korrektur. Weitere signifikante Unterschiede für die Schmerzamplitude der aktiven Innenrotation links sind nicht zu identifizieren.

Tab. 45 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Innenrotation passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,910	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Innenrotation passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,128	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Innenrotation passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,645	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die Schmerzamplitude der Innenrotation passiv links durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Tab. 46 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Innenrotation aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,360	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Innenrotation aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,848	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Innenrotation aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,823	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die Schmerzamplitude der Innenrotation aktiv rechts durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf

sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Tab. 47 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

Nullhypothese		Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Innenrotation passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,100	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Innenrotation passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,538	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Innenrotation passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,346	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die Schmerzamplitude der Innenrotation passiv rechts durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Für die Schmerzamplitude der Innenrotation kann als gesamtheitliches Fazit festgehalten werden, dass die Intervention der Biokinetik signifikante Unterschiede über den Interventionszeitraum aufweist. Ein signifikanter Unterschied zu den Interventionsmaßnahmen der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe oder der Kontrollgruppe konnte nicht festgestellt werden. Ein signifikanter Unterschied ist bei der Schmerzamplitude der aktiven Innenrotation links zwischen der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe und der Kontrollgruppe zu notieren. Dabei gilt weiterhin die geringe Stichprobenanzahl der Kontrollgruppe zu beachten. Aus diesem Grund ist diese Aussage kritisch zu betrachten.

Anteversion:

Die Bewegung der Anteversion spiegelt die Ausführung des Neer-Tests wider. In der Bewegung der Anteversion gibt der Proband mittels Gestik, Mimik oder akustischem Signal das Einsetzen des Schmerzsignals an den Diagnostiker weiter. Der Endpunkt wird bestimmt durch die weitere Absprache mit dem Probanden. Ist ein Schmerzsignal ab einem gewissen Winkelgrad seitens des Probanden nicht mehr spürbar, wird dieser Wert an den Diagnostiker zur Bestimmung des Austrittspunktes der Schmerzwahrnehmung festgelegt. Der Endpunkt wird ebenfalls bestimmt, sobald der Proband in der

Bewegung eine nicht mehr zumutbare Schmerzschwelle überschreitet oder die Bewegung nicht mehr, ohne ein Ausweichen der Bewegungsbahn, weitergeführt werden kann. Der Differenzwert zwischen Einsetzen und Reduktion in der Anteversion bilateral sowie in aktiver und passiver Durchführung wird für die Unterschiedsbestimmung in der Schmerzamplitude über die verschiedenen Zeitpunkte der Anteversion statistisch ausgewertet. Die Interventionsmaßnahme gilt als deskriptiv unterschiedlich, wenn die Box des Boxplots sich dem Wert 0 annähert. Der 0-Wert bedeutet, dass kein Differenzwert in der Messung der Bewegungsamplitude aufgefasst worden ist und der Patient die Bewegung schmerzfrei durchführen konnte. Damit orientiert sich die Beurteilung des Unterschieds der Interventionsmaßnahmen nicht an den angegebenen Eintritts- und Austrittswinkel (90° bis 120°) (NEER, 1983) der subjektiven Schmerzwahrnehmung des Probanden des Neer-Tests, sondern am Schmerzgefühl des Probanden über die gesamte Bewegungsamplitude während der Durchführung der Anteversion. Die Abbildungen 38 bis 41 zeigen deskriptiv die Boxplots der verschiedenen Ausführungen der Innenrotation der verschiedenen Interventionsmaßnahmen über den zeitlichen Ablauf des Interventionszeitraumes (vgl. Abb. 38 bis 41).

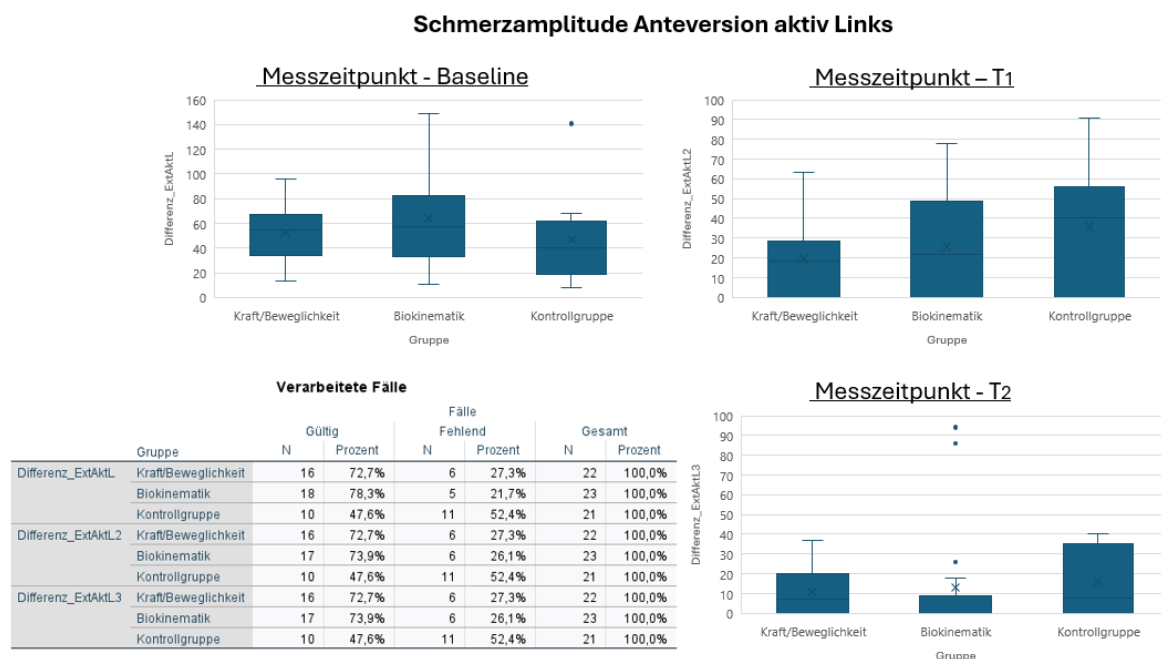


Abb. 38 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

In der Bewegung der aktiven Anteversion links wurden zur Baseline für die Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe (n = 16 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 18 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 10 Personen) Differenzwerte der Schmerzamplitude erfasst. Nach der achtwöchigen Intervention wurden für die Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe (n = 16 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 17 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 10 Personen) Differenzwerte erfasst. Die Drop-Outs für die Biokinematik-Gruppe sind in der statistischen Auswertung erfasst. Die Varianz der Schmerzamplitude der Anteversion aktiv links umfasst über die drei Interventionsgruppen einen Wer-

tebereich von rund 40° zur Baseline. Zum Zeitpunkt der Zwischenmessung nach vier Wochen sind bei allen Gruppen deskriptiv Differenzwerte der Schmerzamplitude der Anteversion aktiv links von Null zu erkennen. Die Box reduziert im weiteren Verlauf zum Messzeitpunkt nach acht Wochen unterschiedlich zwischen den Gruppen. Die weitere statistische Auswertung folgt unter Anwendung der Varianzanalyse nach Friedman und der Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen nach Kruskal-Wallis.

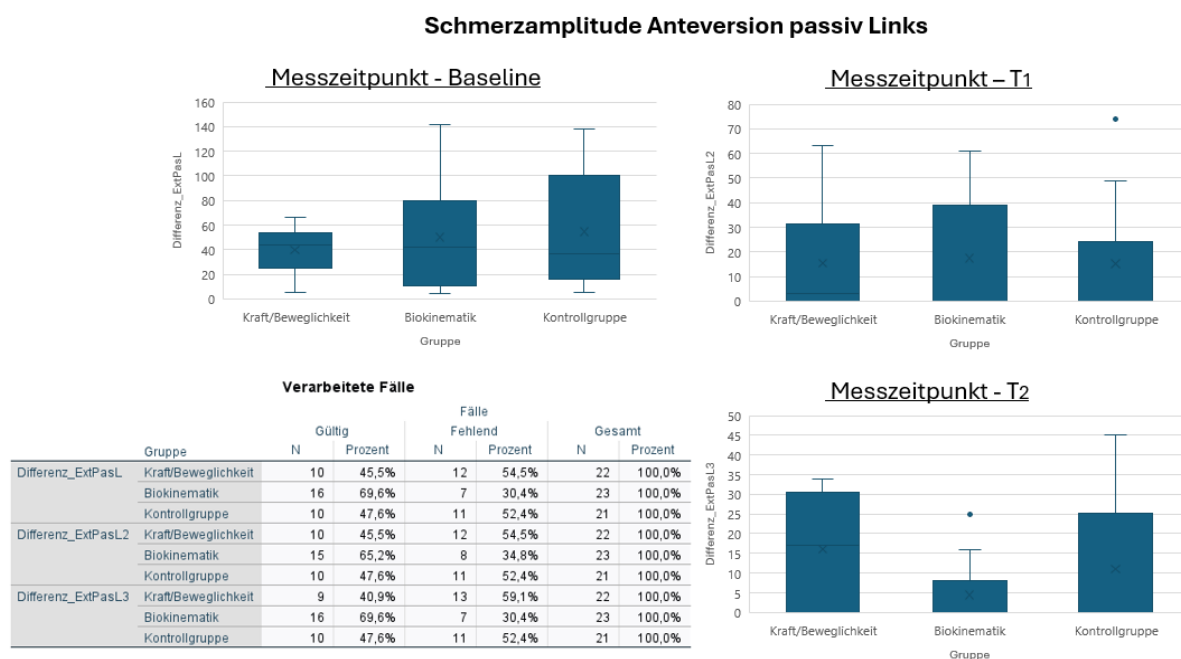


Abb. 39 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

In der Bewegung der passiven Anteversion links wurden zur Baseline für die Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe (n = 10 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 16 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 10 Personen) Differenzwerte erfasst. Nach der achtwöchigen Intervention wurden für die Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe (n = 9 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 16 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 10 Personen) Differenzwerte erfasst. Für die passive Anteversion links sind in der Schmerzamplitude insgesamt acht Schmerzangaben weniger erfasst worden im Vergleich zur aktiven Bewegung. Die Darstellungen der Boxplots verhalten sich über den Interventionszeitraum ähnlich zur aktiven Bewegung. Zu beachten ist die Werteverteilung von T2, da in der aktiven Bewegung noch Ausreißer in der Biokinematik-Gruppe zum oberen Ende auftauchen, die in der passiven Bewegung nicht zu verzeichnen sind.

Schmerzamplitude Anteversion aktiv Rechts

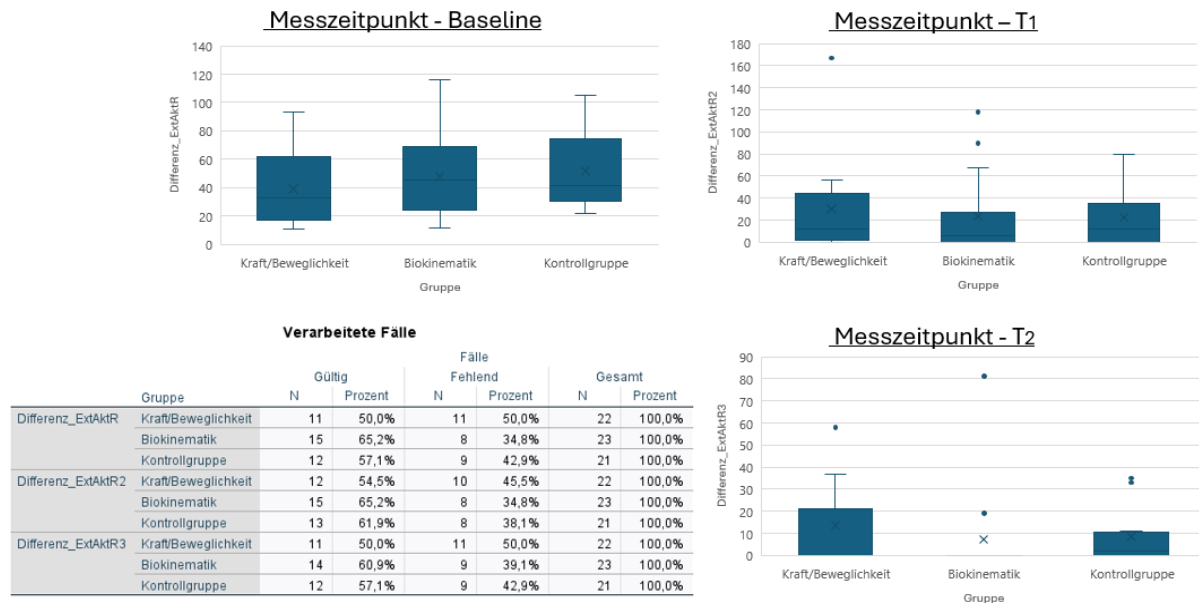


Abb. 40 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

In der Bewegung der aktiven Anteversion rechts wurden zur Baseline für die Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe (n = 11 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 15 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 12 Personen) Differenzwerte erfasst. Nach der achtwöchigen Intervention wurden für die Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe (n = 11 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 14 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 12 Personen) Differenzwerte erfasst. Im direkten Vergleich mit den Angaben zur aktiven Bewegung der linken Seite (n = 44 Personen), geben auf der rechten Seite (n = 38 Personen) insgesamt sechs Personen weniger Schmerzwinkelangaben in der aktiven Anteversion an. Die Boxplots sind in einer ähnlichen Konstellation, wie zur Schmerzamplitude der Anteversion aktiv links deskriptiv anzusehen.

Schmerzamplitude Anteversion passiv Rechts

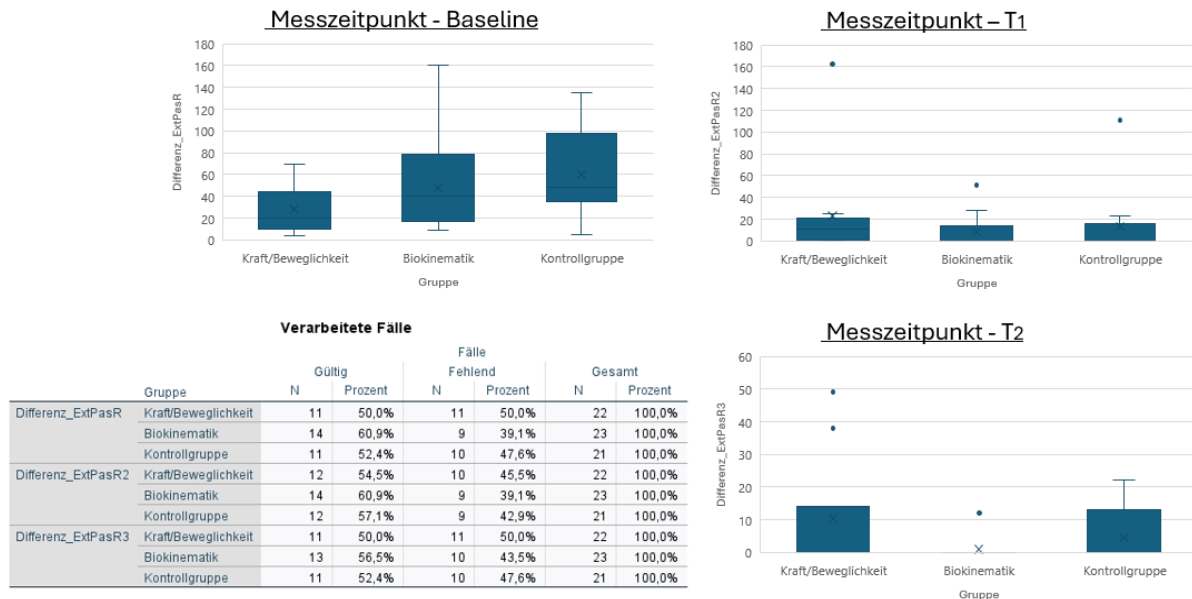


Abb. 41 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

In der Bewegung der passiven Anteversion rechts wurden zur Baseline für die Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe (n = 11 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 14 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 11 Personen) Differenzwerte erfasst. Nach der achtwöchigen Intervention wurden für die Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe (n = 11 Personen), der Biokinematik-Gruppe (n = 13 Personen) und der Kontrollgruppe (n = 11 Personen) Differenzwerte erfasst. Im Vergleich zur aktiven Anteversion rechts sind insgesamt nur zwei Angaben weniger zur Schmerzamplitude seitens der Probanden angegeben worden. Die Boxplots verringern und verschieben sich im Vergleich zu den anderen Bewegungen der Anteversion bereits nach vier Wochen Intervention über die drei Interventionsgruppe besonders. So sind zum Zeitpunkt der Zwischenmessung wenige Ausreißer in den Gruppen deskriptiv vorhanden. Zum Zeitpunkt der Abschlussmessung sind weitere Veränderungen der Boxplots in diese Richtung zu verzeichnen.

Eine statistische Auswertung, unter Angaben der Mediane und Standardabweichungen und der 95% Konfidenzintervalle über die Varianzanalyse nach Friedman zur Schmerzamplitude der Anteversion folgt unter Tabelle 48 (vgl. Tab. 48).

Tab. 48 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die Schmerzamplitude der Anteversion über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	Schmerzamplitude Anteversion aktiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		55,00 ± 22,51	18,50 ± 18,32	7,00 ± 12,87
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	40,38	9,87	4,02
		Obergrenze	64,37	29,38	17,73
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	<0,001		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,366	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,003		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		57,50 ± 41,44	22,00 ± 26,73	0,00 ± 29,88
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	43,28	12,02	-2,18
		Obergrenze	84,50	39,51	28,54
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,029		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,035	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,008		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		40,50 ± 38,61	40,50 ± 30,64	8,00 ± 17,82
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	19,28	13,78	3,35
		Obergrenze	74,52	57,62	28,85
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,527		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,008	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,058		
	Schmerzamplitude Anteversion passiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		43,50 ± 18,72	3,00 ± 22,36	17,00 ± 14,78
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	26,41	-0,69	4,75

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	tervalls des Mittelwertes	Obergrenze	53,20	31,29	27,47
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,058		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,655	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,034		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		42,00 ± 45,43	0,00 ± 22,62	0,00 ± 7,79
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	25,98	4,80	0,35
		Obergrenze	74,40	29,86	8,65
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,197		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,096	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		36,50 ± 49,27	0,00 ± 25,81	0,00 ± 16,25
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	19,46	-3,37	-0,62
		Obergrenze	89,94	33,57	22,62
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,206		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			1,000	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,058		
	Schmerzamplitude Anteversion aktiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		33,00 ± 28,44	12,00 ± 46,96	0,00 ± 19,24
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	20,17	0,08	0,62
		Obergrenze	58,38	59,75	26,47
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,366		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,480	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,132		

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		45,00 ± 27,67	6,00 ± 37,46	0,00 ± 21,85
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	32,54	2,79	-5,47
		Obergrenze	63,19	44,28	19,76
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,005		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,096	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		41,50 ± 27,20	12,00 ± 28,00	2,00 ± 12,67
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	34,30	5,55	0,45
		Obergrenze	68,87	39,38	16,55
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,021		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,034	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,021		
	Schmerzamplitude Anteversion passiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		20,00 ± 22,47	10,50 ± 44,57	0,00 ± 17,40
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	13,09	-5,15	-1,33
		Obergrenze	43,28	51,48	22,05
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,132		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,739	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,132		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		40,50 ± 41,14	0,00 ± 15,06	0,00 ± 3,33
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	24,25	-0,34	-1,09
		Obergrenze	71,75	17,05	2,93
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman	0,008		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,025	

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}	bei verbundenen Stichproben	<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		48,00 ± 42,40	0,00 ± 31,69	0,00 ± 8,07
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	31,42	-6,55	-0,87
		Obergrenze	88,39	33,72	9,96
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	<0,001		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			1,000	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Zur Bestimmung eines signifikanten Unterschiedes für die einzelnen Interventionen in Bezug auf die Schmerzamplitude der Anteversion über den Interventionszeitraum von insgesamt acht Wochen, wurde die Varianzanalyse nach Friedman durchgeführt. Für die Schmerzamplitude der Anteversion aktiv links sind signifikante Unterschiede für die Gruppen der Kraft- und Beweglichkeitsübungen ($p = 0,003$) und der Biokinematik ($p = 0,035$) zu verzeichnen. Für die Gruppen der Kraft- und Beweglichkeitsübungen ($p = <0,001$) und der Biokinematik ($p = 0,029$) sind ebenso signifikante Unterschiede nach vier Wochen Interventionsdauer festzustellen. In der passiven Anteversion der linken Seite sind signifikante Unterschiede für die Schmerzamplitude für die Gruppen der Kraft- und Beweglichkeitsübungen ($p = 0,034$) und der Biokinematik ($p = <0,001$) ausgewertet worden. Die Schmerzamplitude der aktiven Anteversion rechts zeigt für die Biokinematik-Gruppe ($p = 0,001$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,021$) signifikante Unterschiede über den gesamten Interventionsablauf. Die Biokinematik ($p = 0,005$) und die Kontrollgruppe ($p = 0,021$) weisen nach vier Wochen signifikante Unterschiede in der Schmerzamplitude der aktiven Anteversion rechts auf. Für die Schmerzamplitude in der passiven Anteversion rechts sind signifikante Unterschiede in der Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) und der Kontrollgruppe ($p = <0,001$) über die acht Wochen Intervention festzustellen. Auch in der passiven Bewegung sind nach vier Wochen in der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,008$) und der Kontrollgruppe ($p = <0,001$) signifikante Unterschiede in der Schmerzamplitude zu verzeichnen. Nach Abschluss der Varianzanalyse nach Friedman kann festgehalten werden, dass die Biokinematik sich signifikant in Bezug auf die Schmerzamplitude der Anteversion in der gesamten Durchführung bilateral, sowie in aktiver und passiver Bewegung über den achtwöchigen Interventionszeitraum unterscheidet. Die Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe, sowie die Kontrollgruppe zeigen jeweils unilateral signifikante Unterschiede. Zur weiteren Bestimmung eines signifikanten Unterschieds in der

Schmerzamplitude zwischen den Gruppen wird für die einzelnen Ausführungen der Anteversion der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt (vgl. Tab. 49 bis 52).

Tab. 49 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Anteversion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Anteversion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,338	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Anteversion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,430	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Anteversion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,251	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die Schmerzamplitude der Anteversion aktiv links durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Tab. 50 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Anteversion passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Anteversion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,906	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Anteversion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,930	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Anteversion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,114	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die Schmerzamplitude der Anteversion passiv links durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Tab. 51 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Anteversion aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Anteversion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,361	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Anteversion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,811	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Anteversion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,206	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die Schmerzamplitude der Anteversion aktiv rechts durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf

sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Tab. 52 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Anteversion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Anteversion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,148	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Anteversion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,186	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Anteversion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,177	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die Schmerzamplitude der Anteversion passiv rechts durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Als gesamtheitliches Fazit für die Schmerzamplitude der Anteversion kann festgehalten werden, dass die Interventionsmaßnahmen aller drei Gruppen signifikante Unterschiede über den achtwöchigen Interventionszeitraum aufweisen. Die Biokinematik zeigte bilateral signifikante Unterschiede und die Kraft- und Beweglichkeitsgruppe, sowie die Kontrollgruppe konnten unilateral signifikante Unterschiede in Bezug auf die Schmerzamplitude der Anteversion verzeichnen. Durch die Anwendung des Kruskal-Wallis-Tests konnten keine Unterschiede für die Schmerzamplitude der Anteversion in jeglicher Form festgestellt werden.

Für ein gesamtheitliches Fazit der Effekte auf die Schmerzamplituden der verschiedenen klinischen Tests kann festgehalten werden, dass nach der Varianzanalyse nach Friedman signifikante Unterschiede für gepaarte Stichproben innerhalb der Gruppen über den Interventionszeitraum vorliegen. Somit weist jede Gruppe einen unterschiedlichen signifikanten Effekt auf die Schmerzamplituden über einen achtwöchigen Interventionszeitraum auf. Nach der Anwendung des Kruskal-Wallis-Tests ist festzustellen, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen über den Interventionszeitraum vorliegen.

5.4 Effekte auf die subjektive Schmerzwahrnehmung

Die Ergebnisse der subjektiven Schmerzwahrnehmung umfassen die Werte von 0-10 nach der numerischen Analogskala. Die Höhe des Wertes wird vom Probanden bestimmt und orientiert sich am subjektiven Empfinden des Probanden in der Bewegung. Über den zeitlichen Ablauf der verschiedenen Interventionsmaßnahmen wird über die deskriptiven und konfirmatorischen Statistiken die Signifikanz der einzelnen Maßnahmen geprüft. Die Bewegungen werden bilateral, sowie in aktiver und passiver Durchführung geprüft. Bei den Werten werden 0-Werte explizit mit aufgenommen, wenn kein Schmerz gleich dem Wert 0 entspricht. Dies inkludiert einerseits auch die Werte von Probanden, welche nur unilateral eine Schmerzsymptomatik zur Baseline aufweisen, zeigt über den zeitlichen Ablauf der Interventionen die Wahrnehmung des Schmerzes der Gesamtheit aller Probanden und nicht nur einen Teil der Stichprobe. Die subjektive Schmerzwahrnehmung wird unabhängig von der Bewegungsamplitude statistisch bewertet.

Abduktion:

In der Bewegungsdurchführung der Abduktion gibt der Proband während oder im Anschluss der Bewegung den subjektiv empfundenen Schmerz mit Zuhilfenahme der numerischen Analogskala an. Auffälligkeiten in der aktiven und passiven Bewegung werden bei der Auswertung der subjektiven Schmerzwahrnehmung aufgegriffen, um einen potenziellen Unterschied zwischen einer aktiven eigenen Bewegungsdurchführung oder passiven Bewegungsdurchführung mit Unterstützung bestimmen zu können. Die Abbildungen 42 bis 45 zeigen die Boxplots für die subjektive Schmerzempfindung in Bezug auf die Bewegungen der Abduktion über die verschiedenen Messzeitpunkte auf (vgl. Abb. 42 bis 45).

Schmerzintensität Abduktion aktiv Links

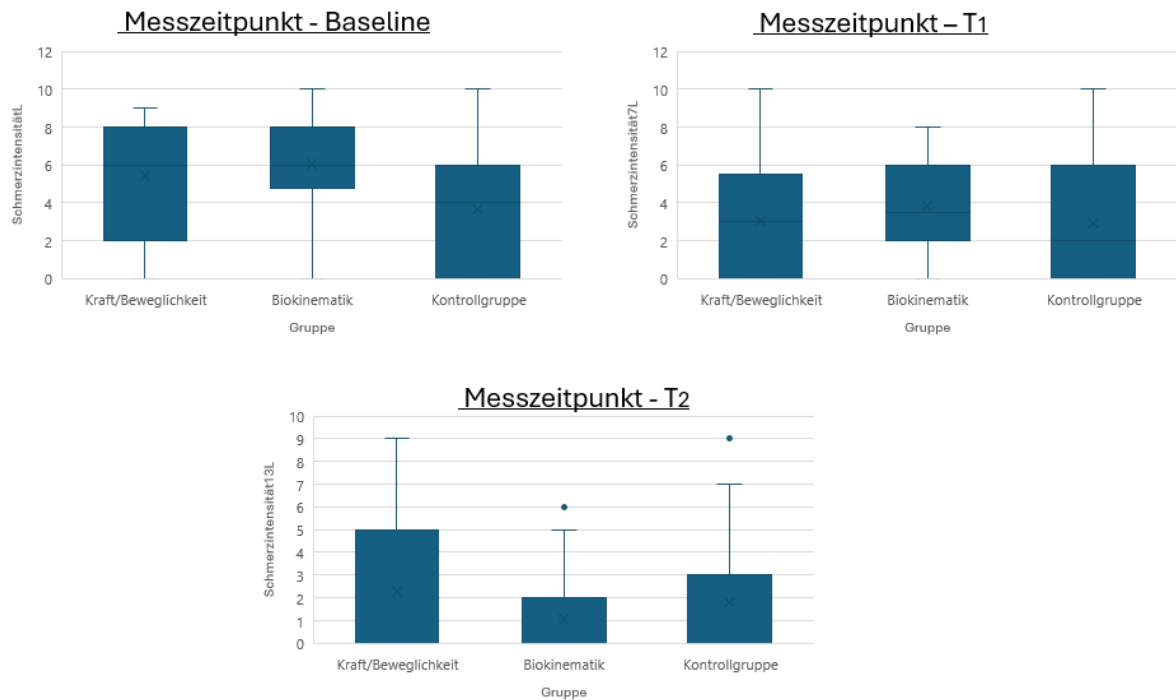


Abb. 42 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Die Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung umfassen den Wertebereich von 0-10. Für die Bewegung der Abduktion aktiv links ergibt sich zur Baseline eine große Varianz über die drei Gruppen, bei denen die beiden Whisker, bis auf die Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen, den gesamten potenziellen Wertebereich abdecken. Im Verlauf der Intervention verringern sich die Varianzen nicht ausschlaggebend visuell, verschieben sich aber in Richtung der unteren Wertebereiche. Die Verteilung der Werte erfolgt für die subjektive Schmerzwahrnehmung über den Interventionszeitraum schief.

Schmerzintensität Abduktion passiv Links

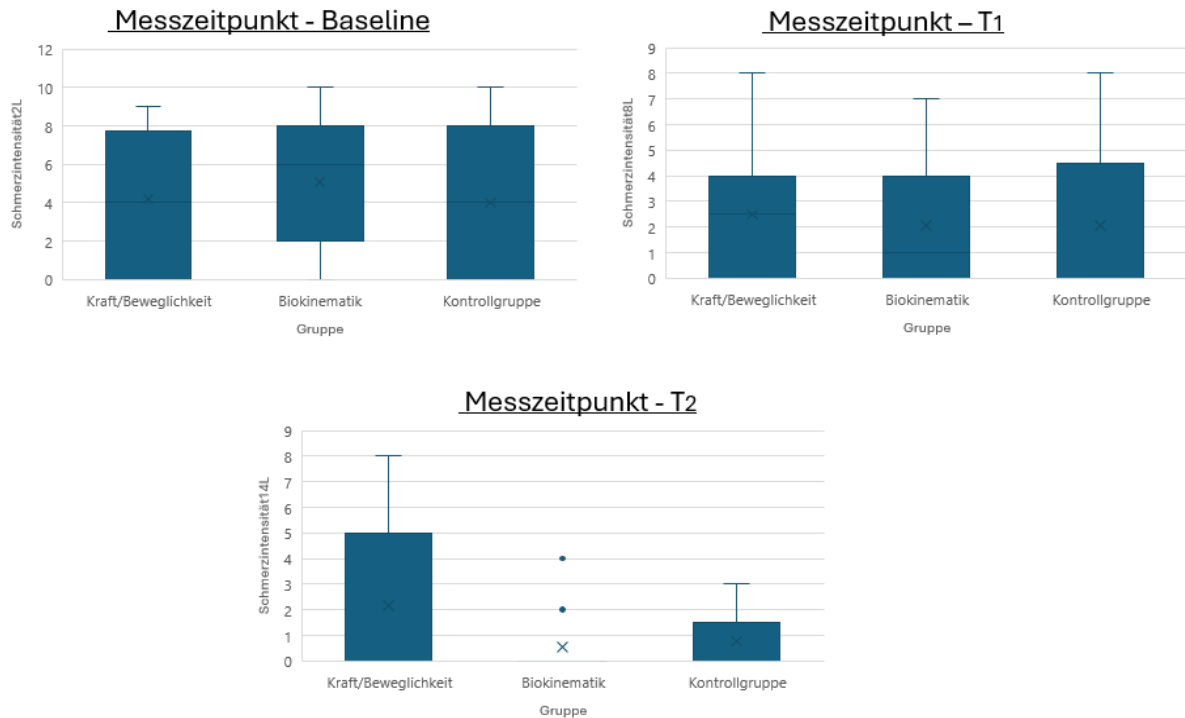


Abb. 43 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Für die passive Abduktion links sind die Varianzen zur Baseline im Vergleich zur aktiven Bewegung größer über die Gruppen verteilt. Die Boxen gleichen sich über den Zeitpunkt der Zwischenmessung an, aber nicht in der Darstellung der Mittelwerte. Zum Zeitpunkt der Abschlussmessung nach acht Wochen ist ein visueller Unterschied der Boxplots der Biokinematik-Gruppe und der Kontrollgruppe zu erkennen.

Schmerzintensität Abduktion aktiv Rechts

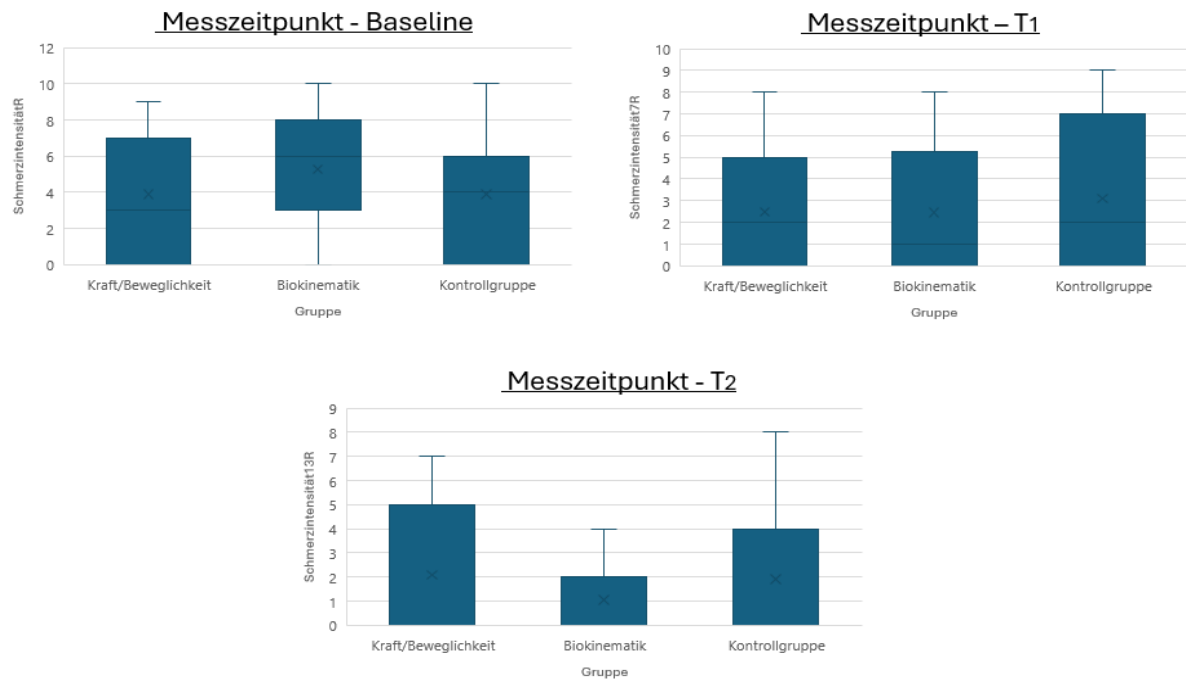


Abb. 44 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Schmerzintensität Abduktion passiv Rechts

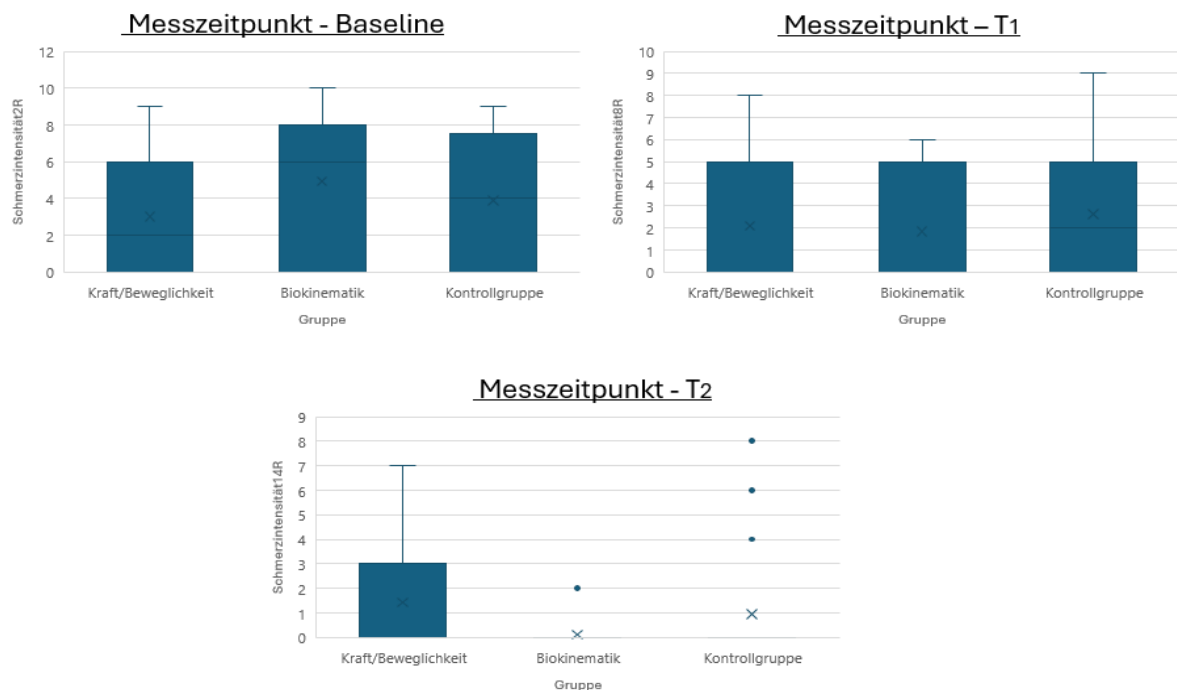


Abb. 45 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion in aktiver und passiver Bewegungsdurchführung sind ähnliche Darstellungen der Boxplots mit den Werten auf der linken Seite zu vergleichen. Eine statistische Auswertung der Messwerte der subjektiven Schmerzwahrnehmung in der Abduktion erfolgt unter Tabelle 53 (vgl. Tab. 53).

Tab. 53 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die subjektive Schmerzwahrnehmung in der Bewegung der Abduktion über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	Schmerzintensität Abduktion aktiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		6,00 ± 3,33	3,00 ± 3,17	0,00 ± 3,04
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	3,91	1,60	0,90
		Obergrenze	6,94	4,49	3,67
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,008		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,166	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,003		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		6,00 ± 2,46	3,50 ± 2,48	0,00 ± 1,83
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	4,83	2,60	0,15
		Obergrenze	7,28	5,07	1,97
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,003		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,003	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		4,00 ± 3,14	2,00 ± 3,27	0,00 ± 2,84
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	2,24	1,42	0,51
		Obergrenze	5,09	4,39	3,10
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,083		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,035	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,013		

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	Schmerzintensität Abduktion passiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		4,00 ± 3,50	2,50 ± 2,70	0,00 ± 3,08
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	2,56	1,23	0,71
		Obergrenze	5,84	3,77	3,59
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,004		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,763	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,008		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		6,00 ± 3,28	1,00 ± 2,29	0,00 ± 1,34
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	3,42	0,91	-0,11
		Obergrenze	6,69	3,19	1,22
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	<0,001		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,058	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		4,00 ± 3,44	0,00 ± 2,91	0,00 ± 1,41
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	2,44	0,72	0,12
		Obergrenze	5,56	3,37	1,40
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,033		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,011	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
	Schmerzintensität Abduktion aktiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		3,00 ± 3,45	2,00 ± 2,93	0,00 ± 2,70
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	2,34	1,14	0,87
		Obergrenze	5,47	3,81	3,32
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,001		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,248	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,005		

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		6,00 ± 3,16	1,00 ± 2,99	0,00 ± 1,47
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	3,71	0,96	0,32
		Obergrenze	6,85	3,93	1,79
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	<0,001		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,206	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		4,00 ± 3,18	2,00 ± 3,49	0,00 ± 2,55
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	2,46	1,51	0,75
		Obergrenze	5,35	4,68	3,06
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,467		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,011	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,012		
	Schmerzintensität Abduktion passiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		2,00 ± 3,16	0,00 ± 3,00	0,00 ± 2,52
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	1,56	0,73	0,28
		Obergrenze	4,44	3,46	2,58
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,132		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,083	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,035		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		6,00 ± 3,75	0,00 ± 2,48	0,00 ± 0,47
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	3,08	0,60	-0,12
		Obergrenze	6,81	3,07	0,35
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,034		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			<0,001	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		4,00 ± 3,55	2,00 ± 3,07	0,00 ± 2,25
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	2,29	1,22	-0,07
		Obergrenze	5,52	4,02	1,96
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,005		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,349	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,001		

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Zur Prüfung eines signifikanten Unterschieds in der subjektiven Schmerzwahrnehmung der Probanden der verschiedenen Interventionsmaßnahmen über den Interventionszeitraum von acht Wochen wurde eine Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben durchgeführt. Zur Analyse der subjektiven Schmerzwahrnehmung werden die dargestellten p-Werte herangezogen. Für die Abduktion aktiv links ergeben sich über den Messzeitraum von Baseline zur Abschlussmessung nach acht Wochen signifikante Unterschiede in der Schmerzwahrnehmung bei der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe ($p = 0,003$), der Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,013$). Nach vier Wochen Intervention sind signifikante Unterschiede bei der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe ($p = 0,008$) und der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,003$) nachzuweisen. Für die passive Bewegung der Abduktion links der subjektiven Schmerzwahrnehmung unterscheiden sich die Messwerte von Baseline zur Abschlussmessung der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe ($p = 0,008$), der Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) und der Kontrollgruppe ($p = <0,001$) signifikant. Auch nach vier Wochen Intervention sind die Werte der Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe ($p = 0,004$), der Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,033$) signifikant unterschiedlich. Für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion aktiv rechts sind signifikante Unterschiede für die Kraft- und Beweglichkeitsgruppe ($p = 0,005$), der Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,012$) zu erfassen. Nach vier Wochen Intervention sind bereits die Schmerzwerte der Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe ($p = 0,001$) und der Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) signifikant unterschiedlich. Abschließend für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion gelten für die passive Bewegung der rechten Seite signifikante Unterschiede für die Gruppen der Kraft- und Beweglichkeit ($p = 0,035$), der Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,001$). Die Biokinematik ($p = 0,034$) und die Kontrollgruppe ($p = 0,005$) zeigen signifikante Unterschiede in der Schmerzwahrnehmung nach vier Wochen. Insgesamt kann nach der Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben festgehalten werden, dass alle Interventionsmaßnahmen einen signifikanten Un-

terschiedseffekt auf die Schmerzwahrnehmung der Probanden über den achtwöchigen Interventionszeitraum haben. Die Biokinematik weist bereits nach vier Wochen Intervention signifikante Unterschiede in der Schmerzwahrnehmung der Abduktion in jeglicher Durchführung auf. Die Kraft- und Beweglichkeitsgruppe zeigt diese Unterschiede, bis auf die passive Abduktion rechts, und die Kontrollgruppe, bis auf die aktive Abduktion rechts, ebenso. Für eine Unterschiedsprüfung auf die Schmerzwahrnehmung zwischen den Gruppen folgt die Anwendung des Kruskal-Wallis-Tests über den gesamten Messzeitraum. Bei signifikanten Unterschieden folgt ein Post-Hoc-Test.

Tab. 54 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Schmerzintensität Abduktion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,048	Nullhypothese ablehnen
T1	Die Verteilung von Schmerzintensität Abduktion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,734	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Schmerzintensität Abduktion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,501	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion aktiv links durchgeführt. In der Baseline sind signifikante Unterschiede in den Messwerten zwischen den Gruppen festzustellen ($p = 0,048$). Die Anwendung des Post-Hoc-Tests zeigt diese Unterschiede im Detail auf (vgl. Tab. 55).

Tab. 55 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung in der Bewegung der Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

Baseline	Teststatistik	Anp. Sig. ^a
Kraft/Beweglichkeit-Kontrollgruppe	11,714	,108
Kraft/Beweglichkeit-Biokinematik	12,143	,089
Kontrollgruppe-Biokinematik	-,429	1,000

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Die Durchführung des Post-Hoc-Tests zeigt, dass signifikante Unterschiede in den Messwerten zwischen der Gruppe der Kraft- und Beweglichkeit und der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,089$) vorliegen. Im weiteren Verlauf der Studie sind diese Unterschiede nicht mehr signifikant.

Tab. 56 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Schmerzintensität Abduktion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,590	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Schmerzintensität Abduktion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,755	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Schmerzintensität Abduktion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,215	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion passiv links durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Tab. 57 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Schmerzintensität Abduktion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,533	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Schmerzintensität Abduktion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,620	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Schmerzintensität Abduktion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,506	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion aktiv rechts durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Tab. 58 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Schmerzintensität Abduktion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,334	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Schmerzintensität Abduktion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,577	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Schmerzintensität Abduktion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,140	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion passiv rechts durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Als gesamtheitliches Fazit für die subjektive Schmerzwahrnehmung ist festzustellen, dass alle drei Gruppen nach der Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben signifikante Unterschiede über den Interventionszeitraum aufweisen. Teilweise sind diese Unterschiede bereits nach vier Wochen Intervention vorhanden. Die Ausführung des Kruskal-Wallis-Tests zeigt auf, dass zwischen den Ergebnissen der Interventionsmaßnahmen keine signifikanten Unterschiede vorzufinden sind. Die Unterschiede in der Baseline werden ausgeklammert, da sie keinen Mehrwert in der Ergebnisdokumentation liefern für das Gesamtfazit der subjektiven Schmerzwahrnehmung. Ein signifikanter Unterschied einer Interventionsmaßnahme gegenüber den anderen Maßnahmen ist nicht zu belegen.

Innenrotation:

In der Bewegungsdurchführung der Innenrotation gibt der Proband während oder im Anschluss der Bewegung den subjektiv empfundenen Schmerz mit Zuhilfenahme der numerische Analogskala an. Auffälligkeiten in der aktiven und passiven Bewegung werden bei der Auswertung der subjektiven

Schmerzwahrnehmung aufgegriffen, um einen potenziellen Unterschied zwischen einer aktiven eigenen Bewegungsdurchführung oder passiven Bewegungsdurchführung mit Unterstützung bestimmen zu können. Die Abbildungen 46 bis 49 zeigen die Boxplots für die subjektive Schmerzempfindung in Bezug auf die Bewegungen der Abduktion über die verschiedenen Messzeitpunkte auf (vgl. Abb. 46 bis 49).

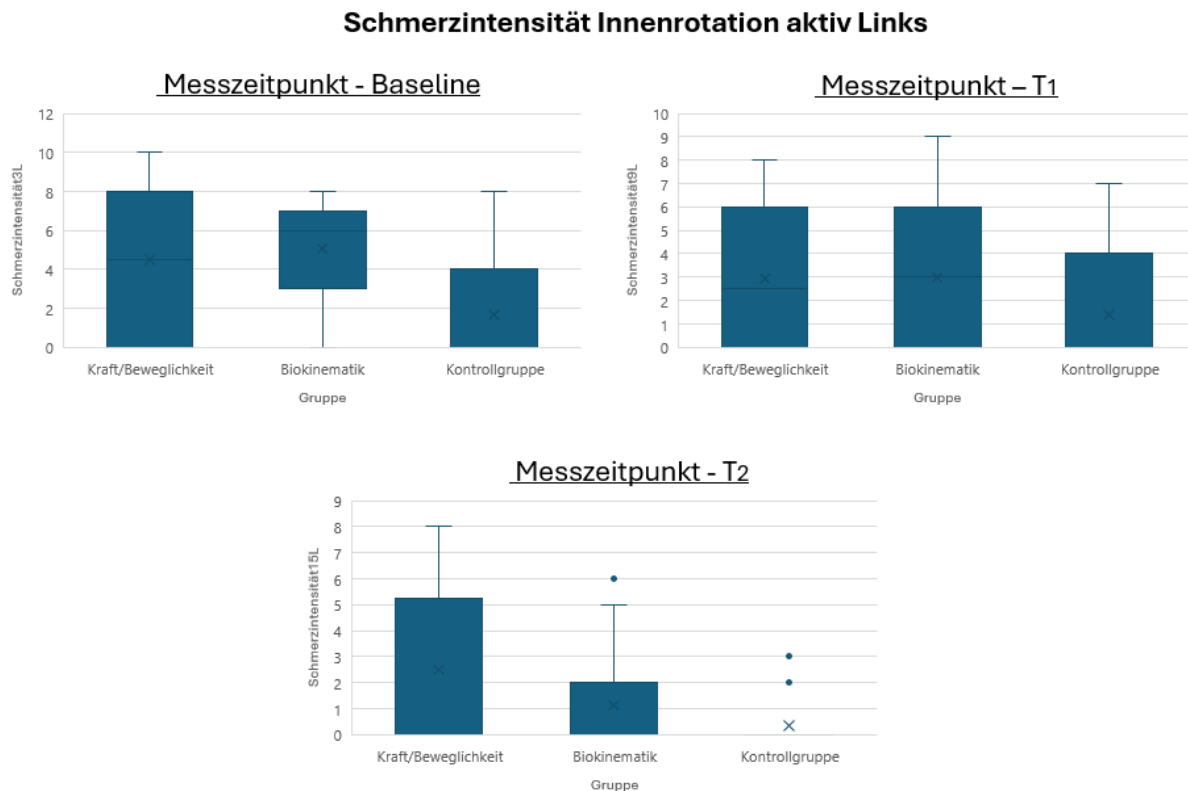


Abb. 46 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Die Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Innenrotation aktiv links zeigen eine schiefe Verteilung der Messwerte über die Baseline. Auffällig bei der Schmerzwahrnehmung der aktiven Innenrotation links, ist der Boxplot der Innenrotation rechts. Bei der Schmerzamplitude konnte festgestellt werden, dass die Anzahl der Messwert der Kontrollgruppe in der Schmerzangabe im Vergleich zu den anderen Gruppen und beiden anderen Bewegungen gering gewesen ist. Die Probanden haben bei der Schmerzwahrnehmung jedoch auch einen Schmerzwert angegeben, ohne dass ein Winkelgrad zuzuordnen gewesen ist. So sind für die Angabe der Schmerzintensität für die Innenrotation aktiv links $n = 16$ Probanden in der Auswertung inkludiert.

Schmerzintensität Innenrotation passiv Links

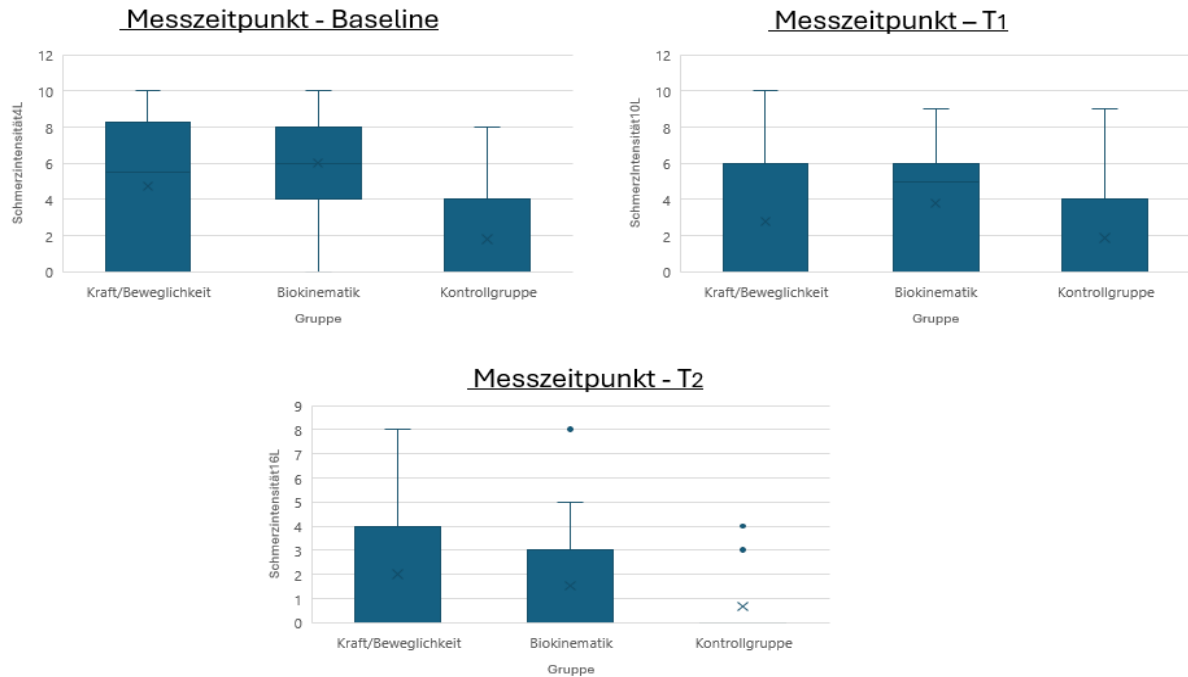


Abb. 47 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Bei der Auswertung der Boxplots für die Schmerzwahrnehmung der Innenrotation passiv links sind die Boxplots über den Interventionszeitraum ähnlich zur aktiven Bewegungsdurchführung verteilt.

Schmerzintensität Innenrotation aktiv Rechts

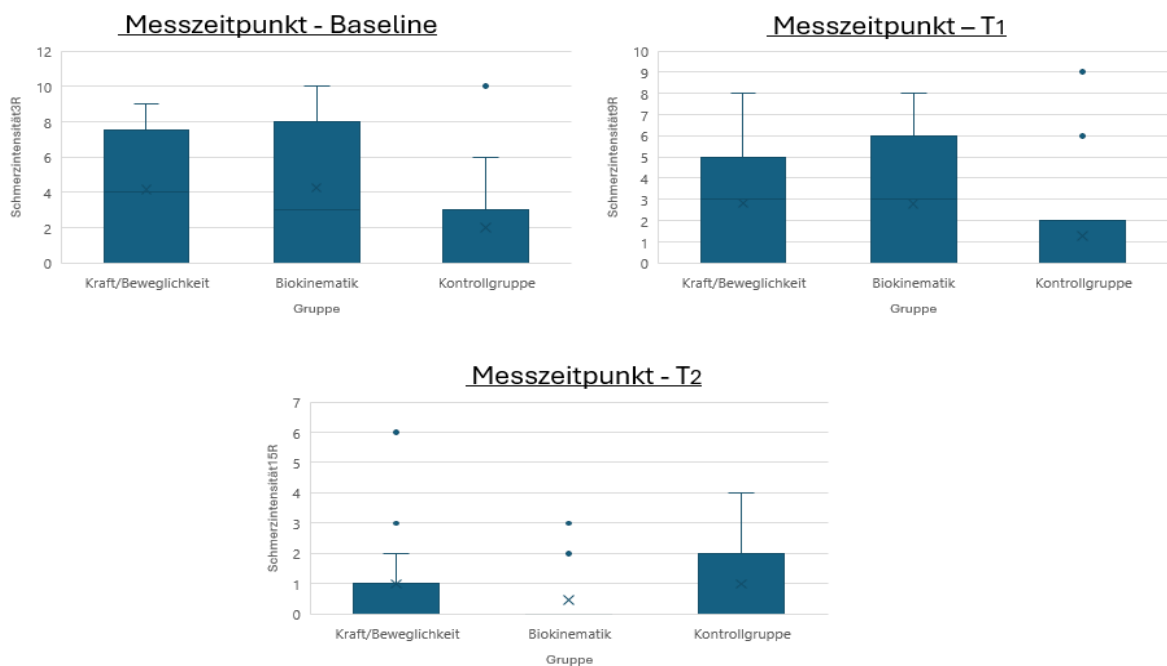


Abb. 48 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Für die Schmerzwahrnehmung der Innenrotation aktiv rechts fallen die Boxplots der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe von der Baseline zur Abschlussmessung nach acht Wochen T2 visuell auf. So geben die Varianzen der beiden Gruppen zur Baseline einen Bereich zwischen 0-8 an, welcher zur Abschlussmessung auf 0-1, mit ein paar wenigen Ausreißern nach oben, reduziert wird.

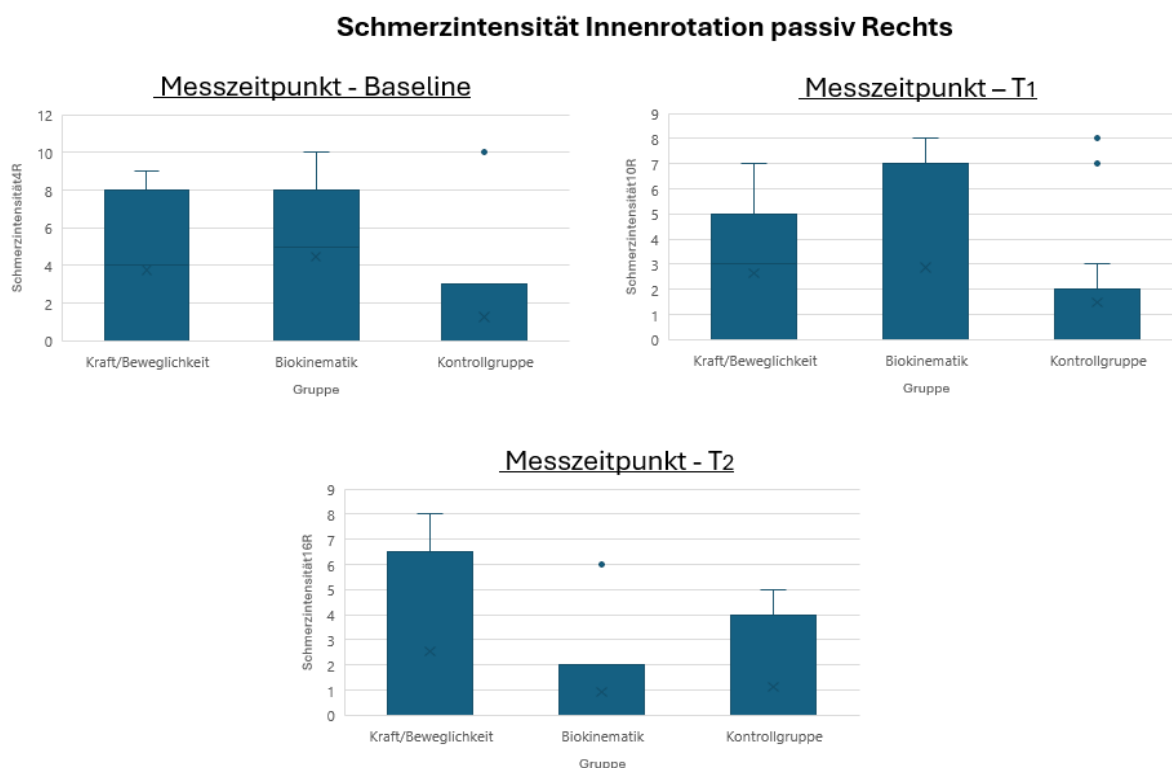


Abb. 49 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Die Boxplots der subjektiven Schmerzwahrnehmung der Innenrotation passiv rechts unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht zur aktiven Bewegungsdurchführung. So sind die Ergebnisse der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe weitestgehend gleichbleibend, bei einer Verschiebung der zentralen Tendenz.

Eine weiterführende statistische Ausführung folgt unter der Ausführung der Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben für die subjektive Schmerzwahrnehmung in der Innenrotation über den Interventionszeitraum. (vgl. Tab. 59).

Tab. 59 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die subjektive Schmerzwahrnehmung in der Bewegung der Innenrotation über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	Schmerzintensität Innenrotation aktiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		4,50 ± 3,54	2,50 ± 3,06	0,00 ± 3,17
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	2,74	1,42	0,93
		Obergrenze	6,26	4,47	4,07
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,035		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,157	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,013		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		6,00 ± 2,60	3,00 ± 3,02	0,00 ± 1,96
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	3,62	1,33	0,05
		Obergrenze	6,51	4,67	2,22
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,033		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,002	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,004		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		0,00 ± 2,66	0,00 ± 2,50	0,00 ± 0,90
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	0,19	0,01	-0,16
		Obergrenze	3,14	2,79	0,83
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,414		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,014	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,014		
	Schmerzintensität Innenrotation passiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		5,50 ± 3,75	0,00 ± 3,39	0,00 ± 2,89

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	2,86	1,09	0,56
		Obergrenze	6,59	4,46	3,44
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,013		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,157	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,004		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		6,00 ± 2,67	5,00 ± 3,12	0,00 ± 2,50
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	4,52	2,05	0,15
		Obergrenze	7,48	5,55	2,92
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,033		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,007	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		0,00 ± 2,78	0,00 ± 2,85	0,00 ± 1,40
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	0,26	0,29	-0,11
		Obergrenze	3,34	3,45	1,44
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,480		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,020	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,059		
	Schmerzintensität Innenrotation aktiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		4,00 ± 3,34	3,00 ± 2,81	0,00 ± 2,06
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	2,46	1,38	-0,6
		Obergrenze	5,89	4,27	2,06
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,109		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,002	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,004		

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		3,00 ± 3,53	3,00 ± 3,00	0,00 ± 0,99
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	2,31	1,14	-0,08
		Obergrenze	6,22	4,46	1,01
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,058		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,002	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		0,00 ± 2,90	0,00 ± 2,69	0,00 ± 1,56
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	0,39	-0,22	0,14
		Obergrenze	3,61	2,75	1,86
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,059		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,480	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,206		
	Schmerzintensität Innenrotation passiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		4,00 ± 3,60	3,00 ± 2,78	0,00 ± 3,26
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	1,92	1,22	0,85
		Obergrenze	5,61	4,08	4,21
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,020		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,705	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,034		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		5,00 ± 3,81	0,00 ± 3,36	0,00 ± 1,67
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	2,35	1,01	0,01
		Obergrenze	6,58	4,73	1,86
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman	0,034		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,020	

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}	bei verbundenen Stichproben	0,003		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		0,00 ± 2,71	0,00 ± 2,64	0,00 ± 1,96
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	-0,23	0,003	0,05
		Obergrenze	2,77	2,93	2,22
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,705		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,206	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,705		

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Zur Prüfung eines signifikanten Unterschieds in der subjektiven Schmerzwahrnehmung der Probanden der verschiedenen Interventionsmaßnahmen über den Interventionszeitraum von acht Wochen, wurde eine Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben durchgeführt. Die dargestellten p-Werte werden zur Analyse der subjektiven Schmerzwahrnehmung in der Innenrotation herangezogen. Für die Schmerzwahrnehmung der aktiven Innenrotation über den achtwöchigen Interventionszeitraum ergeben sich signifikante Unterschiede für die Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe ($p = 0,013$), der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,004$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,014$). Nach vier Wochen Intervention verzeichnen die Gruppen der Kraft- und Beweglichkeit ($p = 0,035$) und der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,033$) signifikante Unterschiede. In der passiven Innenrotation links sind die Werte der Schmerzwahrnehmung für die Gruppe der Kraft- und Beweglichkeit ($p = 0,004$), der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,001$) signifikant unterschiedlich. Nach vier Wochen Intervention sind bereits signifikante Unterschiede in der Schmerzwahrnehmung der Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe ($p = 0,013$) und der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,033$) zu verzeichnen. Die Schmerzwahrnehmung der Innenrotation aktiv rechts hat signifikante Unterschiede für die Kraft- und Beweglichkeitsgruppe ($p = 0,004$) und der Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) über den achtwöchigen Interventionsablauf. Auch in der passiven Innenrotation sind die Messwerte der Schmerzwahrnehmung über diesen achtwöchigen Zeitraum für die Gruppe der Kraft- und Beweglichkeit ($p = 0,034$) und der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,003$) signifikant unterschiedlich. In der passiven Durchführung der Bewegung sind die Werte bereits nach vier Wochen Intervention für die Gruppe der Kraft- und Beweglichkeit ($p = 0,020$) und der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,034$) signifikant unterschiedlich. Für die Schmerzwahrnehmung der Innenrotation kann schlussfolgernd festgestellt werden, dass die Kontrollgruppe, bis auf die aktive Innenrotation links, keine signifikanten Unterschiede über den achtwöchigen Interventionsablauf aufweist. Die Kraft- und Beweg-

lichkeits-Gruppe und die Biokinematik-Gruppe zeigen bezüglich der Schmerzwahrnehmung signifikante Unterschiede nach acht Wochen Interventionsmaßnahmen. Teilweise können bereits nach vier Wochen Intervention für diese beiden Gruppe signifikante Unterschiede festgestellt werden. Für eine Unterschiedsprüfung auf die Schmerzwahrnehmung zwischen den Gruppen folgt die Anwendung des Kruskal-Wallis-Tests über den gesamten Messzeitraum. Bei signifikanten Unterschieden folgt ein Post-Hoc-Test.

Tab. 60 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Schmerzintensität Innenrotation aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,011	Nullhypothese ablehnen
T1	Die Verteilung von Schmerzintensität Innenrotation aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,300	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Schmerzintensität Innenrotation aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,056	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Innenrotation aktiv links durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Baseline sind signifikante Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen festzustellen ($p = 0,011$). Ein Post-Hoc-Test identifiziert die Differenzwerte zwischen den unterschiedlichen Gruppen zur Baseline.

Tab. 61 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung in der Bewegung der Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

Baseline	Teststatistik	Anp. Sig. ^a
Kraft/Beweglichkeit-Kontrollgruppe	12,049	0,047
Kraft/Beweglichkeit-Biokinematik	14,055	0,016
Kontrollgruppe-Biokinematik	-2,007	1,000

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Die Durchführung des Post-Hoc-Tests zeigt signifikante Unterschiede zur Baseline zwischen der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe und der Kontrollgruppe ($p = 0,047$), sowie einem signifikanten Unterschied zwischen der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe und der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,016$). Über den weiteren Interventionsablauf sind die Messwerte nicht-signifikant unterschiedlich.

Tab. 62 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Schmerzintensität Innenrotation passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,005	Nullhypothese ablehnen
T1	Die Verteilung von Schmerzintensität Innenrotation passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,539	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Schmerzintensität Innenrotation passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,235	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Innenrotation passiv links durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Baseline sind signifikante Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen festzustellen ($p = 0,005$). Ein Post-Hoc-Test identifiziert die Differenzwerte zwischen den unterschiedlichen Gruppen zur Baseline.

Tab. 63 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung in der Bewegung der Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

Baseline	Teststatistik	Anp. Sig. ^a
Kraft/Beweglichkeit-Kontrollgruppe	12,090	,047
Kraft/Beweglichkeit-Biokinematik	15,886	,005
Kontrollgruppe-Biokinematik	-3,796	1,000

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Die Durchführung des Post-Hoc-Tests zeigt signifikante Unterschiede zur Baseline zwischen der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe und der Kontrollgruppe ($p = 0,047$), sowie einem signifikanten Un-

terschied zwischen der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe und der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,005$). Über den weiteren Interventionsablauf sind die Messwerte nicht-signifikant unterschiedlich.

Tab. 64 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Schmerzintensität Innenrotation aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,175	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Schmerzintensität Innenrotation aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,107	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Schmerzintensität Innenrotation aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,956	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Innenrotation aktiv rechts durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Tab. 65 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Schmerzintensität Innenrotation passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,069	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Schmerzintensität Innenrotation passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,461	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Schmerzintensität Innenrotation passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,418	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Innenrotation passiv rechts durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Als gesamtheitliches Fazit für die subjektive Schmerzwahrnehmung ist festzustellen, dass die Gruppen der Kraft- und Beweglichkeitsübungen und der Biokinetik nach der Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben signifikante Unterschiede über den Interventionszeitraum aufweisen. Teilweise sind diese Unterschiede bereits nach vier Wochen Intervention vorhanden. Die Ergebnisse der Kontrollgruppe sind nach der Varianzanalyse nach Friedman über den Interventionszeitraum von acht Wochen nicht-signifikant unterschiedlich. Die Ausführung des Kruskal-Wallis-Tests zeigt auf, dass zwischen den Ergebnissen der Interventionsmaßnahmen keine signifikanten Unterschiede vorzufinden sind. Die Unterschiede in der Baseline werden ausgeklammert, da sie keinen Mehrwert in der Ergebnisdokumentation liefern für das Gesamtfazit der subjektiven Schmerzwahrnehmung. Ein signifikanter Unterschied einer Interventionsmaßnahme gegenüber den anderen Maßnahmen ist nicht zu belegen.

Anteversion:

In der Bewegungsdurchführung der Anteversion gibt der Proband während oder im Anschluss der Bewegung den subjektiv empfundenen Schmerz mit Zuhilfenahme der numerischen Analogskala an. Auffälligkeiten in der aktiven und passiven Bewegung werden bei der Auswertung der subjektiven Schmerzwahrnehmung aufgegriffen, um einen potenziellen Unterschied zwischen einer aktiven eigenen Bewegungsdurchführung oder passiven Bewegungsdurchführung mit Unterstützung bestimmen zu können. Die Abbildungen 46 bis 49 zeigen die Boxplots für die subjektive Schmerzempfindung in Bezug auf die Bewegungen der Abduktion über die verschiedenen Messzeitpunkte auf (vgl. Abb. 46 bis 49).

Schmerzintensität Anteversion aktiv Links

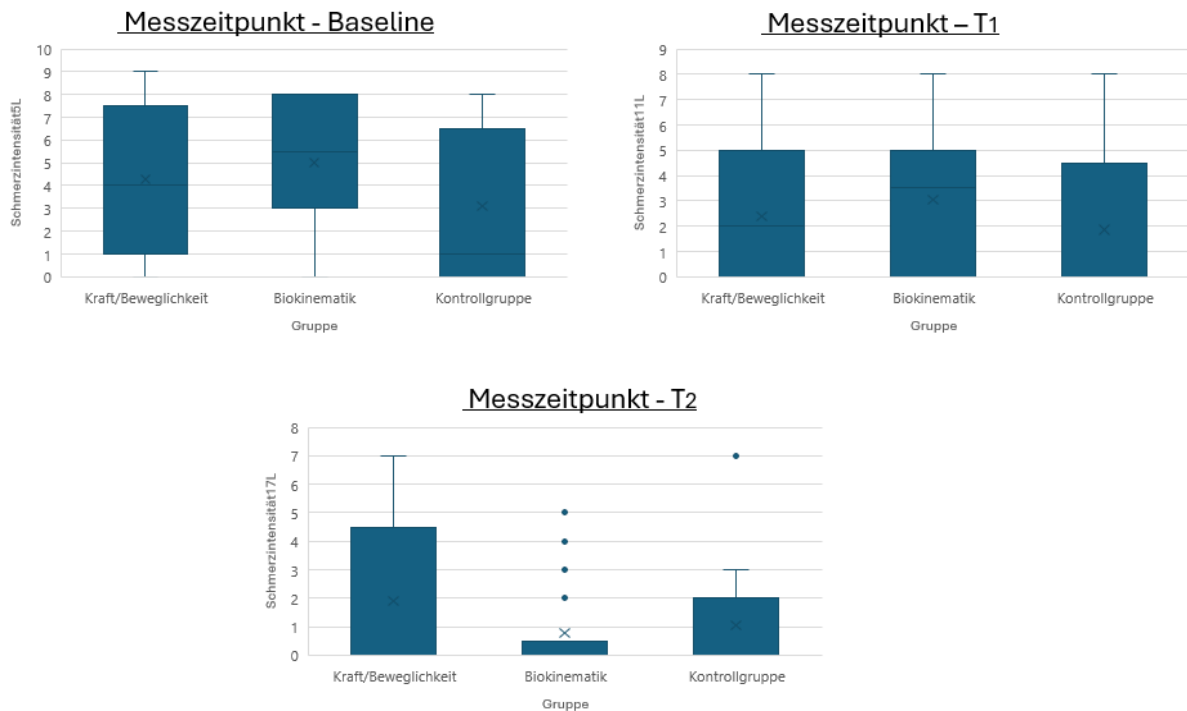


Abb. 50 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Die deskriptive Darstellung der subjektiven Schmerzwahrnehmung für die Bewegung der Anteversion aktiv links über die Boxplots zeigen eine schiefe Verteilung der Messwerte über den Interventionszeitraum. Die Varianz der Werte ist über den Zeitraum der Zwischenmessung weitestgehend angeglichen, bei einer unterschiedlichen Verteilung des Mittelwertes. Besonders auffällig ist die Veränderung des Boxplots der Biokinematik von der Baseline zur Abschlussmessung. Zum Zeitpunkt der Abschlussmessung sind wenige Ausreißer zu den oberen Schmerzwerten vorhanden, während sich der Wertebereich der Baseline anfangs zwischen 3-8 befand.

Schmerzintensität Anteversion passiv Links

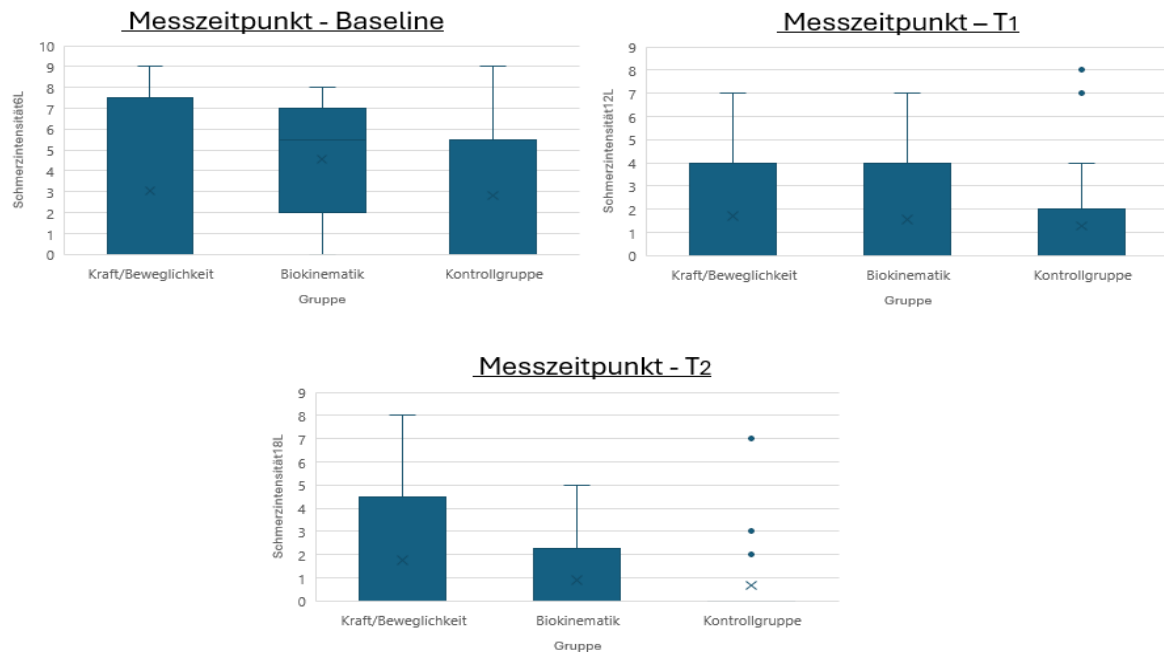


Abb. 51 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Im Vergleich zur aktiven Bewegung ist vor allem der Verlauf der Kontrollgruppe hervorzuheben. Die Box verschiebt sich stark visuell in Richtung des 0-Wertes mit wenigen Ausreißern zu den oberen Werten.

Schmerzintensität Anteversion aktiv Rechts

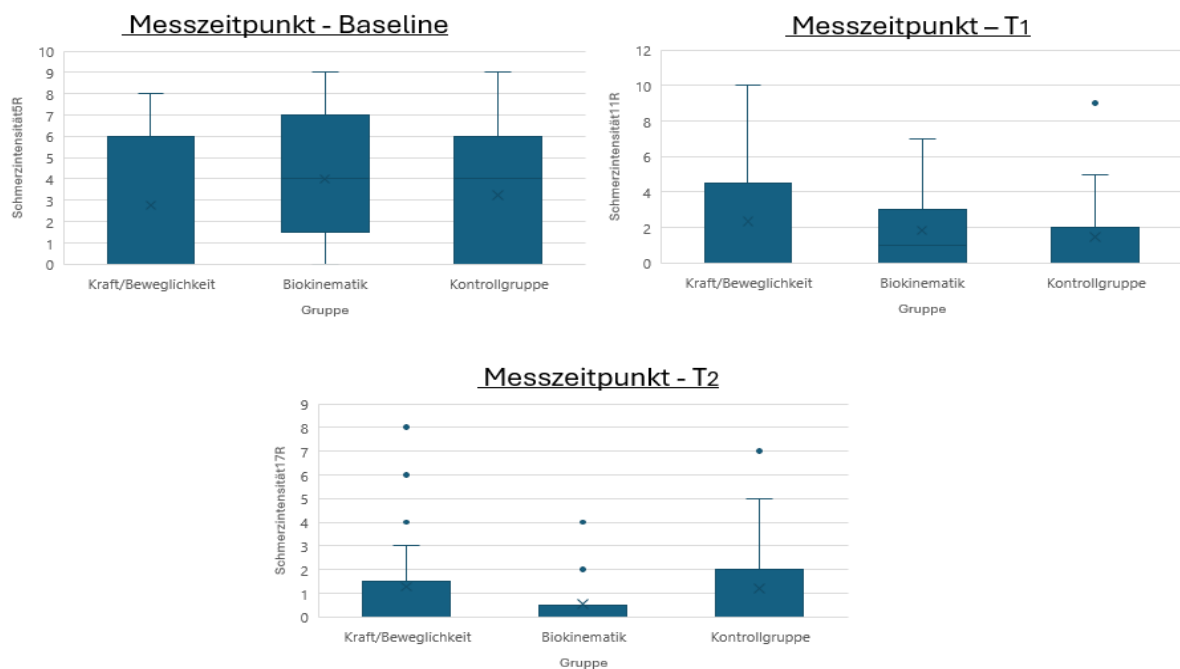


Abb. 52 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Bei der deskriptiven Bewertung der subjektiven Schmerzwahrnehmung der Anteversion aktiv rechts, gilt zu sagen, dass die Veränderung der Boxen über den Interventionszeitraum in Relation gleichbleibend ist. Zum Zeitpunkt der Abschlussmessung hat die Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen einige wenige Ausreißer der Messwerte in den oberen Werten der Schmerzskala beibehalten.

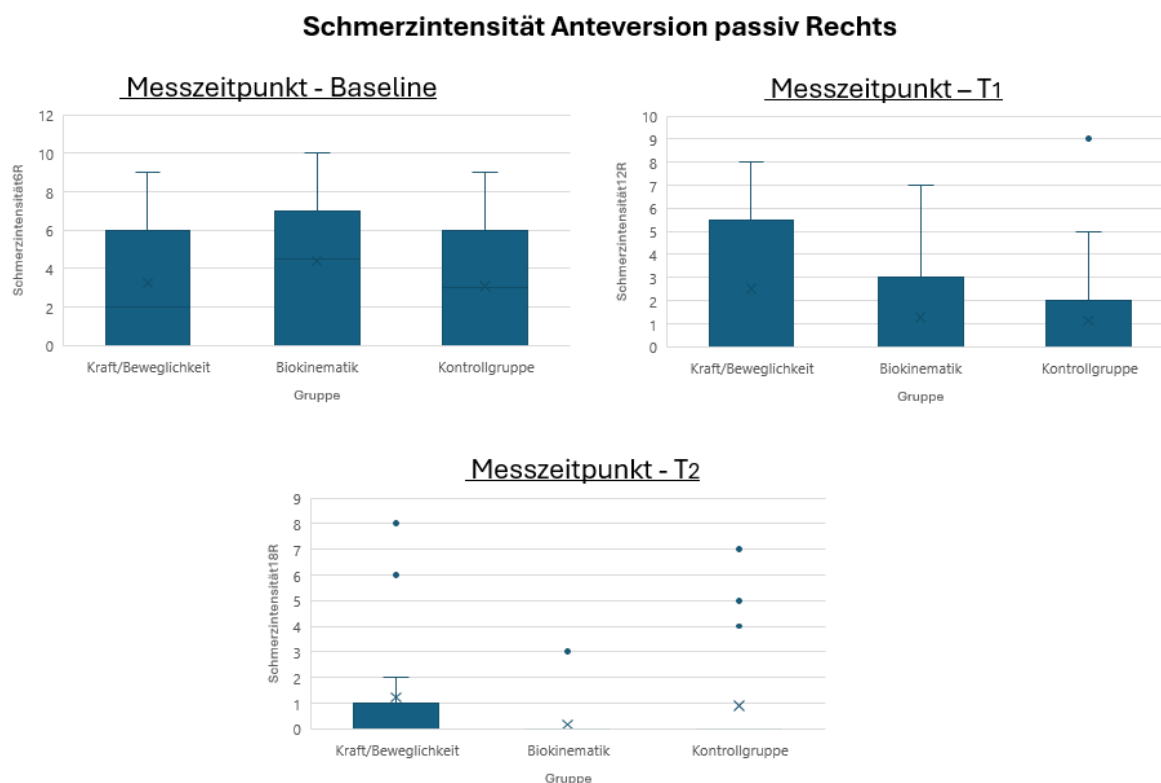


Abb. 53 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)

Bei der Schmerzwahrnehmung der Anteversion passiv rechts ist die Veränderung der Boxplots der Anteversion am größten. So sind die drei Gruppen, mit Ausnahme des Mittelwertes, über die Baseline in Relation ähnlich. Zum Zeitpunkt der Abschlussmessung bewegen sich die Boxen aller Gruppen im Wertebereich zwischen 0-1 mit einigen Ausreißern zu den oberen Werten. Die weitere Prüfung signifikanter Unterschiede der Schmerzwahrnehmung der Anteversion über den Interventionszeitraum erläutert die Tabelle 66, unter Berücksichtigung der Anwendung der Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben (vgl. Tab. 66).

Tab. 66 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die subjektive Schmerzwahrnehmung in der Bewegung der Anteversion über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	Schmerzintensität Anteversion aktiv links				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		4,00 ± 3,24	2,00 ± 2,60	0,00 ± 2,66
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	2,81	1,20	0,69
		Obergrenze	5,76	3,56	3,12
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,001		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,206	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		5,50 ± 2,59	3,50 ± 2,92	0,00 ± 1,59
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	3,71	1,60	-0,01
		Obergrenze	6,29	4,51	1,57
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,005		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,011	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		1,00 ± 3,32	0,00 ± 2,89	0,00 ± 1,80
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	1,58	0,54	0,23
		Obergrenze	4,60	3,17	1,87
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,020		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,059	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,004		
		Schmerzintensität Anteversion passiv links			
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		0,00 ± 3,61	0,00 ± 2,70	0,00 ± 2,95

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	1,40	0,48	0,42
		Obergrenze	4,69	2,95	3,10
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,035		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			1,000	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,020		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		5,50 ± 2,87	0,00 ± 2,38	0,00 ± 1,57
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	3,13	0,37	0,11
		Obergrenze	5,98	2,74	1,67
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	<0,001		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,317	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		0,00 ± 3,37	0,00 ± 2,43	0,00 ± 1,68
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	1,28	0,18	-0,10
		Obergrenze	4,34	2,39	1,43
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,034		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,157	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,003		
	Schmerzintensität Anteversion aktiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		0,00 ± 3,24	0,00 ± 3,04	0,00 ± 2,51
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	1,29	0,95	0,13
		Obergrenze	4,24	3,72	2,43
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,564		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,034	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,058		

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		4,00 ± 3,18	1,00 ± 2,38	0,00 ± 1,15
	95% Konfidenzin- tervals des Mittelwertes	Untergrenze	2,42	0,65	-0,02
		Obergrenze	5,58	3,01	1,13
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,001		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,034	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		4,00 ± 3,24	0,00 ± 2,42	0,00 ± 2,02
	95% Konfidenzin- tervals des Mittelwertes	Untergrenze	1,76	0,37	0,27
		Obergrenze	4,71	2,58	2,11
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbunde- nen Stichpro- ben	0,013		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,739	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,013		
	Schmerzintensität Anteversion passiv rechts				
Kraft/ Beweglichkeit	Median ± Standardabweichung		2,00 ± 3,40	0,00 ± 3,20	0,00 ± 2,64
	95% Konfidenzin- tervals des Mittelwertes	Untergrenze	1,69	1,07	0,03
		Obergrenze	4,79	3,98	2,44
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,763		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,096	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,011		
Biokinematik	Median ± Standardabweichung		4,50 ± 3,36	0,00 ± 2,37	0,00 ± 0,71
	95% Konfidenzin- tervals des Mittelwertes	Untergrenze	2,72	0,10	-0,19
		Obergrenze	6,06	2,46	0,52

Gruppe	Variable		Baseline	T1	T2
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	<0,001		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,025	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		<0,001		
Kontrollgruppe	Median ± Standardabweichung		3,00 ± 3,43	0,00 ± 2,22	0,00 ± 2,02
	95% Konfidenzintervalls des Mittelwertes	Untergrenze	1,53	0,13	-0,02
		Obergrenze	4,65	2,15	1,83
	p-Wert Baseline zu T1 ^{ab}	Varianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben	0,052		
	p-Wert T1 zu T2 ^{ab}			0,705	
	p-Wert Baseline zu T2 ^{ab}		0,004		

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Zur Prüfung eines signifikanten Unterschieds in der subjektiven Schmerzwahrnehmung der Probanden der verschiedenen Interventionsmaßnahmen über den Interventionszeitraum von acht Wochen, wurde eine Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben durchgeführt. Die dargestellten p-Werte werden zur Analyse der subjektiven Schmerzwahrnehmung in der Anteversion herangezogen. Bei der subjektiven Schmerzwahrnehmung der Anteversion aktiv links waren die Messwerte der Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen ($p = <0,001$), der Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,004$) allesamt signifikant unterschiedlich im Messzeitraum von Baseline zur Abschlussmessung nach acht Wochen. Bereits nach vier Wochen Intervention waren die Schmerzwerte der Gruppe der Kraft und Beweglichkeit ($p = 0,001$), der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,005$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,020$) signifikant unterschiedlich. Die Ergebnisse der Messwerte für die passive Anteversion links sind ebenso über den achtwöchigen Interventionszeitraum der Gruppe der Kraft und Beweglichkeit ($p = 0,020$), der Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,003$) signifikant unterschiedlich. Ebenfalls können signifikante Unterschiede aller drei Gruppen nach vier Wochen Intervention festgestellt werden. Bei der Schmerzwahrnehmung der aktiven Anteversion rechts, sind die Werte der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,001$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,013$) über den Interventionszeitraum von acht Wochen signifikant unterschiedlich. Nach vier Wochen Intervention sind die Messwerte der Biokinematik-Gruppe ($p = 0,001$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,013$) bereits signifikant unterschiedlich. Abschließend für die passive Anteversion der rechten Seite können signifikante Unterschiede in der subjektiven Schmerzwahrnehmung für die Kraft- und Beweglichkeits-

Gruppe ($p = 0,011$), der Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) und der Kontrollgruppe ($p = 0,004$) nachgewiesen werden. Nach vier Wochen Intervention weist die Biokinematik-Gruppe ($p = <0,001$) signifikante Unterschiede in den Messwerten der Schmerzintensität auf. Über den zeitlichen Interventionsverlauf von acht Wochen zeigen alle drei Interventionsgruppen für die Schmerzwahrnehmung der Anteversion signifikante Unterschiede. Die Biokinematik und teilweise die Kontrollgruppe haben bereits signifikante Unterschiede in den Messwerten der Schmerzwahrnehmung nach vier Wochen Intervention. Für die weitere Unterschiedsprüfung der Schmerzwahrnehmung zwischen den einzelnen Gruppen wird der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Zur weiteren Identifikation des Unterschieds wird bei signifikanten Messergebnissen über die Messzeiträume ein Post-Hoc-Test durchgeführt.

Tab. 67 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Anteversion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Schmerzintensität Anteversion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,197	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Schmerzintensität Anteversion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,521	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Schmerzintensität Anteversion aktiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,502	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Anteversion aktiv links durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Tab. 68 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Anteversion passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Schmerzintensität Anteversion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,182	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Schmerzintensität Anteversion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,894	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Schmerzintensität Anteversion passiv links ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,571	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Anteversion passiv links durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Tab. 69 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Anteversion aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Schmerzintensität Anteversion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,626	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Schmerzintensität Anteversion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,648	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Schmerzintensität Anteversion aktiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,620	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Anteversion aktiv rechts durchgeführt. Über den gesamten Inter-

ventionsablauf sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Tab. 70 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Anteversion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Testentscheidung
Baseline	Die Verteilung von Schmerzintensität Anteversion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,698	Nullhypothese beibehalten
T1	Die Verteilung von Schmerzintensität Anteversion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,298	Nullhypothese beibehalten
T2	Die Verteilung von Schmerzintensität Anteversion passiv rechts ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben	0,251	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Der Kruskal-Wallis-Tests wurde für die Unterschiedsbestimmung zwischen den Gruppen für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Anteversion passiv rechts durchgeführt. Über den gesamten Interventionsablauf sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren. Die weitere Durchführung eines Post-Hoc-Tests entfällt.

Als gesamtheitliches Fazit für die subjektive Schmerzwahrnehmung ist festzustellen, dass alle drei Gruppen nach der Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben signifikante Unterschiede über den Interventionszeitraum aufweisen. Teilweise sind diese Unterschiede bereits nach vier Wochen Intervention vorhanden. Die Ausführung des Kruskal-Wallis-Tests zeigt auf, dass zwischen den Ergebnissen der Interventionsmaßnahmen keine signifikanten Unterschiede vorzufinden sind. Ein signifikanter Unterschied einer Interventionsmaßnahme gegenüber den anderen Maßnahmen ist nicht zu belegen.

5.5 Zusammenhangsprüfung mit Spearmans Rangkorrelationskoeffizienten

Ergänzend zur Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben und der Anwendung des Kruskal-Wallis-Tests wird über den Korrelationskoeffizienten nach Spearman ein potenzieller Zusammenhang zwischen der subjektiven Schmerzwahrnehmung und der Veränderung der Bewegungsamplitude geprüft. Die Auswertung der Korrelationskoeffizienten erfolgt kumuliert in der nachfolgenden Tabelle (vgl. Tab. 71). Aus den Daten der Korrelationskoeffizienten nach Spearman-Rho folgt die Interpretation eines positiven oder negativen Zusammenhanges zwischen der Bewegungsamplitude und der Schmerzwahrnehmung.

Tab. 71 Spearmans Rangkorrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen der subjektiven Schmerzwahrnehmung und der Bewegungsamplitude für die verschiedenen klinischen Untersuchungstechniken – Eigene Darstellung

			Baseline	T1	T2
Abduktion					
Spearman-Rho	Abduktion aktiv links	Korrelationskoeffizient	-0,332**	-0,468**	-0,592**
		Sig. (2-seitig)	0,008	<0,001	<0,001
	Abduktion passiv links	Korrelationskoeffizient	-,0644**	-0,625**	-0,564**
		Sig. (2-seitig)	<0,001	<0,001	<0,001
	Abduktion aktiv rechts	Korrelationskoeffizient	-0,388**	-0,409**	-0,391**
		Sig. (2-seitig)	0,002	<0,001	0,002
	Abduktion passiv rechts	Korrelationskoeffizient	-0,504**	-0,506**	-0,399**
		Sig. (2-seitig)	<0,001	<0,001	0,001
Innenrotation					
Spearman-Rho	Innenrotation aktiv links	Korrelationskoeffizient	-0,264**	-0,365**	-0,060**
		Sig. (2-seitig)	0,073	0,004	0,647
	Innenrotation passiv links	Korrelationskoeffizient	-0,420**	-0,471**	-0,255**
		Sig. (2-seitig)	0,003	0,001	0,049
	Innenrotation aktiv rechts	Korrelationskoeffizient	-0,297**	-0,359**	-0,307**
		Sig. (2-seitig)	0,045	0,005	0,018

			Baseline	T1	T2
	Innenrotation passiv rechts	Korrelationskoeffizient	-0,395**	-0,500**	-0,450**
		Sig. (2-seitig)	0,007	<0,001	<0,001
Anteversion					
Spearman-Rho	Anteversion aktiv links	Korrelationskoeffizient	-0,425**	-0,417**	-0,499**
		Sig. (2-seitig)	<0,001	<0,001	<0,001
	Anteversion passiv links	Korrelationskoeffizient	-0,317**	-0,444**	-0,459**
		Sig. (2-seitig)	0,011	<0,001	<0,001
	Anteversion aktiv rechts	Korrelationskoeffizient	-0,408**	-0,567**	-0,460**
		Sig. (2-seitig)	<0,001	<0,001	<0,001
	Anteversion passiv rechts	Korrelationskoeffizient	-0,654**	-0,547**	-0,593**
		Sig. (2-seitig)	<0,001	<0,001	<0,001

**· Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig)

Nach der Anwendung der Korrelationsanalyse durch Spearman-Rho auf den Zusammenhang der Variablen der Bewegungsamplitude und des subjektiven Schmerzempfindens in der Bewegung über den Interventionszeitraum kann festgehalten werden, dass in den aktiven Bewegungen der Abduktion ein signifikant schwach negativer Zusammenhang zwischen den Variablen besteht. Die Ausnahme bildet die aktive Abduktion links zum Zeitpunkt der Abschlussmessung mit einem mittelstarken negativen Zusammenhang zwischen den Variablen. Für die passive Abduktion bilateral gilt ein signifikant schwacher bis mittelstarker negativer Zusammenhang zwischen der Schmerzwahrnehmung und der Bewegungsamplitude über den Interventionszeitraum. Für die Innenrotation ist der Zusammenhang zwischen den Variablen über den Interventionszeitraum signifikant schwach negativ. Die Ausnahme bildet der nicht-signifikante Zusammenhang der Innenrotation aktiv links zum Zeitpunkt der Abschlussmessung. Für die Anteversion kann abschließend ein signifikant schwacher bis mittelstarker negativer Zusammenhang zwischen den Variablen festgehalten werden.

Als gesamtheitliches Fazit für die Korrelation zwischen der subjektiven Schmerzwahrnehmung und der Bewegungsamplitude kann festgehalten werden, dass insgesamt ein signifikant schwach bis mittelstarken negativen Zusammenhang zwischen den Variablen besteht.

6 Diskussion

Das Ziel dieser empirischen Arbeit war die Analyse verschiedener Therapiemaßnahmen für die Diagnose bei Patienten mit einem subacromialen Schulter-Impingement-Syndrom. Das SIS gilt als dritthäufigstes Beschwerdebild für muskuloskelettale Erkrankungen und betrifft 12% in der Bevölkerung (CREECH, SILVER, 2023). Die Diagnostik und weiterführende konservativen Therapien oder operative Maßnahmen sind mit einem hohen Kosten- und Zeitaufwand verbunden. In den vergangenen Jahren wurden verschiedene konservative Interventionsmaßnahmen für die Behandlung eines SIS eingesetzt. Diese Methoden wurden in der *S2e-Leitlinie subacromiales Schulter-Impingement-Syndrom* durch die Deutsche Vereinigung für Schulter- und Ellenbogenchirurgie e.V. und der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie- und Unfallchirurgie e.V. zusammengefasst (DVSE, 2021). Die Untersuchung dieser zusammengefassten Methoden hat ergeben, dass Bewegungsreize positive Auswirkungen auf den Heilungsverlauf des SIS in Bezug auf die Bewegungsamplitude und der Reduktion von Schmerzen haben. Im Rahmen dieser Studie wurde zudem die Intervention der Biokinematik nach Walter Packi vorgestellt. Die Biokinematik gibt an, unter Berücksichtigung der natürlichen und physikalischen Umwelteinflüsse des Menschen, Reize an der Muskulatur des Menschen anzusetzen, die eine gestörte Bewegung wieder schmerzfrei machen. Hierfür spielt das Verständnis der Schmerzwahrnehmung durch das Bewusstsein in Verbindung mit den Grundlagen einer Bewegung eine entscheidende Rolle. In diesem Kapitel werden die eigenen Ergebnisse interpretiert und mit der ursprünglichen Forschungshypothese abgeglichen. Weiterhin werden die kritischen Punkte in der theoretischen Herleitung dieser Arbeit, der methodischen Herangehensweise und die Interpretation der Ergebnisse kritisch betrachtet und die eigenen Ergebnisse dieser Arbeit mit denen aus der Literatur abgeglichen. Im weiteren Verlauf werden die Limitationen dieser Studie erläutert und es folgt ein Ausblick auf potenzielle weiterführende Forschungsarbeiten.

6.1 Interpretation der Ergebnisse

Mit der Formulierung der Forschungsfrage, sollte in dieser empirischen Arbeit die Wirksamkeit bestehender konservativer Interventionsmethoden für das Beschwerdebild des SIS mit der Therapie der Biokinematik verglichen werden. Die Biokinematik gilt als explorativer Therapieansatz, sodass die daraus resultierenden Hypothesen ungerichtet formuliert worden sind. Die Primärhypothese bezog sich auf die metrische Variable der Bewegungsamplitude:

Nullhypothese:

H₀: Die Erweiterung der Bewegungsamplitude und die Auswirkung auf die Funktionalität der Schulter durch die Anwendung der Biokinematik bei Patienten mit einem SIS ist gleich der erwarteten Erweiterung der Bewegungsamplitude durch herkömmliche konservative Behandlungsansätze.

Forschungshypothese:

H1: Die Erweiterung der Bewegungsamplitude und die Auswirkung auf die Funktionalität der Schulter durch die Anwendung der Biokinetik bei Patienten mit einem SIS unterscheidet sich von der erwarteten Erweiterung der Bewegungsamplitude durch herkömmliche konservative Behandlungsansätze.

Nach der Auswertung der deskriptiven Statistik und Analyse der Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben und des Kruskal-Wallis-Test, kann für die oben genannte Hypothese das Nachfolgende festgehalten werden. Die Auswertung des Kruskal-Wallis-Test, mit anschließenden Post-Hoc-Test, hat einen signifikanten Unterschied zwischen der Biokinetik-Gruppe mit der Gruppe der Kraft- und Beweglichkeitsübungen, sowie der Kontrollgruppe für die aktive und passive Bewegung der Abduktion ergeben. Bei der Innenrotation lag ein signifikanter Unterschied unilateral der rechten Seiten in aktiver und passiver Bewegung zwischen der Biokinetik-Gruppe und der Gruppe der Kraft und Beweglichkeit vor, nicht aber mit der Kontrollgruppe. Bei der Anteversion war ein signifikanter Unterschied lediglich in der passiven Bewegung der rechten Seite zwischen der Biokinetik-Gruppe und der Gruppe der Kraft und Beweglichkeit, nicht aber mit der Kontrollgruppe festzustellen. Die Primärhypothese bezog sich im Wesentlichen auf die Feststellung eines signifikanten Unterschieds zwischen den verschiedenen Therapiemaßnahmen und einem Unterschied der Biokinetik. Für die Abduktion kann die Nullhypothese verworfen werden. Bei der Innenrotation gilt für die rechte Seite ein signifikanter Unterschied, für die linke Seite hingegen nicht. Für einen klaren Verwurf der Nullhypothese sollten daher weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Bei der Anteversion überwiegen die nicht-signifikanten Unterschiede den signifikanten Unterschied in der passiven Anteversion rechts, sodass die Nullhypothese beibehalten wird. Durch die Anwendung der Varianzanalyse nach Friedman wurde weiterhin aber auch die Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen über den zeitlichen Verlauf des achtwöchigen Zeitraums geprüft. Daraus ergab sich ein signifikanter Unterschied in den Messwerten der Bewegungsamplitude für die Biokinetik-Gruppe bei allen Bewegungsdurchführungen bilateral in aktiver und passiver Durchführung. Die Wirksamkeit der Biokinetik wird dadurch für die Veränderung der Bewegungsamplitude über den Zeitraum bestätigt. Die Gruppe der Kraft und Beweglichkeitsübungen unterscheidet sich ebenso signifikant in den Bewegungen über den Interventionszeitraum, wie auch die Kontrollgruppe weitestgehend. So bestätigt sich die Wirksamkeit von Bewegungsreizen auf den Heilungsverlauf bei Patienten mit einem SIS. Die Formulierung der Hypothesen und der Durchführung nicht-parametrischer Tests lässt lediglich eine Aussage zum Vorliegen eines Unterschiedes oder nicht Vorhandensein eines Unterschiedes zu. Für die Bestimmung von Richtungsparametern und Bestimmung eines Behandlungseffekts, bedarf es der Erweiterung der Stichprobenanzahl.

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wurde neben der Bewegungsamplitude auch der Anfangs- und Endpunkt des Schmerzeinsatzes beim Patienten über den Interventionszeitraum gemessen. Die

daraus resultierende Differenz zwischen diesen beiden Werten bestimmte die Schmerzamplitude in der Bewegung. Als Sekundärhypothese galt es zu überprüfen, ob ein signifikanter Unterschied in der Veränderung der Schmerzamplitude über den achtwöchigen Interventionszeitraum in den drei Interventionsgruppen vorgelegen hat. Durch die Anwendung des Kruskal-Wallis-Tests konnten keine signifikanten Unterschiede für die drei klinischen Untersuchungstechniken über den Interventionszeitraum festgelegt werden. Somit wird die Nullhypothese für die Unterschiedsbestimmung der Schmerzamplitude einer Interventionsmaßnahme beibehalten. Die Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben bestätigt signifikante Unterschiede der Messwerte der Schmerzamplitude über den Interventionszeitraum für die Stichprobe der Biokinematik-Gruppe, sowie der Gruppe der Kraft und Beweglichkeit und teilweise der Kontrollgruppe. Die Wirksamkeit der Methoden auf die Schmerzamplitude wird dadurch bestätigt. Dabei gilt wieder zu erwähnen, dass eine größere Stichprobenanzahl notwendig ist, um die Effektstärke der einzelnen Maßnahmen zu verifizieren.

Letztlich wurde durch die Anwendung der numerischen Analogskala in den einzelnen Messungen ein Wertebereich zwischen 0-10, zur Bestimmung der subjektiven Schmerzwahrnehmung von den Probanden angegeben. Mit der Unterschiedsbestimmung auf die subjektive Schmerzwahrnehmung über den Interventionszeitraum galt es die dritte Forschungshypothese zu prüfen. Die Anwendung des Kruskal-Wallis-Tests hat ergeben, dass keine signifikanten Unterschiede bei der Auswertung der Schmerzintensität zwischen den Gruppen über den Interventionszeitraum vorgelegen haben. Die Nullhypothese wird für die subjektive Schmerzwahrnehmung beibehalten. Die Varianzanalyse nach Friedman für gepaarte Stichproben zeigt signifikante Unterschiede in den Messwerten der subjektiven Schmerzwahrnehmung über den achtwöchigen Interventionszeitraum für die Kraft- und Beweglichkeits-Gruppe und der Biokinematik-Gruppe für alle drei klinischen Untersuchungstechniken. Die Kontrollgruppe zeigt keine signifikanten Unterschiede in der Schmerzwahrnehmung der Innenrotation, aber in der Abduktion und Anteversion. Die Wirksamkeit der Interventionsmethoden auf die subjektive Schmerzwahrnehmung wird dadurch bestätigt.

Als gesamtheitliches Fazit kann festgehalten werden, dass die Biokinematik als wirksame Interventionsmaßnahme für Patienten mit einem chronischen subacromialen Schulter-Impingement-Syndrom anzunehmen ist. Für die Bewegungsamplitude der Abduktion und teilweise der Innenrotation unterscheidet sich die Interventionsmaßnahme signifikant von dem bisherigen Einsatz von Kraft- und Dehnungsreizen oder allgemeinen Bewegungsreizen der oberen Extremitäten signifikant im Rahmen des eigenen Studiendesigns. Eine weitere Untersuchung der Wirkung der Biokinematik auf andere chronische Krankheitsbilder des Bewegungsapparates oder einer weiteren Untersuchung für Patienten mit einem SIS wird, bei einer größeren Stichprobenanzahl zur Anwendung parametrischer Tests, wird durchaus empfohlen. Auch die Prüfung der klinischen Relevanz bei dem Vorliegen weiterer spezifischer Messparameter sollte künftig angedacht sein. Hervorzuheben sind in dieser Studie zudem die Ergebnisse der Kontrollgruppe. Die Durchführung von allgemeinen, unspezifischen Bewegungsreizen

in einem persönlichen Interventionsrahmen von acht Wochen, dabei zweimal wöchentliche Interventionen, hatte eine signifikante Wirksamkeit in einigen Bereichen der Bewegungs- und Schmerzamplitude, sowie der subjektiven Schmerzwahrnehmung in den Bewegungen. Der Einfluss Biopsychosozialer-Faktoren in dem Heilungsverlauf bei chronischen Schmerzpatienten mit einem SIS wird im weiteren Verlauf der Diskussion ausformuliert.

6.2 Kritische Betrachtung der eigenen Untersuchung

Die kritische Betrachtungsweise der eigenen Arbeit steht vorrangig in diesem Kapitel an. Darin inkludiert sind die gesamte methodische Herangehensweise und die kritische Betrachtung der Ergebnisse. Weiterführend wird über die theoretischen Inhalte, die als Grundlage dieser empirischen Arbeit dienten, auf kritische Phrasen eingegangen.

Methodik der eigenen Arbeit:

Der inhaltliche Aufbau der Belastungskomponenten beruht auf Vergleichsstudien anderer wissenschaftlicher Autoren, die sich mit der Wirkung konservativer Methoden auf Patienten mit einem SIS fokussiert hatten. Die Entscheidung über den Trainingsumfang von zwei Einheiten supervisierter Interventionen, bei einer Dauer von je 30-45 Minuten, über den achtwöchigen Interventionszeitraum beruhen auf einem Mittelweg der vorliegenden Studiendaten. So wurden neben Interventionsdauer von sechs Wochen auch Interventionsabläufe von sechs bis zwölf Monaten in der Literaturrecherche gefunden. Die eigene Entscheidung den Rahmen von acht Wochen einzuhalten, beruht auf der Annahme, dass effizient und kostengünstig eine konservative Intervention betrachtet werden sollte, die in kurzer Zeit effektive Ergebnisse auf das Schmerzempfinden und einer Veränderung der Bewegungsamplitude herbeiführen sollte. Als Grundlage für diesen Gedankengang bildete die exemplarische Kostenbetrachtung von 4.139,00€ nach der Studie von Virta (VIRTA et al., 2012) für die Diagnose und operative, sowie physiotherapeutische Behandlung von Patienten mit einem SIS (vgl. Tab. 4). Die Daten stammen aus Schweden und können nicht direkt auf das deutsche Gesundheitssystem übertragen werden. Die Datenannahme von einem Interventionszeitraum von 8-12 Wochen beruhten auf der Annahme der konservativen Nachbehandlung im Anschluss der subacromialen Dekompression (CHRISTIANSEN et al., 2016). Die Gestaltung effizienter Interventionsmaßnahmen wird in diesem Zusammenhang als positiv betrachtet, wenn in kürzester Zeit signifikante Veränderungen für das Krankheitsbild des SIS herbeigeführt werden können. In dieser Studie fehlt jedoch auch klar ersichtlich die langfristige Betrachtungsweise des Erfolges der konservativen Behandlungsmethoden. So wurden die Probanden aus ethischer Sichtweise im Anschluss der Studie mit einer gesamtheitlichen Beratung weiterführender Maßnahmen angeleitet und betreut. Eine weitere Befragung oder Vermessung folgte hingegen nicht, sodass nicht gesagt werden kann, dass die konservativen Behandlungseffekte langfristig anhalten. Weiterhin wurden die Probanden unter Supervision zweimal wöchentlich vom Diagnostiker oder

Therapeuten der Packi-Klinik in ihren Übungen betreut. Aus persönlichem Empfinden wurde die Supervision als sinnvoll erachtet, da im Verlauf der Interventionsmaßnahmen fehlerbehaftete Ausführungen einiger Übungen auch bis zum Abschluss der Interventionen erkannt werden konnten. Dabei war das Alter der Probanden nicht zu berücksichtigen. Dieses persönliche Empfinden kann statistisch nicht nachgewiesen werden, sodass die Ausführung der Interventionsmaßnahmen in Eigenregie exakt gleiche Ergebnisse hervorbringen könnte. So waren die zwei supervisierten Einheiten in der Woche dem Hintergrund geschuldet, dass der zeitliche Verfügungsrahmen des Diagnostikers und der Therapeuten begrenzt gewesen war. Der Erfolg der Implementierung der Durchführung weiterer Trainingsumfänge im Interventionszeitraum unter Supervision oder Eigenregie wurde nicht geprüft. Eine Reduktion der Interventionsdauer durch die Erhöhung des Trainingsumfanges lässt sich auf den Effekt der Interventionsmaßnahmen nur hypothetisch errahnen.

Bei der Auswahl der Interventionsübungen werden die einzelnen Gruppen näher betrachtet. Bei der Kraft- und Beweglichkeitsübungen-Gruppe wurden Dehnübungen der beteiligten Schultermuskeln in statischer Form ausgewählt. Die statische Dehnung wurde ausgewählt, wobei am Beispiel der Fuß-Dorsalflexion keine signifikanten Unterschiede zwischen den Dehnungsformen festgestellt worden sind (KONRAD et al., 2017). Eine Anpassung der Dehnungsübungen ist also durchaus denkbar und war einzig der Annahme geschuldet, dass bei statischen Dehnungsvorgängen eine Hysterese stärker ausgeprägt sei (MENSE, 2021). Langfristige Dehneffekte auf die Veränderung der Bewegungsamplitude konnten nach jetzigem Kenntnisstand bislang nicht nachgewiesen werden. Die Auswahl der Dehnübungen orientierte sich an den Ergebnissen der Vergleichsstudien und bezogen sich auf die Muskeln der Rotatorenmanschette, des Schultergürtels und der Muskeln vom Schultergelenk zum Unterarm. Die Übungen wurden nach keinem Leitbild übernommen und folgten in der Aufstellung nach Eigenregie. Das Ziel bei der Übungsauswahl war die Einbindung von Muskelketten, die bei den Bewegungen der klinischen Untersuchungstechniken gefordert waren. Das alternative Dehnungsübungen und Formen Einfluss auf den Therapieerfolg der Intervention haben, ist durchaus denkbar. Die Dehnungsdauer von 30 Sekunden pro Übung wurde aus der Vergleichsstudie nach McLure et al. für den Effekt von Dehnungsübungen auf Patienten mit einem SIS übernommen (MCCLURE et al., 2004). Eine Veränderung der Dehnungsdauer pro Übung sollte zukünftig ebenfalls beachtet werden. Zumal Packi beispielweise in seinen Ausführungen der Biokinematik von einer allgemeinen Haltedauer eines Muskellängentrainings von 90 Sekunden als Orientierung einbringt (PACKI, 2016). Die Intensität der Dehnung orientiert sich an der numerischen Analogskala und dem subjektiven Empfinden des Probanden. So kann die Muskelaktivität in den Dehnungsübungen einzig über ein Dehnungsempfinden des Probanden gesteuert werden. Probanden mit wenig bis keiner Erfahrung in der Wahrnehmung von Dehnungsreizen könnten einen Dehnungsreiz bereits bei niedriger Intensität als hoch wahrnehmen, obwohl die Schwelle für einen Effekt auf die Muskulatur nicht ausreichend gewesen ist. Möglicherweise ergibt sich eine zukünftige objektivere Methodik zur Bestimmung des Dehnungsrei-

zes bei der Messung von Muskelfaseraktivitäten auf zellulärer Ebene. Als Einflussfaktoren zur Entwicklung von Muskelkraft wurden verschiedene Faktoren nach Behrends et al. zusammengefasst (BEHRENDTS et al., 2021). In dieser Diskussion wird nicht auf jeden Punkt von Behrends et al. Beschreibungen eingegangen. Zusammengefasst kann allerdings festgehalten werden, dass zum Interventionsstart keine Informationen zum Zustand der Muskulatur erfasst worden waren. Weiterhin wurde im Anamnesegespräch kein Protokoll über den psychischen Zustand des Probanden oder metabolische Einflussfaktoren geführt. Die Einschlusskriterien der Studie bezogen sich einzig auf das Vorhandensein eines medizinisch gesicherten SIS. Mit Zuhilfenahme eines Fragebogens zu weiteren Einflussfaktoren könnten mehrere notwendige Informationen von den Probanden übernommen werden, um weitere Kategorisierungen in der weiteren Interventionsplanung vorzunehmen. Die Studie von Park untersuchte den Einfluss biopsychosozialer Faktoren als Einflussfaktor bei Patienten mit einem SIS (PARK et al., 2020). Es wurde in dieser Studie mehrfach auf die Arbeit von Park diesbezüglich hingewiesen. Bis auf die Erläuterung der Schmerzentstehung und der Einbindung des Bewusstseins in den Schmerzprozess, wurden in der Praxis keine Maßnahmen getroffen, die die biopsychosozialen Faktoren in den Interventionsprozess eingebunden haben. Ein Anamnesegespräch und die Supervision im Interventionsablauf gelten als unzureichend zur Bewertung des biopsychosozialen Einflusses auf den Verlauf des Krankheitsbildes des SIS. Die Einbindung von Fragebögen oder alternativen Methoden zum Informationsgewinn sollten für weitere Untersuchungen angedacht werden. In der weiteren Ausführung zur Auswahl der Muskelkräftigungsübungen ist anzumerken, dass Übungen ausgewählt worden sind, die jene beteiligten Muskeln des Schultergelenkes einbinden (vgl. Tab. 2). Die Studienergebnisse nach Clausen et al. wurden herangezogen, um festzustellen, dass die Implementierung weiterer Kraftübungen oder weiterer Krafttrainingsreize zu einer nicht-signifikanten Schmerzreduktion bei SIS-Patienten führen (CLAUSEN et al., 2021). Bezugnehmend auf den in Kapitel 3.2.3 erläuterten Prozess der Schmerzwahrnehmung, führt ein reines Kräftigungstraining ebenso nicht zu einer Erhöhung der Schmerzschwelle, die als Folge der peripheren Sensibilisierung herabgesetzt worden ist. Aus den Vergleichsstudien ging hervor, dass Patienten bei einem Zeitraum zwischen 6-12 Wochen einen Zuwachs der Kraftleistung zu verzeichnen haben. Der Einbezug von Kräftigungsübungen in der Schmerztherapie kann also darauf zurückgeführt werden, dass Muskelgruppen, die über einen längeren Zeitraum nicht aktiviert worden sind und infolgedessen einer De-Adaptation ausgesetzt waren einen Kraftverlust zu verzeichnen haben. Die adaptiven Prozesse eines Muskelhypertrophie- oder Kräftigungsreizes unterstützen den Muskel in der Wiederherstellung der ursprünglichen Kraftleistung. Im Rahmen der konservativen Maßnahmen für Patienten mit einem SIS oder SAPS wurden Übungen zur Schulterblatt-Stabilisation und Schulterblatt-Rehabilitation in Form von Krafttrainingsreizen empfohlen (BAŞKURT et al., 2011; RAVICHANDRAN et al., 2020; STRUYF et al., 2013). Aus den Vergleichsstudien konnten keine expliziten Übungen zur Muskelkräftigung abgeleitet werden, sodass die Auswahl auf den Kenntnissen des Studienleiters aus dem Grundstudium der Module der Trai-

ningswissenschaften zurückzuführen ist. Die Auswahl berücksichtigte die verschiedenen Funktionen der beteiligten Muskeln des Schultergelenkes. Eine Anpassung der Muskelkräftigungsübungen ist denkbar, da aus Vergleichsstudien auch Erfolge zur Schmerzreduktion für Patienten mit einem SIS auch Trainingsmethoden mit Eigengewicht oder an Trainingsmaschinen berücksichtigt worden sind. Der logistischen Machbarkeit wurde sich in den Interventionsmaßnahmen für die Verwendung eines Widerstandsbandes entschieden. Der eingestellte Widerstand wurde subjektiv vom Probanden in der Intervention bestimmt und konnte objektiv nicht nachgemessen werden. Die Subjektivität dieser Ausführungsform ist, wie auch bei den Dehnübungen, hinsichtlich der Protokollierung einer Kraftentwicklung unzureichend. Das Thema dieser Arbeit bezog sich aber explizit auf die Wiederherstellung der Funktionsweise der Muskulatur. Dies bedeutet nicht, dass eine zusätzliche Messung der Kraft der Schultermuskeln über den Interventionszeitraum unsinnig erscheint. Andere Vergleichsstudien haben die Kraftentwicklung für Patienten mit einem SIS protokolliert. Für diese Studie wurde schlicht auf die Messung der Kraftleistung z.B. mit dem Jobe-Test freiwillig verzichtet.

Einen interessanten Teilbereich der Diskussion stellt die Biokinetik dar. Die Biokinetik wurde als explorativer Therapieansatz für die Behandlung von Schmerzpatienten vorgestellt. Die Aussagen der Biokinetik bezogen sich auf den kumulierten Informationen nach Walter Packi vor seinem Ableben. Aus diesem Grund kann einzig auf die Informationen Stellungen genommen werden, die schriftlich vor diesem Zeitpunkt von Packi erfasst worden sind. Bevor auf den Aufbau der Intervention der Biokinetik Stellung bezogen wird, wird auf kritische Merkmale in der Herleitung der Biokinetik eingegangen. Die gesamte theoretische Herleitung zur Anwendung der Biokinetik auf die Schmerztherapie leitet Packi durch logische Zusammenhänge zwischen natürlichen physikalischen Gegebenheiten und dem Kenntnisstand der biologischen Evolution des Menschen bis zu dem Anfang der 2000er her. Die Herstellung der Bewegungsgeometrie einer gestörten Bewegungsbahn sei der Schlüssel zur Wiederherstellung einer schmerzfreien Bewegung. Reizsetzungen, die einzig das Ziel haben die Kraft in der Bewegung zu erhöhen oder die Bewegungsamplitude zu erweitern, seien nicht zielführend im Rahmen einer Schmerztherapie. Ein Ausblick auf die Ergebnisse verrät, dass im Rahmen dieser Studie auch Kraft- und Dehnungsreize auf die Muskulatur zu signifikanten Veränderungen in der Muskulatur geführt haben. Dies bedeutet aber nicht, dass Packis Aussage hinfällig wird. Denn durch die Manipulation an der Muskulatur durch Bewegungsreize, folgt durch Aktivität der einzelnen Muskelfasern auch eine Manipulation an der Bewegungsgeometrie. Der Unterschied liegt darin begründet, dass Interventionen, die den Fokus auf eine Muskelhypertrophie setzen eine Reizschwelle überschreiten müssen (DONATH, FAUDE, 2019). Wie bereits in der Diskussion der Kraftreize erläutert, können diese Veränderungen der Schmerzwahrnehmung auf eine Aktivierung von Muskeln einer vorangegangenen De-Adaptation zurückzuführen sein. Die Reizsetzung durch Bewegungsreize führt zu einer potenziell zufälligen Reizsetzung auf die Bewegungsgeometrie, ohne aber spezifisch zu sein. Aus den Herleitungen der Biokinetik kann auch eine Kritik auf derzeitige Schmerztherapien abge-

leitet werden. Die nicht vorhandene Spezifität in der Behandlung chronischer Schmerzen durch allgemeine Interventionsmaßnahmen, wie z.B. vorübergehende Medikationstherapie, seien nicht zielgerichtet. Die Schmerzen werden in der Wahrnehmung unterdrückt, aber nicht behandelt. Die Gefahr einer potenziellen Medikamentenabhängigkeit besteht, wenn Schmerzen wiederkehren sobald die Schmerzmedikation nicht fortgeführt wird. In der weiteren kritischen Auseinandersetzung der Biokinematik ist die Beschreibung Packis von hypothetisch Messorganellen in einer Einzelfaser im endomysialen System. Dort wird beschrieben, dass eine palpable Faser zu ertasten sei, die durch eine Reaktion der Organellen auf ca. 2mm anschwillt. Durch eine Reizsetzung verschwindet die palpable Faser. Diese Faser sei als Schutzmechanismus der Muskulatur vor einer potenziellen Zerreißung zu verstehen, die beispielhaft durch Dehnüberlastungen aktiviert wird. Die resultierende Veränderung der allgemeinen Mechanik resultiert in einer schmerzhaften Bewegung. Die Lage der Messorganellen ist nach Packi hypothetisch und müssten in weiteren Untersuchungen lokalisiert werden. Die daraus resultierenden adäquaten und inadäquate Methoden zur Auflösung der Faserspannung müssen in ihrer Zielsetzung also dahingehend geprüft werden, ob eine Veränderung dieser hypothetischen Verquellung wissenschaftlich fundiert nachgewiesen werden kann. Die Auswirkungen der Biokinematik auf die Veränderung der Bewegungsamplitude und der Schmerzreduktion ist jedoch in den Ergebnissen auf das Schmerzbild des Patienten mit SIS nachgewiesen worden. Auch wenn die Herleitung der Biokinematik auf einen logischen Zusammenhang aufbaut, der noch nicht vollständig wissenschaftlich fundiert nachgewiesen werden konnte, so ist die Wirksamkeit dieser Methodik im Rahmen dieses Studiendesigns nicht abzustreiten. Der eigenen Ansicht nach liegt die wichtigste Aussage Packis darin, dass der Patienten in seiner passiven Haltung als Schmerzpatient herauskommt und ein Verständnis für den eigenen Bewegungsapparat entwickelt. Das Verlassen des Patienten auf eine Selbstheilung eines schmerzhaften Bewegungsapparates, ohne selbst aktiv zu werden, ist ein Wunschgedanke. Die Auswirkungen von Bewegungsmangel auf die daraus resultierenden Folgen seien aber im Rahmen dieser Arbeit hintenangestellt.

Die weitere Diskussion dieser Arbeit bezieht sich auf die festgelegten Endpunkte, der Auswahl der Messmethodik sowie der Auswahl der Probanden und das praktische Vorgehen mit diesen Probanden. Die Symptomatik des SIS beschreibt einen eingeschränkten Bewegungsradius und schmerzhafte Bewegung in den Bewegungsachsen des Schultergelenkes. Die Bemessung der Bewegungsamplitude durch ein Goniometer hat sich in diesem Zusammenhang in einigen Studien der vergangenen Jahre bei der Untersuchung wirksamer Therapieverfahren etabliert und wurde im Rahmen der eigenen Studie übernommen. Die ersten Messungen mit einem digitalen Goniometer sind im Jahre 2014 durchgeführt worden (DEHGHAN et al., 2014). Das digitale Goniometer der Sportmed AG hat eine Abweichung der Winkelgrade bei +/- 1 Grad (EWERT, VAN LOOCK, 2014). Die Genauigkeit dieses Messverfahrens ist für die Reliabilität der Messergebnisse hervorzuheben. Als innovative Messung dieser Studie gilt die Bemessung von Schmerzwinkeln in einer Studie für ein krankhaftes Bewegungsbild der Schul-

ter. Die klinischen Untersuchungstechniken geben Ein- und Austrittswinkel für das Einsetzen eines subjektiv wahrgenommenen Schmerzreiz an, die als Indikator für eine Bestätigung der Diagnostik eines SIS dienen. Nach eigener Literaturrecherche konnten keine vergleichbaren Forschungsarbeiten gefunden werden, die eine Verschiebung oder Reduktion dieses Schmerzwinkels erfasst haben. In diesem Zusammenhang könnte behauptet werden, dass die Verschiebung des Schmerzwinkels für den Therapieerfolg nicht wichtig erscheint, wenn die Schmerzwahrnehmung reduziert worden ist und die Bewegungsamplitude erweitert werden konnte, sodass der Schmerzwinkel überflüssig erscheint. Am Beispiel des Painful-Arc-Tests kann bestätigt werden, dass bei der Abduktion eine natürliche Bewegungsblockade des Schultergelenkes vorliegt. Das Tuberculum majus passt bei Abduktion über 120° nicht in den unter dem Lig. coracoacromialen Subacromialraum. Bei einer Außenrotation des Humerus wird das Tuberculum minus nach lateral verschoben und führt zu einer weiteren Bewegungsamplitude über die 120° hinaus (WURZINGER, 2017). Die nicht-spezifische Unterscheidung des SIS vom subacromialen Schmerz-Syndrom, welches in der Definition bei einer Abduktion die Schmerzwahrnehmung verstärkt, machen die Messung der Schmerzwinkel bedeutsam. So unterstützt der Schmerzwinkel die Beurteilung die rein subjektive Wahrnehmung der Schmerzen des Probanden mit einer metrischen Messung, die zwar weiterhin auf der subjektiven Wahrnehmung des Probanden beruht, aber im Gegensatz zur subjektiven Bestimmung der Schmerzintensität, objektivere Winkeldifferenzen darstellen kann. Eine Verkleinerung des Ein- und Austrittswinkels der Schmerzen kann genutzt werden, um die Wirksamkeit von Interventionen zu bestätigen. Die reine Erweiterung der Bewegungsamplitude, am Beispiel des Painful-Arc-Test, über 120° hinaus, führt nicht zu einer Symptomatik Reduktion des SIS und kann deshalb nicht allein als erfolgreicher Therapie-Indikator herangeführt werden. Der Schmerzwinkel kann als Ergänzung zur Beurteilung der Wirksamkeit von Interventionen akuter oder chronischer Bewegungserkrankungen angesehen werden, welche atraumatisch ausgelöst worden sind. Um weiterführend den Punkt der nicht definierten Unterscheidung zwischen dem subacromialen Schmerz-Syndrom und dem SIS einzugehen, sind weitere Aspekte zu berücksichtigen. Bei der Auswahl der Probanden wurde nicht vorausgesetzt, dass bildgebende Verfahren für den Einschluss in die Studie notwendig gewesen sind. Die Kritikpunkte zu den bildgebenden Verfahren für die Diagnostik des SIS oder Unterscheidung vom SAPS sind unter dem Kapitel 3.2.2.6 zusammengefasst und werden hier nicht weiter ausgeführt. Als Konsequenz dieser Entscheidung, aber auch der Definition der beiden Diagnosen, kann nicht ausgeschlossen werden, dass neben Probanden mit einem SIS auch ein Großteil der Probanden mit einem SAPS, ohne pathologischen Befund einer Verengung des subacromialen Raumes in die Studie inkludiert worden sind. Da aber bei beiden Diagnosen eine schmerzhafte Bewegung der Schulter vorliegt, ohne in der Definition des SAPS eine klare Formulierung der Ursachen geben zu können, wurde dieser Umstand in der Studie vernachlässigt.

Als womöglich größter Kritikpunkt dieser Studie kann die Kontrolle der Gruppen und die standortbedingte Teil-Randomisierung angesehen werden. Die wohnortbedingte Limitation des Studienleiters im

Landkreis Emsland und der Standort der Packi Klinik mit einem Distanzunterschied von >500 Km ließen eine Durchführung der Studie an einem Standort nicht zu. Aus Kostengründen konnte weder den Probanden noch Therapeuten zugemutet werden über einen achtwöchigen Zeitraum den eigenen Standort für diese Studienarbeit zu verlassen. Die wenigen Lösungen dieser Problematik bestanden zum einen in einer Reduktion der Interventionszeit, mit mehreren Einheiten in der Woche. Nach der Absprache mit den Probanden konnte dieser Lösungsvorschlag aufgrund von familiären Situationen und arbeitstechnischen Bedingungen nicht umgesetzt werden. Eine digitale Online-Lösung für die Interventionsdurchführung über einen standortunabhängigen Live-Kanal wurde nicht durchgeführt, um eine bessere Kontrolle der Bewegungsdurchführung durch persönlichen Kontakt mit den Probanden gewährleisten zu können. Zum anderen war die Nutzung des Messverfahrens mit dem digitalen Goniometer mit einer Leihgabe von einem im Landkreis ansässigen Sportclub vereinbart, sodass die Messungen jeweils in Absprache mit dem Betreiber durchzuführen gewesen sind. Die anfallenden Kosten als limitierender Faktor für eine Erweiterung der Stichprobenanzahl, als auch der Zentralisierung der Studie an einem Ort war ausschlaggebend für die Entscheidung der Interventionsplanung. Die daraus resultierende Teil-Randomisierung bedeutet, dass die Zuordnung der Probanden zu den drei Interventionsgruppen nicht vollständig zufällig generiert werden konnte, sondern auch standortbedingt gewesen ist. Durch Zufall konnten in der Relation ähnliche demographische Wertezuordnungen in den Gruppen erfolgen (vgl. Tab. 11). Dennoch ist klar zu sagen, dass die Randomisierung der Biokinetik in den Zuordnungsprozess nicht rein zufällig abgelaufen ist, sodass die Beurteilung dieser Studie als RCT kritisch zu betrachten ist. Als weitere Störquelle für die Beurteilung der Ergebnisse ist das Vertrauen der Aussagen der Probanden außerhalb der Interventionseinheiten zu nennen. Die Interventionsdurchführung erfolgte in keinem stationären Aufenthalt der Probanden. Als Drop-Out oder Ausschlusskriterium wurde vorab klar definiert, dass die Aufnahme weiterer Maßnahmen, die eine Wirkung auf das Symptombild des SIS haben könnten, vorher mit dem Studienleiter abzusprechen sind. Das Probanden aus dem Wunsch einer schnellen Maßnahme zur Leidensminderung falsche Aussagen treffen, ist nicht auszuschließen. Ebenso die Einnahme von Schmerzmedikation über der Stufe 1 des WHO-Stufenplans oder der parallelen Durchführung jeglicher Einflussgrößen auf den Interventionsablauf. Die Messergebnisse der Probanden beruhen dementsprechend auf einer reinen Vertrauensbasis zwischen Studienleiter und den Probanden. Im Zuge der Vertrauensbasis ist auch die Interventionsdurchführung der Biokinetik mit den Probanden zu nennen. Während der Studienleiter selbst die gesamte Intervention der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe und der Kontrollgruppe übernommen hat, war die Interventionsdurchführung der Biokinetik-Gruppe abhängig von externen Medizinern und Therapeuten. In Einzelgesprächen während der Messungen und per telefonischen Absprachen mit den Probanden, während des Interventionszeitraumes, wurde mit gezielten Fragen eine Abweichung des Interventionskonzeptes nachgefragt. Die Aussagen der Therapeuten und Probanden glichen sich in diesen Absprachen sehr genau, sodass davon ausgegangen werden kann, dass keine erheblichen Ab-

weichungen vom Interventionskonzept erfolgt sind. Aber auch diese Aussage beruht auf der reinen Vertrauensbasis und es ist nicht auszuschließen, dass weitere Einflussgrößen mitgewirkt haben.

Abschließend wird zur kritischen Diskussion der Methodik auf die Auswahl der statistischen Tests eingegangen, bevor es zur Analyse der Ergebnisdaten kommt. Für eine Beurteilung der Effektstärken und genaueren Definition der Richtungen der Ergebnisse war ihm Rahmen dieser Studie die Durchführung einer ANOVA mit Messwiederholungen geplant. Als Voraussetzung für die ANOVA gilt die Normalverteilung. Die Normalverteilung kann durch eine Veränderung der Stichprobenanzahl beeinflusst werden. Aus der Vergleichsstudie mit Moezy et al. wurde die *effect size* umgeleitet und für die Berechnung der eigenen Stichprobengröße übernommen (MOEZY et al., 2014). Während bei Moezy et al. die statistische Auswertung über eine ANOVA erfolgte, waren die Messwerte der eigenen Studie schief verteilt, sodass die Durchführung eines parametrischen Verfahrens nicht möglich gewesen ist. Die Limitation der Durchführung weiterer Interventionen oder damit verbundenen Veränderung der Stichprobengröße, führte zu der Entscheidung der Anwendung nicht-parametrischer Tests. Die Anwendung der nicht-parametrischen Tests führt zu robusteren Aussagen der Ergebnisse, wobei die Aussagekraft der statistischen Auswertung darunter leidet.

Kritische Betrachtung der eigenen Ergebnisse:

Die kritische Betrachtung der eigenen Untersuchungsergebnisse erfolgt in chronologischer Reihenfolge der Darstellung der Daten aus Kapitel 5. Die Beurteilung der Ergebnisse erfolgt unter der Prämisse, dass im methodischen Vorgehen bereits kritische Punkte in der Vorbereitung näher erläutert worden sind. Die allgemeine Unterscheidung aktiver und passiver Bewegungsdurchführungen und der Inkludierung von Messwerten von unilateralen, beschwerdefreien Schulterseiten ist in der Diskussion hervorzuheben. So kann aus den Ergebnissen der passiven Bewegungsdurchführung für den Probanden kein alltäglicher Mehrwert gewonnen werden, wenn die Bewegung lediglich assistiert, durchgeführt werden konnte. Die Inkludierung der passiven Bewegungen in die Ergebnisse hatte den Hintergrund zu prüfen, ob der Proband ohne die gezielte Ansteuerung von Muskelfasern ebenfalls Schmerzen im selben Ausmaß wahrnimmt über den Interventionszeitraum. Damit könnten potenzielle Aussagen über den Einfluss von psychischen Faktoren vom Schmerzbewusstsein auf die motorische Aktivierung von Muskelfasern getroffen werden. Aus den Ergebnissen der Korrelation nach Spearman-Rho konnten keine erheblichen Unterschiede in den Zusammenhängen der aktiven oder passiven Bewegungsamplitude mit der Schmerzwahrnehmung festgestellt werden. Es bedarf weitere Untersuchungen, um eine klare Aussage für den Einfluss der Aktivierung von Muskelfasern in den Schmerzprozess treffen zu können. Die Inkludierung der unilateralen, beschwerdefreien Seite in die Auswertung der Daten hatte einen großen Einfluss auf die Streuung der Messwerte und könnte als Hauptgrund für die schiefe Verteilung der Daten angesehen werden. Der Einbezug der beschwerdefreien Seite und der Vermischung der Daten mit den Probanden der schmerzhaften Seite mit dem SIS, lässt sich damit begrün-

den, dass ein gesamtheitliches Bild über den Bewegungszustand des Probanden gewonnen werden sollte. Wären die Daten der beschwerdefreien Seite weggelassen worden, so hätten sich in der Spezifizierung der linken und rechten Seite jeweils kleinere Stichproben ergeben, die in ihrer Aussagekraft kritisch zu hinterfragen wären. Wäre die Unterscheidung zwischen der linken und rechten Seite als gesamtheitliches Bild erfasst worden, so hätte die Spezifität der Aussagen zum Interventionsablauf gelitten. Damit ist gemeint, dass die Beurteilung des gesamtheitlichen Bewegungszustands des Probanden, welcher als chronisch eingestuft worden ist und über einen längeren Zeitraum Bewegungen einseitig kompensiert, zu einseitig auf die schmerzhafte Seite bezogen worden wäre. Es gibt genügend Gründe, die dieses Vorgehen kritisieren könnten und das Weglassen der Unterscheidung wäre ebenso möglich gewesen. Im Rahmen dieser Studie wurde jedoch entschieden, dass die Beurteilung auf die jeweiligen Seiten erfolgen muss, um auch eine Aussage über den Effekt der Interventionen auf die vermeintlich gesunde Seite treffen zu können. Eine Erweiterung der Stichprobengröße würde das Problem minimieren, dass auch beschwerdefreie Seiten in den Ergebnisteil die Messwerte groß streuen lassen. Aus den Demographischen Werten der drei Interventionsgruppe ergeben sich, trotz Teil-Randomisierung, ähnliche Messwerte zu den Verteilungen der Merkmale zum Alter und der Geschlechterverteilung. Die Kontrollgruppe hat im Durchschnitt eine Intervention mehr als die beiden anderen Gruppen wahrgenommen. Als deskriptive Methode wurde der Boxplot ausgewählt. Mit dem Boxplot können mindestens ordinalskalierte Merkmale dargestellt werden, sodass sowohl die Messwerte der Schmerzwahrnehmung als auch die metrischen Messwerte der Bewegungsamplitude und der Schmerzamplitude in einem einheitlichen Bild dargestellt werden konnten. Bezüglich der Messwerte der Bewegungsamplitude lässt sich festhalten, dass alle Gruppen in der Veränderung der Abduktion und Innenrotation unerwartet gleichmäßig abgeschnitten haben. Gerade die Kontrollgruppe zeigt unerwartete Messerfolge in der Veränderung der Ergebnisse. Die signifikanten Unterschiede lassen sich einerseits mit einem Placebo-Effekt argumentieren. Andererseits könnte der Einfluss der durchgeführten Übungen große Auswirkungen gehabt haben, sodass die Kontrollgruppe trotz unspezifischer Behandlungen, richtungsweisende Behandlungserfolge erzielen konnte. Es kann darüber diskutiert werden, ob die Übungen allgemeiner und nicht zu schulterspezifisch hätten gestaltet werden können, um keinen gezielten Behandlungseffekt zu erreichen. Positiv anzumerken ist der signifikante Unterschied der Biokinetik-Gruppe in der Bewegungsamplitude der aktiven Anteversion über den Interventionszeitraum, welche nach der Varianzanalyse nach Friedman bei der Kraft- und Beweglichkeitsgruppe und der Kontrollgruppe nicht signifikant unterschiedlich gewesen ist.

Bei der Dokumentation der Messdaten für die Schmerzamplitude in SPSS wurden nur Werte erfasst, wenn in der Baseline-Untersuchung oder der Zwischenmessung nach vier Wochen Intervention eine schmerzhafte Bewegung seitens des Probanden signalisiert worden ist. Dies hat Auswirkung auf den Einschluss der Messdaten zur Beurteilung der Wirksamkeit der Interventionsmaßnahmen auf die Schmerzamplitude. Da wieder eine Unterscheidung zwischen den beiden Körperseiten erfolgte, wur-

den jene gesunde Körperseiten eines Probanden nicht in der Auswertung der Schmerzamplitude aufgefasst. Bei der Schmerzamplitude der Innenrotation sind damit in der Kontrollgruppe lediglich zwei bis fünf Messdaten in der Auswertung berücksichtigt worden. Die Aussagekraft der Wirksamkeit der Intervention der Kontrollgruppe für die Schmerzamplitude der Innenrotation ist damit kritisch zu hinterfragen. Auch die Erfassung der Messdaten der Schmerzamplitude muss näher beleuchtet werden. Um einen statistischen Vergleich herstellen zu können, mussten vergleichbare Messdaten herangezogen werden. Die Erfassung des Winkels, wenn der Schmerz einsetzt oder abklingt, lässt lediglich eine Aussage zur Lage des Schmerzes zu, der bei jedem Probanden ungleichmäßig verteilt gewesen ist. Eine Lageverschiebung, ohne einen gemittelten Referenzwert in den Baseline Messungen zur Beurteilung der Effektivität der Maßnahmen zu erfassen, gilt als unsinnig. Für eine Veränderung der Winkelgrade wurde bereits die Bewegungsamplitude als variabel erfasst. Aus diesem Grunde wurde entschieden, dass die Differenz zwischen Eintritts- und Austrittswinkel der subjektiven Schmerzwahrnehmung als Messgrundlage für die Analyse der Wirksamkeit der Interventionen auf den Schmerzwinkel erfolgen muss. Die Differenz lässt eine vom Eintritts- und Austrittswinkel des Schmerzes unabhängige Beurteilung der Wirksamkeit zu. So können sich die Winkelgrade über den Messzeitraum in zweiseitige Richtungen verschieben, ohne dass die statistische Aussagekraft darunter leidet. Die Wirksamkeit einer Intervention kann deskriptiv erkannt werden, wenn sich die Messwerte über den Interventionszeitraum dem 0-Wert annähern, sodass ein Schmerz, welcher anfangs über einen Bewegungsradius erfasst worden ist, dadurch nur punktuell Auftritt oder gänzlich verschwindet und die Bewegung schmerfrei durchführbar wird. Damit die 0-Werte der gesunden Körperseite des Probanden das Messergebnis nicht verzerren, wurden diese Werte in der Statistiksoftware frei gelassen. Darunter leidet, wie bereits erwähnt, jedoch die statistische Aussagekraft, bei einer geringeren Stichprobenanzahl. Die Inkludierung des Schmerzwinkels sollte als ergänzender Messwert zur Bewegungsamplitude für die Wirksamkeitsuntersuchung von Schmerztherapien herangezogen werden, um auch die Aspekte der peripheren und zentralen Sensibilisierung im Interventionsprozess zu erfassen. Die Ergebnisse der statistischen Tests nach Friedman und Kruskal-Wallis für die Schmerzamplitude müssen in Teilen der geringen Stichprobenanzahl der unilateralen Bewegung kritisch hinterfragt werden.

Abschließend zur Ergebnisdiskussion wird die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden näher betrachtet. Der Messwert der subjektiven Schmerzwahrnehmung wird durch eine Vielzahl von Störgrößen beeinflusst. So sind biopsychosoziale Faktoren in jeglicher Form eine Rolle bei der subjektiven Beurteilung der Intensität der Schmerzwahrnehmung. Auch die Einnahme von Schmerzmitteln unterdrücken das Schmerzbewusstsein in seiner Vollständigkeit und haben einen Einfluss auf die Beurteilung der Schmerzintensität. Die subjektive Schmerzwahrnehmung wurde mittels der numerischen Analogskala erfasst. Die NAS gibt einen Wertebereich von 0-10 für die subjektive Schmerzwahrnehmung an und schränkt den Bewertungsspielraum des Probanden in seiner Einschätzung ein. Nach dem theoretischen Konstrukt von Siegfried Mense über die Nozizeption, sind auch die Bewertungen der

Hyperalgesie und der Allodynie zu berücksichtigen (MENSE, 2021). Bei chronischen Schmerzen tritt als Teil der peripheren Sensibilisierung eine verstärkte Schmerzwahrnehmung auf. Weiterhin wird ein Schmerzreiz wahrgenommen, welcher durch eine Bewegung ausgelöst nicht schmerzhaft sein sollte (MENSE, 2021). Die Effekte der Interventionen der subjektiven Schmerzwahrnehmung müssen dementsprechend als Wirksamkeitsnachweis auf die körpereigenen Hemmprozesse für das Schmerzempfinden und der zentralen Sensibilisierung verstanden werden. Durch die Einwirkung der Vielzahl der Störgrößen gilt die Subjektivität der Einschätzung des Probanden zum eigenen Schmerzbewusstsein als kritischer Faktor für die neutrale Beurteilung der Wirksamkeit der Interventionen. Im Rahmen weiterführender Studien sollten psychologische Bauelemente, als Teil der Messdatenerfassung beigelegt werden, um eine detailliertere Einschätzung zum psychischen Gesundheitszustand der Probanden durchführen zu können.

Letztlich muss eine Aussage zur klinischen Relevanz dieser Studie abgewartet werden. Die Ergebnisse der Varianzanalyse nach Friedman zeigen signifikante Unterschiede im Interventionszeitraum im Bereich der Funktionalität und Schmerzerfassung der Probanden durch die Anwendung der Biokinematik. Als explorativer Interventionsansatz bedarf es weiterer Untersuchungen mit Zunahme verschiedener Messverfahren, um eine weitere Beurteilung der Wirksamkeit der Biokinematik zuzulassen. Im Rahmen der eigenen Studie unterscheidet sich die Biokinematik signifikant von den anderen Interventionen in der Veränderung der Bewegungsamplitude, nicht aber in der Schmerzamplitude oder der subjektiven Schmerzwahrnehmung von den anderen Interventionen.

6.3 Vergleich der eigenen Ergebnisse mit denen aus der Literatur

Die Studie untersuchte die Wirksamkeit verschiedener Interventionsmaßnahmen auf das Beschwerdebild des subacromialen Impingement-Syndroms der Schulter bei chronischen Schmerzpatienten. Die Interventionsmaßnahmen waren einerseits konfirmatorischer Natur und setzten sich aus den Erkenntnissen vergangener Interventionsstudien zusammen. Das nachfolgende Kapitel vergleicht die Ergebnisse der eigenen Studie mit den Ergebnissen der Vergleichsstudien zum SIS.

Die meisten Vergleichsstudien führten als primären und sekundären Endpunkt die Bewegungsamplitude (als Range of Motion Variable) und das subjektive Schmerzempfinden (mittels der visuellen Analogskala) auf. Aus den Ergebnissen nach Baskurt et al. ergaben sich signifikante Unterschiede in der Bewegungsamplitude und dem Schmerzempfinden nach einer sechswöchigen Intervention (n = 40 Probanden) von Kraft- und Beweglichkeitsübungen bei drei Interventionen zu dieser Zeit. Die Ergebnisse unterscheiden sich signifikant von der Kontrollgruppe in diesem Studiendesign (BAŞKURT et al., 2011). Auch die Studie von Struyf et al. (n = 46 Probanden) nutzten den Neer-Test und Hawkins-Kennedy Test, mit Zusatz des Jobe-Tests, zur Einordnung der Effekte von Schulterblatt-Stabilisationsübungen auf das Schmerzempfinden in den klinischen Tests. Aus den Ergebnissen einer

zwölfwöchigen Intervention mit einer Interventionsgruppe und einer Kontrollgruppe, ergaben sich signifikante Unterschiede in der visuellen Analogskala bei dem subjektiven Schmerzempfinden der Schulterblatt-Stretching und Kräftigungs-Gruppe. Die Kontrollgruppe wies nicht-signifikante Unterschiede über den Interventionszeitraum auf (STRUYF et al., 2013). Die Vergleichsstudie nach Moezy et al. (n = 68 Probanden) untersuchte zwei Interventionsgruppen mit einem SIS über einen Interventionsumfang von 18 supervisierten Einheiten. Dabei wurde eine Gruppe über physiotherapeutische Maßnahmen betreut, während die andere Gruppe einen Fokus auf die Schulterblatt-Stabilisation gelegt hatte. Als Endpunkte galten die Bewegungsamplituden der Abduktion, Außenrotation und Protraktion, als auch die Länge des M. pectoralis minor und der Positionierung des Schulterblattes. Die Durchführung des T-Tests für gepaarte Stichproben und T-Tests für unabhängige Stichproben ergaben signifikante Unterschiede der Bewegungsamplitude der Abduktion und Außenrotation zwischen den beiden Gruppen. Weiterhin wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der subjektiven Schmerzwahrnehmung zwischen Gruppen festgestellt. Beide Gruppen wiesen signifikante Unterschiede über den Interventionszeitraum bezüglich der Flexibilität der Schulter auf. Weitere signifikante Unterschiede zwischen der Bewegungstherapie und der physiotherapeutischen Maßnahmen konnten nicht festgestellt werden (MOEZY et al., 2014).

Die Ergebnisse der Vergleichsstudien zeigen, dass sich die Ergebnisse zur Bewegungsamplitude und dem subjektiven Schmerzempfinden über verschiedene Interventionszeiträume und methodischen Ansätze nicht weit von den eigenen Ergebnissen unterscheiden. So lassen sich Bewegungsreize, die auf eine Dehnung der Muskulatur und Stabilisierung des Schulterblattes ausgelegt sind, als effektive Maßnahmen für die Veränderung der Bewegungsamplitude und Reduktion des subjektiven Schmerzempfindens bestätigen. Die Biokinetik wird als explorativer Therapieansatz in der eigenen Studie untersucht, sodass noch keine vergleichbaren Studien zum Erfolg der Therapie analysiert werden konnten. Da aber die Biokinetik ebenfalls adäquate und inadäquate Methoden der Bewegungstherapie für die signifikante Veränderung von Schulter Schmerzpatienten einsetzt, ist es wenig verwunderlich, dass auch bei dieser Methodik ein Erfolg zu verzeichnen ist. Die signifikante Unterscheidung der Biokinetik bezüglich der Veränderung der Bewegungsamplitude am Beispiel der Abduktion zeigt jedoch auf, dass die bisherigen Bewegungstherapien noch spezifiziert werden könnten. Die Schmerzamplitude als Endpunkt ist in keiner Vergleichsstudie als Untersuchungsvariabel erfasst worden. Aus diesem Grund liegen auch hier bislang keine vergleichbaren Messwerte vor. Das Potenzial der Variabel der Schmerzamplitude wurde in den vorherigen Kapiteln näher erläutert und sollte auch in zukünftigen Studien weiterhin untersucht werden. Das bei den Vergleichsstudien keine signifikanten Unterschiede in der Kontrollgruppe über den Interventionszeitraum auftauchen, zeigt auf, dass der Interventionsaufbau der Kontrollgruppe aus ethischer Sicht gute Ergebnisse hervorgebracht hat, aber in der Ausführung etwas zu spezifisch für das Krankheitsbild des SIS angepasst worden ist.

6.4 Schlussfolgerungen / Konklusionen

Die Deutsche Vereinigung für Schulter- und Ellenbogenchirurgie e.V. und die Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V. beschreiben in Ihrer s2e-Leitlinie für das subacromiale Schulter-Impingement-Syndrom (Version 1.0 vom 11.10.2021) ein umfangreiche Diagnose- und Therapiekonzept für das Beschwerdebild des subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms. Eine weiterführende Literaturrecherche und die Überprüfung der Handlungsempfehlungen der s2e-Leitlinie haben den Grundstein für diese Studienarbeit gelegt. Das subacromiale-Schulter-Impingement-Syndrom wird mit einer Vielzahl an konservativen Therapiemaßnahmen oder der subacromialen Dekompression in der Gesamtheit der Therapiemaßnahmen erfolgreich therapiert. Der Großteil der Therapien ist darauf ausgelegt den subacromialen Raum zu erweitern in der Annahme, dass die Verengung des subacromialen Raumes als Schmerzursache für die chronischen Bewegungseinschränkungen herangeführt werden kann. Die weiterführende Auseinandersetzung mit den Grundlagen der Schmerzforschung zeigten auf, dass die Erkenntnisse über das Schmerzbewusstsein helfen, ein gezielteres Therapiekonzept für das Beschwerdebild des SIS zu entwerfen. Die Biokinetik nach Walter Packi, als explorativer Therapieansatz, beschreibt die Schmerzursache als eine gestörte Bewegung, die durch den Einsatz eines Muskellängentrainings eine schmerzhafte Bewegung wieder schmerzfrei zu machen. Das Therapieprinzip der Biokinetik wurde mit den in der s2e-Leitlinie vorgestellten konservativen Maßnahmen gegenübergestellt, bestehend aus medizinischer-Trainings-Therapie und Eigenübungen in Bezug auf Dehnung, Krafttraining und Mobilitätsübungen. Die beiden Gruppen wurden zusätzlich einer Kontrollgruppe gegenübergestellt, welche durch allgemeine Bewegungsübungen über den achtwöchigen Interventionszeitraum supervisiert betreut worden ist. Als Endpunkte für die statistische Auswertung des Therapieerfolgs wurden die Bewegungsamplitude, das subjektive Schmerzempfinden und die Veränderung einer Schmerzamplitude, die den Anfangs- und Endpunkt der subjektiven Schmerzwahrnehmung der Probanden erfasste, herangeführt.

Aus den Ergebnissen der Studie lassen sich nachfolgende Erkenntnisse für den Bereich der Interventionsplanung für das subacromiale Schulter-Impingement-Syndrom festhalten:

- Interventionstherapien, die auf gezielte Kraft- und statischen Dehnübungen der umliegenden Muskeln des Schultergelenkes aufgebaut sind, zeigen signifikante Ergebnisse, für die Veränderung der Bewegungsamplitude, der Reduktion der Schmerzamplitude und der subjektiven Schmerzwahrnehmung auf das Beschwerdebild des subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms → vorangegangene Studien, die dieses Therapiekonzept untersucht haben können in ihren Ergebnissen bestätigt werden.

- Die Biokinetik zeigt signifikante Ergebnisse auf das Beschwerdebild des subacromialen Impingement-Syndroms in Bezug auf die Veränderung der Bewegungsamplitude, der Veränderung der Schmerzamplitude und der Reduktion der subjektiven Schmerzwahrnehmung → Die Wirksamkeit der Biokinetik als Interventionsmaßnahme für das subacromiale Schutler-Impingement-Syndrom kann bestätigt werden.
- Die Biokinetik unterscheidet sich signifikant in den Ergebnissen der Bewegungsamplitude von der Gruppe der Kraft und Beweglichkeit und der Kontrollgruppe über den achtwöchigen Interventionszeitraum. Bereits nach vier Wochen Interventionsdauer können signifikante Unterschiede in den Bewegungsamplituden der Abduktion und Anteversion bei der Gruppe der Kraft und Beweglichkeit und der Biokinetik-Gruppe festgestellt werden.
- Bereits nach vier Wochen Interventionsdauer können signifikante Unterschiede in der Veränderung der Schmerzamplitude und der subjektiven Schmerzwahrnehmung im größeren Anteil der Bewegungsmessungen der Abduktion, Innenrotation und Anteversion festgestellt werden. In der Kontrollgruppe treten zum Teil ebenfalls signifikante Unterschiede in der Schmerzamplitude und der subjektiven Schmerzwahrnehmung auf.

Weiterführende Punkte, die sich aus den Ergebnissen der Studie ableiten lassen, werden nachfolgend erläutert. Schmerztherapien für chronische Bewegungsschmerzen müssen zielgerichteter angewendet werden. Dazu gehören die theoretische Aufklärung des Patienten über die spezifische Schmerzsache und der weiterführenden Therapie. Zwingend erforderlich ist ein Ausbau der Kommunikation zwischen Mediziner und dem Anschlusstherapeuten. Eine Abstimmung in der Interventionsplanung und Follow-up-Untersuchung durch beide Seiten unterstützt den Patienten im Heilungsprozess. Die aktive Mitarbeit des Patienten in der Bewegungstherapie führt zu signifikanten Veränderungen im Schmerzbild der Schulterbewegung. Die aktive Mitarbeit von Patienten setzt voraus, dass eine Therapie an den Bewegungsgewohnheiten und Lebensstil des Patienten angepasst werden muss, um einen langfristigen Erfolg zu erhalten, statt nur am Beschwerdebild zu therapieren. Der Einsatz erfolgreicher konservativer Interventionsmaßnahmen kann den Einsatz nicht notwendiger und risikobehafteter operativer Maßnahmen reduzieren. Die exemplarische Kostenaufstellung des Einsatzes einer subacromialen Dekompression zeigt auf, dass die Weiterentwicklung zielgerichteter konservativer Maßnahmen einen ökonomischen Mehrwert für das Gesundheitssystem bietet. Auch der Einsatz medikamentöser Therapiemaßnahmen kann im Rahmen der Interventionszeiträume zeitlich begrenzt werden. Die dargestellten Diagnostikverfahren zeigen auf, dass die Untersuchung zum subacromialen Schulter-Impingement-Syndrom zu unspezifisch sind und Begleitpathologien nicht ausschließen können. Der Einsatz bildgebender Verfahren in Ruheposition lässt Rückschlüsse auf den Zustand der Acromionform, der Rotatorenmanschette, der Supraspinatussehne, der Bursen und der Abstandsmessung des subacromialen Raumes zu. Die Sensitivität zur Bestimmung eines subacromialen Impingement-

Syndroms, ohne den Einsatz der klinischen Untersuchungstechniken ist zu gering und sollte daher kritisch betrachtet werden. Die Schmerzursachenforschung für chronische Schmerzen ist noch unzureichend erfasst und bedarf weiterer wissenschaftlicher Erarbeitungen. Die theoretischen Herleitungen nach Walter Packi zur Schmerzursache in der Bewegungsgeometrie sollten weiterführend in die Untersuchungen mit einbezogen werden. Der Zustand und die Lage der hypothetisch Messorganellen, die in der Biokinematik aufgegriffen werden, können als weitere Forschungsgrundlage untersucht werden. Die Wirksamkeit der Biokinematik sollte in weiteren Interventionsmaßnahmen zu anderen chronischen Bewegungsschmerzen weiter untersucht und überprüft werden. Der Einsatz des Ortes der Fingerdruckpunkttechnik und die Unterscheidung und Abgrenzung zu den Erkenntnissen der myofaszialen Triggerpunkte sollten künftig näher betrachtet werden. Auch die von Mense beschriebene periphere und zentrale Sensibilisierung sollten in der Schmerzursachenforschung berücksichtigt werden. Eine Messung der Muskelspannung, beispielhaft mit der Scherwellenelastographie der Uni Mainz, könnte künftige Erkenntnisse zu den genannten Verquellungen der Muskelfaserstrukturen von Packi liefern. Die Scherwellenelastographie lässt bislang jedoch nur Strukturanalysen bis zum Muskelbündel zu (LICKERT, 2020). Bis zur klaren Definition des Zustandes einer Muskelfaser in einem schmerzhaften Zustand, sind jegliche Aussagen in dieser Richtung weiterhin als nicht wissenschaftlich fundiert zu betrachten. Die von Park et. al. (PARK et al., 2020) eingebrachten Einflüsse der biopsychosozialen Faktoren auf den Heilungsprozess von schmerzhaften Bewegungen sollten künftig klarer definiert und im Zusammenhang von Interventionstherapien weiter untersucht werden. Die Vereinheitlichung einer allgemeinen Schmerztherapie mit weiteren Erkenntnissen der Schmerzursachenforschung liefert großes Potenzial für die gezieltere Planung einer Interventionstherapie für schmerzhafte Einschränkungen in der Schulterbewegung und potenziellen anderen Bewegungsbeschwerden.

Diese Studienarbeit zur Schmerzforschung am Beispiel des subacromialen Schulter-Impingement-Syndroms liefert einen wichtigen Beitrag zur Vereinheitlichung einer allgemeinen Schmerztherapie und kann als Grundlage weiterer Forschungsuntersuchungen genutzt werden.

7 Literaturverzeichnis

1. A.M. A (1834) Essai sur la philosophie des sciences, Paris).
2. Abu-Rajab RBM, A.; Young, D.; Rymaszewski, A. (2010). Visual estimation of Joint angles at the elbow (Paisley, Orthopaedic Department Royal Alexandra Hospital)
3. Ackermann OE, K. (2023). Dokumentationsempfehlung Shoulder - SAFE (DEGUM)
4. AMBOSS (2022). Orthopädische Untersuchung der Schulter (AMBOSS)
5. Anshel MH, Russell KG (1994) Effect of aerobic and strength training on pain tolerance, pain appraisal and mood of unfit males as a function of pain location. J Sports Sci 12:535-547
6. Arendt-Nielsen L, Svensson P (2001) Referred muscle pain: basic and clinical findings. Clin J Pain 17:11-19
7. Aytar A, Baltaci G, Uhl TL, Tuzun H, Oztop P, Karatas M (2015) The effects of scapular mobilization in patients with subacromial impingement syndrome: a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. J Sport Rehabil 24:116-129
8. Banas MP, Miller RJ, Totterman S (1995) Relationship between the lateral acromion angle and rotator cuff disease. J Shoulder Elbow Surg 4:454-461
9. Bartlett JE (2022). Introduction to Power Analysis: A Guide to G*Power, jamovi, and Superpower (Glasgow)
10. Başkurt Z, Başkurt F, Gelecek N, Özkan MH (2011) The effectiveness of scapular stabilization exercise in the patients with subacromial impingement syndrome. J Back Musculoskelet Rehabil 24:173-179
11. Beard DJ, Rees JL, Cook JA, Rombach I, Cooper C, Merritt N, Shirkey BA, Donovan JL, Gwilym S, Savulescu J, Moser J, Gray A, Jepson M, Tracey I, Judge A, Wartolowska K, Carr AJ (2018) Arthroscopic subacromial decompression for subacromial shoulder pain (CSAW): a multicentre, pragmatic, parallel group, placebo-controlled, three-group, randomised surgical trial. Lancet 391:329-338

12. Behrends J, Bischofberger J, Deutzmann R, Ehmke H, Frings S, Grissmer S, Hoth M, Kurtz A, Leipziger J, Müller F, Pedain C, Rettig J, Wagner C, Wischmeyer E (2021) Duale Reihe Physiologie).
13. Bigliani LU, Ticker JB, Flatow EL, Soslowsky LJ, Mow VC (1991) The relationship of acromial architecture to rotator cuff disease. Clin Sports Med 10:823-838
14. Billeter RH, H. (1994). Biologische Grundlagen der Muskelkontraktion. In Kraft und Schnellkraft im Sport, Komi PV, ed. (Köln, Deutscher Ärzte Verlag), pp. 51-73.
15. Borg GA (1962) Physical performance and perceived exertion.
16. Brinkmann KN, N. (2021) Das Impingement Syndrom der Schulter - Einfache und effektive Techniken gegen akute und chronische Schmerzen (München, Riva Verlag).
17. Brökelmann J, Reydelet J (2005) Zahl der Operationen in Deutschland 2003–eine Annäherung. ambulant operieren 2:95-102
18. Brox JI, Gjengedal E, Uppheim G, Bøhmer AS, Brevik JI, Ljunggren AE, Staff PH (1999) Arthroscopic surgery versus supervised exercises in patients with rotator cuff disease (stage II impingement syndrome): a prospective, randomized, controlled study in 125 patients with a 2 1/2-year follow-up. J Shoulder Elbow Surg 8:102-111
19. Buck FM, Grehn H, Hilbe M, Pfirrmann CW, Manzanell S, Hodler J (2010) Magnetic resonance histologic correlation in rotator cuff tendons. J Magn Reson Imaging 32:165-172
20. Burger M, Africa C, Droomer K, Norman A, Pheiffe C, Gericke A, Samsodien A, Miszewski N (2016) Effect of corticosteroid injections versus physiotherapy on pain, shoulder range of motion and shoulder function in patients with subacromial impingement syndrome: A systematic review and meta-analysis. S Afr J Physiother 72:318
21. Burmester L (1888) Lehrbuch der Kinematik (Universitätsbibliothek Hannover, Arthur Felix).
22. Camargo PR, Albuquerque-Sendín F, Avila MA, Haik MN, Vieira A, Salvini TF (2015) Effects of Stretching and Strengthening Exercises, With and Without Manual Therapy, on Scapular Kinematics, Function, and Pain in Individuals With Shoulder Impingement: A Randomized Controlled Trial. J Orthop Sports Phys Ther 45:984-997

23. Christiansen DH, Frost P, Falla D, Haahr JP, Frich LH, Andrea LC, Svendsen SW (2016) Effectiveness of Standardized Physical Therapy Exercises for Patients With Difficulty Returning to Usual Activities After Decompression Surgery for Subacromial Impingement Syndrome: Randomized Controlled Trial. *Phys Ther* 96:787-796
 24. Clausen MB, Hölmich P, Rathleff M, Bandholm T, Christensen KB, Zebis MK, Thorborg K (2021) Effectiveness of Adding a Large Dose of Shoulder Strengthening to Current Nonoperative Care for Subacromial Impingement: A Pragmatic, Double-Blind Randomized Controlled Trial (SExSI Trial). *Am J Sports Med* 49:3040-3049
 25. Conover WJ (1999) Practical nonparametric statistics, Vol 3 (Hoboken, John Wiley & Sons, Inc.).
 26. Consigliere P, Haddo O, Levy O, Sforza G (2018) Subacromial impingement syndrome: management challenges. *Orthop Res Rev* 10:83-91
 27. Creech JA, Silver S (2023). Shoulder Impingement Syndrome. In StatPearls (Treasure Island (FL), StatPearls Publishing
- Copyright © 2023, StatPearls Publishing LLC.).
28. De Marées H (2017) Sportphysiologie, Vol 9 (Hellenthal, Sportverlag Strauß).
 29. de Witte PB, de Groot JH, van Zwet EW, Ludewig PM, Nagels J, Nelissen RG, Braman JP (2014) Communication breakdown: clinicians disagree on subacromial impingement. *Med Biol Eng Comput* 52:221-231
 30. Dehghan F, Muniandy S, Yusof A, Salleh N (2014) Testosterone reduces knee passive range of motion and expression of relaxin receptor isoforms via 5 α -dihydrotestosterone and androgen receptor binding. *Int J Mol Sci* 15:4619-4634
 31. Destatis (2022). Fallpauschalenbezogenen Krankenhausstatistik (DRG-Statistik) Operationen und Prozeduren der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern (4-Steller) (Wiesbaden, Statistisches Bundesamt)
 32. Dhillon KS (2019) Subacromial Impingement Syndrome of the Shoulder: A Musculoskeletal Disorder or a Medical Myth? *Malays Orthop J* 13:1-7
 33. Diercks R, Bron C, Dorrestijn O, Meskers C, Naber R, de Ruiter T, Willems J, Winters J, van der Woude HJ (2014) Guideline for diagnosis and treatment of subacromial pain

- syndrome: a multidisciplinary review by the Dutch Orthopaedic Association. *Acta Orthop* 85:314-322
34. Dilek B, Gulbahar S, Gundogdu M, Ergin B, Manisali M, Ozkan M, Akalin E (2016) Efficacy of Proprioceptive Exercises in Patients with Subacromial Impingement Syndrome: A Single-Blinded Randomized Controlled Study. *Am J Phys Med Rehabil* 95:169-182
 35. Donath L, Faude O (2019). (Evidenzbasierte) Trainingsprinzipien. In *Bewegung, Training, Leistung und Gesundheit: Handbuch Sport und Sportwissenschaft*, Güllich A, M Krüger, eds. (Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg), pp. 1-17.
 36. Dong W, Goost H, Lin XB, Burger C, Paul C, Wang ZL, Zhang TY, Jiang ZC, Welle K, Kabir K (2015) Treatments for shoulder impingement syndrome: a PRISMA systematic review and network meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 94:e510
 37. Dunn OJ (1964) Multiple comparison using rank sums. *Technometrics* 6:241-252
 38. DVSE D (2021). S2e-Leitlinie Subacromiales Impingement (Deutsche Vereinigung der Schulter- und Ellenbogenchirurgie - Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie)
 39. Egen CE, F.; Lutz, M. (2024). Mobee Med
 40. Ekkekakis P (2012). Affect, mood, and emotion. In *Measurement in sport and exercise psychology*. (Champaign, IL, US, Human Kinetics), pp. 321-332.
 41. Eliason A, Harringe M, Engström B, Werner S (2021) Guided exercises with or without joint mobilization or no treatment in patients with subacromial pain syndrome: A clinical trial. *J Rehabil Med* 53:jrm00190
 42. Escamilla RF, Hooks TR, Wilk KE (2014) Optimal management of shoulder impingement syndrome. *Open Access J Sports Med* 5:13-24
 43. Ewert F, van Loock P (2014) $\frac{3}{4}$ -Efficient Bell Measurement with Passive Linear Optics and Unentangled Ancillae. *Physical Review Letters* 113:140403
 44. Farfaras S, Sernert N, Rostgard Christensen L, Hallström EK, Kartus JT (2018) Subacromial Decompression Yields a Better Clinical Outcome Than Therapy Alone: A Prospective Randomized Study of Patients With a Minimum 10-Year Follow-up. *Am J Sports Med* 46:1397-1407

45. Ferlito R, Testa G, McCracken KL, Moscato S, Zerbito GM, Panvini FMC, Blatti C, Pavone V, Sapienza M (2023) Effectiveness of Therapeutical Interventions on the Scapulothoracic Complex in the Management of Patients with Subacromial Impingement and Frozen Shoulder: A Systematic Review. *J Funct Morphol Kinesiol* 8
46. Forjasz J (2011) Anthropometric Typology of Male and Female Rowers Using K-Means Clustering. *Journal of human kinetics* 28:155-164
47. Gallagi Gea (2005). „Gate-Control- Theorie“. In *Schmerzkompendium* (Stuttgart, Georg Thieme Verlag KG)
48. Garving C, Jakob S, Bauer I, Nadjar R, Brunner UH (2017) Impingement Syndrome of the Shoulder. *Dtsch Arztebl Int* 114:765-776
49. Gebremariam L, Hay EM, van der Sande R, Rinkel WD, Koes BW, Huisstede BM (2014) Subacromial impingement syndrome--effectiveness of physiotherapy and manual therapy. *Br J Sports Med* 48:1202-1208
50. Giamberardino MA, Dalal A, Valente R, Vecchiet L (1996) Changes in activity of spinal cells with muscular input in rats with referred muscular hyperalgesia from ureteral calculosis. *Neurosci Lett* 203:89-92
51. Glück S (2005) Beeinflussung der Beweglichkeit durch unterschiedliche physische und psychische Einwirkungen (Saarbrücken, Universität des Saarlandes).
52. Gohlke FH, A.; Zichner, L. (2002) *Arthroskopie des Schultergelenks* (Stuttgart, Georg Thieme Verlag KG).
53. Goldspink G, Harridge S (2008). Cellular and Molecular Aspects of Adaptation in Skeletal Muscle. In, pp. 231-251.
54. Gottfried F (1966) *Theoretische Physik auf der Grundlage einer allgemeinen Dynamik. Elementare Punktmechanik.* (Heidelberg, Springer).
55. Greving K, Dorrestijn O, Winters JC, Groenhof F, van der Meer K, Stevens M, Diercks RL (2012) Incidence, prevalence, and consultation rates of shoulder complaints in general practice. *Scand J Rheumatol* 41:150-155
56. Gunay Ucurum S, Kaya DO, Kayali Y, Askin A, Tekindal MA (2018) Comparison of different electrotherapy methods and exercise therapy in shoulder impingement

- syndrome: A prospective randomized controlled trial. *Acta Orthop Traumatol Turc* 52:249-255
57. Gutewort WS, T.; Wank, V.; Weiss, T. (1995). Die Diagnose von Kraftfähigkeiten mit Hilfe biomechanischer Modelle der Muskelkontraktion. In *Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung*, Carl KQ, K.; Stehle, P., ed. (Köln, Strauß), pp. 268-295.
 58. Haahr JP, Andersen JH (2006) Exercises may be as efficient as subacromial decompression in patients with subacromial stage II impingement: 4-8-years' follow-up in a prospective, randomized study. *Scand J Rheumatol* 35:224-228
 59. Habermeyer PLSL, S.; Magosch, M.; Martetschlager, P. (2017). Konventionelle Radiologie und Computertomografie der Schulter. In *Schulterchirurgie* (Urban & Fischer Verlag), pp. 89-178.
 60. Hagedorn LT, W.; Rankers, A. (2009). Einführung. In *Konstruktive Getriebslehre* (Heidelberg, Springer), pp. 20.
 61. Hegedus EJ, Goode AP, Cook CE, Michener L, Myer CA, Myer DM, Wright AA (2012) Which physical examination tests provide clinicians with the most value when examining the shoulder? Update of a systematic review with meta-analysis of individual tests. *Br J Sports Med* 46:964-978
 62. Henneman E (1985) The size-principle: a deterministic output emerges from a set of probabilistic connections. *J Exp Biol* 115:105-112
 63. Herbison GJ, Jaweed MM, Ditunno JF (1982) Muscle fiber types. *Arch Phys Med Rehabil* 63:227-230
 64. Hermansen L, Osnes JB (1972) Blood and muscle pH after maximal exercise in man. *J Appl Physiol* 32:304-308
 65. Hilfiker R (2010) Assessments: Visuelle Analog- und numerische Ratingskala – Die Schmerzintensität messen. *ergopraxis* 3:26-27
 66. Hollmann WH, T. (2000) *Sportmedizin - Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin*, Vol 4 (Stuttgart, Schattauer).
 67. Hotta GH, Gomes de Assis Couto A, Cools AM, McQuade KJ, Siriani de Oliveira A (2020) Effects of adding scapular stabilization exercises to a periscapular strengthening

- exercise program in patients with subacromial pain syndrome: A randomized controlled trial. *Musculoskelet Sci Pract* 49:102171
68. Huxley H, Hanson J (1954) Changes in the Cross-Striations of Muscle during Contraction and Stretch and their Structural Interpretation. *Nature* 173:973-976
 69. IBM (2024). SPSS Statistics (Chicago)
 70. Ikutomo H, Nagai K, Tagomori K, Miura N, Okamura K, Okuno T, Nakagawa N, Masuhara K (2022) Effects of foam rolling on hip pain in patients with hip osteoarthritis: a retrospective propensity-matched cohort study. *Physiother Theory Pract* 38:995-1002
 71. Israel S (1994). Die Auswirkungen eines Krafttrainings in Abhängigkeit von Lebensalter und Gesundheitszustand. In *Kraft und Schnellkraft im Sport*, Komi PV, ed. (Köln, Deutscher Ärzte Verlag), pp. 315-323.
 72. Jaeger M, Berndt T, Rühmann O, Lerch S (2016) Patients With Impingement Syndrome With and Without Rotator Cuff Tears Do Well 20 Years After Arthroscopic Subacromial Decompression. *Arthroscopy* 32:409-415
 73. Jin JP (2000) Titin-thin filament interaction and potential role in muscle function. *Adv Exp Med Biol* 481:319-333; discussion 334-315
 74. Ketola S, Lehtinen J, Arnala I, Nissinen M, Westenius H, Sintonen H, Aronen P, Kontinen YT, Malmivaara A, Rousi T (2009) Does arthroscopic acromioplasty provide any additional value in the treatment of shoulder impingement syndrome?: a two-year randomised controlled trial. *J Bone Joint Surg Br* 91:1326-1334
 75. Kindermann W (1986). Sport und Alter. In *Das späte Alter und seine häufigsten Erkrankungen: Praktische Geriatrie*, Marcea JT, ed. (Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg), pp. 599-616.
 76. Klee A, Wydra G (2023) Zur Wirkung des Dehnungstrainings als Verletzungsprophylaxe. Eine Analyse unter besonderer Berücksichtigung des Verletzungsrisikos bei verschiedenen sportlichen Aktivitäten 39:98-106
 77. Klee AW, K. (2005) *Beweglichkeit, Dehnfähigkeit* (Schorndorf, Hofmann).

78. Köhler H-C, Hacke C, Gutcke A, Tischer T, Schulze C (2019) Einfluss der beruflichen Tätigkeit auf den Therapieerfolg von Patienten mit primär extrinsischem Impingement der Schulter. *Rehabilitation (Stuttg)* 59:174-181
79. Kolber MJ, Fuller C, Marshall J, Wright A, Hanney WJ (2012) The reliability and concurrent validity of scapular plane shoulder elevation measurements using a digital inclinometer and goniometer. *Physiother Theory Pract* 28:161-168
80. Konrad A, Stafilidis S, Tilp M (2017) Effects of acute static, ballistic, and PNF stretching exercise on the muscle and tendon tissue properties. *Scand J Med Sci Sports* 27:1070-1080
81. Kraus K, Kraus E, Gojanovic B, Fourchet F (2020) Concurrent Validity of 2D and Inertial Goniometer Motion Assessment. *International Journal of Athletic Therapy and Training* 25:134-139
82. Kroenke K, Wu J, Bair MJ, Krebs EE, Damush TM, Tu W (2011) Reciprocal relationship between pain and depression: a 12-month longitudinal analysis in primary care. *J Pain* 12:964-973
83. Kromer TO, de Bie RA, Bastiaenen CH (2014) Effectiveness of physiotherapy and costs in patients with clinical signs of shoulder impingement syndrome: One-year follow-up of a randomized controlled trial. *J Rehabil Med* 46:1029-1036
84. Kruskal WHW, W. A. (1952) Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47:583-621
85. Lenhard WL, A. (2016). Computation of effect sizes
86. Lenssen AF, van Dam EM, Crijns YH, Verhey M, Geesink RJ, van den Brandt PA, de Bie RA (2007) Reproducibility of goniometric measurement of the knee in the in-hospital phase following total knee arthroplasty. *BMC Musculoskelet Disord* 8:83
87. Lephart SM, Pincivero DM, Rozzi SL (1998) Proprioception of the ankle and knee. *Sports Med* 25:149-155
88. Liaghat B, Ussing A, Petersen BH, Andersen HK, Barfod KW, Jensen MB, Hoegh M, Tarp S, Juul-Kristensen B, Brorson S (2021) Supervised Training Compared With No Training or Self-training in Patients With Subacromial Pain Syndrome: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 102:2428-2441.e2410

89. Lickert MO, S.; Dieterich, A. (2020) Muskelschmerz: Evidenz hinter myofaszialen Triggerpunkten. *Physiotherapie - Fachmagazin des Bundesverbands selbstständiger Physiotherapeuten* 05/20:38-40
90. Ltd. SE (2022). Create a blocked randomisation list
91. Magnusson SP (1998) Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. A review. *Scand J Med Sci Sports* 8:65-77
92. Markworth P (2013) *Sportmedizin: Physiologische Grundlagen*, Vol 25 (Hamburg, Rowolth Taschenbuch Verlag).
93. Massey Jr FJ (1951) The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association* 46:68-78
94. McClure PW, Bialker J, Neff N, Williams G, Karduna A (2004) Shoulder Function and 3-Dimensional Kinematics in People With Shoulder Impingement Syndrome Before and After a 6-Week Exercise Program. *Physical Therapy* 84:832-848
95. McCreesh KM, Crotty JM, Lewis JS (2015) Acromiohumeral distance measurement in rotator cuff tendinopathy: is there a reliable, clinically applicable method? A systematic review. *Br J Sports Med* 49:298-305
96. McCreesh KM, Anjum S, Crotty JM, Lewis JS (2016) Ultrasound measures of supraspinatus tendon thickness and acromiohumeral distance in rotator cuff tendinopathy are reliable. *J Clin Ultrasound* 44:159-166
97. McFarland EG, O'Neill OR, Hsu CY (1997) Complications of shoulder arthroscopy. *J South Orthop Assoc* 6:190-196
98. McFarland EG, Maffulli N, Del Buono A, Murrell GA, Garzon-Muvdi J, Petersen SA (2013) Impingement is not impingement: the case for calling it "Rotator Cuff Disease". *Muscles Ligaments Tendons J* 3:196-200
99. Mense S (1993) [Neurobiological mechanisms of muscle pain referral.]. *Schmerz* 7:241-249
100. Mense S (2021) *Muskeln, Faszien und Schmerz*, Vol 9.1 (Stuttgart, Georg Thieme Verlag).
101. Merskey HB, N. (1994). *IASP Terminology Background* (Seattle), pp. 209-214

102. Michener LA, Walsworth MK, Doukas WC, Murphy KP (2009) Reliability and diagnostic accuracy of 5 physical examination tests and combination of tests for subacromial impingement. *Arch Phys Med Rehabil* 90:1898-1903
103. Microsoft (2018). Microsoft Excel (Microsoft Corporation)
104. Microsoft (2022). Microsoft Forms (Microsoft Corporation)
105. Miko HC, Zillmann N, Ring-Dimitriou S, Dorner TE, Titze S, Bauer R (2020) [Effects of Physical Activity on Health]. *Gesundheitswesen* 82:S184-s195
106. Miller RH (2018). Hill-Based Muscle Modeling. In *Handbook of Human Motion*, Müller B, SI Wolf, G-P Brueggemann, Z Deng, A McIntosh, F Miller, WS Selbie, eds. (Cham, Springer International Publishing), pp. 1-22.
107. Moezy A, Sepehrifar S, Solaymani Dodaran M (2014) The effects of scapular stabilization based exercise therapy on pain, posture, flexibility and shoulder mobility in patients with shoulder impingement syndrome: a controlled randomized clinical trial. *Med J Islam Repub Iran* 28:87
108. Moslehi M, Letafatkar A, Miri H (2021) Feedback improves the scapular-focused treatment effects in patients with shoulder impingement syndrome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 29:2281-2288
109. Müller-Rath R (2022) *Arthroskopie von Knie und Schulter* (Berlin, Kassenärztliche Bundesvereinigung).
110. Müller-Wohlfahrt H-W (2014). *Untersuchung von Muskelverletzungen. In Muskelverletzungen im Sport* (Stuttgart, Georg Thieme Verlag KG)
111. Naranjo-Cinto F, Falcon-Machado G, Garrido-Marin A, Senin-Camargo FJ, Jacome-Pumar MA, Fernandez-Matias R, Pecos-Martin D, Gallego-Izquierdo T (2020) Inter- and Intra-Examiner Reliability of Supraspinatus Muscle Tendon Palpation: A Cross-Sectional Study by Ultrasonography. *Medicina (Kaunas)* 56
112. Nazari G, MacDermid JC, Bryant D, Athwal GS (2019) The effectiveness of surgical vs conservative interventions on pain and function in patients with shoulder impingement syndrome. A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 14:e0216961
113. Neer CS (2005) Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder. 1972. *The Journal of bone and joint surgery American volume* 87:1399

114. Neer CS, 2nd (1972) Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder: a preliminary report. *J Bone Joint Surg Am* 54:41-50
115. Neer CS, 2nd (1983) Impingement lesions. *Clin Orthop Relat Res*:70-77
116. Neubert MJ, Kincaid W, Heinricher MM (2004) Nociceptive facilitating neurons in the rostral ventromedial medulla. *Pain* 110:158-165
117. Nobis H-GR, R. (2020). Deutsche Schmerzgesellschaft e.V. (Deutsche Schmerzgesellschaft e.V.)
118. Nyffeler RW, Werner CM, Sukthankar A, Schmid MR, Gerber C (2006) Association of a large lateral extension of the acromion with rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am* 88:800-805
119. Ogbeivor C (2019) Needle placement approach to subacromial injection in patients with subacromial impingement syndrome: A systematic review. *Musculoskeletal Care* 17:13-22
120. Paavola M, Kanto K, Ranstam J, Malmivaara A, Inkinen J, Kalske J, Savolainen V, Sinisaari I, Taimela S, Järvinen TL (2021) Subacromial decompression versus diagnostic arthroscopy for shoulder impingement: a 5-year follow-up of a randomised, placebo surgery controlled clinical trial. *Br J Sports Med* 55:99-107
121. Packi W (2016) Die Biokinetik - Bewegung gegen Schmerz (Freiburg, Packi Klinik).
122. Park HB, Yokota A, Gill HS, El Rassi G, McFarland EG (2005) Diagnostic accuracy of clinical tests for the different degrees of subacromial impingement syndrome. *J Bone Joint Surg Am* 87:1446-1455
123. Park SW, Chen YT, Thompson L, Kjoenoe A, Juul-Kristensen B, Cavalheri V, McKenna L (2020) No relationship between the acromiohumeral distance and pain in adults with subacromial pain syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep* 10:20611
124. Pässler HH (2012). Klinische Tests an Knochen, Gelenken und Muskeln. In Untersuchungen – Zeichen – Phänomene, Backup K, J Backup, eds. (Stuttgart, Georg Thieme Verlag KG)

125. Penning LI, de Bie RA, Walenkamp GH (2012) The effectiveness of injections of hyaluronic acid or corticosteroid in patients with subacromial impingement: a three-arm randomised controlled trial. *J Bone Joint Surg Br* 94:1246-1252
126. Pogatzki-Zahn E, Van Aken HK, Zahn P (2007) Postoperative Schmerztherapie: Pathophysiologie, Pharmakologie und Therapie, Georg Thieme Verlag).
127. Putz RL, J.; Reichelt, A. (1988) Funktion des Ligamentum coracoacromiale. *Acta Anatomica* 131:140-145
128. Ravichandran H, Janakiraman B, Gelaw AY, Fisseha B, Sundaram S, Sharma HR (2020) Effect of scapular stabilization exercise program in patients with subacromial impingement syndrome: a systematic review. *J Exerc Rehabil* 16:216-226
129. Read JW, Perko M (1998) Shoulder ultrasound: diagnostic accuracy for impingement syndrome, rotator cuff tear, and biceps tendon pathology. *J Shoulder Elbow Surg* 7:264-271
130. Reuleaux F (1875) Theoretische Kinematik (Braunschweig, Friedrich Vieweg und Sohn).
131. Roy JS, Braën C, Leblond J, Desmeules F, Dionne CE, MacDermid JC, Bureau NJ, Frémont P (2015) Diagnostic accuracy of ultrasonography, MRI and MR arthrography in the characterisation of rotator cuff disorders: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 49:1316-1328
132. Sale DG (1994). Neuronale Adaptation im Verlauf eines Krafttrainings. In *Kraft und Schnellkraft im Sport*, Komi PV, ed. (Köln, Deutscher Ärzte Verlag).
133. Saltychev M, Äärimaa V, Virolainen P, Laimi K (2015) Conservative treatment or surgery for shoulder impingement: systematic review and meta-analysis. *Disabil Rehabil* 37:1-8
134. Schalow G, Zäch GA, Warzok R (1995) Classification of human peripheral nerve fibre groups by conduction velocity and nerve fibre diameter is preserved following spinal cord lesion. *Journal of the Autonomic Nervous System* 52:125-150
135. Scheibel MB, U. (2021). 11 Rotatorenmanschettenläsionen. In *Expertise Schulter* (Stuttgart, Georg Thieme Verlag KG)

136. Schmiedem U, Krettek C, Meller R (2013) Klinische und apparative Untersuchungstechniken des Schultergelenks. OP-Journal 29:6-14
137. Schönthaler SRO, K. (2002) Biomechanische und neurophysiologische Veränderungen nach ein- und mehrfach seriellem passiv-statischem Beweglichkeitstraining (Köln, Sport und Buch Strauß).
138. Schröer J (2022). Fitness-Zuhause-Coach - Forschungsprojekt zur Verbesserung des Schulter-Impingement-Syndroms (Ionos)
139. Schünke MS, E.; Prometheus, U. (2018). Aufbau eines Skelettmuskels. In LernAtlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. (Stuttgart, Thieme).
140. Shapiro SSW, M. B. (1965). An Analysis of variance test for normality (complete samples). In Biometrika, pp. 591-611.
141. Shaw C, Strauss J, Wagenmakers A (2010) The Effect of Exercise and Nutrition on Intramuscular Fat Metabolism and Insulin Sensitivity. Annual review of nutrition 30:13-34
142. Shin JJ, Popchak AJ, Musahl V, Irrgang JJ, Lin A (2018) Complications After Arthroscopic Shoulder Surgery: A Review of the American Board of Orthopaedic Surgery Database. J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev 2:e093
143. Shire AR, Stæhr TAB, Overby JB, Bastholm Dahl M, Sandell Jacobsen J, Høyrup Christiansen D (2017) Specific or general exercise strategy for subacromial impingement syndrome-does it matter? A systematic literature review and meta analysis. BMC Musculoskelet Disord 18:158
144. Silva L, Andréu JL, Muñoz P, Pastrana M, Millán I, Sanz J, Barbadillo C, Fernández-Castro M (2008) Accuracy of physical examination in subacromial impingement syndrome. Rheumatology (Oxford) 47:679-683
145. Sportmedizin; Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie DGfOuUDVfS-uEBfOuUBdDCBfAGfo-t (2017). Gemeinsame Stellungnahme zum CSAW-Trial (ISRCTN33864128)
146. Steuri R, Sattelmayer M, Elsig S, Kolly C, Tal A, Taeymans J, Hilfiker R (2017) Effectiveness of conservative interventions including exercise, manual therapy and

- medical management in adults with shoulder impingement: a systematic review and meta-analysis of RCTs. *Br J Sports Med* 51:1340-1347
147. Struyf F, Nijs J, Mollekens S, Jeurissen I, Truijen S, Mottram S, Meeusen R (2013) Scapular-focused treatment in patients with shoulder impingement syndrome: a randomized clinical trial. *Clin Rheumatol* 32:73-85
 148. Sumanont S, Boonard M, Peradhammanon E, Arirachakaran A, Suwankomkul P, Oungbumrunpan W, Kongtharvonskul J (2018) Comparative outcomes of combined corticosteroid with low volume compared to high volume of local anesthetic in subacromial injection for impingement syndrome: systematic review and meta-analysis of RCTs. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 28:397-407
 149. Tauqeer S, Arooj A, Shakeel H (2024) Effects of manual therapy in addition to stretching and strengthening exercises to improve scapular range of motion, functional capacity and pain in patients with shoulder impingement syndrome: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord* 25:192
 150. Terwee CB, de Winter AF, Scholten RJ, Jans MP, Devillé W, van Schaardenburg D, Bouter LM (2005) Interobserver reproducibility of the visual estimation of range of motion of the shoulder. *Arch Phys Med Rehabil* 86:1356-1361
 151. Tittel K (1994) Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen, Vol 12 (Jena, Fischer).
 152. Turgut E, Duzgun I, Baltaci G (2017) Effects of Scapular Stabilization Exercise Training on Scapular Kinematics, Disability, and Pain in Subacromial Impingement: A Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil* 98:1915-1923.e1913
 153. Ulsenheimer K (2016). 6 Verzicht auf die Aufklärung. In *Das Aufklärungsgespräch* (Erlangen, Thieme Compliance GmbH)
 154. Virta L, Joranger P, Brox JJ, Eriksson R (2012) Costs of shoulder pain and resource use in primary health care: a cost-of-illness study in Sweden. *BMC Musculoskelet Disord* 13:17
 155. Wall PD, Werman R (1976) The physiology and anatomy of long ranging afferent fibres within the spinal cord. *J Physiol* 255:321-334

156. Watts AR, Williams B, Kim SW, Bramwell DC, Krishnan J (2017) Shoulder impingement syndrome: a systematic review of clinical trial participant selection criteria. *Shoulder Elbow* 9:31-41
157. Weineck J (1997) *Sportanatomie*, Vol 12 (Balingen, Spitta).
158. Whitwam JG (1976) Classification of peripheral nerve fibres. An historical perspective. *Anaesthesia* 31:494-503
159. Wirhed R (1988) *Sport-Anatomie und Bewegungslehre*, Vol 2 (Stuttgart, Schattauer).
160. Wirth CJ (2010). 25 Komplikationen in der Arthroskopie. In *Komplikationen in Orthopädie und Unfallchirurgie* (Stuttgart, Georg Thieme Verlag KG)
161. Wooldridge J (2013) *Introductory Econometrics: A modern approach*, Vol 5, Mason).
162. Wurzinger LJ (2017). Schulter, Oberarm und Ellenbogen. In *Duale Reihe - Anatomie* (Thieme), pp. 437-476.

8 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Gelenke der Schulter im Überblick aus Duale Reihe Anatomie – Rechte Schulter in der Ansicht ventral (WURZINGER, 2017).....	14
Abb. 2	Kaspel-Band-Apparat der Schulter aus Duale Reihe Anatomie – Rechte Schulter in der Ansicht ventral (WURZINGER, 2017).....	15
Abb. 3	Ursachen für ein subacromiales Schulter-Impingement, aus (SCHEIBEL, 2021) ..	21
Abb. 4	Durchführung des Painful-Arc-Tests und Darstellung des Schmerzbereiches bei einem SIS. Abbildung aus (AMBOSS, 2022).....	25
Abb. 5	Darstellung der Durchführung des Hawkins-Kennedy-Tests (Eigene Darstellung)	26
Abb. 6	Darstellung des Neer-Test zur Bestimmung eines SIS (Eigene Darstellung).....	27
Abb. 7	Darstellung einer MRT-Aufnahme eines Patienten mit diagnostiziertem chronischen SIS. a) Erguss im Pdw-fatsal-Bild ist signalreich b) Nach Kontrastmittelzugabe reichert sich eine Synovialitis randständig an. c) Typ III Acromion nach Bigliani. Bedingt eine sekundäre subacromiale Knochenkonsole. Die Supraspinatussehne ist bei der Tendinose in der Struktur aufgelockert, verdickt und signalgesteigert. Abbildung aus (HABERMEYER, 2017)	29
Abb. 8	Darstellung der Subacromialen Dekompression prä-, intra- und postoperativ. Abbildung entnommen aus (MÜLLER-RATH, 2022)	41
Abb. 9	Darstellung von zwei Sarkomeren in Ruhe, bei einer Kontraktion und bei Dehnung. Abbildung entnommen aus (MARKWORTH, 2013)	46
Abb. 10	Aufbau des Skelettmuskels – Abbildung entnommen aus (SCHÜNKE, 2018) – Illustrationen von M. Voll und K. Wesker	61
Abb. 11	Darstellung des Ablaufes einer Therapie mit der Biokinematik – Eigene Darstellung	73
Abb. 12	Auswahl der klinischen Tests zur Messung der Outcomes für Patienten mit einem subacromialen-Schulter-Impingement-Syndrom mit dem Mobee® Med – Bild entnommen aus Mobee®360 der Sportmed AG (EGEN, 2024).....	79
Abb. 13	Berechnung der Sample-Size mittels G*Power (Version 3.1.9.4) – Abbildung aus (BARTLETT, 2022).....	89

Abb. 14	Flowchart zur Patientenstatistik vom Erstkontakt bis zum Abschluss der Untersuchung – Eigene Darstellung.....	94
Abb. 15	Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	96
Abb. 16	Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	97
Abb. 17	Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS).....	97
Abb. 18	Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	98
Abb. 19	Darstellung einer Beispielmessung der aktiven Abduktion eines zufälligen Probanden mit dem Mobee® Med der Sportmed AG – Abbildung entnommen aus Mobee®360 der Sportmed AG (<i>EGEN</i> , 2024)	98
Abb. 20	Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS).....	109
Abb. 21	Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	110
Abb. 22	Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	110
Abb. 23	Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	111

Abb. 24 Darstellung einer Beispielmessung der Innenrotation eines zufälligen Probanden mit dem Mobee®Med der Sportmed AG – Abbildung entnommen aus Mobee®360 der Sportmed AG (EGEN, 2024)	112
Abb. 25 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS) 120	
Abb. 26 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	121
Abb. 27 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS) 122	
Abb. 28 Boxplots für die Bewegungsamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS) 122	
Abb. 29 Darstellung einer Beispielmessung der Anteversion eines zufälligen Probanden mit dem Mobee®Med der Sportmed AG – Abbildung entnommen aus Mobee®360 der Sportmed AG (EGEN, 2024)	123
Abb. 30 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS).....	132
Abb. 31 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	133
Abb. 32 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	134
Abb. 33 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS) 135	

Abb. 34 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	143
Abb. 35 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	144
Abb. 36 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	145
Abb. 37 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	146
Abb. 38 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	154
Abb. 39 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	155
Abb. 40 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	156
Abb. 41 Boxplots für die Schmerzamplitude der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	157
Abb. 42 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	166
Abb. 43 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	167

Abb. 44 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	168
Abb. 45 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Abduktion passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS)	168
Abb. 46 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS).....	176
Abb. 47 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS).....	177
Abb. 48 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS).....	177
Abb. 49 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS).....	178
Abb. 50 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Anteversion aktiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS).....	187
Abb. 51 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS).....	188
Abb. 52 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS).....	188
Abb. 53 Boxplots für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Probanden nach der numerischen Analogskala der Interventionsgruppen über die Messzeitpunkte für die Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung (Grafiken entnommen aus SPSS).....	189

8.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Bewegungsmöglichkeiten der Schulter – Zusammengefasst nach (WURZINGER, 2017)	17
Tab. 2	Übersicht der Muskulatur des Schultergelenks und deren Funktionsweise – Zusammengefasst nach (WURZINGER, 2017).....	18
Tab. 3	Klinische Untersuchungstechniken der Schulter nach (SCHMIDDEM et al., 2013)	23
Tab. 4	Exemplarische Kostenaufstellung (direkte und indirekte Kosten) für die Behandlung der Schulter inklusive SAD eines Patienten – Summen entnommen aus (VIRTA et al., 2012)	43
Tab. 5	Typen von Muskelfasern mit ihren physiologischen Merkmalen – Tabelle entnommen aus (MENSE, 2021)	48
Tab. 6	Kumulierte Belastungskomponenten für eine Interventionstherapie bei Patienten mit einem SIS – Eigene Darstellung	54
Tab. 7	Übersicht über die Belastungskomponenten für den strukturellen Ablauf der eigenen Intervention für Patienten mit einem SIS (Eigene Darstellung)	67
Tab. 8	Vorstellungen der Übungsauswahl für die Interventionsgruppe Muskeldehnung und Muskelkräftigung - Eigene Darstellung	69
Tab. 9	Vorstellungen der Übungsauswahl für die Interventionsgruppe Biokinematik - Eigene Darstellung	72
Tab. 10	Vorstellungen der Übungsauswahl für die Kontrollgruppe - Eigene Darstellung	75
Tab. 11	Demographische Werte der Probanden zum Alter und der Anzahl abgeschlossener Behandlungen – Eigene Darstellung	92
Tab. 12	Demografische Werte der Probanden zur Geschlechterverteilung in den Interventionsgruppen – Eigene Darstellung	93
Tab. 13	Zusammenfassung der Einnahme von Schmerzmitteln der Probanden der Stufe 1> des WHO- Stufenplans, während des Interventionszeitraumes – Eigene Darstellung	93

Tab. 14	Übersicht über den Drop-out in den einzelnen Interventionsgruppen – Eigene Darstellung	95
Tab. 15	Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die Bewegungsamplitude der Abduktion über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung	99
Tab. 16	Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	103
Tab. 17	Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	103
Tab. 18	Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	104
Tab. 19	Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	104
Tab. 20	Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	105
Tab. 21	Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	106
Tab. 22	Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	107
Tab. 23	Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Bewegungsamplitude der Abduktion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	107

Tab. 24	Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die Bewegungsamplitude der Innenrotation über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung	112
Tab. 25	Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	117
Tab. 26	Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	117
Tab. 27	Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	118
Tab. 28	Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Bewegungsamplitude der Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	118
Tab. 29	Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	119
Tab. 30	Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Bewegungsamplitude der Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	119
Tab. 31	Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die Bewegungsamplitude der Anteversion über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung	123
Tab. 32	Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Anteversion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	128
Tab. 33	Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Anteversion passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	128

Tab. 34 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Anteversion aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	129
Tab. 35 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Bewegungsamplitude der Anteversion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	129
Tab. 36 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Bewegungsamplitude der Anteversion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	130
Tab. 37 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die Schmerzamplitude der Abduktion über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung	136
Tab. 38 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	140
Tab. 39 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Abduktion passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	141
Tab. 40 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Abduktion aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	141
Tab. 41 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Abduktion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	142
Tab. 42 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die Schmerzamplitude der Innenrotation über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung	146
Tab. 43 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	151

Tab. 44 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die Schmerzamplitude in der Bewegung der Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	151
Tab. 45 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	152
Tab. 46 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	152
Tab. 47 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	153
Tab. 48 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die Schmerzamplitude der Anteversion über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung.....	158
Tab. 49 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Anteversion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	162
Tab. 50 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Anteversion passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	163
Tab. 51 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Anteversion aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	163
Tab. 52 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die Schmerzamplitude der Anteversion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	164
Tab. 53 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die subjektive Schmerzwahrnehmung in der Bewegung der Abduktion über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung	169

Tab. 54 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	173
Tab. 55 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung in der Bewegung der Abduktion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	173
Tab. 56 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	174
Tab. 57 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	174
Tab. 58 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Abduktion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	175
Tab. 59 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die subjektive Schmerzwahrnehmung in der Bewegung der Innenrotation über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung.....	179
Tab. 60 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	183
Tab. 61 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung in der Bewegung der Innenrotation aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	183
Tab. 62 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	184
Tab. 63 Anwendung des Post-Hoc-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung in der Bewegung der Innenrotation passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage	184

Tab. 64 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Innenrotation aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	185
Tab. 65 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Innenrotation passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	185
Tab. 66 Statistische Auswertung für den Effekt der jeweiligen Interventionsmaßnahmen auf die subjektive Schmerzwahrnehmung in der Bewegung der Anteversion über den Messzeitraum von acht Wochen – Eigene Darstellung.....	190
Tab. 67 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Anteversion aktiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	194
Tab. 68 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Anteversion passiv links – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	195
Tab. 69 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Anteversion aktiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	195
Tab. 70 Auswertung des Kruskal-Wallis-Tests für die subjektive Schmerzwahrnehmung der Anteversion passiv rechts – Eigene Darstellung, angepasst nach der IBM SPSS Statistics (Version 29) Vorlage.....	196
Tab. 71 Spearman's Rangkorrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen der subjektiven Schmerzwahrnehmung und der Bewegungsamplitude für die verschiedenen klinischen Untersuchungstechniken – Eigene Darstellung	197

9 Anhang

Übungskataloge für die Interventionsgruppen:

Gruppe Muskelkräftigung/Muskeldehnung:

Teil I - Mobilisierung:

Übung 1: Außenrotation und Retroversion

Ausgangsposition:



Endposition:

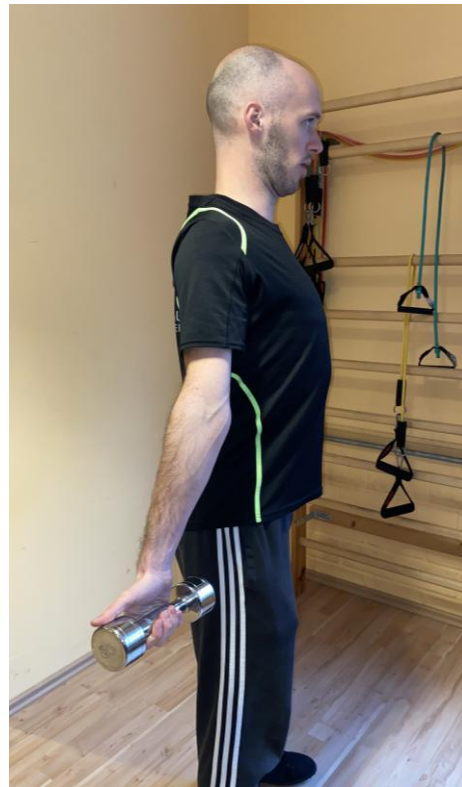


Abbildung 1 Darstellung der Interventionsgruppe Kraft- und Beweglichkeit - Außenrotation und Retroversion – Eigene Darstellung

Bei der Übung der Außenrotation mit Retraktion wird bilateral Gewicht in die Hand genommen. Es folgt eine Außenrotation in der Schulter. Die Bewegung folgt nun einer aktiven Retroversion, welche dem Bewegungstempo 2/0/2 folgt. Die Außenrotation wird in der Bewegung beibehalten.

Übung 2: Muskeldehnung der Brustmuskulatur

Ausgangsposition:



Endposition:



Abbildung 2 Darstellung der Interventionsübung Kraft- und Beweglichkeit - Muskeldehnung des Brustmuskels mit Widerstandsband – Eigene Darstellung

Ein Widerstandsband wird auf Höhe des Brustkorbes an einer Sprossenwand fixiert. Der Körper wird in einem 90° Winkel zur Sprossenwand aufgestellt. Die Füße nehmen eine etwas mehr als hüftbreite Position ein und stehen fest im Boden. Die Handinnenfläche rotiert nach oben (der Daumen zeigt nach hinten). Der Oberkörper rotiert nun weg von der Wand, während der Arm durch einen leichten Spannungsreiz in der ursprünglichen Position gehalten wird. Der innenliegende Fuß darf gerne versetzt oder auf den Zehenspitzen mit rotiert werden, um die Muskelkette weiter zu öffnen. Der Spannungsreiz wird gehalten und gegebenenfalls in der Übung weiter aufgebaut.

Teil II: Kräftigung:

Übung 3: Retraktion mit vorangegangener Außenrotation

Stufe 1:



Stufe 2:

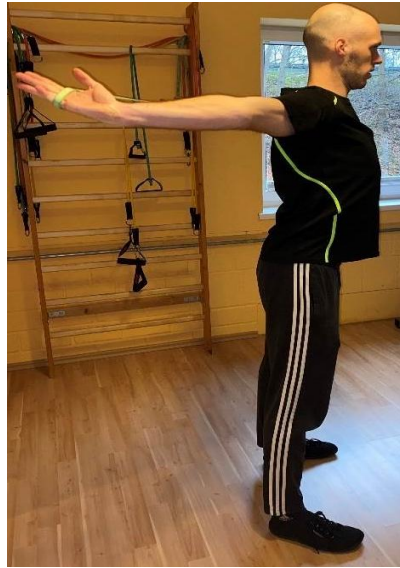


Abbildung 3 Darstellung der Interventionsübung Kraft- und Beweglichkeit - Retraktion mit vorangegangener Außenrotation – Eigene Darstellung

Ein elastisches Band wird an das obere Ende der Fingerkuppen platziert. Die Schulter wird nach unten, hinten positioniert. In einer leichten Bewegung vom Band nach hinten in gestreckter Position der Arme wird die Spannung gehalten. Die Bewegung wird in aktiver Bewegung durchgeführt.

Übung 3: Satellitenübung

Ausgangsposition:

In der Übung:

Endposition:



Abbildung 4 Darstellung der Interventionsübung Kraft- und Beweglichkeit - Satellitenübung – Eigene Darstellung

Ein Gegenstand (hier: Tennisball) wird auf der Handinnenfläche platziert. Der Ball wird aus dieser Position um die Körperachse bewegt. Die Bewegung startet mit einer Ruderbewegung bei einem 90° gebeugten Ellenbogen. Die Bewegung wird maximal ausgereizt. Am Punkt der Bewegungsgrenze folgt eine Innenrotation (siehe Bild 2 der Abbildung 4) in eine weiterführende Bewegung hinter den Körper. In der gestreckten Ellenbogenposition hinter dem Körper folgt eine Außenrotation um 180°, sodass die Handinnenfläche wieder nach oben zeigt (siehe Bild 3 der Abbildung 4). Die Bewegung endet in einer Führung des Armes, bei gestreckter Ellenbogenposition, über die Transversalebene zur Ausgangsposition auf der Brusthöhe vor dem Körper. Die Bewegung wird aktiv wiederholt.

Übung 5: Stehendes Rudern

Ausgangsposition:



Endposition:



Abbildung 5 Darstellung der Interventionsübung Kraft- und Beweglichkeit – Stehendes Rudern mit Widerstandsband – Eigene Darstellung

Ein Widerstandsband wird auf Brusthöhe vor dem Körper fixiert. Es wird ein fester Stand im Boden parallel zum Band eingenommen. Der bewegende Arm greift zum Widerstandsband und supiniert den Unterarm so weit, dass die Handinnenfläche nach oben zeigt. Das Schulterblatt wird nach dorsal, kaudal geführt und fixiert. Aus dieser fixierten Position beugt der Arm und baut Spannung auf den Schulter- und Rückenbereich auf. Die Übung wird bei einem Bewegungstempo von 1/0/3 durchgeführt. Danach wird die Seite gewechselt und der Vorgang wiederholt.

Übung 6: Außenrotation

Ausgangsposition:



Endposition:



Abbildung 6 Darstellung der Interventionsübung Kraft- und Beweglichkeit – Außenrotation – Eigene Darstellung

Das Widerstandsband wird auf Höhe des Brustkorbes an einer Sprossenwand fixiert. Der Körper wird in einem 90° Winkel zur Sprossenwand aufgestellt. Die Füße nehmen eine etwas mehr als hüftbreite Position ein und stehen fest im Boden. Der Unterarm supiniert so weit, dass die Handinnenfläche zur Körpermitte zeigt. Der Ellenbogen wird an den Körper gedrückt und während der Übung möglichst in dieser Position gehalten. Der Unterarm rotiert nach außen. Die Übung wird zwischen 8 und 15 Wiederholungen bei einem Bewegungstempo von 1/0/3 durchgeführt. Danach wird die Seite gewechselt und der Vorgang wiederholt.

Übung 7: Aufwärtsrotation bei gebeugter 90° Stellung des Ellenbogengelenkes Ausgangsposition:

Ausgangsposition:



Endposition:



Abbildung 7 Darstellung der Interventionsübung Kraft- und Beweglichkeit – Aufwärtsrotation bei 90° Stellung des Ellenbogengelenkes – Eigene Darstellung

Ein Widerstandsband wird auf Brusthöhe fixiert. Der nun zu führende Arm greift das Band und baut etwas Abstand zum fixierten Punkt auf, um eine Grundspannung aufzubauen. Die Spannung sollte anfangs lediglich zwischen einer Belastungsskala von Stufe 4 bis 6 von 10 liegen. Der Körper wird zentral und fest im Boden aufgestellt. Aus dieser Position wird der Ellenbogen etwas von der Hüfte abgespreizt (Siehe Bild 1 der Abbildung 7). Die Handinnenfläche zeigt nach unten. Der Ellenbogen bleibt fixiert. Der Unterarm wird nun maximal nach oben rotiert. Die Bewegung wird aktiv wiederholt.

Gruppe Biokinetik:

Pectoralis Übung:



Abbildung 8 Darstellung der Interventionsübung Biokinetik – Pectoralis Übung – Eigene Darstellung

Zur Vorbereitung der Pectoralisübung wird der Patient im **Zehenstand** geschult: Der Patient befindet sich in einem bequemen Stand. Zuerst verlagert er seinen Körperschwerpunkt auf den Vorfuß, sodass die Zehen in den Boden aktiviert werden. Dies geschieht über das Nachvornebringen des Beckens. Dabei hat er das Gefühl, fast nach vorne zu fallen, die Aktivität der Zehen verhindert das aber gerade noch. Das bedeutet, dass die Zehen in die Länge und gleichzeitig in die Breite gedacht werden. Dabei spreizen sich die Zehen voneinander ab. Der Mittelfuß spannt sich hierbei wie ein Zelt nach oben und hebt vom Boden ab. Die Zehen krallen nicht und die Fersen bleiben locker in leichtem Bodenkontakt ohne Abtragung von Gewicht.

Befindet sich der Patient im Zehenstand, hebt er den Arm/die Arme seitlich ab. Ein Widerstandsband, welches an einer Sprossenwand auf Brusthöhe befestigt ist, wird in Supinationsstellung an der/den Kleinfingerkante(n) fixiert. Das Widerstandsband sollte keine zu starke Spannung haben.

Während der **Pectoralisübung** denkt sich der Patient seinen Brustkorb weit. Der Schultergürtel bleibt locker, wie auch das Gesäß und die gesamte hintere Muskelkette. Die Halswirbelsäule steht in Verlängerung der Brustwirbelsäule.

Flanke:

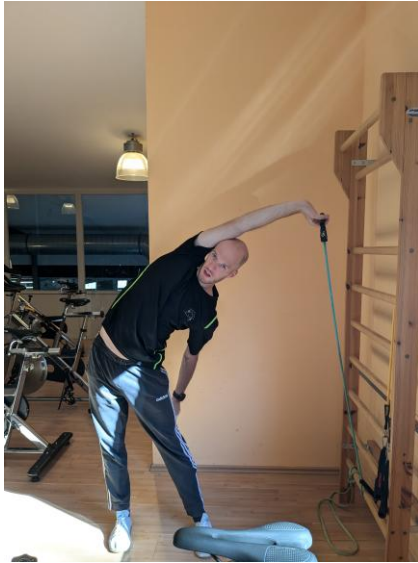


Abbildung 9 Darstellung der Interventionsübung Biokinematik – Flanke – Eigene Darstellung

Zur Vorbereitung der Flankenübung wird der Patient im **Zehenstand** geschult: Der Patient befindet sich in einem bequemen Stand. Zuerst verlagert er seinen Körperschwerpunkt auf den Vorfuß, sodass die Zehen in den Boden aktiviert werden. Dies geschieht über das Nachvornebringen des Beckens. Dabei hat er das Gefühl, fast nach vorne zu fallen, die Aktivität der Zehen verhindert das aber gerade noch. Das bedeutet, dass die Zehen in die Länge und gleichzeitig in die Breite gedacht werden. Dabei spreizen sich die Zehen voneinander ab. Der Mittelfuß spannt sich hierbei wie ein Zelt nach oben und hebt vom Boden ab. Die Zehen krallen nicht und die Fersen bleiben locker in leichtem Bodenkontakt ohne Abtragung von Gewicht.

Nun fixiert der Patient die Kleinfingerkante des abgewandten Arms an der Sprossenwand. Gedanklich schiebt er die Kleinfingerkante immer weiter unter die Sprossenwand, während das gleichseitige Becken immer weiter von der Sprossenwand wegbewegt wird. Somit denkt sich der Patient bei der **Flankenübung** immer weiter zur Seite, aber auch nach vorne weit und lang. Die Halswirbelsäule steht in Verlängerung der Brustwirbelsäule. Der Schultergürtel bleibt locker, wie auch das Gesäß und die gesamte hintere Muskelkette.

Schulteraußenrotation an der Wand:



Abbildung 10 Darstellung der Interventionsübung Biokinematik – Schulteraußenrotation an der Wand – Eigene Darstellung

Der Patient stellt sich frontal vor einer ebenen Wand auf. Durch eine Supination im Ellenbogengelenk rotiert der Patient den Arm weit nach außen, sodass die Finger gerade nach unten zeigen und gespreizt sind. Die Hand wird in dieser Position flach an die Wand gelegt. Die Position der Hand ist unterhalb des Schultergelenkes an der Wand platziert. Das Ellenbogengelenk bleibt in der Übung vollständig gestreckt. Der Patient arbeitet gegen den Widerstand der Wand im Sinne einer maximalen Flexion von Fingern und Hand, ohne mit Körper, Schulter oder Arm gegen die Wand zu schieben. Der Oberkörper darf dabei nicht seine frontale Position zur Wand verlassen. Die Spannung wird so lange gehalten, so wie der Patient maximal freiwillig bereit ist.

Normalisierung des Bewegungsausmaßes der unteren HWS

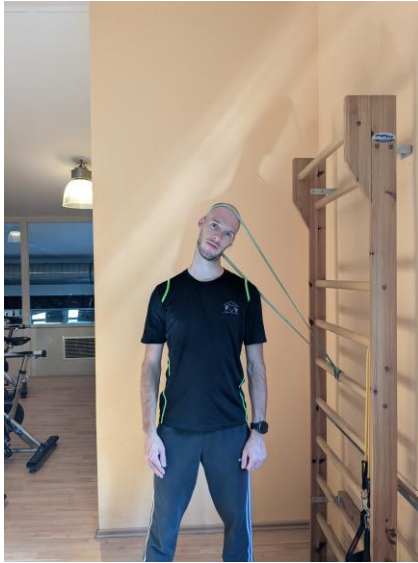


Abbildung 11 Darstellung der Interventionsübung Biokinematik – Normalisierung des Bewegungsmaßes der unteren HWS – Eigene Darstellung

Die Übung startet mit einer seitlichen Position zu einer Sprossenwand. Zur Vorbereitung der Bewegung zur Normalisierung des Bewegungsausmaßes der unteren Halswirbelsäule wird der Patient im **Zehenstand** geschult: Der Patient befindet sich in einem bequemen Stand. Zuerst verlagert er seinen Körperschwerpunkt auf den Vorfuß, sodass die Zehen in den Boden aktiviert werden. Ein Widerstandsband wird am unteren Ende einer Sprossenwand fixiert. Der Patient platziert die andere Seite des Widerstandbandes oberhalb des Ohres der gegenüberliegenden Seite, welche zur Sprossenwand steht. Die Lateralflexion der Halswirbelsäule wird in Richtung der Sprossenwand in maximal freiwillig einzuhaltender Auslängung gebracht und arbeitet aktiv in die Lateralflexion nach rechts gegen den Widerstand des Bandes. Der Schultergürtel ist locker, wie auch das Gesäß und die gesamte hintere Muskelkette. Die Dauer der Bewegung wird gemäß der Biokinematik Regeln aufrechterhalten.

Gruppe Kontrolle:

Übung 1: Inklination und Reklination der Wirbelsäule mit dem Fokus auf die Brustwirbelsäule

Ausgangsposition:



Endposition:



Abbildung 12 Darstellung der Interventionsübung Kontrollgruppe – Inklination und Reklination der Wirbelsäule mit dem Fokus auf die BWS – Eigene Darstellung

Der Patient nimmt eine sitzende Position ein. Nun wird die Halswirbelsäule und Brustwirbelsäule Wirbelabwärts maximal eingerollt, bis die maximal zu haltende Position eingenommen wird. Aus dieser Position die Wirbel aufwärts aufrollen, sodass die Wirbelsäule wieder aufrecht gehalten wird. Die Spannung wird darüber hinaus noch in die maximale Rückbeuge durchgeführt. Das Brustbein wird wie an einem Faden in Richtung Decke gezogen. Die Spannung in beiden maximalen Bewegungen für 3 Sekunden halten. Die Bewegung aktiv wiederholen

Übung 2: Lateralflexion der Halswirbelsäule

Ausgangsposition:



Endposition:



Abbildung 13 Darstellung der Interventionsgruppe Kontrollgruppe – Lateralflexion der HWS – Eigene Darstellung

Der Patient nimmt eine sitzende Position ein. Das Brustbein zieht in Richtung Decke. Die aufzudehnende Seite bewegt den Arm weit hinter den Körper und rotiert den Unterarm auf, sodass die Handinnenfläche in Richtung Decke zeigt. Das Schulterblatt wird nach dorsal, kaudal geführt und fixiert. Der Kopf neigt zur gegenüberliegenden Schulterseite. Das Kinn bleibt zentriert. Die Spannung soll im Maximum gehalten und weiterhin geöffnet werden.

Übung 3: Armschwung nach dorsal und ventral bei Außenrotation und gestreckten Ellenbogen
Ausgangsposition:



Abbildung 14 Darstellung der Interventionsübung Kontrollgruppe – Armschwung – Eigene Darstellung

Für diese Übung wird ein fester Stand eingenommen. Die Knie sind leicht gebeugt, die Füße fest im Boden. Beide Arme werden vor dem Körper, auf Brusthöhe, gehoben. Die Arme rotieren nach außen, sodass die Handinnenfläche in Richtung Decke zeigt. Der nicht zu führende Arm bleibt in dieser Position stehen. Der andere Arm wird in der gesamten Bewegungslänge über den Kopf gehoben, möglichst nahe am Ohr, und im weiteren Verlauf an der Hüfte entlang nach hinten bewegt (siehe Bild 2). Der Arm bleibt während der gesamten Bewegung nach außen rotiert. Die Hüfte bleibt in der Bewegung möglichst fest. Eine leichte Rotation des Oberkörpers ist in der Bewegung erlaubt.

Übung 4: Pendelbewegung unilateral mit Außenrotation



Abbildung 15 Darstellung der Interventionsübung Kontrollgruppe – Pendelbewegung in Außenrotation – Eigene Darstellung

Der Patient führt die Bewegung in einer stehenden Position durch. Ein Gegengewicht, welches durch die Intensität der RPE-Skala selbst bestimmt wird, wird in der Hand gehalten. Der Patient stützt die freie Hand an einer Wand ab (siehe Bild). Die Körperseite mit dem Gegengewicht führt eine Außenrotation der Schulter durch. Die Schulter führt keine Muskelarbeit in Richtung dorsal, kranial durch. Durch einen leichten Kraftimpuls beginnt der Arm mit dem Gegengewicht in Außenrotation zu bewegen. Die Pendelbewegung wird zwischen 30-60 Sekunden, je nach subjektiven Empfinden des Patienten durchgeführt.

Übung 5: Abduktion unilateral an einer Wand mit Fixpunkt durch Ball am Ursprung des M. levator Scapulae

Ausgangsposition:



Endposition:



Abbildung 16 Darstellung der Interventionsübung Kontrollgruppe – Abduktion an der Wand mit Fixpunkt durch einen Ball am Ursprung M. levator Scapulae – Eigene Darstellung

Ein Ball in der Größe eines Tennisballs wird zwischen der Wirbelsäule und dem Schulterblatt fixiert, indem zwischen Körper und Wand ein Druck auf den Punkt ausgeübt wird. Der Arm wird nach außen rotiert, sodass die Handinnenfläche nach vorne zeigt. Der Arm wird bei gestrecktem Ellenbogen in eine Abduktion geführt. Die Hand sollte möglichst weiterhin Kontakt mit der Wand beibehalten. Sollte der Wandkontakt nicht aufrechterhalten werden können, wird die Übung bis zu diesem Bewegungsausmaß begrenzt. Die Bewegung wird unilateral, aktiv wiederholt.

Übung 6: Außenrotation unilateral an einer Wand mit Fixpunkt durch Ball am Ansatz des M. pectoralis major

Ausgangsposition:



Endposition:



Abbildung 17 Darstellung der Interventionsübung Kontrollgruppe – Außenrotation an der Wand mit Fixpunkt durch Ball am Ansatz des M. pectoralis major – Eigene Darstellung

Ein Ball wird am Ansatz des M. pectoralis major fixiert. Mit dem Körper zur Wand wird der Körper mit leichtem Druck gegen eine Wand platziert. Der Kopf schaut zur gegenüberliegenden Seite. Die Schulter wird nach außen rotiert, sodass die Handinnenfläche zur Wand zeigt. Der Arm wird mit leichtem Abstand von der Hüfte bewegt. Der Unterarm proniert und supiniert maximal aktiv. Die Bewegung wird unilateral, aktiv

9.1 Anhangsverzeichnis

Abbildung 1 Darstellung der Interventionsgruppe Kraft- und Beweglichkeit - Außenrotation und Retroversion – Eigene Darstellung	244
Abbildung 2 Darstellung der Interventionsübung Kraft- und Beweglichkeit - Muskeldehnung des Brustmuskels mit Widerstandsband – Eigene Darstellung.....	245
Abbildung 3 Darstellung der Interventionsübung Kraft- und Beweglichkeit - Retraktion mit vorangegangener Außenrotation – Eigene Darstellung	246
Abbildung 4 Darstellung der Interventionsübung Kraft- und Beweglichkeit - Satellitenübung – Eigene Darstellung	247
Abbildung 5 Darstellung der Interventionsübung Kraft- und Beweglichkeit – Stehendes Rudern mit Widerstandsband – Eigene Darstellung	248
Abbildung 6 Darstellung der Interventionsübung Kraft- und Beweglichkeit – Außenrotation – Eigene Darstellung	249
Abbildung 7 Darstellung der Interventionsübung Kraft- und Beweglichkeit – Aufwärtsrotation bei 90° Stellung des Ellenbogengelenkes – Eigene Darstellung	250
Abbildung 8 Darstellung der Interventionsübung Biokinematik – Pectoralis Übung – Eigene Darstellung	251
Abbildung 9 Darstellung der Interventionsübung Biokinematik – Flanke – Eigene Darstellung	252
Abbildung 10 Darstellung der Interventionsübung Biokinematik – Schulteraußenrotation an der Wand – Eigene Darstellung	253
Abbildung 11 Darstellung der Interventionsübung Biokinematik – Normalisierung des Bewegungsmaßes der unteren HWS – Eigene Darstellung	254
Abbildung 12 Darstellung der Interventionsübung Kontrollgruppe – Inklination und Reklination der Wirbelsäule mit dem Fokus auf die BWS – Eigene Darstellung	255
Abbildung 13 Darstellung der Interventionsgruppe Kontrollgruppe – Lateralflexion der HWS – Eigene Darstellung	256

Abbildung 14 Darstellung der Interventionsübung Kontrollgruppe – Armschwung – Eigene Darstellung	257
Abbildung 15 Darstellung der Interventionsübung Kontrollgruppe – Pendelbewegung in Außenrotation – Eigene Darstellung	258
Abbildung 16 Darstellung der Interventionsübung Kontrollgruppe – Abduktion an der Wand mit Fixpunkt durch einen Ball am Ursprung M. levator Scapulae – Eigene Darstellung.....	259
Abbildung 17 Darstellung der Interventionsübung Kontrollgruppe – Außenrotation an der Wand mit Fixpunkt durch Ball am Ansatz des M. pectoralis major – Eigene Darstellung ...	260

10 Publikation / Danksagung

10.1 Publikation

Publikation noch ausstehend.

10.2 Danksagung

Im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit möchte ich mich bei einigen Personen und Unternehmen bedanken, die mich im Laufe dieser Studie unterstützt haben:

Bedanken möchte mich herzlich, bei:

- Herrn Professor Dr. Johannes Jäger für die herzliche Begleitung und Betreuung meines Promotionsprojektes. Herr Jäger war in jeglichen Zusammenhängen mit Drucksituationen in und um mein Promotionsprojekt eine sehr große Unterstützung.
- Dem Zentrum Allgemeinmedizin, besonders in Person von Prof. Dr. Fabian Dupont und Dr. Sara Volz-Willems für die Bereitstellung von inhaltlich wertvollen Seminaren und einem großartigen didaktischen Aufbau für die Bearbeitung meiner Promotion.
- Der Deutschen Hochschule für Prävention- und Gesundheitsmanagement für die Durchführung des Graduiertenprogrammes und die damit verbundene Vorbereitung auf das Promotionsprojekt. Besonders hervorheben möchte ich Prof. Dr. Julia Krampitz und Prof. Dr. Friederike Rosenberger, die in diesem Zusammenhang aus der aktiven wissenschaftlichen Forschung zwei Jahre aktuelle wissenschaftliche Herangehensweisen präsentierten und uns strukturell auf das Promotionsprojekt vorbereitet haben. Frau Prof. Dr. Julia Krampitz hat darüber hinaus einen Großteil ihrer Freizeit an Wochenenden und späten Abenden, mit stets umfangreichen Informationsquellen für die Weiterentwicklung unseres Forschungswissens beigetragen.
- Meinen Kommilitonen vom Zentrum Allgemeinmedizin und dem Graduiertenprogramm der Deutschen Hochschule für Prävention- und Gesundheitsmanagement für die konstruktiven Kritiken und den freundschaftlichen Austausch untereinander.
- Der Packi Klinik für Biokinematik, besonders in Person von Wolfgang Packi, für die kostenfreie Bereitstellung der angestellten Ärzte und Therapeuten für die Betreuung der Studienprobanden im Rahmen dieser Studie im Zeitraum vom 01.02.2023 bis zum 01.08.2023. Wolfgang Packi stellte zudem vertrauensvolle Forschungsarbeiten seines verstorbenen Vaters, Walter Packi, für die Aufarbeitung der Ergebnisse der Biokinematik zur Verfügung. In diesem Zusammenhang möchte ich auch Dr. Claus Becker danken, welcher sich die Zeit nahm mir ausführlich das Prinzip der Biokinematik vor Ort zu erläutern und auf spezifische Punkte näher-

liegend eingehen zu können. Weiterhin möchte ich auch dem gesamten Klinikpersonal für den familiären Umgang mit mir als Gast zu den Messzeitpunkten herzlich danken.

- Dem 3lifesports Meppen in Person von Hermann Lammers und Gertrud Wulf für die Bereitstellung der Messapparaturen der Sportmed AG und der Räumlichkeiten und Geräten zur kostenfreien Betreuung der Studienprobanden. In diesem Zusammenhang auch ein Dankeschön an das gesamte Team der 3life-Gruppe für die Unterstützung in der Rekrutierung, der Betreuung der Probanden in den Wartezeiträumen und dem familiären Umgang untereinander.
- Der Gemeinschaftspraxis Dr. Stefan Eilermann und Dr. Olaf Weinert, in Person von Dr. Stefan Eilermann für die Unterstützung in der Rekrutierung der Probanden. Der Praxis an der Ems in Person von Dr. Jan Sievert und Dr. Florian Wiegelmann für die Rekrutierung der Probanden. Der Orthopraxis Dr. Heissam El-Basyouni für die Rekrutierung der Probanden und den umfangreichen Austausch für die orthopädischen Grundlagen dieser Arbeit. Dr. Andreas Gries für die Rekrutierung der Studienprobanden
- Das Vertrauen meiner Probanden in meine Arbeit und der dazugehörigen Intervention über den Erhebungszeitraum der Messdaten.
- Meiner Mutter, meinem Vater und meiner Schwester und auch den weiteren Angehörigen meiner Familie für die mentale und finanzielle Unterstützung in der Zeit meiner Promotion. Auch meinem Freundeskreis bin zu tiefem Dank verpflichtet für das Verständnis und die Unterstützung.
- Auch meinen Sportvereinen, Triathlon- und Lauffreunden möchte ich für die sportliche Zeit im Rahmen meiner Promotion danken. Die gemeinsamen intensiven Trainingseinheiten waren ein fantastischer Ausgleich über den Promotionszeitraum.

Ohne Euch wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. So lasst mich an Euch ein herzliches Dankeschön aussprechen!

11 Lebenslauf