

Aus der Klinik für Kieferorthopädie
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Univ.-Prof. Dr. Jörg A. Lisson, M.Sc.

Retrospektive, anonymisierte Studie zum methodischen Vergleich von digitalen und analo- gen Modellanalysen in der Kieferorthopädie

**Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES**

2025

vorgelegt von: Tim Reinstädler

geb. am: 21.11.1997 in Saarbrücken

Tag der Promotion: 19.01.2026

Dekan: Prof. Dr. M. Hannig

1. Berichterstatter: Prof. Dr. J. A. Lisson

2. Berichterstatter: Prof. Dr. S. Wagenpfeil

***In Liebe und Dankbarkeit meiner Familie gewidmet,
die mich stets gestärkt und begleitet hat.***

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ZUSAMMENFASSUNG | 3 |
| 1.1 | Deutsche Zusammenfassung | 3 |
| 1.2 | Abstract | 4 |
| 2 | EINLEITUNG..... | 5 |
| 2.1 | Kieferorthopädische Modellanalyse | 5 |
| 2.2 | Ziel der Arbeit / Fragestellung..... | 9 |
| 3 | MATERIAL UND METHODIK | 10 |
| 3.1 | Ethikantrag | 10 |
| 3.2 | Patienten | 10 |
| 3.3 | Abformung und Modellherstellung | 10 |
| 3.4 | Modellscan | 11 |
| 3.5 | Methode | 11 |
| 4 | ERGEBNISSE | 33 |
| 4.1 | Zeitmessung..... | 33 |
| 4.2 | Zahnbreiten | 35 |
| 4.3 | Stützzonen | 59 |
| 4.4 | Frontzahnstufen | 63 |
| 4.5 | Zahnbogenbreiten | 65 |
| 4.6 | Zahnbogenlängen | 69 |
| 4.7 | Zusammenfassung der Ergebnisse | 71 |
| 5 | DISKUSSION | 73 |

| | | |
|----------|---------------------------------------|-----------|
| 5.1 | Patientenkollektiv | 73 |
| 5.2 | Material und Methode | 74 |
| 5.3 | Ergebnisse | 76 |
| 5.4 | Schlussfolgerungen | 79 |
| 6 | LITERATURVERZEICHNIS | 80 |
| 7 | PUBLIKATION / DANKSAGUNG | 84 |
| 7.1 | Publikation | 84 |
| 7.2 | Danksagung | 84 |
| 8 | LEBENS LAUF | 85 |
| 9 | ANHANG | 86 |

Zur besseren Lesbarkeit wurde in der vorliegenden Arbeit das generische Maskulinum verwendet. Alle verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich auf alle Geschlechter.

1 Zusammenfassung

1.1 Deutsche Zusammenfassung

Die nachfolgende Arbeit vergleicht die digitale Analyse kieferorthopädischer Modelle mit der analogen Modellanalyse. Die Durchführung der Untersuchungen erfolgte an Gipsmodellen von n=50 Patienten der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums des Saarlandes, wobei zwischen Modellen des Wechselgebisses und der zweiten Dentition unterschieden wurde (Wechselgebiss n=25, zweite Dentition n=25).

Es wurden verschiedene Streckenmessungen zur Erhebung der benötigten Parameter sowohl analog als auch digital durchgeführt. Als Referenz für die zu ermittelnden Werte diente der „Befundbogen für den Kursus der kieferorthopädischen Behandlung I/II“ der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums des Saarlandes. Weiterhin erfolgte eine Messung der zur Auswertung eines Modellpaares benötigten Zeit.

Die Fragestellung der vorliegenden Arbeit war, ob Unterschiede zwischen der digitalen und analogen Modellanalyse hinsichtlich der Messgenauigkeit oder der jeweiligen benötigten Zeit und Lernkurve festzustellen waren. Zudem sollte überprüft werden, ob Unterschiede zwischen den Dentitionen oder bei einzelnen Messwerten auftraten.

Die statistische Auswertung erfolgte mittels Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben. Bei der Genauigkeit der Messwerte zeigte sich ein inhomogenes Ergebnis mit teilweise signifikanten Differenzen bei einigen Parametern. Hinsichtlich der benötigten Zeit zeigt sich, dass die digitale Modellanalyse signifikant weniger Zeit in Anspruch nimmt als das analoge Vorgehen. Es war eine negativ exponentielle Abnahme der benötigten Zeit bei beiden Verfahrensweisen zu beobachten, was einer zu erwarteten Lernkurve bei einem Erstanwender entsprach.

So zeigten sich insbesondere bei Prämolaren und Frontzähnen signifikante Unterschiede bei den gemessenen Zahnbreiten. Auch die digital erhobenen Messwerte für die sagittale Frontzahnstufe waren signifikant höher als die analog erhobenen Messwerte, wobei bei der vertikalen Frontzahnstufe keine signifikanten Differenzen ermittelt werden konnten. Die analog erhobenen Messwerte der Stützzonen im Oberkiefer waren in beiden Gruppen signifikant höher als die digital erhobenen Messwerte, ebenso wie die vordere Zahnbogenbreite im Oberkiefer und die Länge des Oberkieferzahnbogens. Im Unterschied dazu waren die Messwerte der vorderen Zahnbogenbreite im Unterkiefer im digitalen Verfahren signifikant höher.

Die Ergebnisse zeigten, dass die digitale Modellanalyse verglichen mit der analogen Vorgehensweise deutlich zeiteffizienter ist und somit ein sinnvolles Instrument für den klinischen Einsatz darstellen kann. Hinsichtlich der Genauigkeit kommt es aber zu teilweise signifikanten Unterschieden, welche bei der klinischen Anwendung beachtet werden sollten.

1.2 Abstract

The following study compares the digital and analogue procedure for orthodontic cast analysis. The investigations were carried out on plaster casts of $n=50$ patients receiving orthodontic treatment at Saarland University Hospital, whereby a distinction was made between models of the mixed dentition and the permanent dentition (mixed dentition $n=25$, permanent dentition $n=25$).

Various distances were measured digitally and analogue. The 'Befundbogen für den Kursus der kieferorthopädischen Behandlung I/II' from the Saarland University Hospital served as a reference for the values to be determined. Furthermore, the required time was measured.

The aim of this study was to evaluate differences regarding accuracy of measurements, required time and learning curve, moreover differences between the dentitions or in certain measurements.

The statistical analysis was carried out using the Wilcoxon test. The accuracy of the measured values showed an inhomogeneous result with significant differences in some parameters. Regarding the required time, the digital model analysis took significantly less time than the analogue procedure. A negative exponential decrease in the time required was observed for both methods, which corresponded to the expected learning curve for a first-time user.

For example, there were significant differences in the measured tooth widths, particularly for premolars and incisors. The digital measurements for the overjet was also significantly higher than the analogue measured values, although no significant differences could be found out for the overbite. The analogue measurements of the premolar and canine region in the maxilla were significantly higher in both groups than the digital measurements, as well as the anterior dental arch width of the maxilla and the length of the maxillary dental arch. The measurements of the anterior dental arch width in the lower jaw were significantly higher when measured digitally.

The results showed that digital model analysis is significantly more time-efficient than the analogue method and can therefore be a useful tool for clinical use. However, there are some significant differences in terms of accuracy, which should be taken into account in clinical application.

2 Einleitung

2.1 Kieferorthopädische Modellanalyse

Im Rahmen der kieferorthopädischen Modellanalyse werden die Zahnbreiten, Zahnstellung, Okklusion und Kieferposition vermessen und beurteilt, um dann Rückschlüsse auf mögliche Anomalien ziehen zu können [22].

2.1.1 Anwendungsbereiche der Modellanalyse

Die Ergebnisse der kieferorthopädischen Modellanalyse sind von klinischer Relevanz. Wichtige Einsatzbereiche der kieferorthopädischen Modellanalyse liegen in der Objektivierung von Abrechnungsrichtlinien, der Forschung sowie der Lehre [33].

2.1.1.1 Klinische Anwendung der Modellanalyse

Die Modellanalyse stellt gemeinsam mit der Röntgen- und Fotoanalyse, sowie der extra- und intraoralen klinischen Untersuchung ein wichtiges diagnostisches Mittel im Bereich der Kieferorthopädie dar [1]. Mit Hilfe der Modellanalyse können Anomalien identifiziert und Behandlungsnotwendigkeiten erkannt werden [48]. Im Anschluss erfolgt auf Basis der mittels Modellanalyse ermittelten Werte eine genaue Behandlungsplanung durch den behandelnden Kieferorthopäden. Hierbei wird entschieden, welche therapeutischen Maßnahmen notwendig sind und welche kieferorthopädischen Behandlungsgeräte eingesetzt werden sollen. Während der Behandlung werden zur Verlaufskontrolle regelmäßig Modelle angefertigt und analysiert und es erfolgt bei Therapieabschluss eine finale Modellanalyse. Nach Abschluss der Therapie können mögliche Rezidive ebenfalls mit Hilfe einer Modellanalyse untersucht und klassifiziert werden [33].

Ein weiterer klinischer Anwendungsbereich liegt in der kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie [49]. Mit Hilfe der gewonnenen Parameter kann zunächst ermittelt werden, ob eine kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgische Therapie notwendig ist oder eine reine kieferorthopädische Therapie zum Erreichen des Behandlungsziels ausreicht [57]. Liegt eine Indikation zur kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie vor, so erfolgt eine enge Zusammenarbeit zwischen den behandelnden Kieferorthopäden und Mund-Kiefer-Gesichtschirurgen. Zur präzisen OP-Planung werden die Modelle analysiert und eine Zielokklusion definiert. Anhand der definierten Zielokklusion kann in Kombination mit einer entsprechenden Bildgebung eine erneute Modellanalyse durchgeführt werden, zur Klärung der Fragestellung, ob eine monognathe oder bignathe Vorgehensweise erforderlich ist. Abschließend wird eine OP-Schablone in Zielokklusion erstellt, sodass das Ergebnis der Analysen und Planungen auf den intraoperativen Situs übertragen werden kann [2].

2.1.1.2 Anwendung im Rahmen der KIG-Klassifikation

Gesetzlich versicherte Patienten haben einen rechtlichen Anspruch auf eine kieferorthopädische Behandlung, sofern eine Anomalie vorliegt, welche „*das Kauen, Beißen, Sprechen oder Atmen erheblich beeinträchtigt oder zu beeinträchtigen droht*“ [60]. Um diese Voraussetzungen und Modalitäten zur Kostenübernahme von kieferorthopädischen Behandlungen zu objektivieren, wurden in den Richtlinien des Bundesausschusses der Zahnärzte und der Krankenkassen die Anomalien und die entsprechenden Schweregrade in kieferorthopädische Indikationsgruppen (kurz: KIG) unterteilt [9,11]. Neben den klinisch und röntgenologisch erhobenen Parametern kraniofaziale Anomalie, Zahnunterzahl und Durchbruchsstörungen werden weitere wichtige Parameter mit Hilfe der kieferorthopädischen Modellanalyse ermittelt. Hierzu zählen die sagittale Stufe, die vertikale Stufe, transversale Okklusionsabweichungen, Kontaktpunktabweichungen und Abweichungen im Bereich der Stützzonen. Die Anomalien werden anhand eines vorgegebenen Schemas hinsichtlich ihrer Schwere klassifiziert und den kieferorthopädischen Indikationsgruppen zugeordnet [9,10]. Diese kieferorthopädischen Indikationsgruppen sind von eins bis fünf klassifiziert und definieren den Behandlungsbedarfsgrad.

Ergibt sich hierbei ein Behandlungsbedarfsgrad drei oder höher, so erfolgt eine Kostenübernahme einer rein konservativen kieferorthopädischen Behandlung durch die gesetzlichen Krankenkassen [11], sofern die Behandlung vor dem 18. Lebensjahr begonnen wird. Im Erwachsenenalter ist nur eine kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgische Therapie zu Lasten der gesetzlichen Krankenkassen möglich. Somit stellt die Modellanalyse ein wichtiges diagnostisches Mittel zur Einordnung der Anomalien in Relation zu den Bestimmungen der gesetzlichen Krankenkassen dar.

2.1.1.3 Anwendung zu wissenschaftlichen Zwecken

Die kieferorthopädische Modellanalyse kann auch zur Datenerhebung bei wissenschaftlichen Fragestellungen genutzt werden. Als Beispiel hierfür ist die Sechste Deutsche Mundgesundheitsstudie zu nennen (kurz: DMS • 6). Zu den erhobenen Befunddaten gehörte neben einem klinisch-kieferorthopädischen Befund und mehreren Mundhygiene- und Plaqueindizes auch die kieferorthopädische Modellanalyse. Hierzu wurden bei allen Studienteilnehmenden Intraoralscans durchgeführt, an welchen im Anschluss eine digitale-kieferorthopädische Modellanalyse durchgeführt worden ist [31,32]. Die hierdurch gewonnenen Daten wurden in die KIG-Klassifikation und den ICON eingeordnet [32]. Der Index of Complexity Outcome and Need (kurz: ICON) betrachtet ebenfalls verschiedene Parameter der Modellanalyse und klassifiziert diese nach dem Schweregrad mit einer entsprechenden Punktzahl.

Anhand der finalen Punktschme kann sowohl eine Aussage zur Notwendigkeit einer Behandlung, als auch zur Behandlungskomplexität getroffen werden [18]. Er stellt gemeinsam mit der KIG-Klassifikation einen suffizienten Index zur klinischen und wissenschaftlichen Beurteilung dar, wobei der ICON im internationalen Vergleich deutlich häufiger Anwendung findet als die deutsche KIG-Klassifikation [34].

2.1.1.4 Anwendung in der Lehre

In der studentischen Ausbildung stellt das Erlernen der Kenntnisse zur Durchführung und Interpretation einer kieferorthopädischen Modellanalyse einen wichtigen Teil im klinischen Studienabschnitt dar. Gemäß der alten Approbationsordnung wurde im Prüfungsbereich Kieferorthopädie des zahnärztlichen Staatsexamens die Anfertigung eines schriftlichen Berichtes über einen Krankheitsfall gefordert [12]. Mit der Neuauflage der Approbationsordnung aus dem Jahr 2019 entfällt dieser obligatorische Punkt [13].

2.1.2 Durchführung der kieferorthopädischen Modellanalyse

2.1.2.1 Betrachtungsebenen

Die Beschreibung der in der Modellanalyse ermittelten Befunde erfolgt in drei Bezugsebenen, welche eine dreidimensionale Differenzierung ermöglichen. Hierbei handelt es sich um die Raphe-Median-Ebene, die Tuberebene und die Okklusionsebene [29].

Die Raphe-Median-Ebene dient zur Beschreibung von transversalen Abweichungen und wird durch zwei definierte Referenzpunkte beschrieben. Der erste Referenzpunkt ist der Schnittpunkt der Raphe palatina media mit dem zweiten Gaumenfaltenpaar. Als zweiter Punkt dient die Spina nasalis posterior im Bereich des Übergangs vom harten zum weichen Gaumen [29,54].

In der Tuberebene werden die sagittalen Anomalien beschrieben. Sie verläuft durch die Tubera des Oberkiefers und steht senkrecht zur Raphe-Median-Ebene [29,54].

Die Okklusionsebene verläuft sowohl zur Raphe-Median-Ebene als auch zur Tuberebene senkrecht und stellt die Anomalien in vertikaler Ebene dar [29,54].

2.1.2.2 Analoge Modellanalyse

Die analoge Modellanalyse stellte über viele Jahre hinweg den Goldstandard dar. Hierbei werden zunächst die Kiefer des Patienten konventionell abgeformt. Als Abformmaterial wurde in der Regel Alginat verwendet. Alternativ kamen Silikone, Polyäther, Dentalgips oder Agar-Agar zur Anwendung. Die Abformung wurde desinfiziert und es wurde ein Gipsmodell aus Hartgips hergestellt. Dieser Gips weist eine hohe Härte, sowie gute Fließfähigkeit bei gleichzeitig geringer Expansion auf. Das angefertigte Gipsmodell wurde gesockelt und es erfolgte ein dreidimensionales Trimmen des Modells. Zudem erfolgte eine Registrierung der Okklusion, um die beiden Gipsmodelle eindeutig zueinander zuzuordnen [22].

Die Gipsmodelle werden dann vermessen und die Ergebnisse anhand von Mittelwerten und Literaturwerten verglichen [22]. Diese Auswertung erfolgt nach einem vom Behandler festgelegten Schema und mittels verschiedener Indizes [22,29,54]. Zur Messung können sowohl Messschieber, als auch spezielle Diagnostikbestecke wie beispielsweise nach Korkhaus verwendet werden [29]. Das Diagnostikbesteck nach Korkhaus setzt sich aus einem Orthometer, einem Stechzirkel mit Messschablone, einer Zentimetermessscheibe und einer Millimetermessscheibe zusammen [22]. In Zusammenschau der erhobenen Daten können dann die vorliegenden Anomalien und Mittelwerte ermittelt werden.

Diese Vorgehensweise liefert dem Behandler eine zuverlässige und präzise Möglichkeit zur Erhebung der benötigten diagnostischen Parameter [23].

2.1.2.3 Digitale Modellanalyse

Die digitale Modellanalyse kann auf drei verschiedene Arten erfolgen. Zum einen können Gipsmodelle, welche mittels einer konventionellen Abformung hergestellt wurden, eingescannt werden. Der Scan wird mittels eines Modellscanners durchgeführt, in welchem das Gipsmodell platziert wird und der Scanner im Anschluss mit einer Hochleistungskamera das Modell erfasst und einen digitalen Datensatz erstellt [19,36].

Eine andere Möglichkeit ist das Verfahren mittels Abformungsscan. Hierbei entfällt die Herstellung eines Gipsmodells und es erfolgt ein direkter Scan der konventionellen Abformung mit einem speziellen Scanner. Der erfasste Bereich wird mittels Software zu einem digitalen Datensatz verarbeitet [19].

Als dritte Möglichkeit ist der Intraoralscan zu nennen. Hierbei werden mit einem speziellen Intraoralscanner im Mund der Oberkiefer, der Unterkiefer und die Okklusion gescannt. Die gewonnenen Daten können direkt als digitales Modell betrachtet werden.

Die digitale Modellanalyse wird schließlich mit spezieller Software durchgeführt. Zentrales Element bei der digitalen Modellanalyse ist die Definition von Referenzpunkten, mit Hilfe derer die Berechnung der gewünschten Strecken und Parameter automatisch durchgeführt werden kann. Die Definition der Referenzpunkte erfolgt meist manuell durch den Behandelnden, wobei immer häufiger unterstützende Funktionen mit artifizieller Intelligenz in den Softwares integriert werden, sodass eine halb- bis vollautomatische Auswertung durch die Softwares möglich wird.

2.2 Ziel der Arbeit / Fragestellung

Es gilt zu klären, ob sich bei der digitalen kieferorthopädischen Modellanalyse Vorteile gegenüber der analogen Verfahrensweise nachweisen lassen. Berücksichtigt wird hierbei insbesondere der Zeitaufwand für die Modellanalysen, die Lernkurve bei Erstanwendern, sowie mögliche Abweichungen bei den Ergebnissen. Die Daten werden retrospektiv anhand bereits angefertigter diagnostischer Modelle erfasst und beurteilt. Es wird unterschieden zwischen Modellen des Wechselgebisses und Modellen der zweiten Dentition. Die Auswertung erfolgte durch einen Erstanwender.

3 Material und Methodik

3.1 Ethikantrag

Vor Durchführung der Studie wurde ein Ethikantrag (Kennnummer: 99/21) bei der Ärztekammer des Saarlandes gestellt. Dieser wurde durch die Ärztekammer des Saarlandes genehmigt.

3.2 Patienten

Die Datenerhebung erfolgte anhand von Patienten der Klinik für Kieferorthopädie im Universitätsklinikum des Saarlandes. Insgesamt wurden die Daten von n=50 Patienten ausgewertet, die in n=25 Patienten mit vollständiger zweiter Dentition, sowie n=25 Patienten im Wechselgebiss unterteilt wurden. Somit erfolgte eine Unterteilung in folgende zwei Gruppen:

- Gruppe 1 = Patienten im Wechselgebiss
- Gruppe 2 = Patienten mit zweiter Dentition

Eine Differenzierung zwischen den Geschlechtern oder des tatsächlichen Patientenalters zum Zeitpunkt der Untersuchung wurde nicht vorgenommen. Weiterhin wurden in die Gruppe des Wechselgebisses sowohl Patienten in der frühen Phase des Wechselgebisses, wie auch Patientin in der späten Phase des Wechselgebisses eingeschlossen. Das Vorliegen von Gipsmodellen des Ober- und Unterkiefers mit einem entsprechenden Bissregistrator aus Wachs waren Voraussetzung für die Aufnahme in die Studie. Weitere diagnostische Maßnahmen am Patienten waren für die Durchführung nicht notwendig.

3.3 Abformung und Modellherstellung

Zur Modellherstellung wurden die Patienten mit Alginat (Kaniblu®[®], Kaniedenta GmbH & Co. KG, Herford, Deutschland) abgeformt. Zur späteren Übertragung der Okklusion auf das Modellpaar, wurde zusätzlich eine einfache Bissregistrierung durchgeführt. Diese erfolgte in Form eines Quetschbisses. Hierzu wird Plattenwachs (Bissnahmewachs weich, Pluradent GmbH & Co. KG, Frankfurt, Deutschland) auf die Kaufläche des Patienten aufgebracht. Der Patient wird im Anschluss aufgefordert den Mund zu schließen um in die Schlussbisslage zu gelangen. Zur Vermeidung möglicher Deviationen durch beispielsweise Protrusions- oder Laterotrusionsbewegungen des Patienten, ist eine händische Führung des Patienten durch den Behandler bei der Bissnahme erfolgt.

Die Alginatabformungen wurden nach abschließender Desinfektion mit Typ III-Hartgips (Hinzritzt®[®], Ernst Hinrichs, Goslar, Deutschland) ausgegossen und gesockelt und anschließend dreidimensional getrimmt.

3.4 Modellscan

Zur Anfertigung der digitalen Modelle wurde zunächst ein Scan der vorhandenen Gipsmodelle durchgeführt. Hierzu wurde ein Modellscanner (orthoX® 3D-Modellscanner, Dentauro, Ispringen, Deutschland) genutzt. Die Modelle wurden hierfür in einem Modellhalter fixiert und im Scanner montiert. Es erfolgte jeweils ein einzelner Scan des Ober-, sowie Unterkiefers und im Anschluss ein Scan des Modellpaares mit eingebrachtem Quetschbissregistrator. Die Scan-datei wurde im Anschluss in das Programm Onyx Ceph® 3TM (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland) importiert und auf mögliche Fehler beim Scanvorgang oder der automatischen Korrektur überprüft. Abschließend erfolgte die digital-zentrische Ausrichtung der Modelle für die spätere Vermessung im Programm.

3.5 Methode

3.5.1 Analoge Modellanalyse

Die analoge Modellanalyse wurde nach den Vorgaben des Homburger Studentenkurses von Univ.-Prof. Dr. Jörg Lisson, Msc. durchgeführt. Verwendet wurde ein orthodontisches Besteck nach Korkhaus [22], welches sich aus einem Messzirkel, zwei Symmetroskopscheiben und einem Orthometer zusammensetzt. Zusätzlich wurde ein analoger Messschieber »Münchner Modell®« (Dentauro, Ispringen, Deutschland), sowie ein Taschenrechner (Modell fx-991DE Plus, Casio, Japan) verwendet. Die Zeitmessung erfolgte mit einem Smartphone (iPhone XR, Apple Inc., Kalifornien, USA). Zur einheitlichen Dokumentation der erhobenen Daten, wurde der Teil „Modellanalyse I“ und „Modellanalyse II“ des „Befundbogen für den Kursus der kieferorthopädischen Behandlung I/II“ der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums des Saarlandes genutzt. Die Kategorien Anamnese, Befund OPT, sowie extraoraler Befund sind ohne Relevanz für die Fragestellung der Arbeit, weshalb diese Punkte bei der Bearbeitung des Befundbogens übersprungen wurden.

Im Selbstversuch wurden die Modelle vermessen und analysiert. Die Messergebnisse wurden dann handschriftlich dokumentiert.

3.5.1.1 Zeitmessung

Ermittelt wurde die zeitliche Dauer zur vollständigen Erhebung der benötigten Daten für die Punkte „Modellanalyse I“ und „Modellanalyse II“ des „Befundbogen für den Kursus der kieferorthopädischen Behandlung I/II“ der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums des Saarlandes.

Hierzu stoppte der Erstanwender im Selbstversuch die Zeit und dokumentierte diese im Format „Minuten:Sekunden“. Es wurden abwechselnd Modelle aus Patientengruppe 1 und 2 ausgewertet.

3.5.1.2 Analoge Modellanalyse – Zahnbreiten

Ermittelt wurden die Zahnbreiten in mesio-distaler Richtung aller vorhandenen Zähne. Hierzu wurde bei Molaren der zweiten Dentition, sowie bei Prämolaren die Strecke zwischen der distalen Randleiste und der mesialen Randleiste vermessen. Bei Inzisiven und Eckzähnen wurde unter Berücksichtigung des Zahnäquators die mesio-distale Strecke an den Punkten mit der größtmöglichen Strecke gemessen. Genutzt wurde hierfür der Messschieber, welche eine genaue Ermittlung der Distanz ermöglichte. Für die Messung und Dokumentation wurde die Einheit Millimeter (mm) mit einer Nachkommastelle herangezogen. Sofern bei den Modellen Zähne der ersten Dentition vorhanden waren, wurden diese bei der Messung nicht berücksichtigt und in das entsprechende Feld der Wert „X“ eingetragen. Die Messwerte wurden jeweils so auf- bzw. abgerundet, dass der nächstmögliche Wert im Bereich von 0,5mm Schritten erreicht wird. Die erhobenen Werte wurden entsprechend der nachfolgenden Tabelle benannt.

| Wert | Definition |
|-------|--|
| ZB-16 | Abstand distale Randleiste bis mesiale Randleiste an Zahn 16 |
| ZB-15 | Abstand distale Randleiste bis mesiale Randleiste an Zahn 15 |
| ZB-14 | Abstand distale Randleiste bis mesiale Randleiste an Zahn 14 |
| ZB-13 | Mesio-distaler Abstand mit größtmöglicher Strecke an Zahn 13 |
| ZB-12 | Mesio-distaler Abstand mit größtmöglicher Strecke an Zahn 12 |
| ZB-11 | Mesio-distaler Abstand mit größtmöglicher Strecke an Zahn 11 |
| ZB-21 | Mesio-distaler Abstand mit größtmöglicher Strecke an Zahn 21 |
| ZB-22 | Mesio-distaler Abstand mit größtmöglicher Strecke an Zahn 22 |
| ZB-23 | Mesio-distaler Abstand mit größtmöglicher Strecke an Zahn 23 |
| ZB-24 | Abstand distale Randleiste bis mesiale Randleiste an Zahn 24 |
| ZB-25 | Abstand distale Randleiste bis mesiale Randleiste an Zahn 25 |
| ZB-26 | Abstand distale Randleiste bis mesiale Randleiste an Zahn 26 |
| ZB-36 | Abstand distale Randleiste bis mesiale Randleiste an Zahn 36 |
| ZB-35 | Abstand distale Randleiste bis mesiale Randleiste an Zahn 35 |

| | |
|-------|--|
| ZB-34 | Abstand distale Randleiste bis mesiale Randleiste an Zahn 34 |
| ZB-33 | Mesio-distaler Abstand mit größtmöglicher Strecke an Zahn 33 |
| ZB-32 | Mesio-distaler Abstand mit größtmöglicher Strecke an Zahn 32 |
| ZB-31 | Mesio-distaler Abstand mit größtmöglicher Strecke an Zahn 31 |
| ZB-41 | Mesio-distaler Abstand mit größtmöglicher Strecke an Zahn 41 |
| ZB-42 | Mesio-distaler Abstand mit größtmöglicher Strecke an Zahn 42 |
| ZB-43 | Mesio-distaler Abstand mit größtmöglicher Strecke an Zahn 43 |
| ZB-44 | Abstand distale Randleiste bis mesiale Randleiste an Zahn 44 |
| ZB-45 | Abstand distale Randleiste bis mesiale Randleiste an Zahn 45 |
| ZB-46 | Abstand distale Randleiste bis mesiale Randleiste an Zahn 46 |

Tab. 1: Übersicht über die analogen Zahnbreitenmessungen

3.5.1.3 Analoge Modellanalyse – Summe der Zahnbreiten der Oberkieferinzisiven (SIOK)

Der Wert „SIOK“ beschreibt die Summe der Zahnbreiten der Oberkieferinzisiven. Hierzu wurden die im vorherigen Schritt ermittelten Zahnbreiten der Zähne 12, 11, 21, 22 addiert. Liegt der Fall vor, dass benötigte Zahnbreiten nicht ermittelt werden konnten oder an der entsprechenden Position noch ein Zahn der ersten Dentition vorhanden war, so wurde an dieser Stelle der Wert durch 0 ersetzt und die Berechnung mit den übrigen Zähnen fortgeführt. Die Einheit der Messwerte ist Millimeter (mm) und es erfolgte keine erneute Rundung.

3.5.1.4 Analoge Modellanalyse – Summe der Zahnbreiten der Unterkieferinzisiven (SIUK)

Die Bestimmung des Wertes „SIUK“ erfolgte durch die Addition der Messerwerte der Zahnbreiten der Zähne 32, 31, 41, 42. Analog zum Vorgehen bei der Summe der Zahnbreiten der Oberkieferinzisiven wurden fehlende Zähne oder Zähne der ersten Dentition durch den Wert 0 ersetzt und die Berechnung ausschließlich mit den vorhandenen Zähnen der zweiten Dentition vorgenommen. Als Einheit wurde Millimeter (mm) genutzt und es erfolgte keine Rundung des errechneten Wertes.

3.5.1.5 Analoge Modellanalyse – Sollwert der Summe der Zahnbreiten der Oberkieferinzisiven (SIOK-Soll)

Berechnet wurde der Sollwert der Summe der Zahnbreiten der Oberkieferinzisiven anhand des vorliegenden Wertes aus der Summe der Zahnbreiten der Unterkieferinzisiven (SIUK). Hierzu wurde die Tonn'sche Formel herangezogen. Die Einheit Millimeter wird übernommen und es erfolgte keine Rundung des Wertes.

$$SIOK - Soll = SIUK \times \frac{4}{3} + 0,5$$

3.5.1.6 Analoge Modellanalyse – Tonn'scher Index

Der Tonn'sche Index setzt die Summe der Zahnbogenbreiten der Ober- und Unterkieferinzisiven in Relation, wodurch Rückschlüsse auf einen möglichen Überschuss oder Mangel an Platz im Ober- oder Unterkieferfrontzahnbereich gezogen werden können. Die Berechnung des Tonn'schen Index erfolgte durch folgende Formel:

$$\frac{SIUK}{SIOK} \times 100$$

Als erwartete Indexzahl wurde in der Literatur der Wert 0,74 definiert. Entspricht der errechnete Wert der Indexzahl, so liegt kein Missverhältnis an Zahnmaterial im Ober- und Unterkiefer vor. Ist der errechnete Wert größer als 0,74, so ist anzunehmen, dass ein Überschuss der Zahnbreiten der Unterkieferinzisiven vorliegt. Liegt der errechnete Wert unter 0,74, liegt ein Überschuss der Zahnbreiten der Oberkieferinzisiven vor. Die Indexzahl wurde ohne Einheit erfasst und es erfolgte keine Rundung des Wertes [52].

3.5.1.7 Analoge Modellanalyse – Bolton-Index

Durch die Bestimmung des Bolton-Index kann eine Aussage zu möglichen Diskrepanzen der Zahnbreiten im Ober- und Unterkiefer getroffen werden. Man unterscheidet zwei Formen des Bolton-Index, welche bestimmt werden können. Bei der ersten Variante, dem so genannten „kleinen Bolton-Index“, erfolgte die Betrachtung der Zähne 13 bis 23 im Oberkiefer, sowie der Zähne 33 bis 43 im Unterkiefer. Die zweite Variante, der so genannte „große Bolton-Index“, beurteilte die Zähne 16 bis 26 im Oberkiefer, sowie die Zähne 36 bis 46 im Unterkiefer. Die notwendige Voraussetzung zur Berechnung der Indizes ist das Vorhandensein aller im Index erfassten Zähne. Fehlen ein oder mehrere Zähne zur Berechnung oder sind noch Zähne der ersten Dentition an einer betroffenen Position vorhanden, so ist eine Berechnung des Bolton-Index nicht möglich. In diesem Fall wurde ein X in den Befundbogen eingetragen und mit der weiteren Analyse fortgefahren.

Zur Berechnung der ersten Variante wurden die gemessenen Zahnbreiten der Zähne 13 bis 23 addiert und die Summe notiert. Der errechnete Wert wurde als „OK3-3“ bezeichnet. Analog hierzu wurde im Unterkiefer mit den Zähnen 33 bis 43 verfahren und der Wert wurde mit „UK3-3“ bezeichnet. Die Index-Berechnung erfolgte mit Hilfe folgender Formel:

$$\frac{UK3 - 3}{OK3 - 3} \times 100$$

Als Sollwert für den Index wird in der Literatur der Wert 77,2% mit einer Toleranz von $\pm 2,6\%$ beschrieben [4]. Ist der errechnete Wert größer als der beschriebene Index, so ist davon auszugehen, dass ein Überschuss an Zahnmaterial im Unterkiefer vorliegt. Liegt der errechnete Wert unter der beschriebenen Indexzahl, so liegt ein Überschuss an Zahnmaterial im Oberkiefer vor.

Bei der Berechnung der zweiten Variante, wurden die Zahnbreiten der Zähne 16 bis 26 addiert und der ermittelte Wert als „OK6-6“ bezeichnet. Die Summe der Zahnbreiten der Zähne 36 bis 46 wird als „UK6-6“ bezeichnet. Die Indexberechnung erfolgte mit der Formel:

$$\frac{UK6 - 6}{OK6 - 6} \times 100$$

Die in der Literatur beschriebene Indexzahl liegt bei dieser Variante bei 91,3% mit einer Toleranz von $\pm 1,9\%$ [4]. Analog zur ersten Variante, zeigt ein erhöhter Wert einen Überschuss an Zahnmaterial im Unterkiefer und ein erniedrigter Wert einen Überschuss an Zahnmaterial im Oberkiefer an.

Zur Ermittlung der konkreten Diskrepanz im entsprechenden Kiefer wurde die auf dem Befundbogen abgebildete Tabelle genutzt. Mit den jeweils gemessenen Werten „UK3-3“ bzw. „UK6-6“ wurde der korrelierende Wert im Oberkiefer in der Tabelle abgelesen. War der konkrete Wert nicht in der Tabelle aufgelistet, so wurde eine Rundung vorgenommen und der nächstgrößere oder nächstkleinere Wert in der Tabelle gewählt. Der abgelesene Werte wurde als „OK3-3soll“ bzw. „OK6-6soll“ bezeichnet. Zur Berechnung der Differenz wurde der Wert „OK3-3soll“ vom Wert „OK3-3“ subtrahiert. Analog wurde mit „OK6-6“ verfahren, von dem „OK6-6soll“ subtrahiert wird. Die errechnete Differenz wurde auf dem Befundbogen notiert. Ist die errechnete Differenz null, so liegen die Zahnbreiten „im Mittel“. Ist die errechnete Differenz größer als null, so ist im Befundbogen „zu breit“ im Bereich des Oberkiefers und „zu schmal“ im Bereich des Unterkiefers einzutragen. Liegt die errechnete Differenz unter null, so ist im Befundbogen „zu schmal“ im Bereich des Oberkiefers und „zu breit“ im Bereich des Unterkiefers einzutragen.

3.5.1.8 Analoge Modellanalyse – Zahnstellungsanomalien in Relation zur Tuberebene

Durch den Betrachter wurde bei diesem Punkt untersucht, ob Anomalien der Zahnstellung in der sagittalen Ebene vorliegen. Hierbei kann es sich um folgende Anomalien handeln:

- Protrusion (im Frontzahnbereich)
- Retrusion (im Frontzahnbereich)
- Labialstand (im Frontzahnbereich)
- Lingualstand (im Frontzahnbereich)
- Palatinalstand (im Frontzahnbereich)
- Mesiotorsion (im Front- und Seitenzahnbereich)
- Distotorsion (im Front- und Seitenzahnbereich)
- Mesialkipfung (im Seitenzahnbereich)
- Distalkipfung (im Seitenzahnbereich)
- Aufwanderung (im Seitenzahnbereich)
- Abwanderung (im Seitenzahnbereich)
- Sagittalstand eines Unterkiefereckzahnes oder beider Unterkiefereckzähne der zweiten Dentition

Bei Vorliegen einer Anomalie wurde diese im Feld „Zahnstellungsanomalie sagittal“ notiert, wobei im Befundbogen zwischen Ober- und Unterkiefer differenziert wird.

3.5.1.9 Analoge Modellanalyse – Zahnstellungsanomalien in Relation zur Raphe-Median-Ebene

Der Fokus der Betrachtung dieses Punktes liegt bei der Untersuchung möglicher Anomalien der Zahnstellung in der transversalen Ebene. Folgende Anomalien können in der transversalen Ebene vorliegen:

- Trema (im Frontzahnbereich)
- Diastema (im Frontzahnbereich)
- Mesialkipfung (im Frontzahnbereich)
- Distalkipfung (im Frontzahnbereich)
- Primärer Frontzahnengstand (im Frontzahnbereich)
- Sekundärer Frontzahnengstand (im Frontzahnbereich)
- Bukkalstand (im Seitenzahnbereich)
- Palatinalstand (im Seitenzahnbereich)

- Lingualstand (im Seitenzahnbereich)
- Anteriore Zahnbogenweite (im Seitenzahnbereich)
- Posteriore Zahnbogenweite (im Seitenzahnbereich)
- Anteriore Zahnbogenenge (im Seitenzahnbereich)
- Posteriore Zahnbogenenge (im Seitenzahnbereich)
- Außenstand eines Oberkiefereckzahnes oder beider Oberkiefereckzähne der zweiten Dentition

Die Anomalien wurden im Feld „Zahnstellungsanomalien transversal“ notiert. Es erfolgte auch hier eine Unterscheidung zwischen Ober- und Unterkiefer.

3.5.1.10 Analoge Modellanalyse – Zahnstellungsanomalien in Relation zur Okklusionsbene

Betrachtet wurde, ob eine Infra- oder Supraposition vorliegt. Es erfolgte auch hier eine Differenzierung zwischen Ober- und Unterkiefer, sowie zwischen Front- und Seitenzahnbereich.

3.5.1.11 Analoge Modellanalyse – Länge des Oberkieferzahnbogens (LO)

Die Länge des Oberkieferzahnbogens (LO) wurde als Lotstrecke ermittelt. Hier wurde zunächst eine Hilfslinie mittels Geodreieck gebildet. Bei der Linie handelte es sich um die Verbindungslinie zwischen den beiden tiefsten Fissurenpunkten der ersten Prämolaren des Oberkiefers. Waren die Prämolaren noch nicht vorhanden, so wurden die distalen Grübchen der ersten Molaren der ersten Dentition als Referenzpunkt herangezogen. Ausgehend von der labialsten Fläche eines mittleren Schneidezahns wurde dann das Lot zur Verbindungslinie gefällt und die Lotstrecke ermittelt. Die ermittelte Lotstrecke entspricht der Länge des Oberkieferzahnbogens (in mm) und wurde als Ist-Wert bei LO im Befundbogen eingetragen.

Der korrespondierende Mittelwert (LOMW) wurde durch den gemessenen Wert „SIOK“ in der auf dem Befundbogen abgedruckten Tabelle nach Pont sowie Linder und Harth [39,54] abgelesen. Der abgelesene Mittelwert wurde als Mittelwert bei LO im Befundbogen notiert und es erfolgte die Bestimmung der Differenz durch Subtraktion des Mittelwertes vom Ist-Wert.

3.5.1.12 Analoge Modellanalyse – Länge des Unterkieferzahnbogens (LU)

Auch die Berechnung der Länge des Unterkieferzahnbogens (LU) erfolgte als Bestimmung einer Lotstrecke. Durch Bildung einer Verbindungslinie zwischen den Kontaktpunkten der beiden Prämolaren im dritten sowie vierten Quadranten konnte auch hier ein Lot von der labialsten Fläche des mittleren Schneidezahnes zur Verbindungslinie gefällt werden. Bei Fehlen eines oder mehrerer Prämolaren, wurde der distobukkale Höcker des ersten Unterkiefermolaren der ersten Dentition als Referenzpunkt genutzt. Die ermittelte Lotstrecke entspricht der Länge des Unterkieferzahnbogens (in mm). Die Bestimmung des Mittelwertes (LUMW) erfolgt durch folgende Formel:

$$LUMW = (LOMV) - 2mm$$

Der Wert LOMV wurde wie zuvor aus der Tabelle nach Pont sowie Linder und Harth [39,54] abgelesen. Es wurde die Differenz zwischen Ist-Wert und Mittelwert gebildet und im Befundbogen notiert.

3.5.1.13 Analoge Modellanalyse – Stützzonen im Oberkiefer und Unterkiefer

Zur Ermittlung der Stützzonen wurde eine Streckenmessung mittels Messschieber durchgeführt. Als Referenzpunkte dienten der distalste Punkt des seitlichen Schneidezahns sowie der mesialste Punkt des ersten Molaren. Die Strecke zwischen diesen Punkten wird gemessen und als Ist-Wert (in mm) eingetragen. Es erfolgte eine Unterscheidung zwischen der rechten und der linken Kieferhälfte, sowie zwischen Ober- und Unterkiefer.

Die Ermittlung des Mittelwertes der Stützzone unterscheidet sich in der Vorgehensweise zwischen dem Wechselgebiss und der zweiten Dentition. In der zweiten Dentition wurde der Mittelwert durch die Addition der Zahnbreiten des Eckzahnes, sowie der beiden Prämolaren ermittelt. Im Wechselgebiss wurde der Wert aus der Tabelle nach Moyers abgelesen [40]. Hierzu wurde der ermittelte Wert SIUK (in mm) herangezogen und die korrespondierende Werte aus der Tabelle ermittelt. Die Mittelwerte wurden im Feld „MW“ im Befundbogen notiert. Es erfolgte die Berechnung der Differenz zwischen Ist-Wert und Mittelwert.

3.5.1.14 Analoge Modellanalyse – Anteriore Zahnbogenbreite im Oberkiefer (aZbbOK)

Die Ermittlung der anterioren Zahnbogenbreite im Oberkiefer (aZbbOK) erfolgte als Streckenmessung. Die Referenzpunkte im Gebiss der zweiten Dentition liegen in der Mitte der Hauptfissur der ersten Prämolaren. Im Wechselgebiss wurden als Referenzpunkte die distalen Grübchen der ersten Molaren der ersten Dentition genutzt. Die Strecke zwischen den Referenzpunkten stellt die anteriore Zahnbogenbreite im Oberkiefer (in mm) dar und wurde als Ist-Wert im Befundbogen notiert. Der Mittelwert wurde aus der Tabelle nach Pont sowie Linder und Harth abgelesen [39,54]. Hierzu entnimmt man den zum ermittelten Wert „SIOK“ korrelierenden Wert „4-4“ und trägt diesen in das Feld „MW ein“. Die Differenz zwischen Ist-Wert und Mittelwert wurde ebenfalls im Befundbogen erfasst.

3.5.1.15 Analoge Modellanalyse – Posteriore Zahnbogenbreite im Oberkiefer (pZbbOK)

Auch die Ermittlung der posterioren Zahnbogenbreite im Oberkiefer (pZbbOK) erfolgte als Streckenmessung. Hierbei wurde die Strecke zwischen dem tiefsten Punkt der Hauptfissur der ersten Molaren (in mm) gemessen. Nach Ablesen des Mittelwertes (MW) aus der Tabelle nach Pont sowie Linder und Harth, wurde dieser im Befundbogen notiert und die Differenz berechnet [39,54].

3.5.1.16 Analoge Modellanalyse – Anteriore Zahnbogenbreite im Unterkiefer (aZbbUK)

Die Messung der anterioren Zahnbogenbreite im Unterkiefer (aZbbUK) erfolgte durch Streckenmessung zwischen den beiden distalen Kontaktpunkten der ersten Prämolaren im Gebiss der zweiten Dentition (in mm). Im Wechselgebiss liegen die Referenzpunkte auf den distobukkalen Höcker der ersten Molaren der ersten Dentition. Die Differenz zwischen Ist-Wert und Mittelwert wurde nach Ablesen des Mittelwertes (MW) aus der Tabelle nach Pont sowie Linder und Harth berechnet [39,54].

3.5.1.17 Analoge Modellanalyse – Posteriore Zahnbogenbreite im Unterkiefer (pZbbUK)

Die Messung der posterioren Zahnbogenbreite im Unterkiefer (pZbbUK) erfolgte durch Streckenmessung zwischen den beiden distobukkalen Höckern der ersten Molaren im Unterkiefer (in mm), falls dieser im Modell vier Höcker aufwies. Lag hingegen ein Molar mit fünf Höckern

vor, so wurde der mittlere bukkale Höcker als Referenzpunkt herangezogen und der gemessene Wert als Ist-Wert notiert. Ebenfalls erfolgte die Berechnung der Differenz aus Mittelwert (MW) und Ist-Wert.

3.5.1.18 Mittellinienüberwanderung im Oberkiefer

Untersucht wurde, ob eine Wanderung eines Schneidezahnes des Oberkiefers über die Raphe-Median-Linie stattgefunden hat. Die Raphe-Median-Linie verläuft analog zur Sutura palatina media. Gebildet wurde die Hilfslinie durch zwei Punkte. Der erste Punkt liegt mittig des zweiten Gaumenfaltenpaares und der zweite Punkt ist der Übergang des harten zum weichen Gaumen. Bei Vorliegen einer Überwanderung wurde angegeben, ob die Überwanderung nach rechts oder links stattgefunden hat. Weiterhin erfolgte eine Messung der Überwanderungstrecke (in mm).

3.5.1.19 Mittellinienüberwanderung im Unterkiefer

Als Referenzstruktur für die Ermittlung einer Zahnbogenmitte im Unterkiefer dient das Lippenbändchen. Es wurde untersucht, ob eine Überwanderung der Mittellinie im Unterkiefer vorliegt und falls ja, um wieviel (in mm) diese nach rechts oder links abweicht.

3.5.1.20 Arch Length Discrepancy (ALD)

Die Bestimmung der Arch Length Discrepancy (ALD) erfolgte sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer. Durch Streckenmessungen zwischen verschiedenen Referenzpunkten (Tabelle 2) konnte eine Längensumme der Kieferbasis bestimmt werden. Die notwendigen Referenzpunkte im Oberkiefer waren folgende:

| | |
|--------------------|--|
| Punkt A Oberkiefer | Mesialster Punkt des Zahnes 16 |
| Punkt B Oberkiefer | Distalster Punkt des Zahnes 12 |
| Punkt C Oberkiefer | Schnittpunkt des Oberkieferzahnbogens mit der Raphe-Median-Linie |
| Punkt D Oberkiefer | Distalster Punkt des Zahnes 22 |
| Punkt E Oberkiefer | Mesialster Punkt des Zahnes 26 |

Tab. 2: Referenzpunkte der Streckenmessungen für die ALD im Oberkiefer

Im Unterkiefer wurden die Referenzpunkte wie folgt definiert:

| | |
|---------------------|---|
| Punkt A Unterkiefer | Mesialster Punkt des Zahnes 46 |
| Punkt B Unterkiefer | Distalster Punkt des Zahnes 42 |
| Punkt C Unterkiefer | Approximaler Kontaktpunkt der Zähne 31 und 41 |
| Punkt D Unterkiefer | Distalster Punkt des Zahnes 32 |
| Punkt E Unterkiefer | Mesialster Punkt des Zahnes 36 |

Tab. 3: Referenzpunkte der Streckenmessungen für die ALD im Unterkiefer

Sowohl im Ober- als im Unterkiefer wurden nun Streckenmessungen durchgeführt, die Länge in Millimeter (mm) ermittelt und in den entsprechenden Feldern im Befundbogen notiert. Bei den Streckenmessungen handelte es sich um folgende Strecken:

- Punkt A bis Punkt B
- Punkt B bis Punkt C
- Punkt C bis Punkt D
- Punkt D bis Punkt E

Nach Addition der Streckenlängen wurde der Wert als Ist-Wert (A-E ist) notiert. Der zugehörige Sollwert wurde im Oberkiefer als „15-25 soll“ und im Unterkiefer als „35-45 soll“ bezeichnet. Die Berechnung des Sollwertes im Oberkiefer erfolgte durch Addition von SIOK, dem Sollwert der rechten Stützzone des Oberkiefers, sowie dem Sollwert der linken Stützzone des Oberkiefers. Analog hierzu erfolgte die Berechnung des Sollwertes im Unterkiefer durch die Addition von SIUK, dem Sollwert der rechten Stützzone des Unterkiefers, sowie dem Sollwert der linken Stützzone des Unterkiefers. Abschließend erfolgte die Berechnung der ALD durch Subtraktion des Sollwertes vom Ist-Wert.

3.5.1.21 Sagittale Frontzahnstufe

Das Modellpaar wurde in Okklusion betrachtet. Die Streckenmessung zur Ermittlung der sagittalen Frontzahnstufe (in mm) erfolgte zwischen dem labialsten Punkt des am weitesten anterior stehenden Unterkieferinzisiven und dem labialsten Punkt des korrespondierenden Oberkieferinzisiven.

3.5.1.22 Falsche Verzahnung

Es erfolgte die Beurteilung der Schneidezähne des Ober- und Unterkiefers in Okklusion. Physiologisch befinden sich die Schneidezähne des Oberkiefers labial der Schneidezähne des Unterkiefers. Ergab das Modellpaar, dass ein Schneidezahn des Unterkiefers labial des Schneidezahns des Oberkiefers stand, so wurde der entsprechende Zahn im Befundbogen als „falsche Verzahnung“ notiert.

3.5.1.23 Okklusion in der sagittalen Ebene

Betrachtet wurden die Modelle in Okklusion seitenweise links und rechts anterior und posterior. Zum einen okkludiert der Oberkiefer Eckzahn mit dem Approximalraum zwischen Unterkiefer Eckzahn und erstem Prämolaren bzw. dem ersten Molaren der ersten Dentition. Zum anderen ist der zweite Referenzpunkt bei Neutralokklusion als Okklusion zwischen dem mesiobukkalen Höcker des ersten oberen Molaren und der vestibulären Einziehung zwischen dem mesiobukkalen und dem mittleren vestibulären Höcker des ersten Molaren im Unterkiefer definiert.

Okkludierten die definierten Zähne des Oberkiefers weiter anterior, so lag eine Distalokklusion (kurz: d) vor. Okkludierten sie weiter posterior, so lag eine Mesialokklusion (kurz: m) vor. Das Ausmaß der Abweichung wurde in Prämolarenbreiten (kurz: PB) angegeben. Eine Prämolarenbreite entsprach ungefähr 7 mm und die Abweichung der Okklusion wurde in folgenden Schritten angegeben:

- Abweichung kleiner einer halben Prämolarenbreite (kurz: < 0,5 PB)
- Abweichung von einer halben Prämolarenbreite (kurz: 0,5 PB)
- Abweichung kleiner einer Prämolarenbreite (kurz: < 1 PB)
- Abweichung größer einer Prämolarenbreite (kurz: > 1 PB)

Das Ausmaß und die Art der Abweichungen wurden mit Hilfe der o.g. Abkürzungen als Ist-Wert in die Tabelle im Befundbogen eingetragen.

Konnte hingegen keine Abweichung festgestellt werden, so lag eine Neutralokklusion vor und in die Felder des Befundbogens wurde „0“ als Ist-Wert eingetragen.

Der Soll-Wert wurde ermittelt, indem eine Rekonstruktion der Okklusion vorgenommen wurde. Eine Rekonstruktion wurde immer dann vorgenommen werden, wenn eine Zahnstellungsanomalie im Front- und/oder Seitenzahnbereich vorlag, die zur Wanderung von Zähnen geführt hat. Es wurde rekonstruiert, wenn Mittellinienüberwanderungen vorlagen. Außerdem wurde rekonstruiert, wenn durch einen frühzeitigen Verlust eines Zahnes der ersten Dentition eine

Aufwanderung des ersten Molaren der zweiten Dentition stattgefunden hat oder eine Mesialrotation des ersten Molaren der zweiten Dentition vorlag. Die Zahnstellungsanomalien wurden rückgeführt und die daraus entstandene Okklusion ermittelt. Die Abweichungen wurden ebenfalls in Prämolarenbreiten angegeben und im Befundbogen notiert.

3.5.1.24 Kreuzbissbeziehungen

Zur Feststellung von Kreuzbissbeziehungen wurde das Modellpaar in der transversalen Ebene betrachtet. Eine transversale Neutralokklusion liegt dann vor, wenn die palatinalen Höcker der Oberkieferseitenzähne mit den Zentralfissuren der Unterkieferseitenzähne okkludieren. Wurden Abweichungen von der transversalen Neutralokklusion festgestellt, so wurde die betroffenen Zähne im Befundbogen notiert.

3.5.1.25 Fehlende Zahnbogenmittenübereinstimmung

Untersucht wurde bei diesem Punkt, ob die Zahnbogenmitte im Oberkiefer kongruent zu der Zahnbogenmitte im Unterkiefer war. Betrachtet wurden die Modelle auch hier in Okklusion. Lag eine Inkongruenz vor, so wurde Strecke der Abweichung (in mm) gemessen und im Befundbogen notiert.

3.5.1.26 Fehlende Kiefermittenübereinstimmung

Waren die Ober- und Unterkiefermitte bei Betrachtung des Modellpaares in Okklusion nicht abweichend, so lag eine fehlende Kiefermittenübereinstimmung vor. Anhand der Modelle wurde zunächst bestimmt, ob es sich um eine maxilläre Laterognathie oder eine mandibuläre Laterognathie handelte. Lag eine mandibuläre Laterognathie vor, so erfolgte die Bestimmung, ob es sich hierbei um eine Unterkiefer-Versetzung oder eine Unterkiefer-Schwenkung handelte. Hierzu wurde zunächst überprüft, ob Zahnstellungsanomalien in der Sagittalen vorlagen. War dies der Fall, so wurde die Okklusion unter Berücksichtigung der Zahnstellungsanomalien rekonstruiert. Verglichen wurde dann, ob die Okklusion in der sagittalen Ebene seitengleich war. Lagen im Seitenvergleich Abweichungen vor, so konnte eine Unterkiefer-Schwenkung vorliegen. War die Okklusion hingegen seitengleich, so lag eine Unterkiefer-Versetzung vor. Abschließend wurde die Richtung der Unterkiefer-Versetzung oder Unterkiefer-Schwenkung bestimmt und im Befundbogen notiert.

3.5.1.27 Vertikale Frontzahnstufe

Zur Ermittlung der vertikalen Frontzahnstufe wurde das Modellpaar erneut in Okklusion betrachtet. Es erfolgte eine vertikale Streckenmessung (in mm) zwischen den Inzisalkanten der Schneidezähne des Ober- und Unterkiefers. Das Ergebnis wurde im Befundbogen notiert.

3.5.1.28 Schleimhautkontakt

Im Rahmen der Vermessung der vertikalen Frontzahnstufe wurde überprüft, ob es in Okklusion zu einem Kontakt zwischen den Inzisalkanten der Schneidezähne des Unterkiefers und der palatinalen Gingiva kam. Lag ein solcher Schleimhautkontakt vor und waren zusätzlich palatinale Impressionen im Sinne eines Traumas zu erkennen, so wurde der Schleimhautkontakt als „traumatisch“ klassifiziert und im Befundbogen notiert.

3.5.2 Digitale Modellanalyse

3.5.2.1 Software

Die digitale Modellanalyse wurde mit dem Programm Onyx Ceph® 3TM (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland) durchgeführt. Die zuvor mit dem 3D-Modellscanner (orthoX®, Dentauro GmbH & Co. KG, Ispringen, Deutschland) gescannten Modellpaare wurden importiert und es wurde das Modul „Auswertung 3D“ der Software verwendet. Es wurde die Analyse „Homburg ´20“ gewählt.

3.5.2.2 Definition der Messpunkte

Im ersten Schritt wurden die Messpunkte manuell gesetzt. Die Messpunkte waren wie folgt definiert und in den Abbildungen 1-3 dargestellt:

| Bezeichnung | Beschreibung |
|-------------|--|
| 16d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 16 |
| P16B | Schnittpunkt der Querrissur mit nach bukkal auslaufender Fissur 16 |
| 16mb | Mesiobukkaler Höcker 16 |
| 16mB | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 16 |
| hSZro | Hinterer Punkt der rechten oberen Stützzone |
| 15d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 15 |
| 15b | Bukkaler Höcker 15 |
| 15m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 15 |
| 14d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 14 |
| 14b | Bukkaler Höcker 14 |
| P14 | Mitte der Hauptfissur 14 |
| 14m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 14 |

| | |
|-------|---|
| 13d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 13 |
| 13H | Höcker 13 |
| 13m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 13 |
| 12d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 12 |
| vSZro | Vorderer Punkt der rechten oberen Stützzone |
| 12l | Schneidekante 12 |
| 12m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 12 |
| L12 | Labialster Punkt 12 |
| 11d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 11 |
| 11l | Schneidekante 11 |
| 11m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 11 |
| L11 | Labialster Punkt 11 |
| 21m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 21 |
| 21l | Schneidekante 21 |
| 21d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 21 |
| L21 | Labialster Punkt 21 |
| 22m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 22 |
| 22l | Schneidekante 22 |
| 22d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 22 |
| vSZlo | Vorderer Punkt der linken oberen Stützzone |
| L22 | Labialster Punkt 22 |
| 23m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 23 |
| 23H | Höcker 23 |
| 23d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 23 |
| 24m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 24 |
| 24b | Bukkaler Höcker 24 |
| P24 | Mitte der Hauptfissur 24 |

| | |
|-------|--|
| 24d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 24 |
| 25m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 25 |
| 25b | Bukkaler Höcker 25 |
| 25d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 25 |
| hSZlo | Hinterer Punkt der linken oberen Stützzone |
| 26mB | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 26 |
| 26mb | Mesiobukkaler Höcker 26 |
| P26B | Schnittpunkt der Querrissur mit nach bukkal auslaufender Fissur 26 |
| 26d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 26 |
| RME1 | Abgang des zweiten Gaumenfaltenpaares aus der Rahphe palatina |
| RME2 | Übergang zwischen hartem und weichem Gaumen |
| 36d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 36 |
| P36B | Mittlere (bei Zahn mit fünf Höckern) oder distobukkale (bei Zahn mit vier Höckern) Höckerspitze 36 |
| 36bF | Querrissur auf bukkaler Randleiste 36 |
| 36mb | Mesiobukkaler Höcker 36 |
| 36mB | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 36 |
| hSZlu | Hinterer Punkt der linken unteren Stützzone |
| 35d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 35 |
| 35b | Bukkaler Höcker 35 |
| 35m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 35 |
| 34d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 34 |
| 34b | Bukkaler Höcker 34 |
| 34m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 34 |
| P34 | Vestibulärer distaler Kontaktpunkt der ersten linken unteren Prämolaren |
| 33d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 33 |
| 33H | Höcker 33 |

| | |
|-------|--|
| 33m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 33 |
| 32d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 32 |
| vSZlu | Vorderer Punkt der linken unteren Stützzone |
| 32l | Schneidekante 32 |
| 32m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 32 |
| L32 | Labialster Punkt 32 |
| 31d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 31 |
| 31l | Schneidekante 31 |
| 31m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 31 |
| L31 | Labialster Punkt 31 |
| 41m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 41 |
| 41l | Schneidekante 41 |
| 41d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 41 |
| L41 | Labialster Punkt 41 |
| 42m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 42 |
| 42l | Schneidekante 42 |
| 42d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 42 |
| vSZru | Vorderer Punkt der rechten unteren Stützzone |
| L42 | Labialster Punkt 42 |
| 43m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 43 |
| 43H | Höcker 43 |
| 43d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 43 |
| 44m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 44 |
| 44b | Bukkaler Höcker 44 |
| 44d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 44 |
| P44 | Vestibulärer distaler Kontaktpunkt der ersten rechten unteren Prämolaren |

| | |
|-------|--|
| 45m | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 45 |
| 45b | Bukkaler Höcker 45 |
| 45d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 45 |
| hSZru | Hinterer Punkt der rechten unteren Stützzone |
| 46mB | Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 46 |
| 46mb | Mesiobukkaler Höcker 46 |
| 46bF | Querfissur auf bukkaler Randleiste |
| P46B | Mittlere (bei Zahn mit fünf Höckern) oder distobukkale (bei Zahn mit vier Höckern) Höckerspitze 46 |
| 46d | Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers 46 |
| 16mp | Mesiopalatinaler Höcker des 16 |
| 26mp | Mesiopalatinaler Höcker des 26 |
| 36F | Schnittpunkt der Längsfissur mit der nach lingual ziehenden Querfissur 36 |
| 46F | Schnittpunkt der Längsfissur mit der nach lingual ziehenden Querfissur 46 |

Tab. 4: Referenzpunkte der Analyse Homburg 20



Abb. 1: Darstellung der definierten Referenzpunkte im Ober- und Unterkiefer

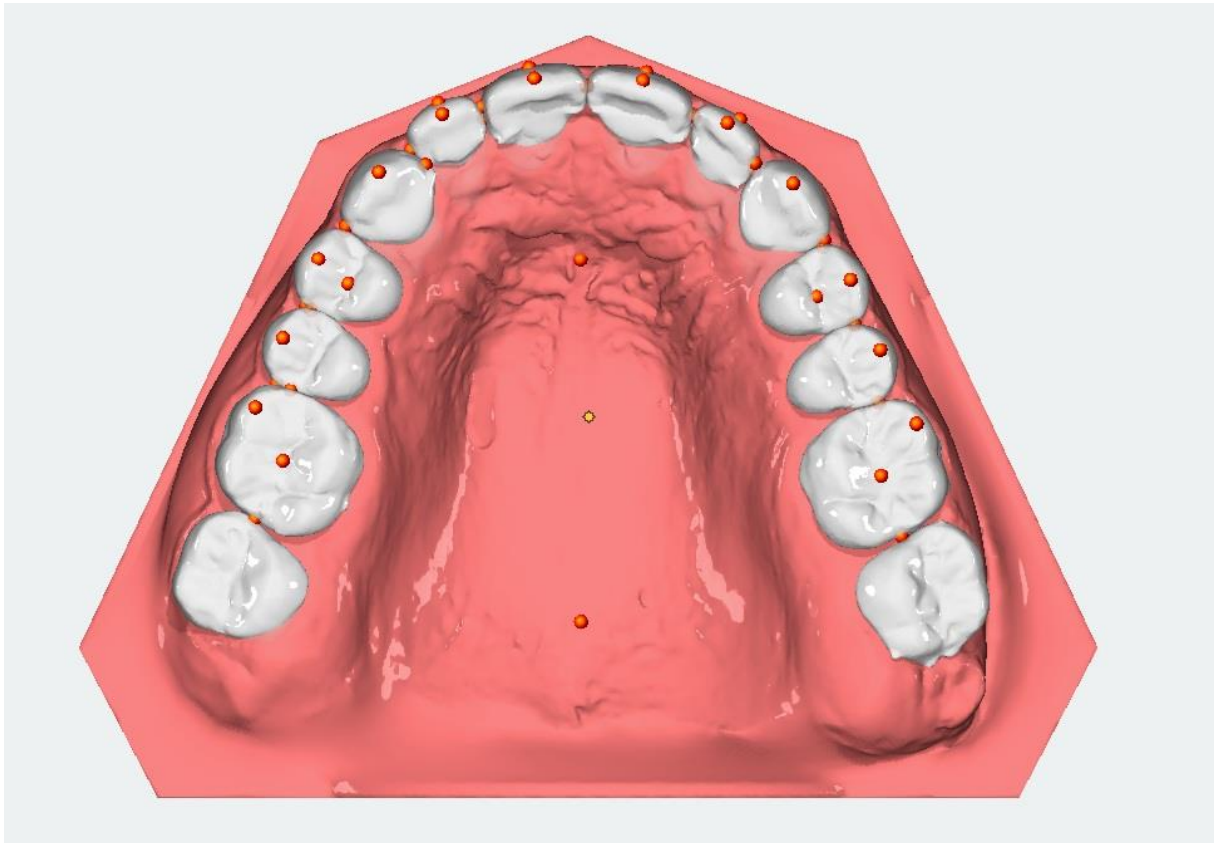


Abb. 2: Darstellung der definierten Referenzpunkte im Oberkiefer

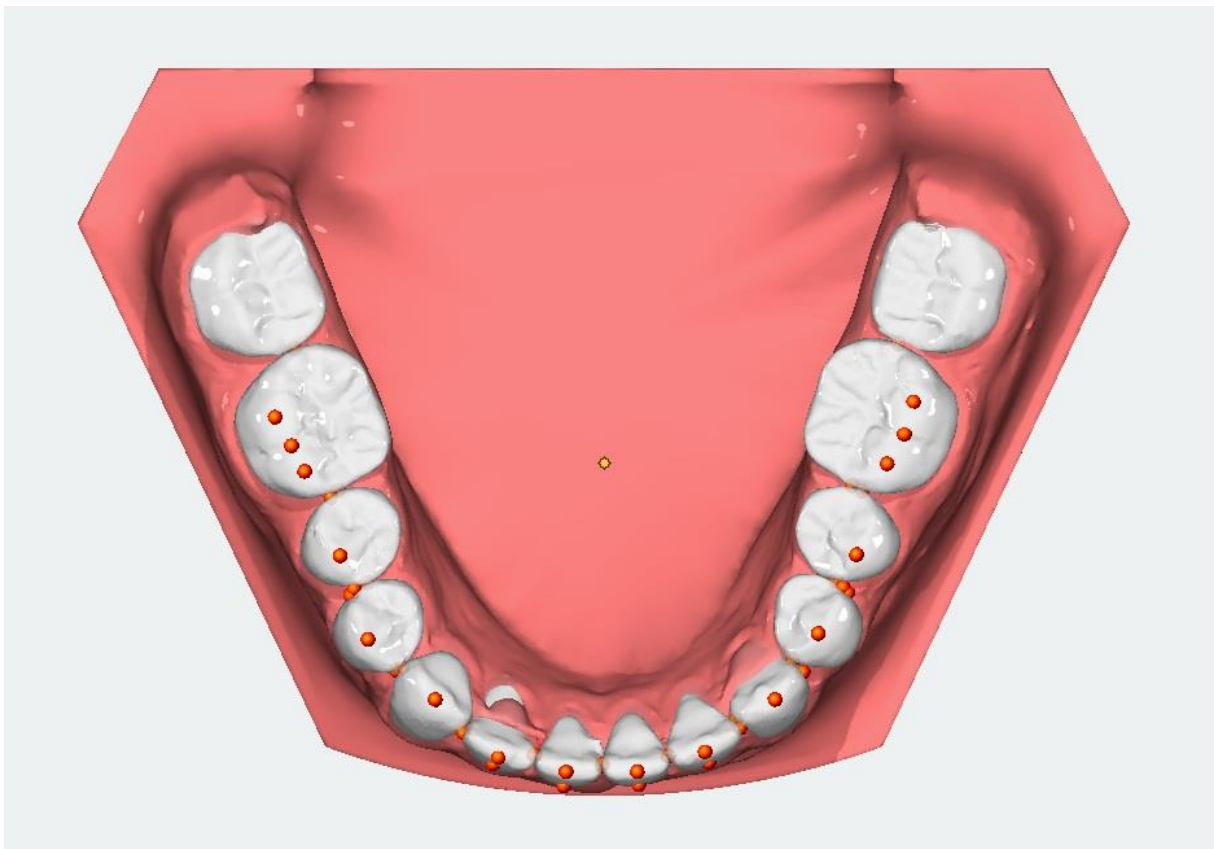


Abb. 3: Darstellung der definierten Referenzpunkte im Unterkiefer

3.5.2.3 Berechnung der Analyseparameter

Die Software berechnet anhand zuvor definierter Formeln und mit Hilfe der durch den Anwender definierten Referenzpunkte die gewünschten Analyseparameter. Diese werden nach vollständigem Setzen der Referenzpunkte in der Software angezeigt. Die Analyseparameter wurden wie folgt definiert:

| Bezeichnung | Beschreibung |
|-------------|---|
| 16 | Zahnbreite 16. Berechnete Distanz zwischen Punkt 16d und 16mB |
| 15 | Zahnbreite 15. Berechnete Distanz zwischen Punkt 15d und 15m |
| 14 | Zahnbreite 14. Berechnete Distanz zwischen Punkt 14d und 14m |
| 13 | Zahnbreite 13. Berechnete Distanz zwischen Punkt 13d und 13m |
| 12 | Zahnbreite 12. Berechnete Distanz zwischen Punkt 12d und 12m |
| 11 | Zahnbreite 11. Berechnete Distanz zwischen Punkt 11d und 11m |
| 21 | Zahnbreite 21. Berechnete Distanz zwischen Punkt 21d und 21m |
| 22 | Zahnbreite 22. Berechnete Distanz zwischen Punkt 22d und 22m |
| 23 | Zahnbreite 23. Berechnete Distanz zwischen Punkt 23d und 23m |
| 24 | Zahnbreite 24. Berechnete Distanz zwischen Punkt 24d und 24m |
| 25 | Zahnbreite 25. Berechnete Distanz zwischen Punkt 25d und 25m |
| 26 | Zahnbreite 26. Berechnete Distanz zwischen Punkt 26d und 26mB |
| 36 | Zahnbreite 36. Berechnete Distanz zwischen Punkt 36d und 36mB |
| 35 | Zahnbreite 35. Berechnete Distanz zwischen Punkt 35d und 35m |
| 34 | Zahnbreite 34. Berechnete Distanz zwischen Punkt 34d und 34m |
| 33 | Zahnbreite 33. Berechnete Distanz zwischen Punkt 33d und 33m |
| 32 | Zahnbreite 32. Berechnete Distanz zwischen Punkt 32d und 32m |
| 31 | Zahnbreite 31. Berechnete Distanz zwischen Punkt 31d und 31m |
| 41 | Zahnbreite 41. Berechnete Distanz zwischen Punkt 41d und 41m |
| 42 | Zahnbreite 42. Berechnete Distanz zwischen Punkt 42d und 42m |
| 43 | Zahnbreite 43. Berechnete Distanz zwischen Punkt 43d und 43m |
| 44 | Zahnbreite 44. Berechnete Distanz zwischen Punkt 44d und 44m |

| | |
|----------------|---|
| 45 | Zahnbreite 45. Berechnete Distanz zwischen Punkt 45d und 45m |
| 46 | Zahnbreite 46. Berechnete Distanz zwischen Punkt 46d und 46mB |
| SZro | Stützzone Oberkiefer rechts. Berechnete Distanz zwischen den Punkten hSZro und vSZro |
| SZlo | Stützzone Oberkiefer links. Berechnete Distanz zwischen den Punkten hSZlo und vSZlo |
| SZru | Stützzone Unterkiefer rechts. Berechnete Distanz zwischen den Punkten hSZru und vSZru |
| SZlu | Stützzone Unterkiefer links. Berechnete Distanz zwischen den Punkten hSZlu und vSZlu |
| Sag.-FZ-Stufe | Sagittale Frontzahnstufe. Größter Wert der berechneten Distanzen zwischen den Punktpaaren L11 und L41, L12 und L42, L21 und L31, sowie L22 und L32. |
| Vert.-FZ-Stufe | Vertikale Frontzahnstufe. Größter Wert der berechneten Distanzen zwischen den Punktpaaren 11I und 41I, 12I und 42I, 21I und 31I, sowie 22I und 32I. |
| LO | Länge des Oberkieferzahnbogens. Berechnete Distanz zwischen dem Mittelpunkt der Strecke zwischen P14 und P24 und dem Mittelpunkt der Strecke zwischen 11m und 21m. |
| LU | Länge des Unterkieferzahnbogens. Berechnete Distanz zwischen dem Mittelpunkt der Strecke zwischen P34 und P44 und dem Mittelpunkt der Strecke zwischen 31m und 41m. |
| vZBBo | Vordere Zahnbogenbreite im Oberkiefer. Berechnete Distanz zwischen den Punkten P14 und P24. |
| hZBBo | Hintere Zahnbogenbreite im Oberkiefer. Berechnete Distanz zwischen den Punkten P16B und P26B. |
| vZBBu | Vordere Zahnbogenbreite im Unterkiefer. Berechnete Distanz zwischen den Punkten P34 und P44. |
| hZBBu | Hintere Zahnbogenbreite im Unterkiefer. Berechnete Distanz zwischen den Punkten P36B und P46B. |

Tab. 5: Berechnungen der Parameter in der Analyse Homburg 20

3.5.3 Statistische Analyse

Die statistische Analyse wurde digital durchgeführt. Zunächst erfolgte eine Übertragung der analog erhobenen Messwerte und Daten in eine Tabelle in Excel® (Microsoft Corporation, Washington, USA). Die digital erhobenen Daten wurden aus der Analysesoftware Onyx Ceph® 3TM (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland) exportiert und ebenfalls in Excel eingefügt. Die Analyse der Daten erfolgte in der Software SPSS® Statistics Version 29 (IBM® Corporation, Armonk, USA). Zur Berechnung der statistischen Unterschiede und der entsprechenden Signifikanz wurde der Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben verwendet, da keine Normalverteilung vorlag.

Das Signifikanzniveau war wie folgt definiert:

$p \geq 0,05$ nicht signifikant

$p < 0,05$ signifikant

$p < 0,01$ hochsignifikant

$p < 0,001$ höchstsignifikant

4 Ergebnisse

4.1 Zeitmessung

4.1.1 Vergleich Zeitmessung

Die benötigte Zeit für die Modellanalyse in der Gruppe 1 war bei der analogen Verfahrensweise mit dem Mittelwert 22:37 Minuten \pm 7:46 Minuten signifikant höher ($p < 0,05$) als bei der digitalen Modellanalyse mit dem Mittelwert 6:48 Minuten \pm 2:33 Minuten. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 4 dargestellt.



Abb. 4: Ergebnisse der Zeitmessung in Gruppe 1 in Minuten

Die benötigte Zeit für die Modellanalyse in der Gruppe 2 war bei der analogen Verfahrensweise mit dem Mittelwert 24:30 Minuten \pm 6:51 Minuten signifikant höher ($p < 0,05$) als bei der digitalen Modellanalyse mit dem Mittelwert 7:02 Minuten \pm 1:50 Minuten. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 5 dargestellt.



Abb. 5: Ergebnisse der Zeitmessung in Gruppe 2 in Minuten

4.1.2 Entwicklung der benötigten Zeit

Es zeigt sich eine negativ exponentielle Abnahme der benötigten Zeit in Gruppe 1 bei beiden Verfahrensweisen, welche dann in eine Plateauphase übergeht. Die Plateauphase wird bei der digitalen Vorgehensweise ab der vierten und bei der analogen Vorgehensweise ab der sechsten Wiederholung erreicht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6 dargestellt.

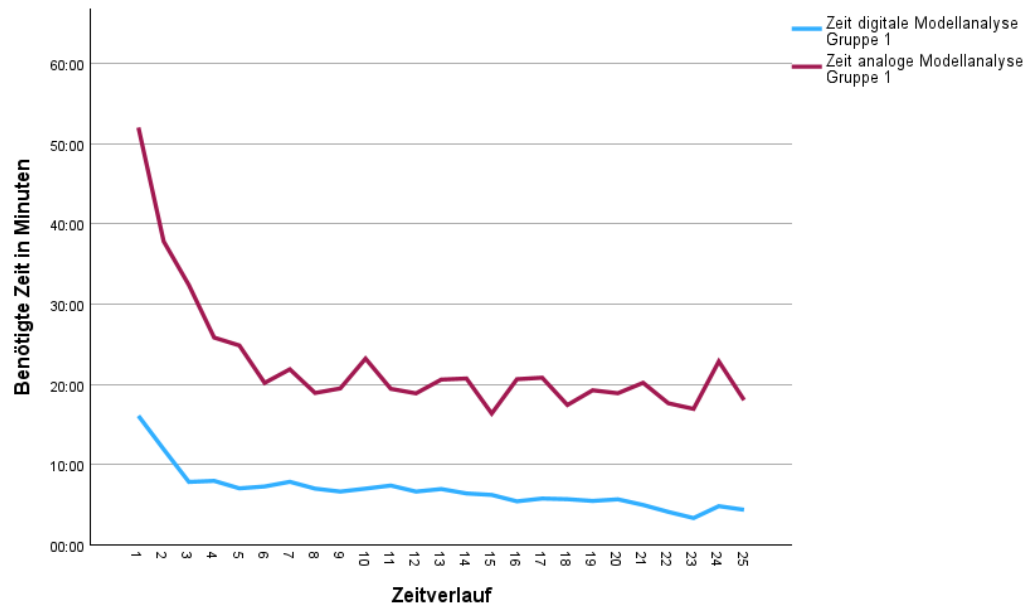


Abb. 6: Ergebnisse der Zeitentwicklung in Gruppe 1 in Minuten

Es zeigt sich eine negativ exponentielle Abnahme der benötigten Zeit in Gruppe 2 bei beiden Verfahrensweisen, welche dann in eine Plateauphase übergeht. Die Plateauphase wird bei der digitalen Vorgehensweise ab der vierten und bei der analogen Vorgehensweise ab der achten Wiederholung erreicht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 7 dargestellt.

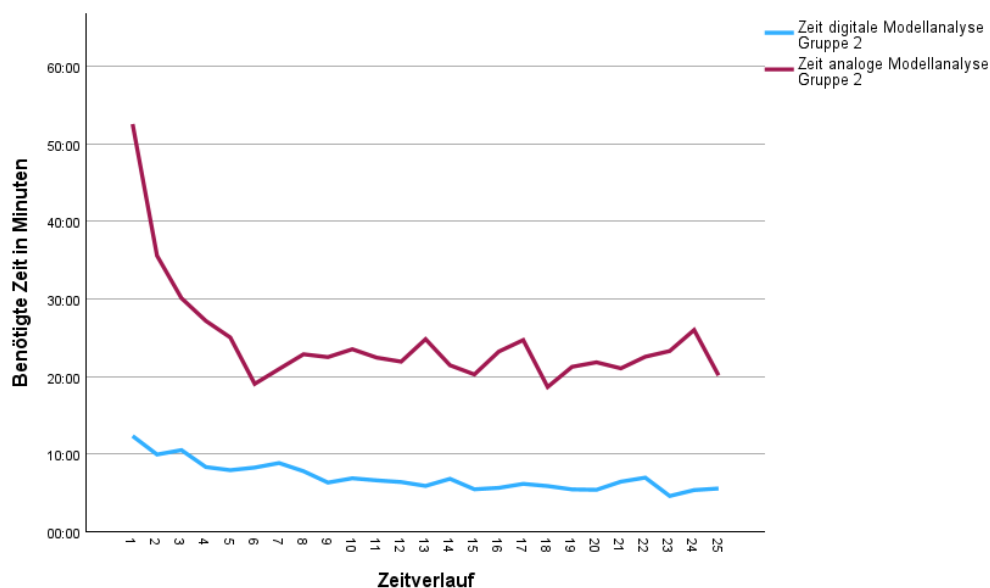


Abb. 7: Ergebnisse der Zeitentwicklung in Gruppe 2 in Minuten

4.2 Zahnbreiten

4.2.1 Zahnbreite 16

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 16 in der Gruppe 1 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $10 \text{ mm} \pm 0,62 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $9,9 \text{ mm} \pm 0,73 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 8 dargestellt.

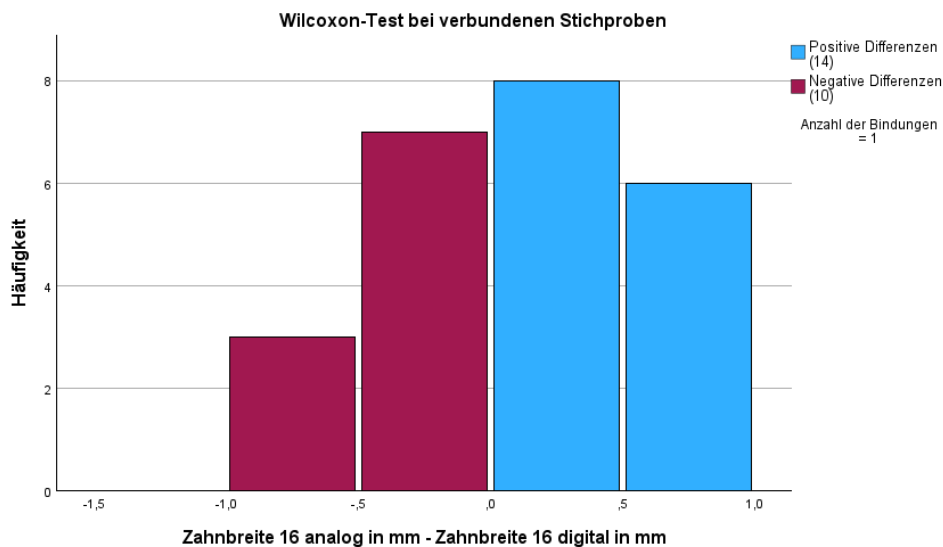


Abb. 8: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 16 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 16 in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $10,26 \text{ mm} \pm 0,63 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $10,12 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 9 dargestellt.

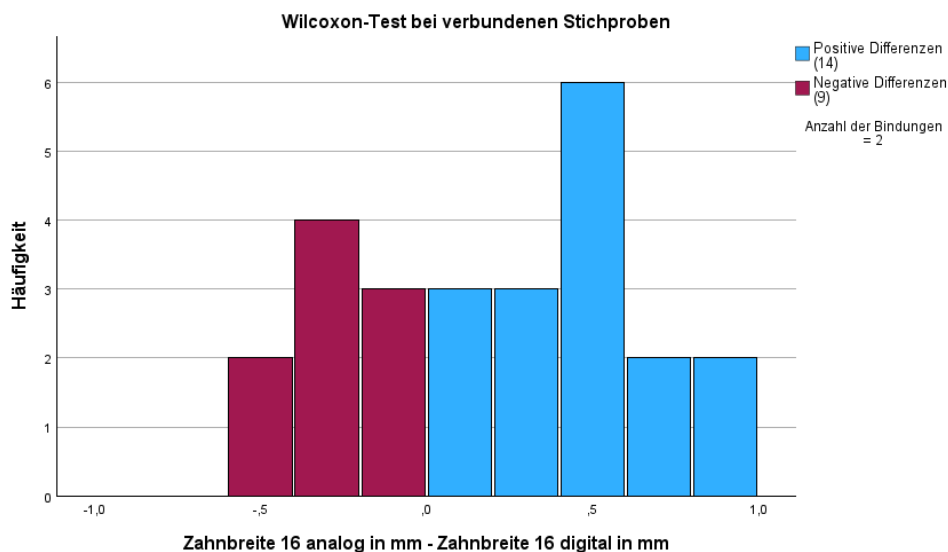


Abb. 9: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 16 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.2 Zahnbreite 15

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 15 in der Gruppe 1 (n=4) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,5 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $5,78 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 10 dargestellt.

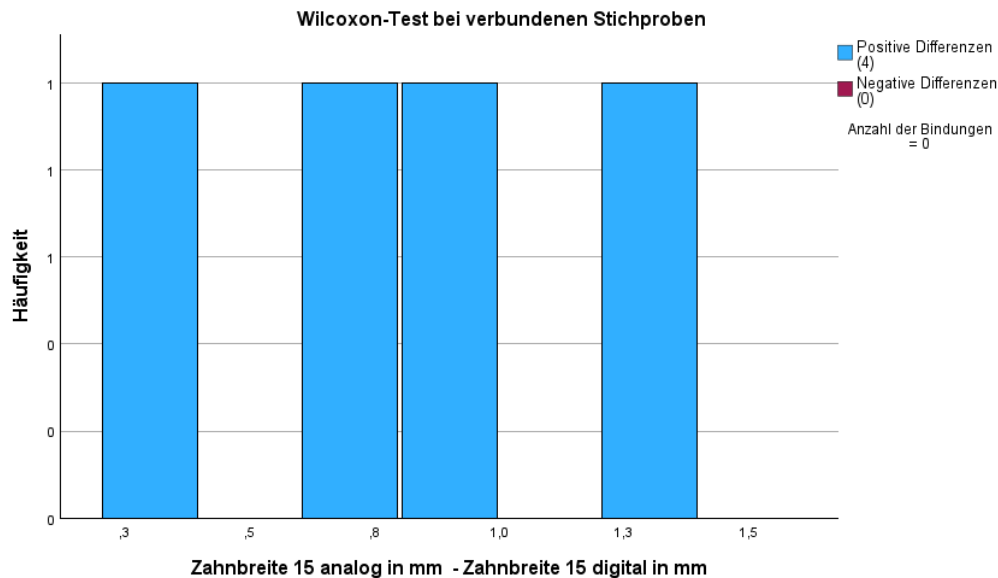


Abb. 10: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 15 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 15 in der Gruppe 2 (n=25) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $6,6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $6,13 \text{ mm} \pm 0,43 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 11 dargestellt.

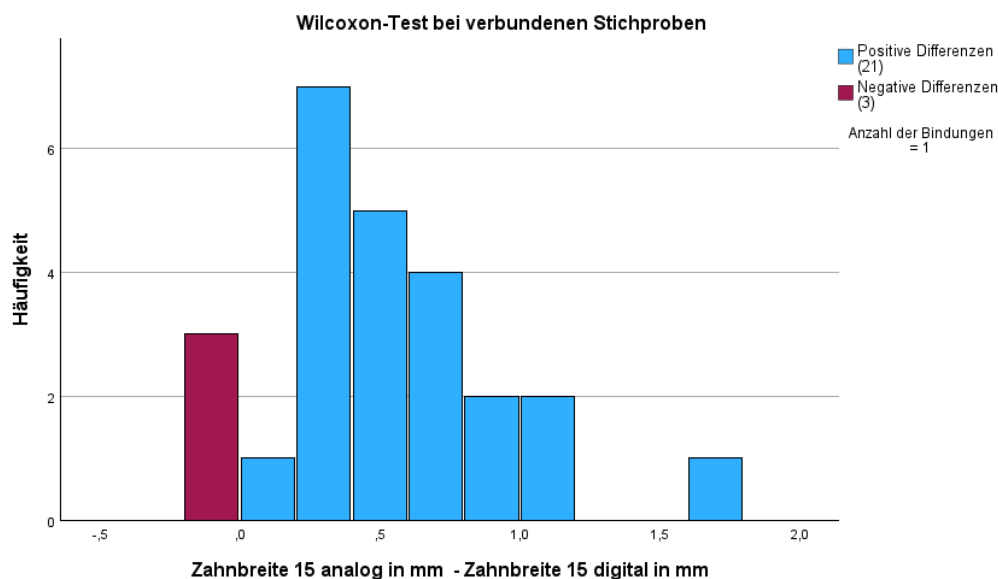


Abb. 11: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 15 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.3 Zahnbreite 14

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 14 in der Gruppe 1 (n=7) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 6,43 mm \pm 0,45 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 5,67 mm \pm 0,5mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 12 dargestellt.



Abb. 12: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 14 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 14 in der Gruppe 2 (n=24) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 6,85 mm \pm 0,45 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 6,22 mm \pm 0,5 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 13 dargestellt.

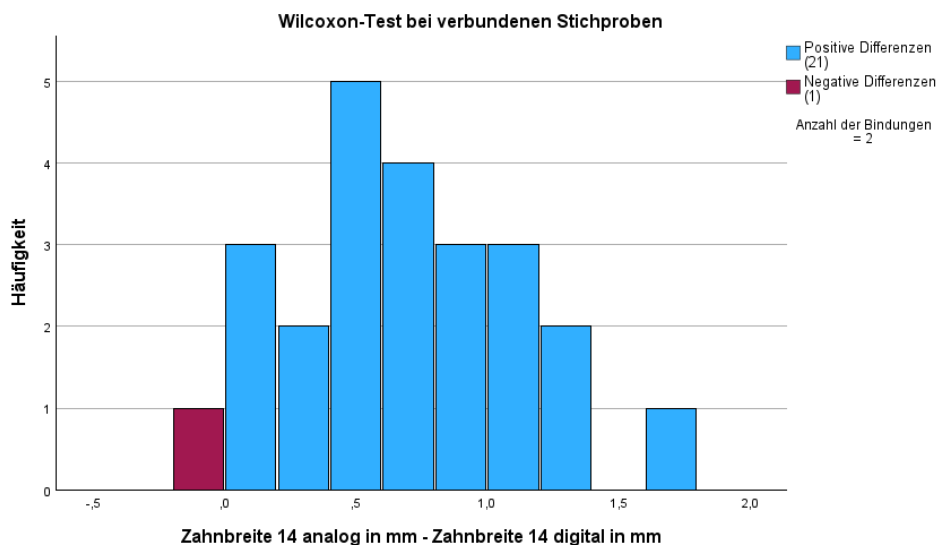


Abb. 13: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 14 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.4 Zahnbreite 13

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 13 in der Gruppe 1 (n=9) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $7,06 \text{ mm} \pm 0,58 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,77 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 14 dargestellt.

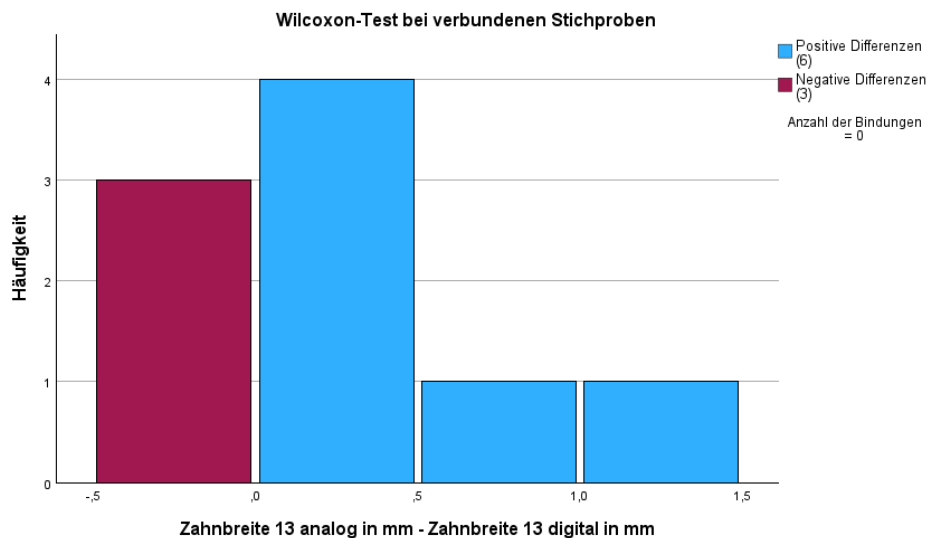


Abb. 14: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 13 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 13 in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $7,6 \text{ mm} \pm 0,72 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $7,5 \text{ mm} \pm 0,61 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 15 dargestellt.

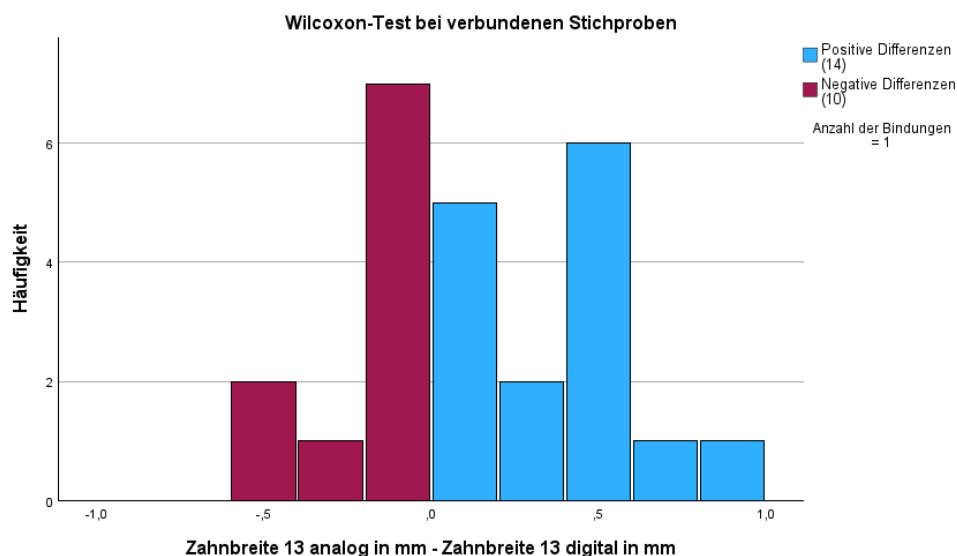


Abb. 15: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 13 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.5 Zahnbreite 12

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 12 in der Gruppe 1 ($n=24$) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,38 \text{ mm} \pm 0,63 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,43 \text{ mm} \pm 0,66 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 16 dargestellt.

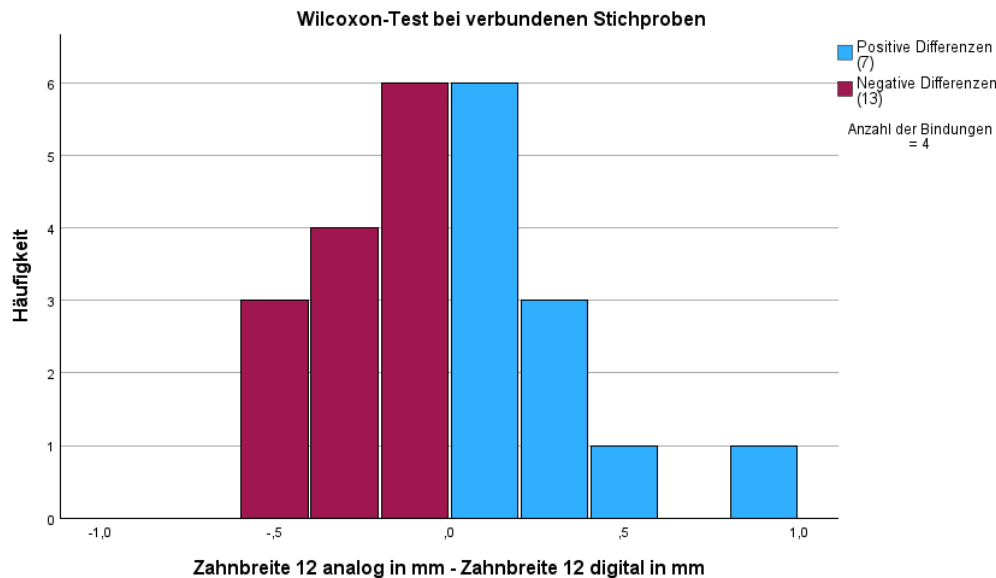


Abb. 16: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 12 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 12 in der Gruppe 2 ($n=25$) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $6,7 \text{ mm} \pm 0,52 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $6,46 \text{ mm} \pm 0,56 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 17 dargestellt.

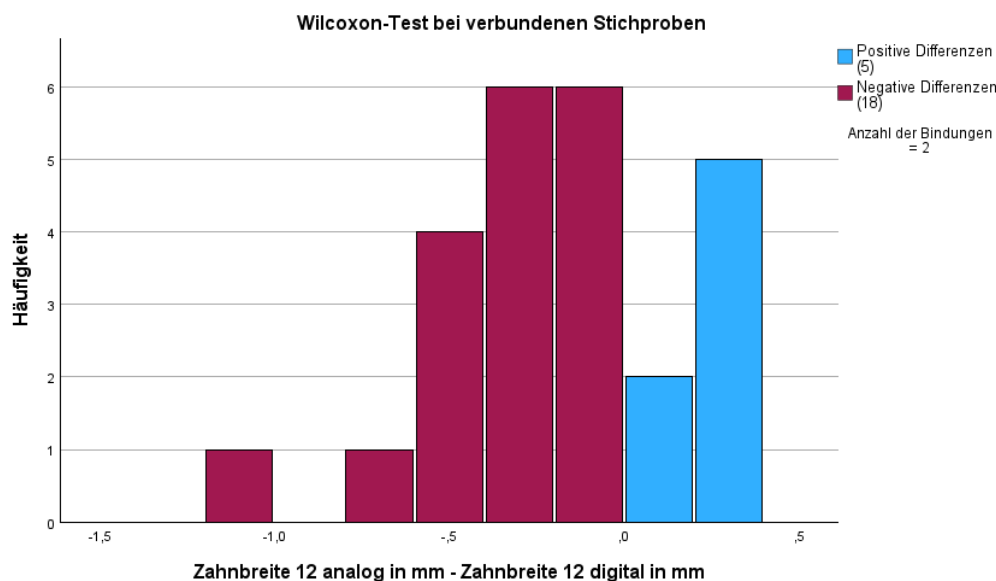


Abb. 17: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 12 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.6 Zahnbreite 11

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 11 in der Gruppe 1 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 8,61 mm \pm 0,51 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 8,4 mm \pm 0,57 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 18 dargestellt.

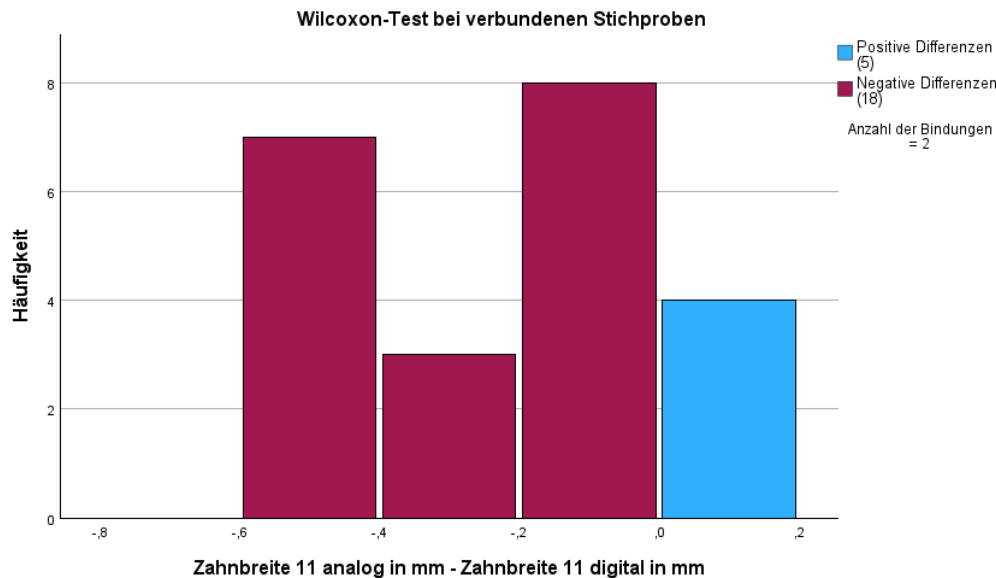


Abb. 18: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 11 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 11 in der Gruppe 2 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 8,68 mm \pm 0,58 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 8,34 mm \pm 0,64 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 19 dargestellt.

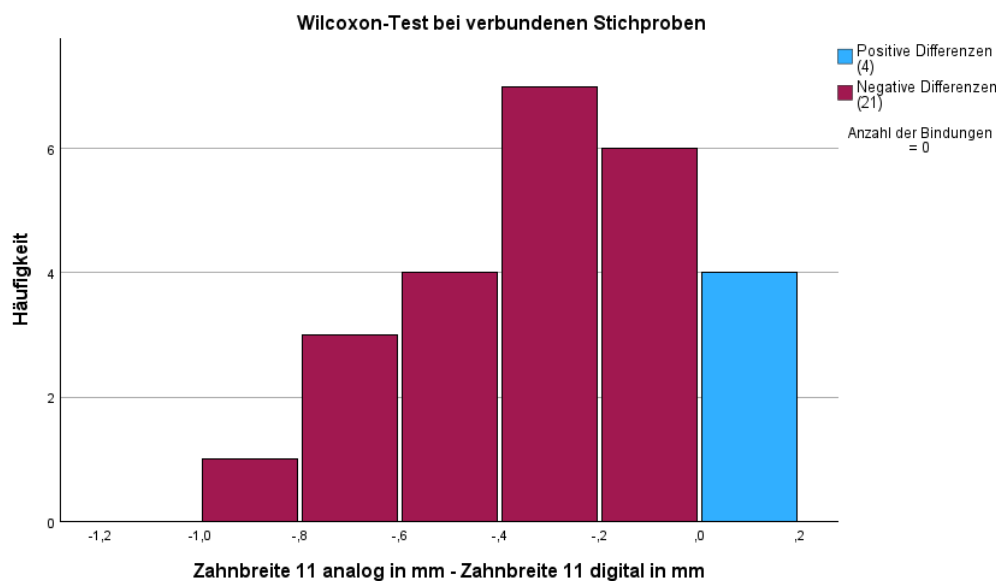


Abb. 19: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 11 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.7 Zahnbreite 21

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 21 in der Gruppe 1 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $8,44 \text{ mm} \pm 0,56 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $8,59 \text{ mm} \pm 0,53 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 20 dargestellt.

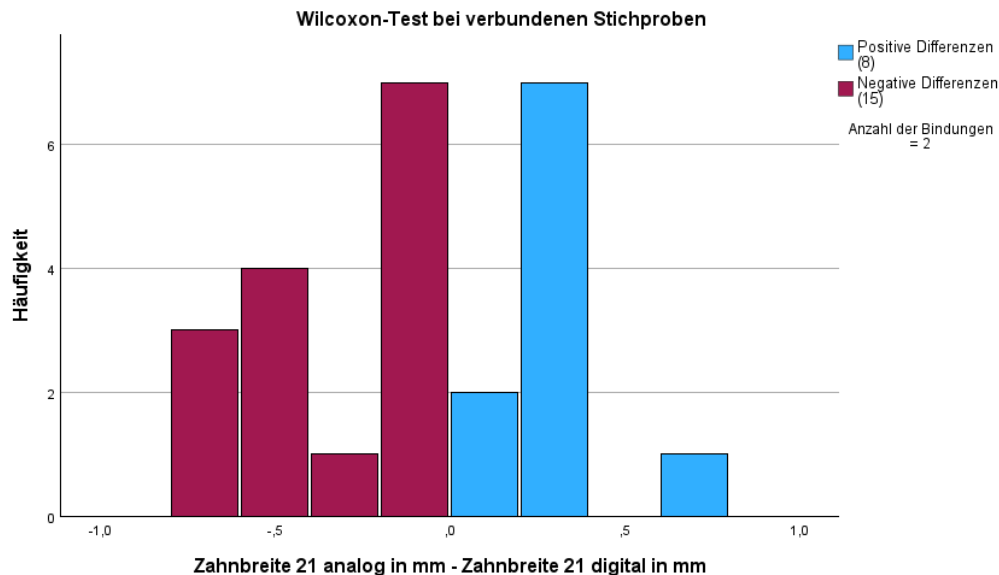


Abb. 20: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 21 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 21 in der Gruppe 2 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $8,76 \text{ mm} \pm 0,6 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $8,44 \text{ mm} \pm 0,69 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 21 dargestellt.

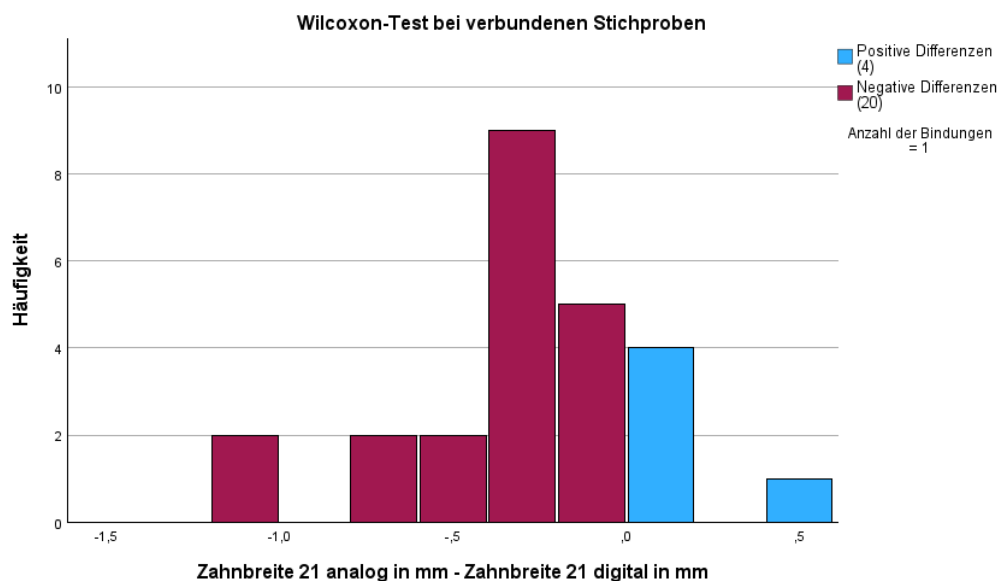


Abb. 21: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 21 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.8 Zahnbreite 22

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 22 in der Gruppe 1 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,52 \text{ mm} \pm 0,71 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,35 \text{ mm} \pm 0,71 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 22 dargestellt.

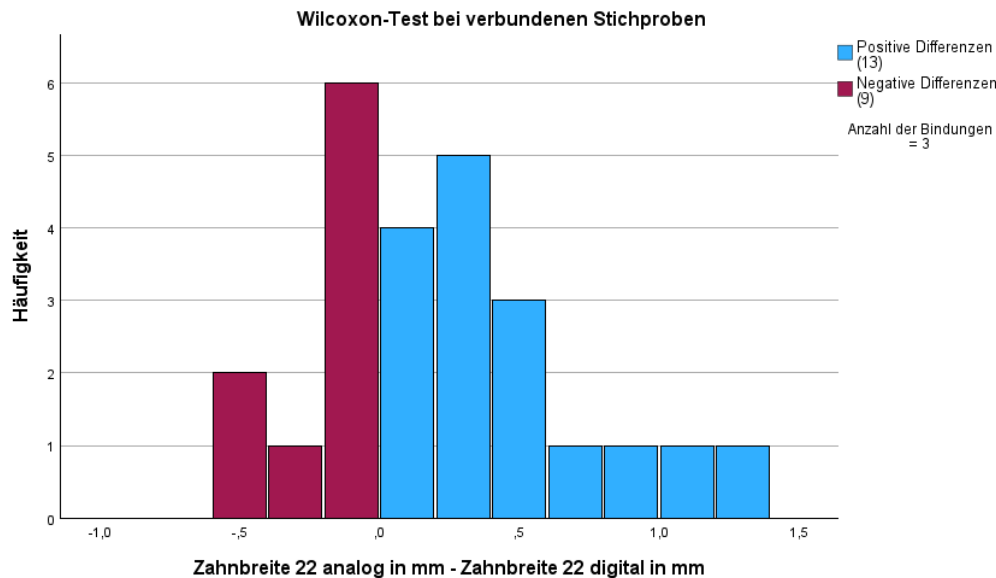


Abb. 22: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 22 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 22 in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,6 \text{ mm} \pm 0,56 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,48 \text{ mm} \pm 0,56 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 23 dargestellt.

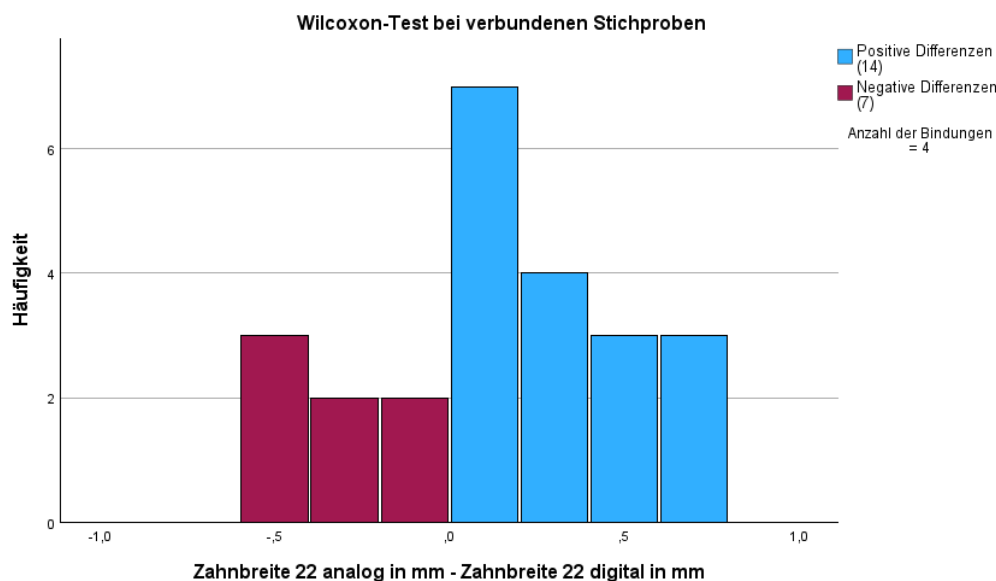


Abb. 23: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 22 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.9 Zahnbreite 23

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 23 in der Gruppe 1 (n=9) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,67 \text{ mm} \pm 0,43 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,57 \text{ mm} \pm 0,47 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 24 dargestellt.

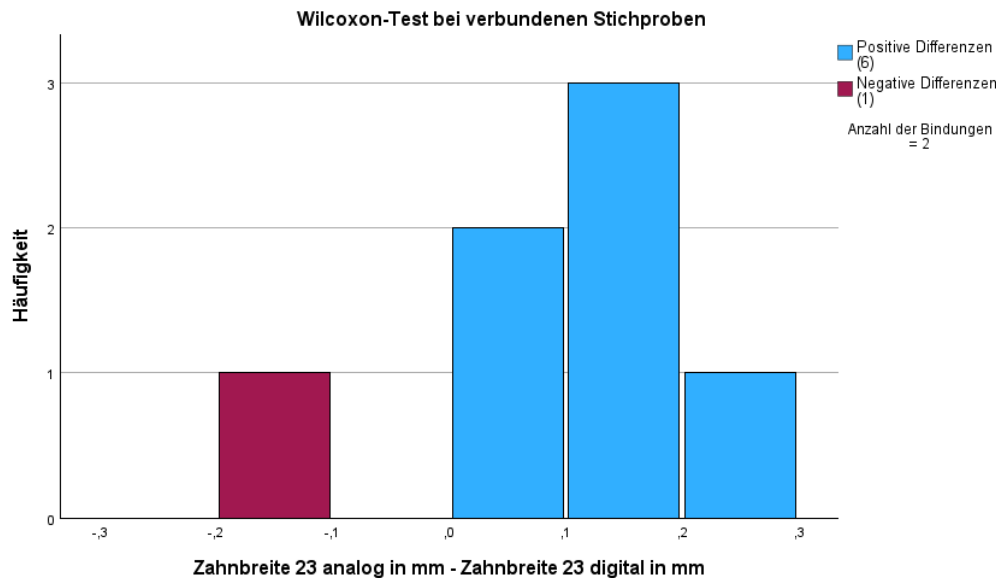


Abb. 24: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 23 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 23 in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $7,48 \text{ mm} \pm 0,54 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $7,36 \text{ mm} \pm 0,61 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 25 dargestellt.

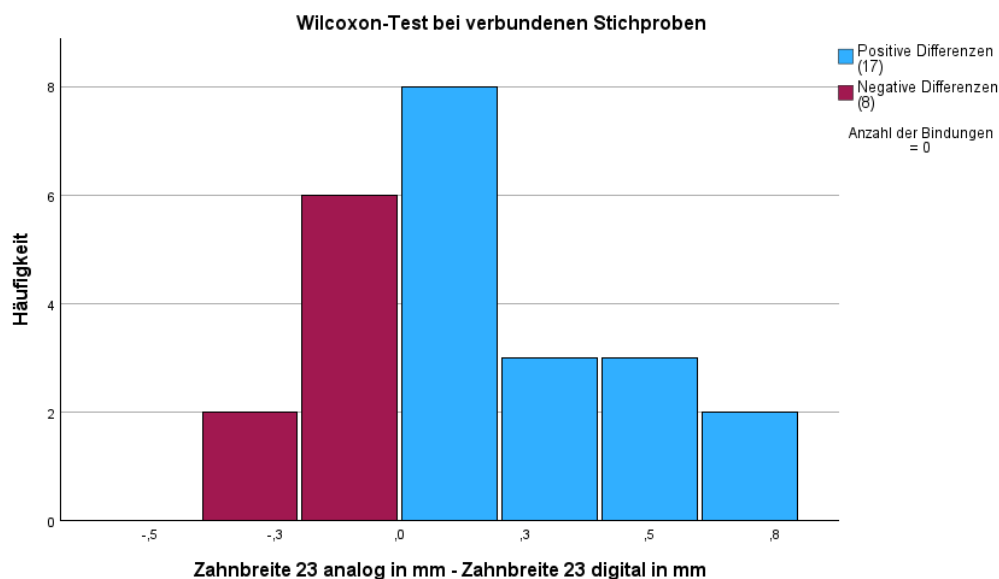


Abb. 25: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 23 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.10 Zahnbreite 24

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 24 in der Gruppe 1 (n=7) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,43 \text{ mm} \pm 0,34 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,07 \text{ mm} \pm 0,51 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 26 dargestellt.

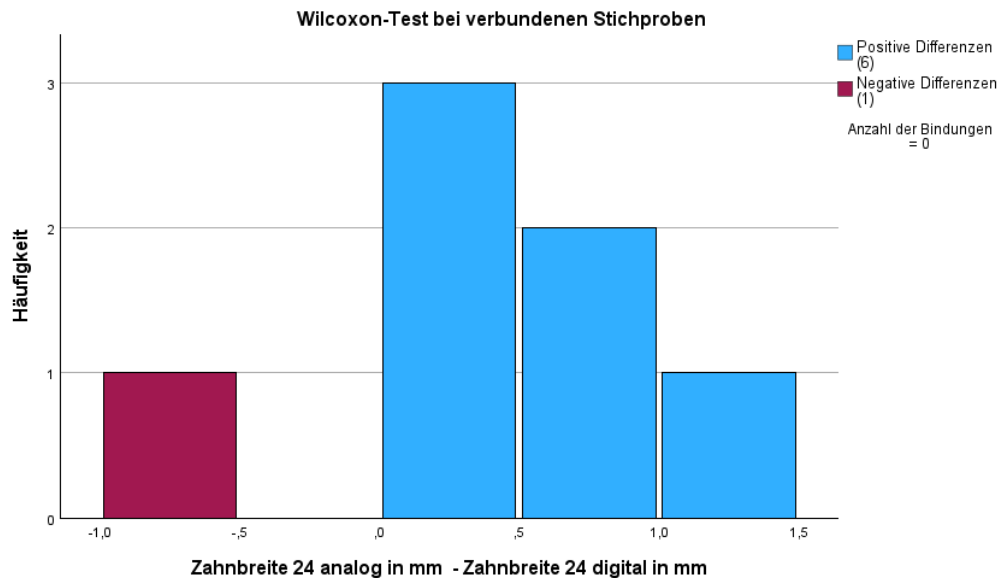


Abb. 26: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 24 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 24 in der Gruppe 2 (n=24) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $6,75 \text{ mm} \pm 0,46 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $6,27 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 27 dargestellt.

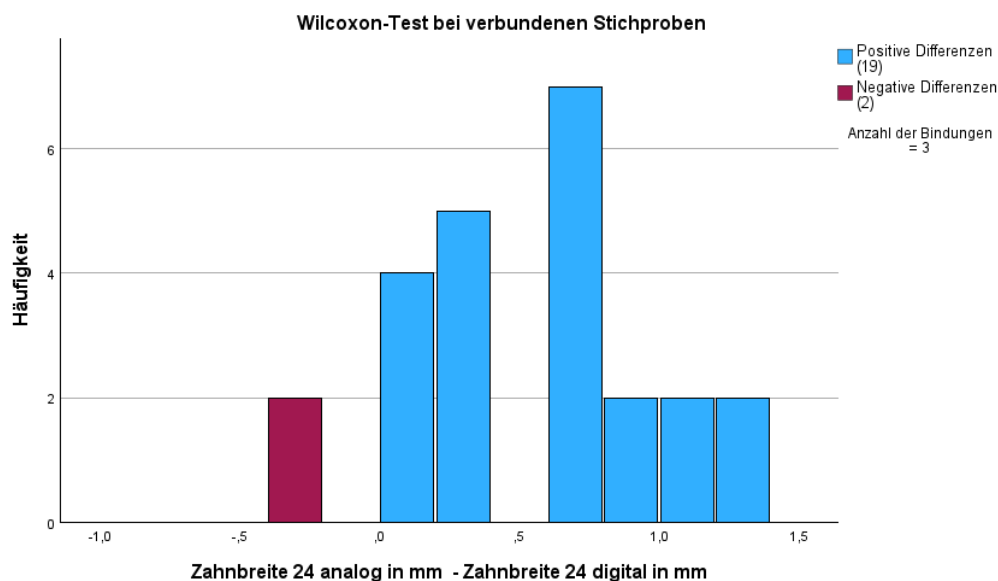


Abb. 27: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 24 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.11 Zahnbreite 25

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 25 in der Gruppe 1 (n=5) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $6,3 \text{ mm} \pm 0,27 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $5,62 \text{ mm} \pm 0,18 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 28 dargestellt.

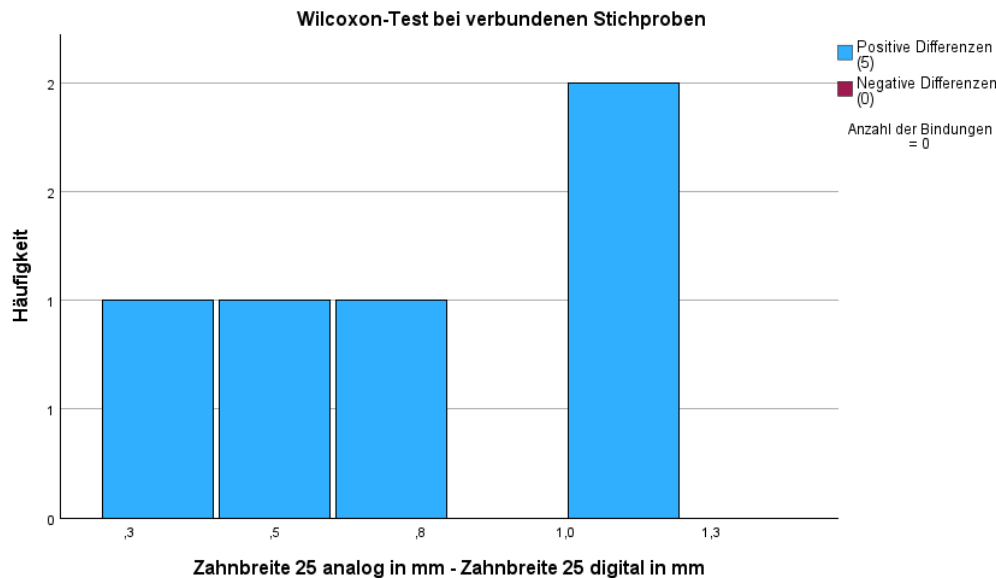


Abb. 28: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 25 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 25 in der Gruppe 2 (n=25) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $6,58 \text{ mm} \pm 0,53 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $5,96 \text{ mm} \pm 0,51 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 29 dargestellt.

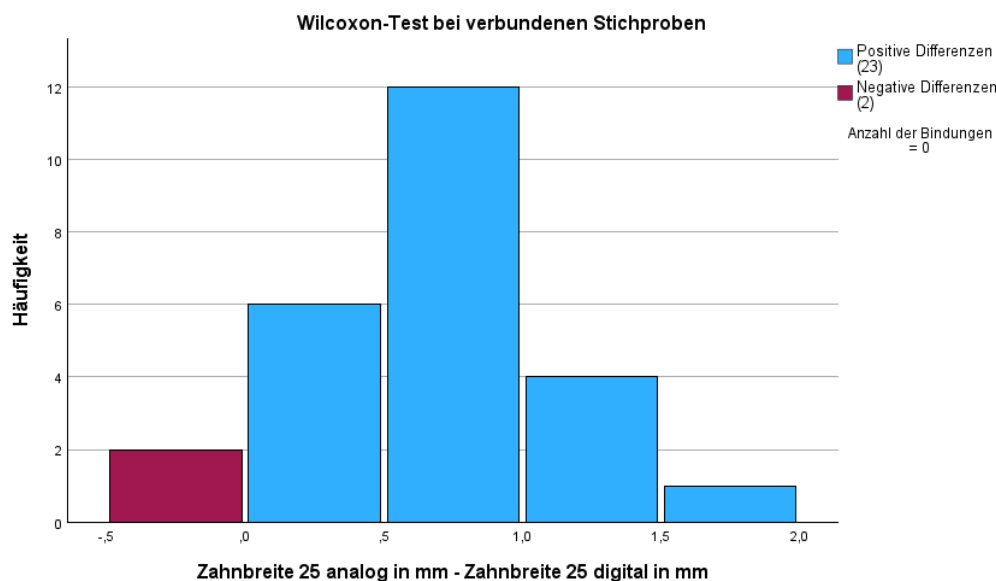


Abb. 29: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 25 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.12 Zahnbreite 26

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 26 in der Gruppe 1 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $9,82 \text{ mm} \pm 0,55 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $9,75 \text{ mm} \pm 0,67 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 30 dargestellt.

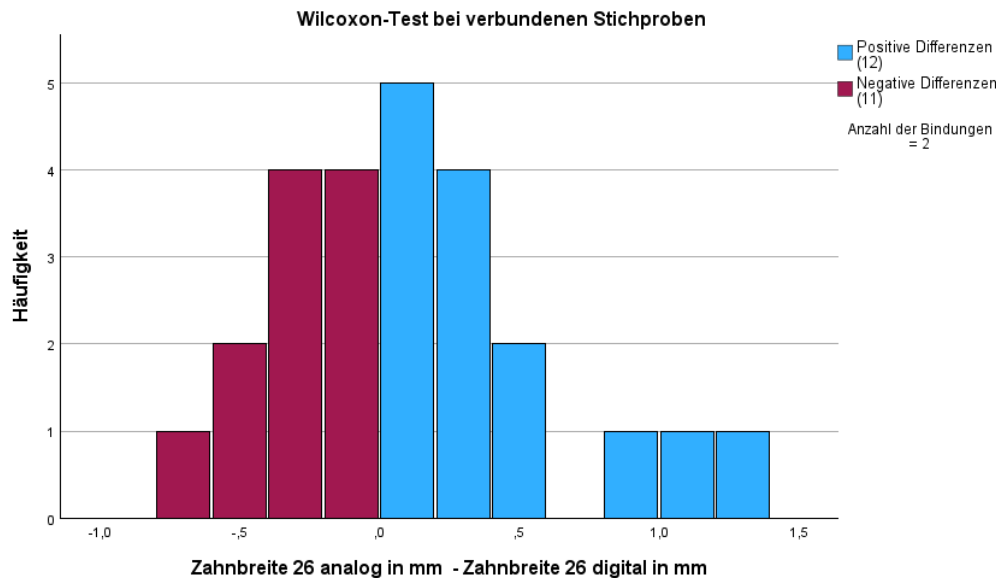


Abb. 30: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 26 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 26 in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $10,06 \text{ mm} \pm 0,61 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $10,01 \text{ mm} \pm 0,73 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 31 dargestellt.

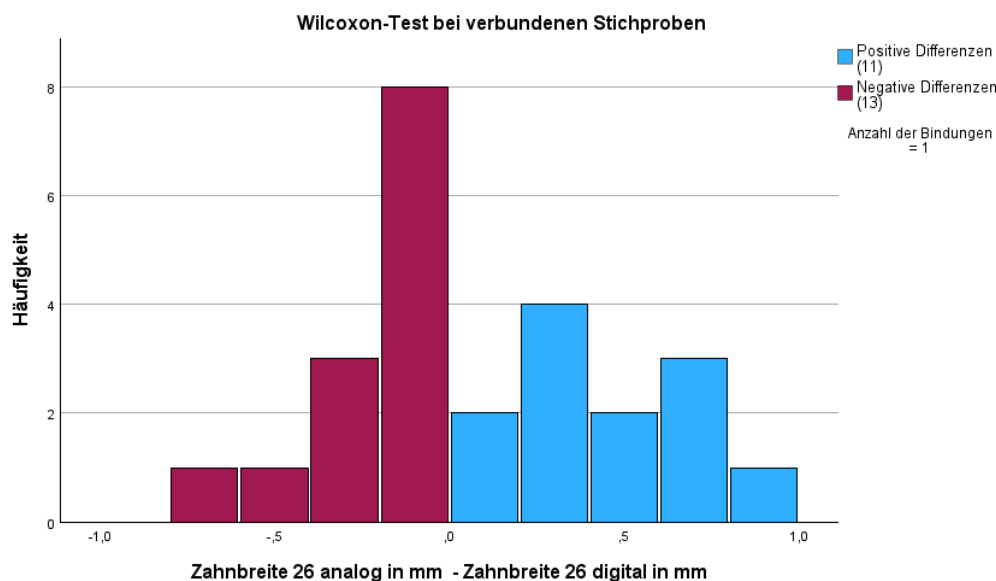


Abb. 31: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 26 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.13 Zahnbreite 36

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 36 in der Gruppe 1 (n=25) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $9,96 \text{ mm} \pm 0,51 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $9,81 \text{ mm} \pm 0,51 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 32 dargestellt.

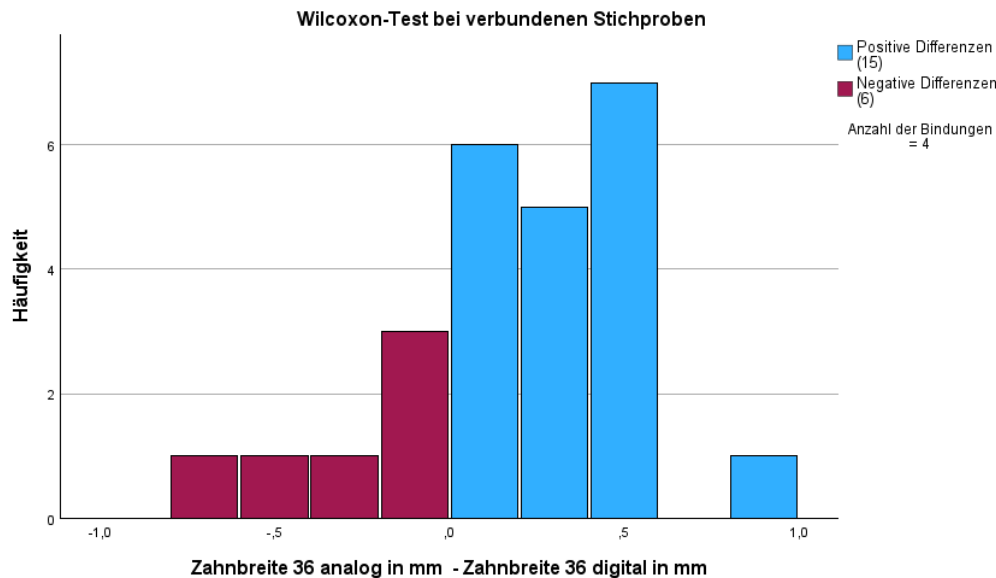


Abb. 32: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 36 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 36 in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $10,32 \text{ mm} \pm 0,72 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $10,43 \text{ mm} \pm 0,66 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 33 dargestellt.

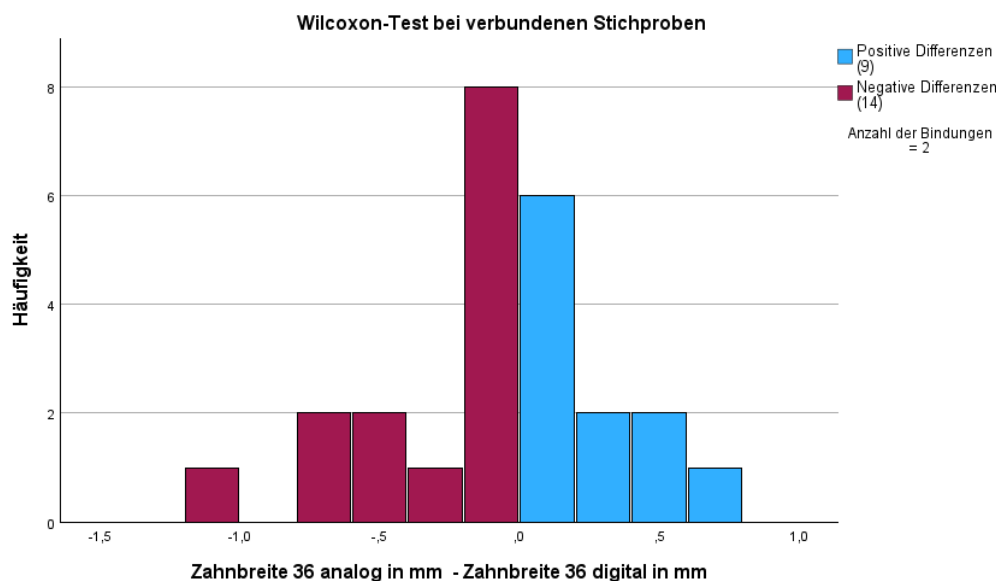


Abb. 33: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 36 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.14 Zahnbreite 35

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 35 in der Gruppe 1 ($n=3$) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,33 \text{ mm} \pm 0,28 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,57 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 34 dargestellt

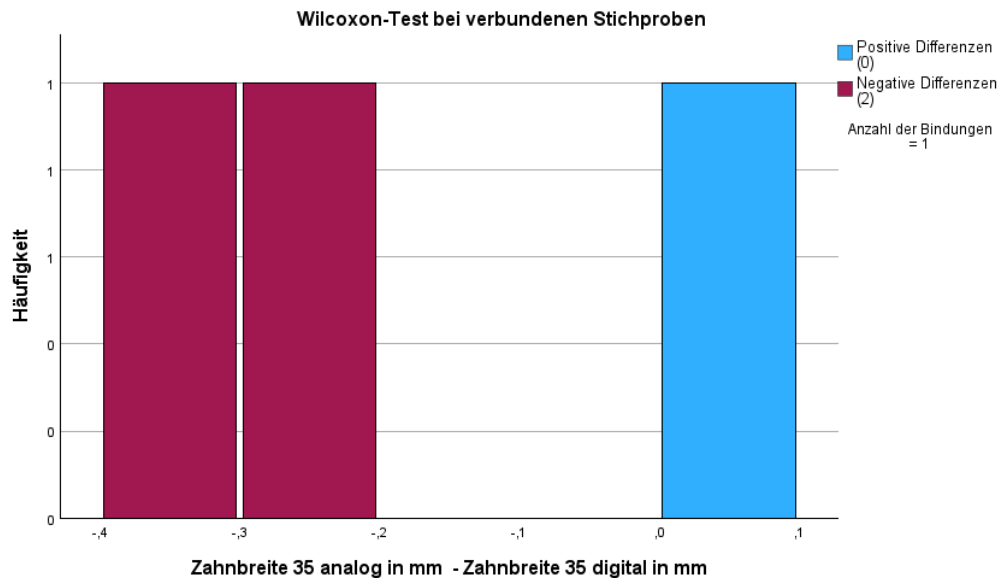


Abb. 34: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 35 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 35 in der Gruppe 2 ($n=24$) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $7,04 \text{ mm} \pm 0,51 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $6,88 \text{ mm} \pm 0,71 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 35 dargestellt.

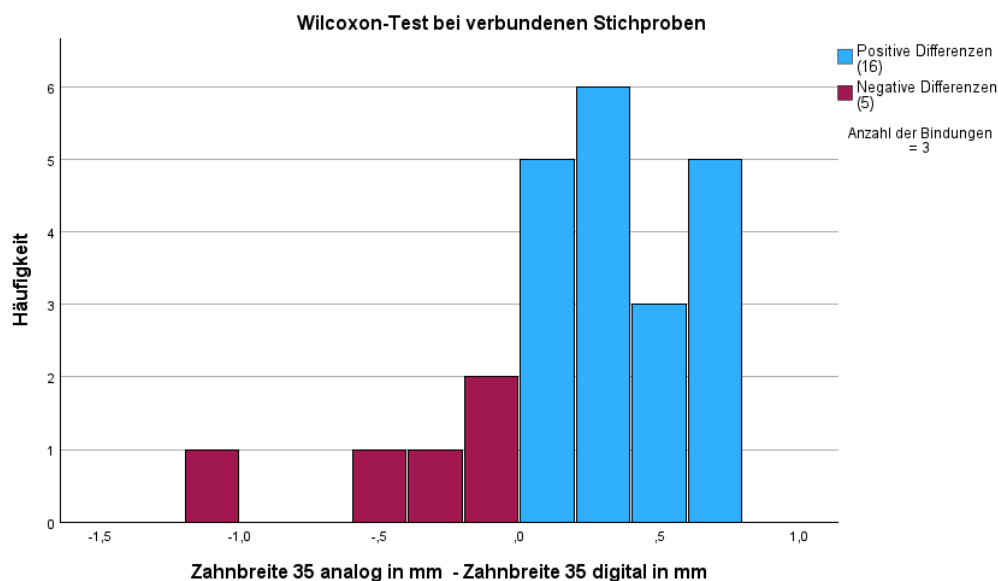


Abb. 35: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 35 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.15 Zahnbreite 34

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 34 in der Gruppe 1 (n=5) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,8 \text{ mm} \pm 0,44 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,86 \text{ mm} \pm 0,46 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 36 dargestellt.

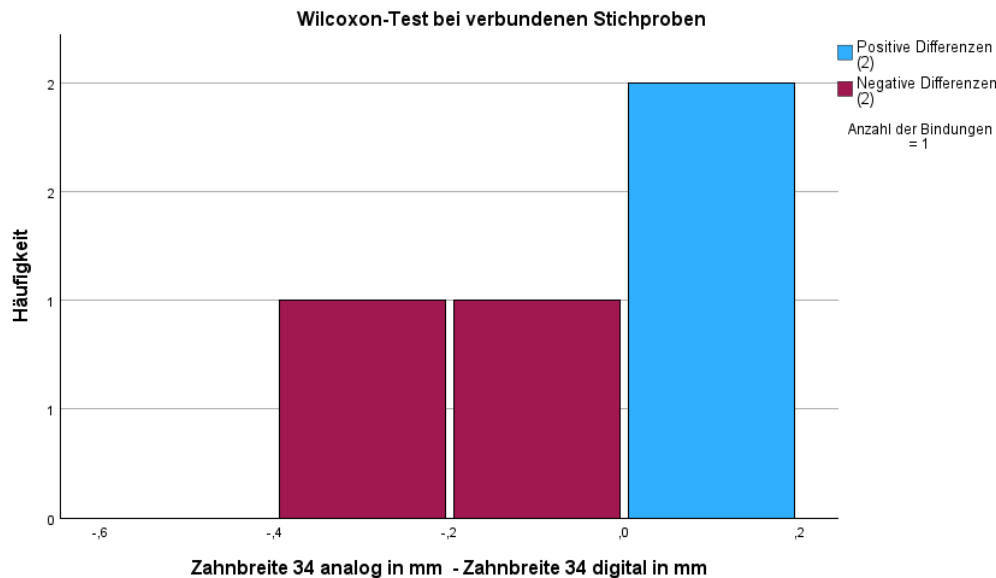


Abb. 36: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 34 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 34 in der Gruppe 2 (n=25) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $6,92 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $6,6 \text{ mm} \pm 0,59 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 37 dargestellt.

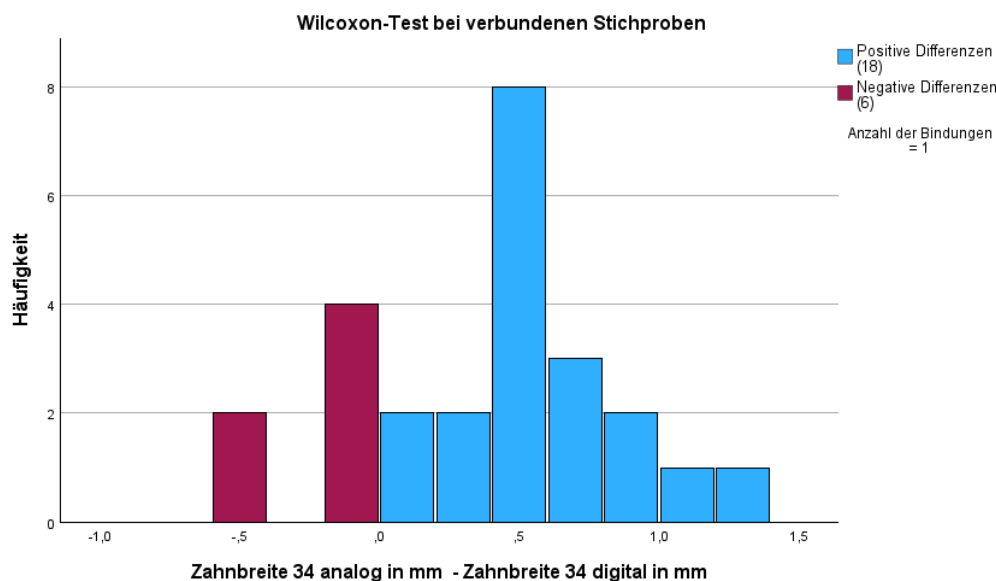


Abb. 37: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 34 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.16 Zahnbreite 33

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 33 in der Gruppe 1 (n=4) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,38 \text{ mm} \pm 0,47 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,25 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 38 dargestellt.



Abb. 38: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 33 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 33 in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,74 \text{ mm} \pm 0,56 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,86 \text{ mm} \pm 0,44 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 39 dargestellt.

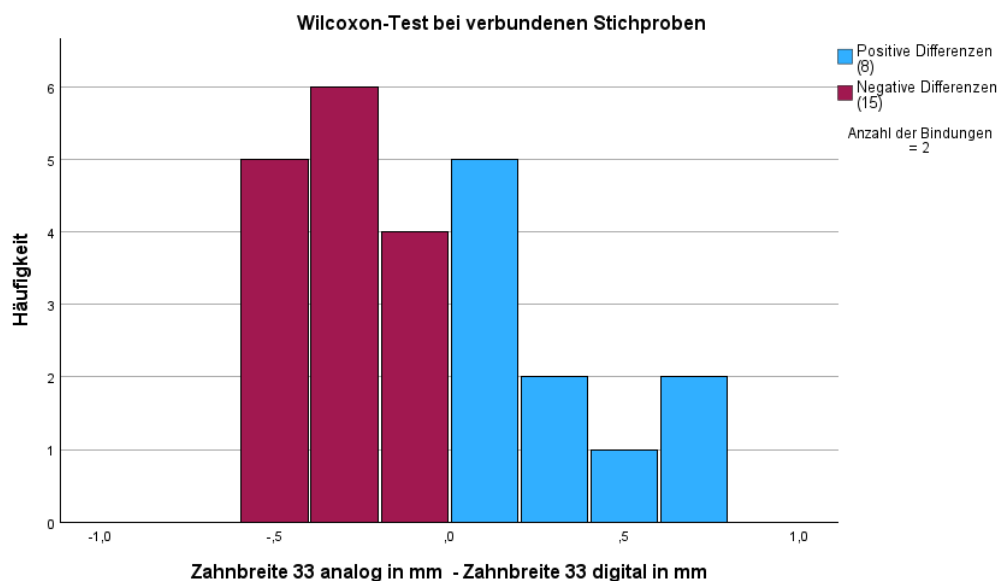


Abb. 39: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 33 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.17 Zahnbreite 32

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 32 in der Gruppe 1 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 6,08 mm \pm 0,38 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 5,82 mm \pm 0,43 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 40 dargestellt.

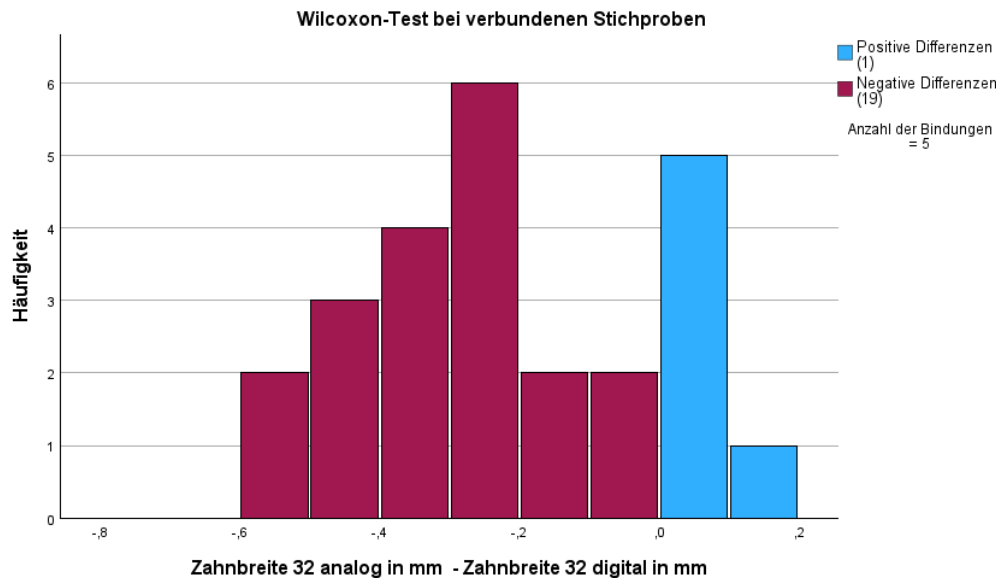


Abb. 40: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 32 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 32 in der Gruppe 2 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 6,02 mm \pm 0,35 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 5,72 mm \pm 0,5 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 41 dargestellt.

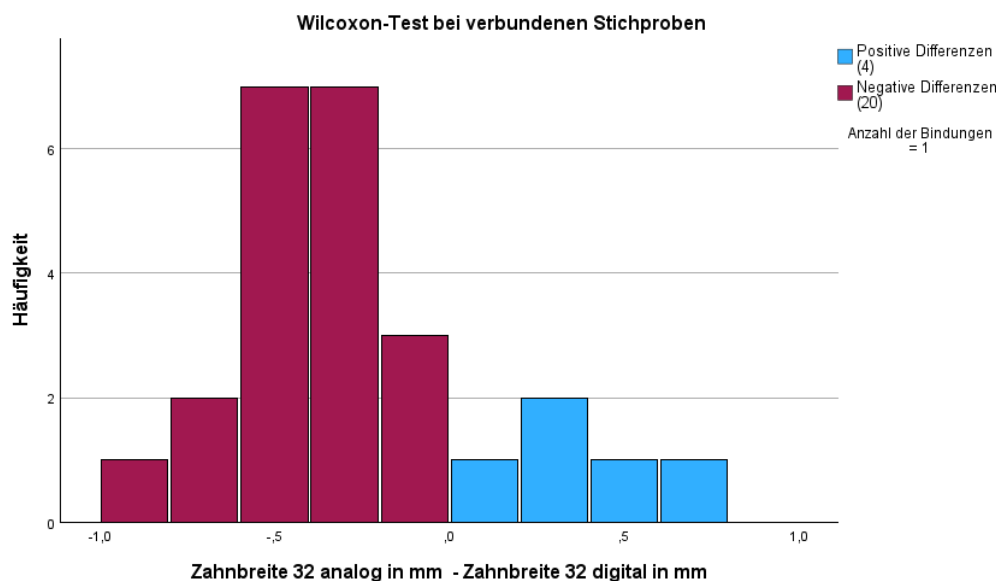


Abb. 41: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 32 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.18 Zahnbreite 31

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 31 in der Gruppe 1 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 5,56 mm \pm 0,47 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 5,14 mm \pm 0,33 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 42 dargestellt.

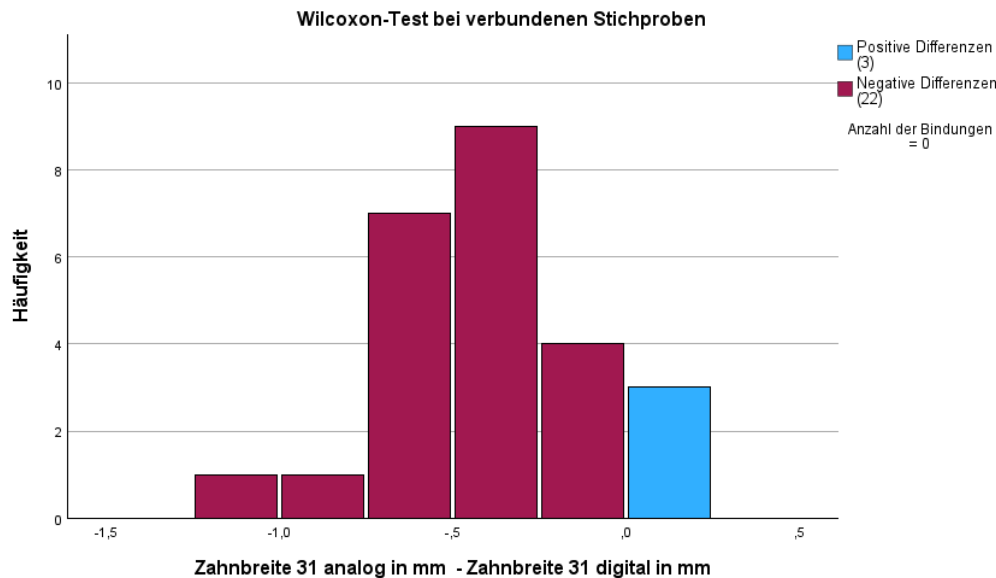


Abb. 42: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 31 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 31 in der Gruppe 2 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 5,53 mm \pm 0,35 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 5,34 mm \pm 0,4 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 43 dargestellt.

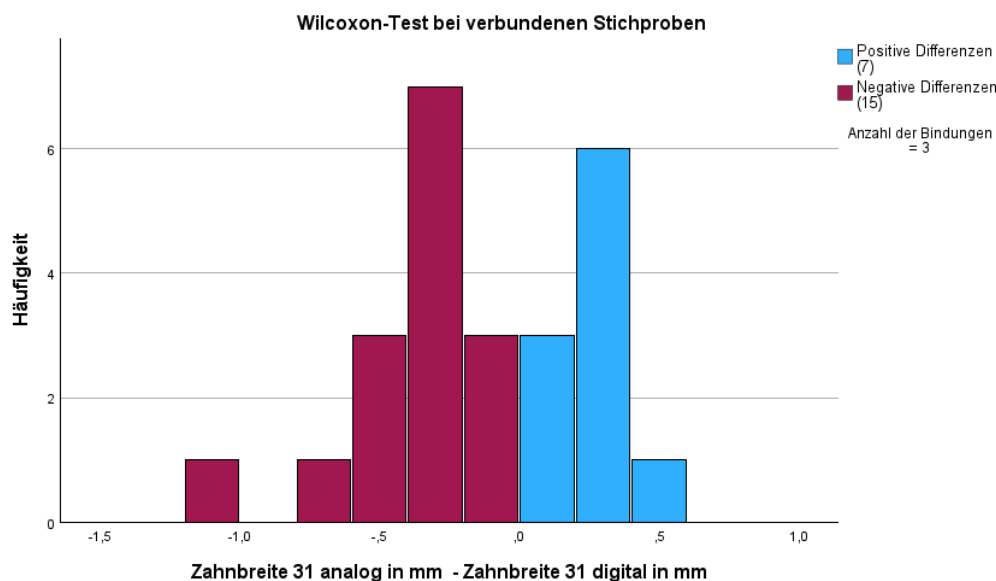


Abb. 43: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 31 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.19 Zahnbreite 41

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 41 in der Gruppe 1 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 5,44 mm \pm 0,42 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 5,16 mm \pm 0,42 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 44 dargestellt.

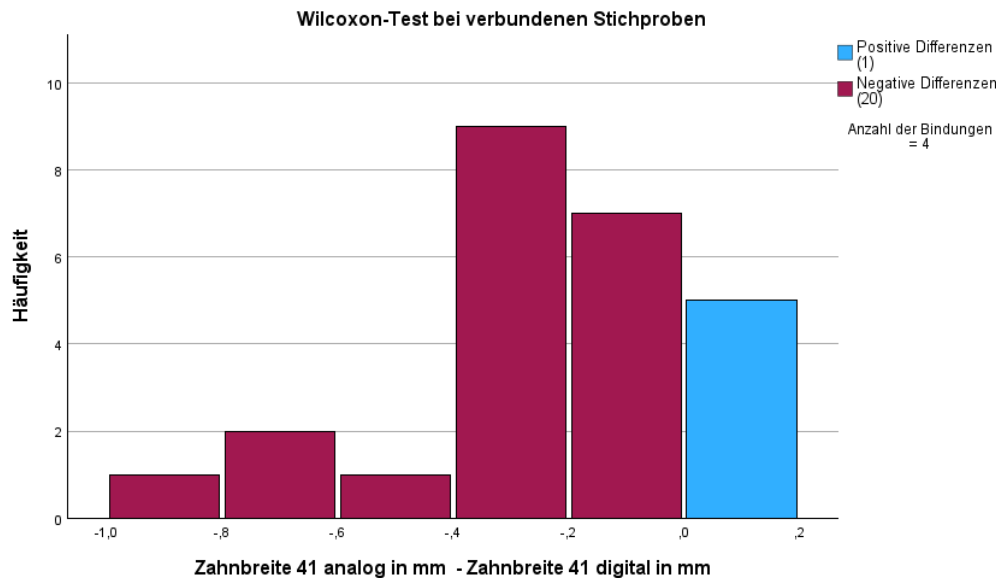


Abb. 44: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 41 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 41 in der Gruppe 2 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 5,69 mm \pm 0,51 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 5,34 mm \pm 0,45 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 45 dargestellt.

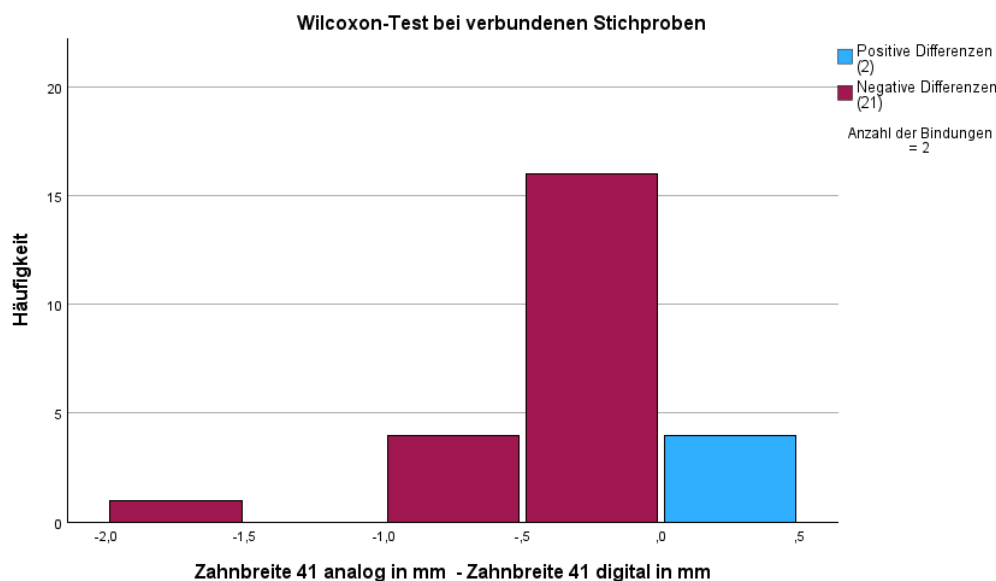


Abb. 45: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 41 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.20 Zahnbreite 42

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 42 in der Gruppe 1 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 6,06 mm \pm 0,4 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 5,74 mm \pm 0,32 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 46 dargestellt.

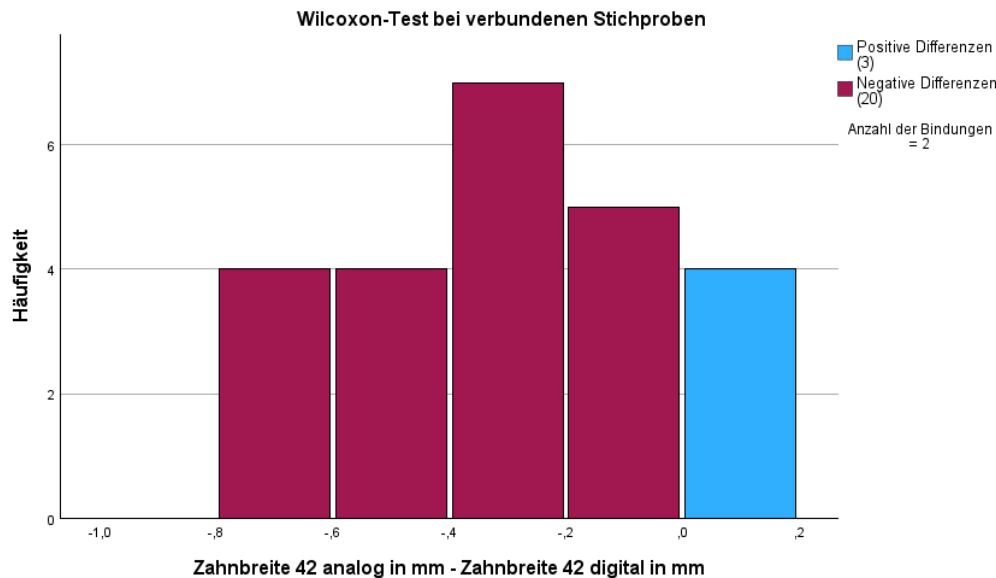


Abb. 46: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 42 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 42 in der Gruppe 2 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 6,14 mm \pm 0,53 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 5,76 mm \pm 0,36 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 47 dargestellt.

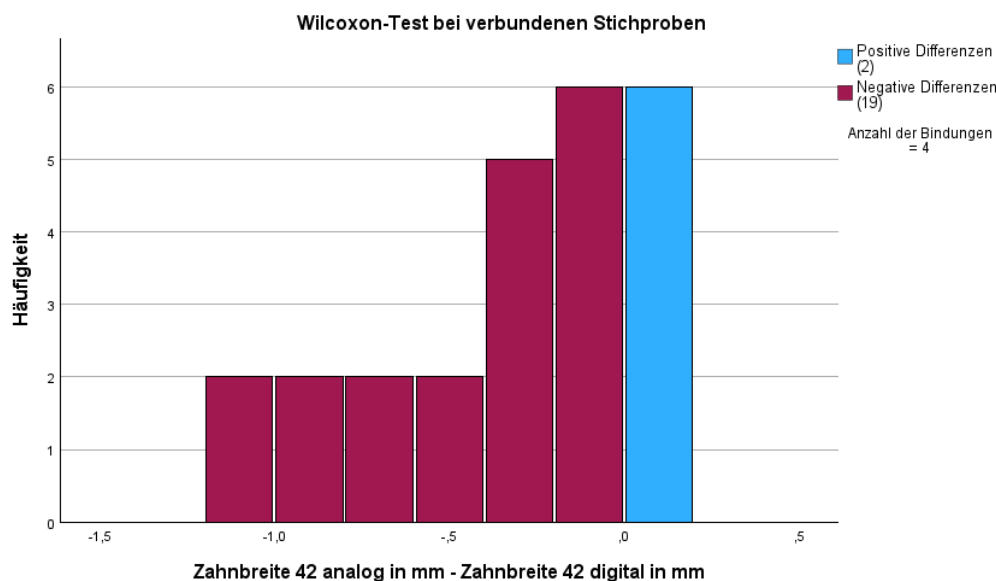


Abb. 47: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 42 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.21 Zahnbreite 43

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 43 in der Gruppe 1 (n=6) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,08 \text{ mm} \pm 0,66 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $5,97 \text{ mm} \pm 0,52 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 48 dargestellt.

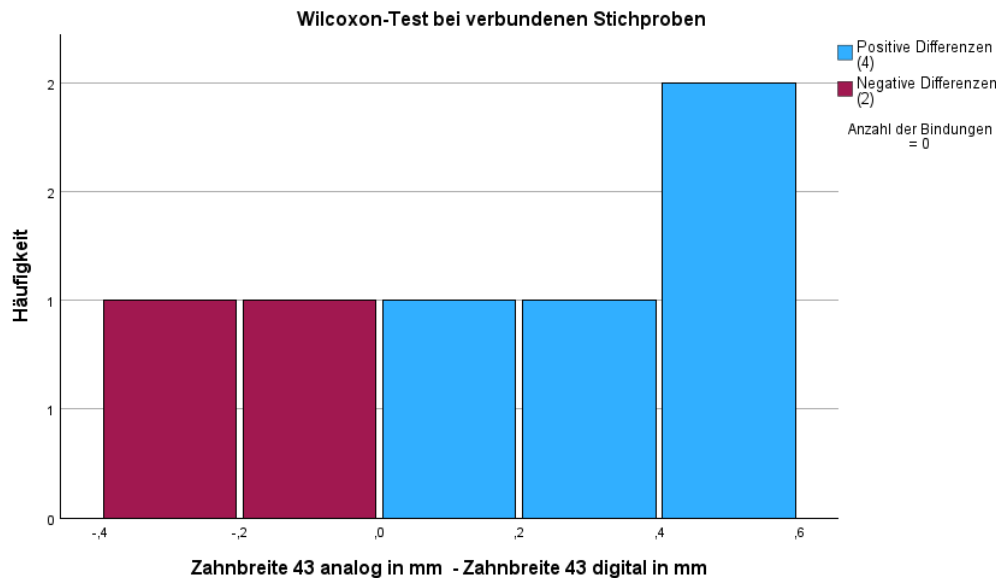


Abb. 48: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 43 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 43 in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,68 \text{ mm} \pm 0,52 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,72 \text{ mm} \pm 0,45 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 49 dargestellt.

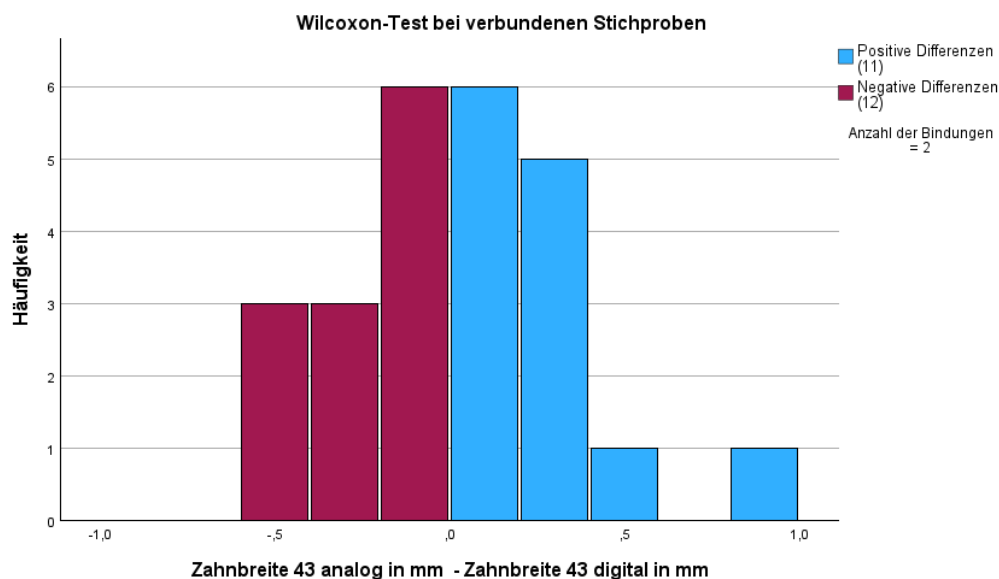


Abb. 49: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 43 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.22 Zahnbreite 44

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 44 in der Gruppe 1 (n=7) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,64 \text{ mm} \pm 0,24 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,33 \text{ mm} \pm 0,9 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 50 dargestellt.

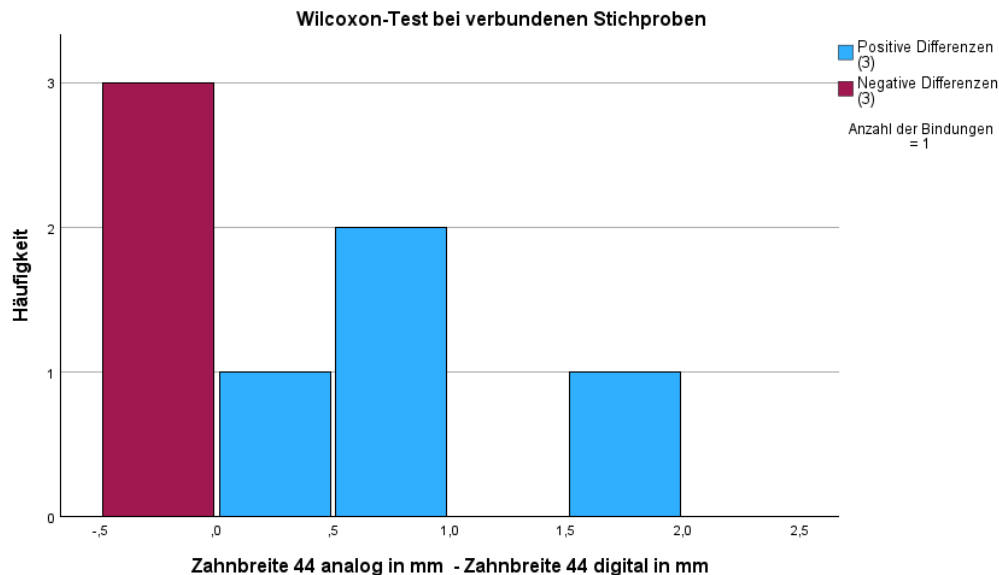


Abb. 50: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 44 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 44 in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,74 \text{ mm} \pm 0,72 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,84 \text{ mm} \pm 0,61 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 51 dargestellt.

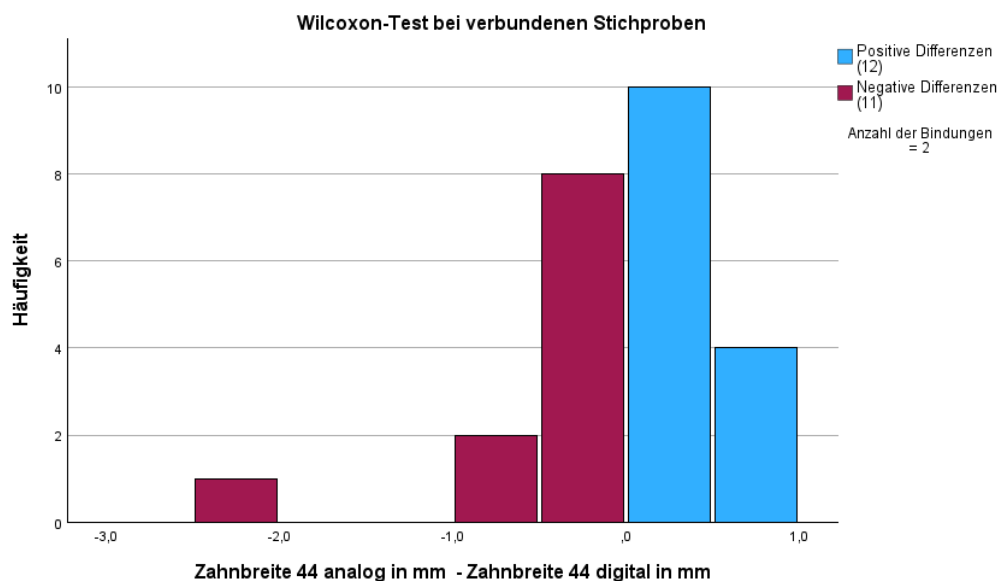


Abb. 51: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 44 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.23 Zahnbreite 45

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 45 in der Gruppe 1 ($n=1$) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $6,5 \text{ mm} \pm 0 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $5,9 \text{ mm} \pm 0 \text{ mm}$.

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 45 in der Gruppe 2 ($n=24$) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $7,06 \text{ mm} \pm 0,59 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $6,86 \text{ mm} \pm 0,64 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 52 dargestellt.

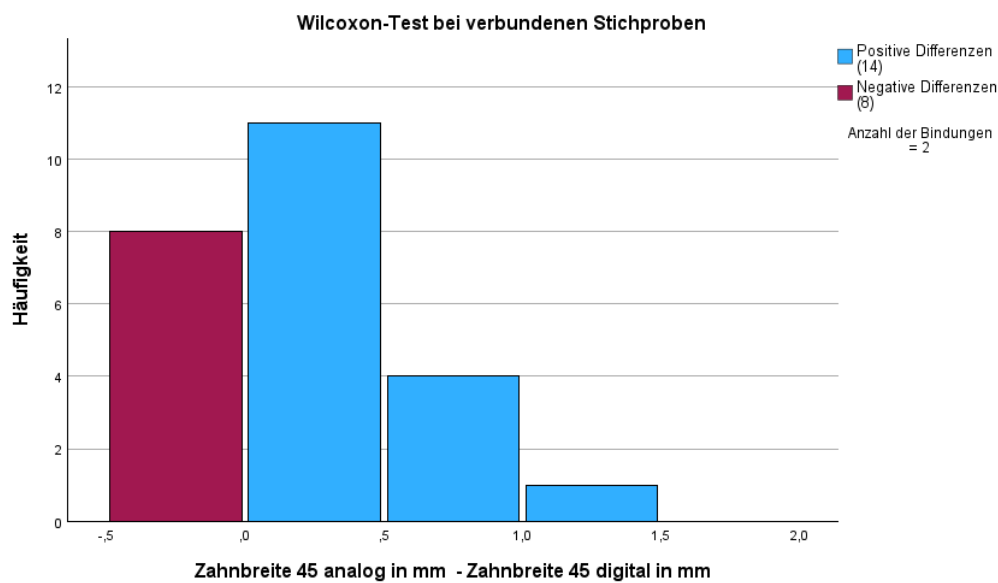


Abb. 52: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 45 in Gruppe 2 in Millimeter

4.2.24 Zahnbreite 46

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 46 in der Gruppe 1 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $9,9 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $9,89 \text{ mm} \pm 0,61 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 53 dargestellt.

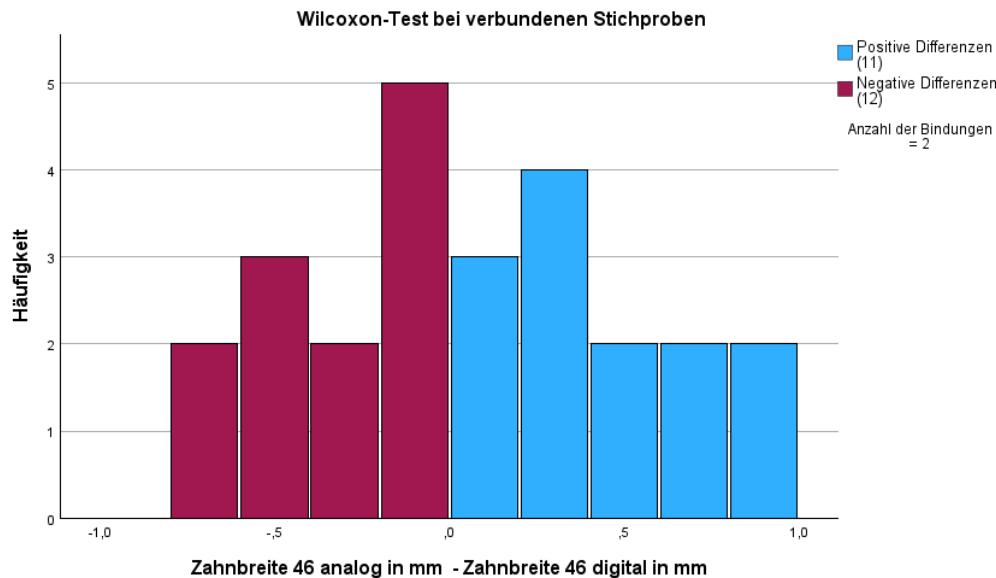


Abb. 53: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 46 in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbreiten des Zahnes 46 in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $10,36 \text{ mm} \pm 0,64 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $10,38 \text{ mm} \pm 0,73 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 54 dargestellt.

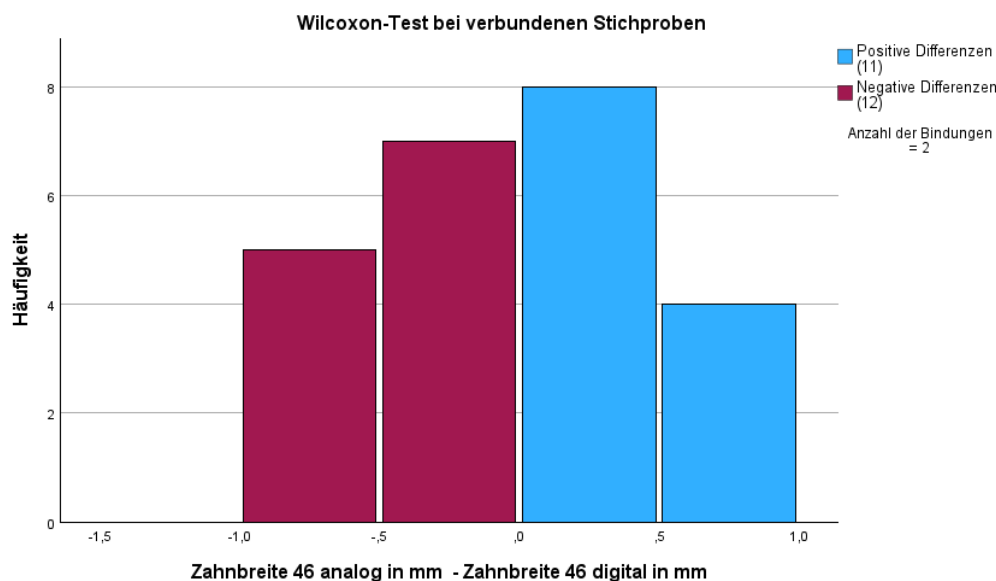


Abb. 54: Ergebnisse der Messungen der Zahnbreiten des Zahnes 46 in Gruppe 2 in Millimeter

4.3 Stützzonen

4.3.1 Stützzone im Oberkiefer rechts

Die gemessenen Stützzonen im rechten Oberkiefer in der Gruppe 1 (n=25) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $23,1 \text{ mm} \pm 1,8 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $22,81 \text{ mm} \pm 1,85 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 55 dargestellt.

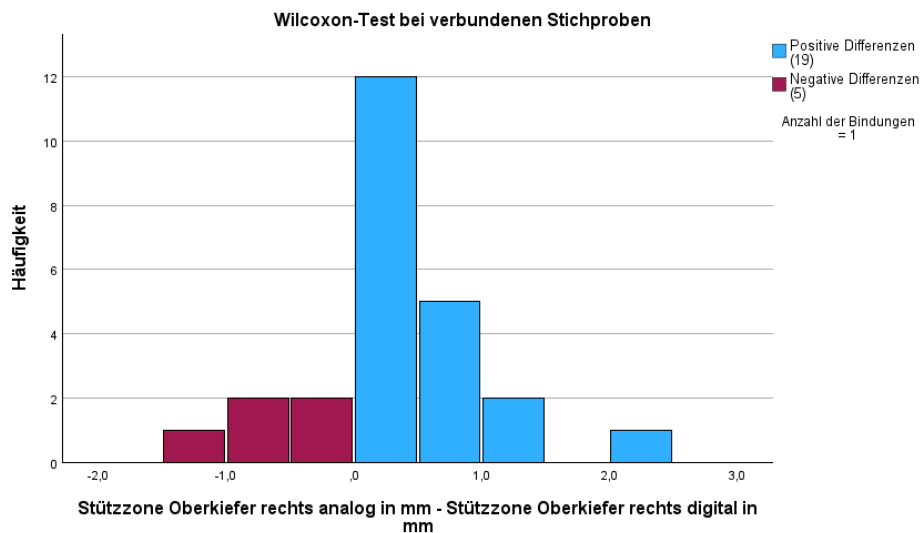


Abb. 55: Ergebnisse der Messungen der Stützzonen im Oberkiefer rechts in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Stützzonen im rechten Oberkiefer in der Gruppe 2 (n=25) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $22,28 \text{ mm} \pm 2,06 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $21,74 \text{ mm} \pm 1,98 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 56 dargestellt.

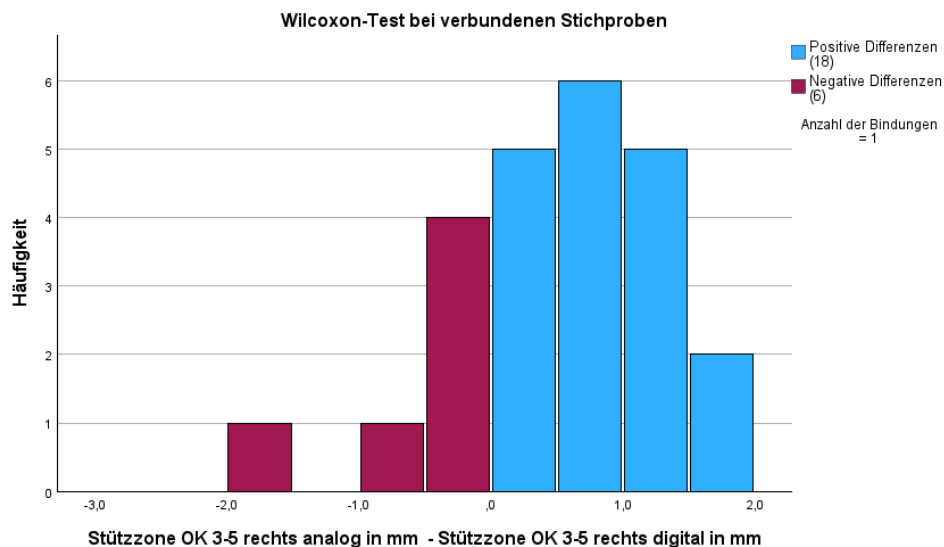


Abb. 56: Ergebnisse der Messungen der Stützzonen im Oberkiefer rechts in Gruppe 2 in Millimeter

4.3.2 Stützzone im Oberkiefer links

Die gemessenen Stützzeiten im linken Oberkiefer in der Gruppe 1 (n=25) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 23,38 mm \pm 1,99 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 23,01 mm \pm 1,94 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 57 dargestellt.

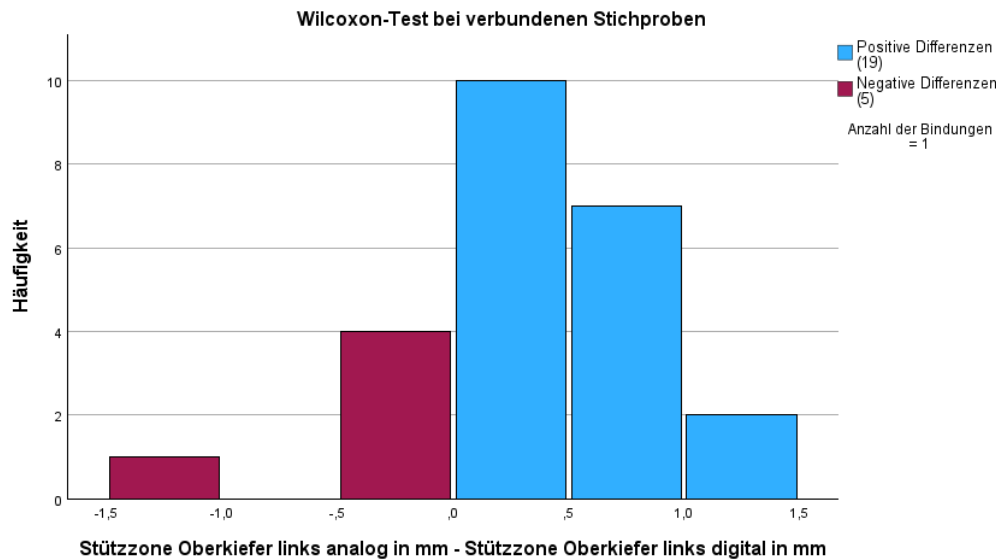


Abb. 57: Ergebnisse der Messungen der Stützzeiten im Oberkiefer links in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Stützzeiten im linken Oberkiefer in der Gruppe 2 (n=25) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 22,58 mm \pm 2,19 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 22,32 mm \pm 2,17 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 58 dargestellt.

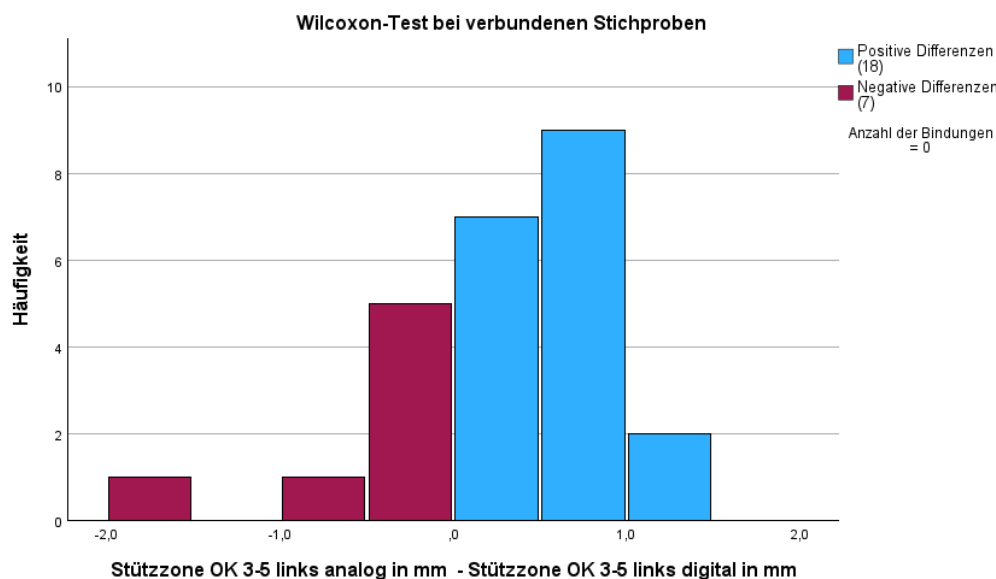


Abb. 58: Ergebnisse der Messungen der Stützzeiten im Oberkiefer links in Gruppe 2 in Millimeter

4.3.3 Stützzone im Unterkiefer rechts

Die gemessenen Stützzone im rechten Unterkiefer in der Gruppe 1 (n=25) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $23,52 \text{ mm} \pm 1,75 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $23,21 \text{ mm} \pm 1,66 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 59 dargestellt.

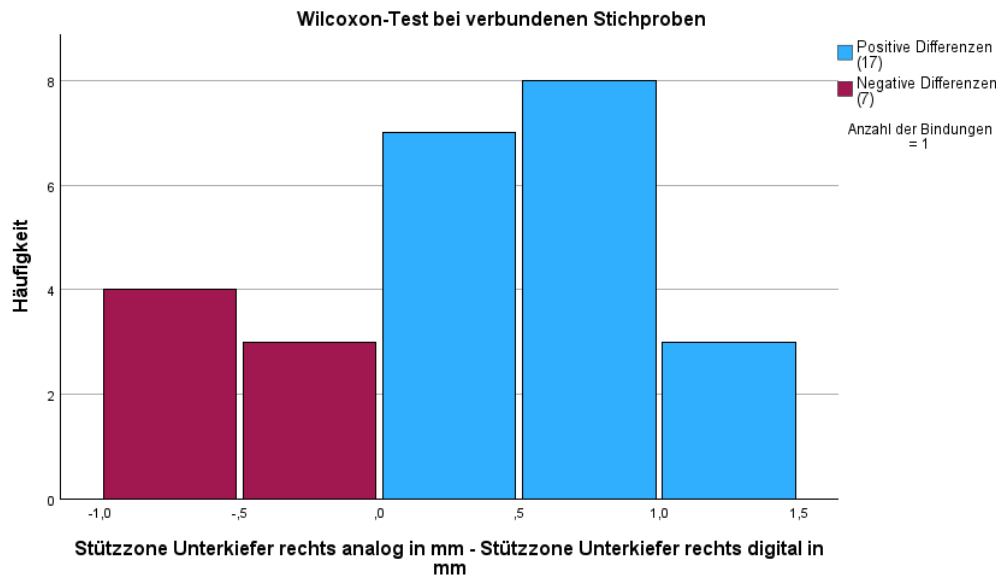


Abb. 59: Ergebnisse der Messungen der Stützzone im Unterkiefer rechts in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Stützzone im Unterkiefer rechts in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $21,9 \text{ mm} \pm 1,65 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $21,69 \text{ mm} \pm 1,64 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 60 dargestellt.

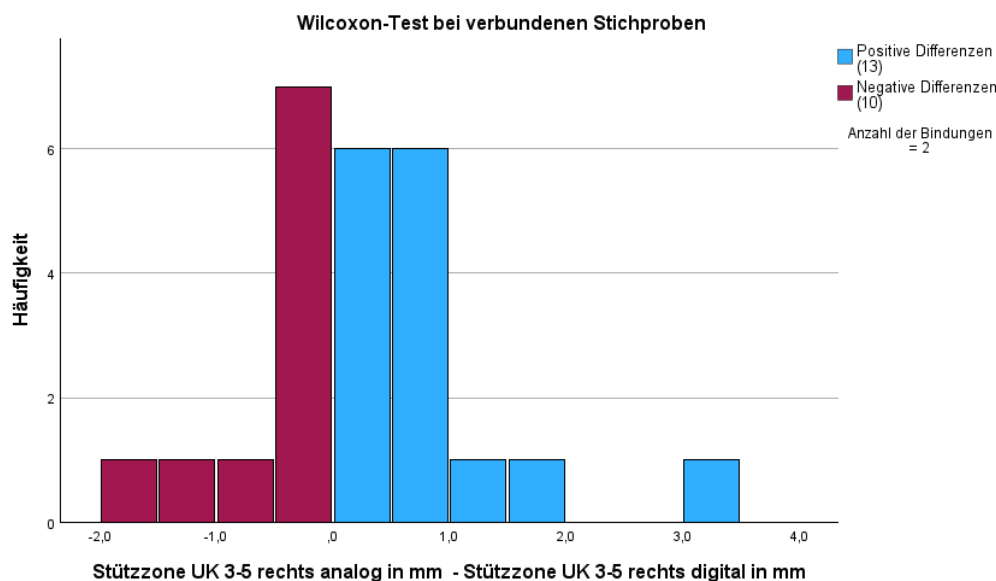


Abb. 60: Ergebnisse der Messungen der Stützzone im Unterkiefer rechts in Gruppe 2 in Millimeter

4.3.4 Stützzone im Unterkiefer links

Die gemessenen Stützzone im Unterkiefer links in der Gruppe 1 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $23,32 \text{ mm} \pm 1,7 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $23,1 \text{ mm} \pm 1,49 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 61 dargestellt.

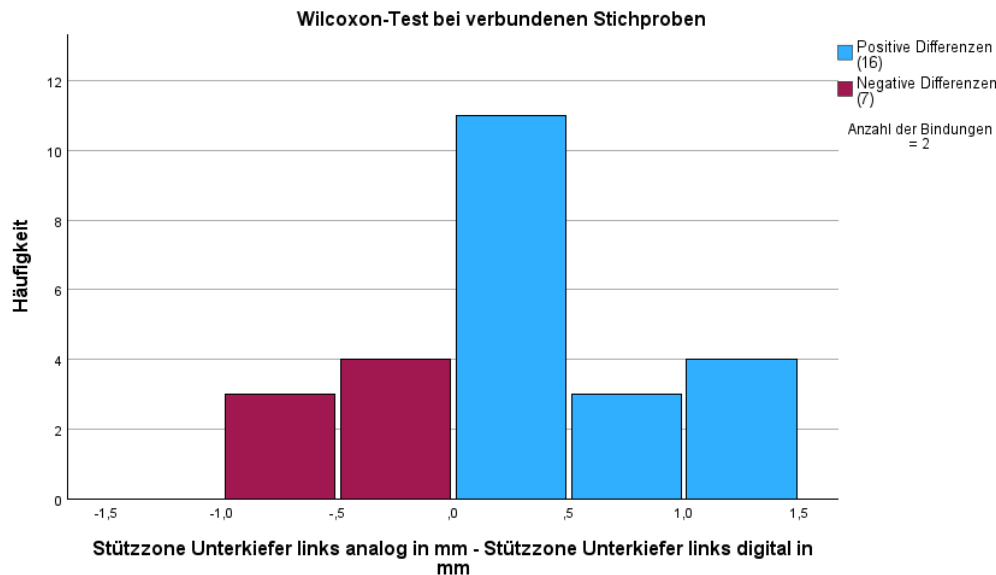


Abb. 61: Ergebnisse der Messungen der Stützzone im Unterkiefer links in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Stützzone im Unterkiefer links in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $22 \text{ mm} \pm 1,78 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $21,78 \text{ mm} \pm 1,73 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 62 dargestellt.

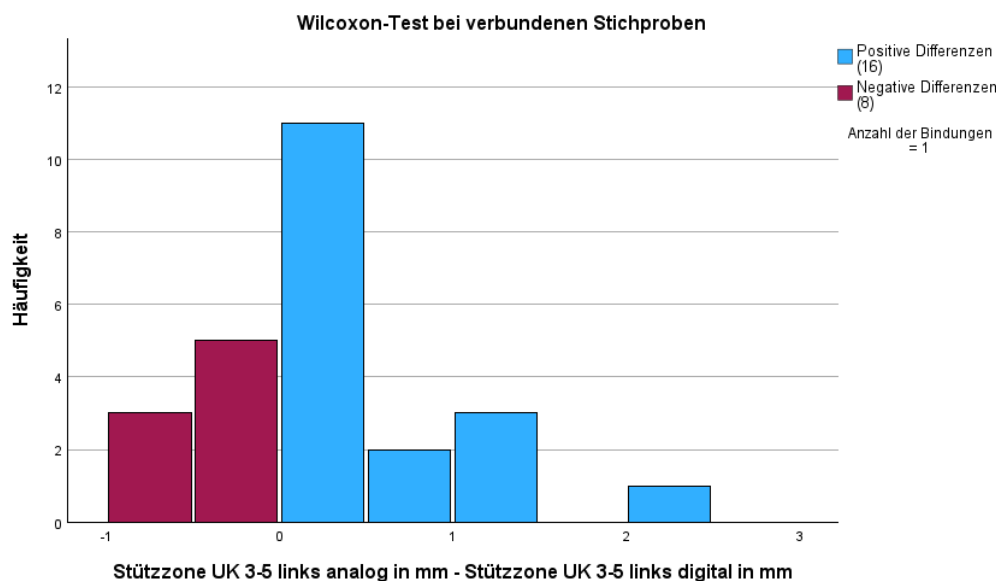


Abb. 62: Ergebnisse der Messungen der Stützzone im Unterkiefer links in Gruppe 2 in Millimeter

4.4 Frontzahnstufen

4.4.1 Sagittale Frontzahnstufe

Die gemessenen sagittalen Frontzahnstufen in der Gruppe 1 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $4,86 \text{ mm} \pm 2,34 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $3,88 \text{ mm} \pm 2,88 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 63 dargestellt.

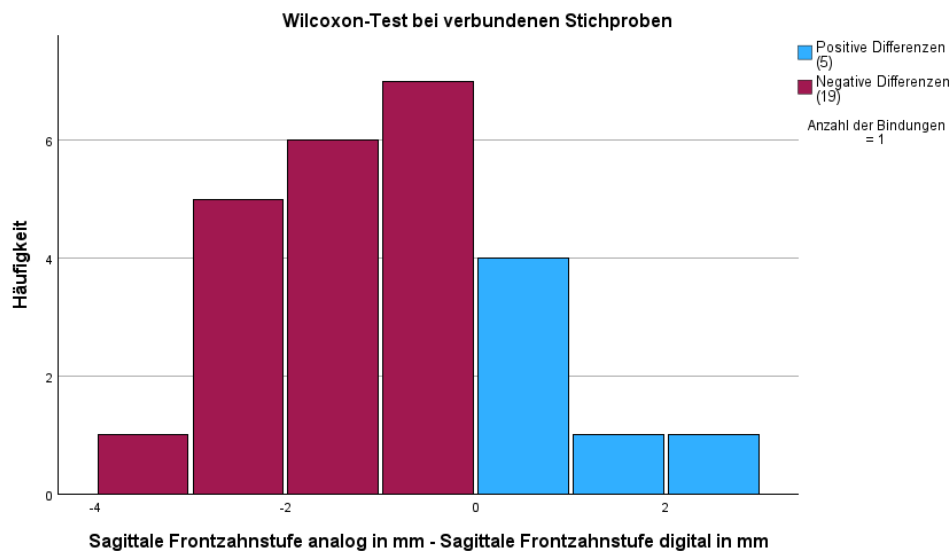


Abb. 63: Ergebnisse der Messungen der sagittalen Frontzahnstufe in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen sagittalen Frontzahnstufen in der Gruppe 2 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert $4,58 \text{ mm} \pm 2,63 \text{ mm}$ signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert $3,24 \text{ mm} \pm 2,58 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 64 dargestellt.

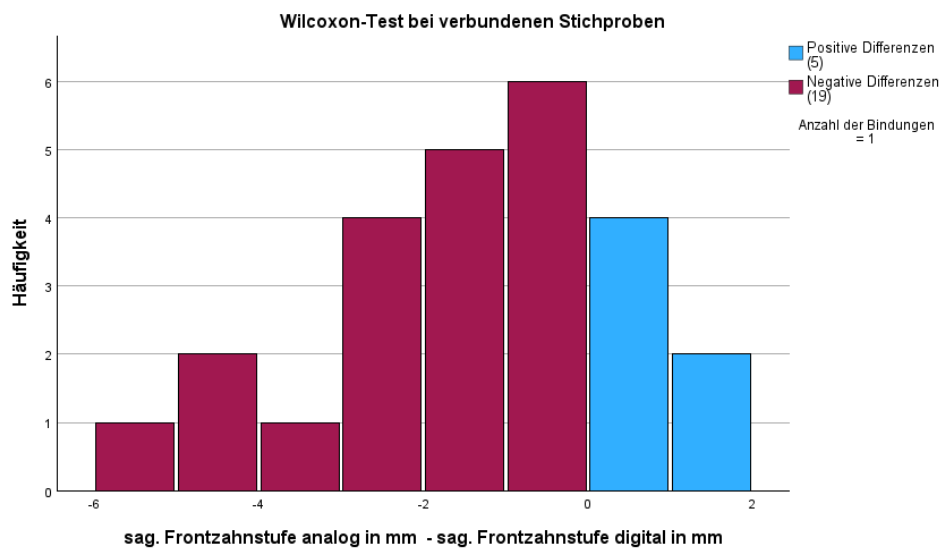


Abb. 64: Ergebnisse der Messungen der sagittalen Frontzahnstufe in Gruppe 2 in Millimeter

4.4.2 Vertikale Frontzahnstufe

Die gemessenen vertikalen Frontzahnstufen in der Gruppe 1 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $2,54 \text{ mm} \pm 1,63 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $2,86 \text{ mm} \pm 1,37 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 65 dargestellt.

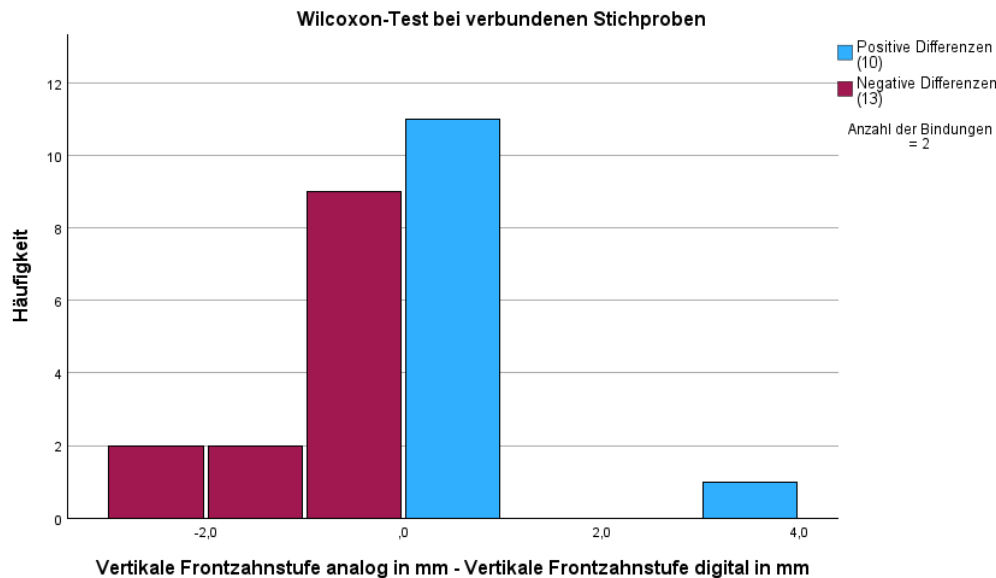


Abb. 65: Ergebnisse der Messungen der vertikalen Frontzahnstufe in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen vertikalen Frontzahnstufen in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $3,38 \text{ mm} \pm 2,07 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $3,55 \text{ mm} \pm 2,01 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 66 dargestellt.

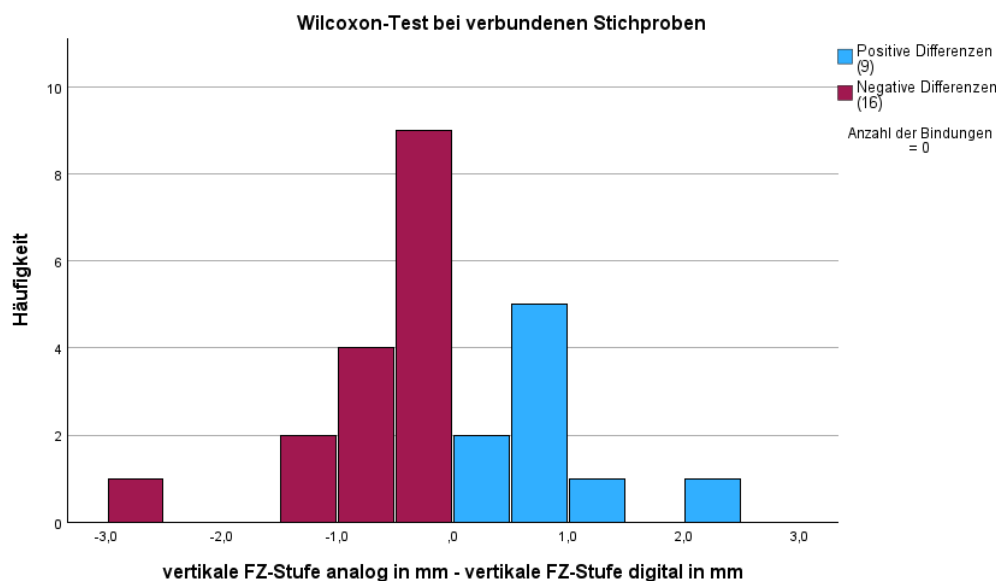


Abb. 66: Ergebnisse der Messungen der vertikalen Frontzahnstufe in Gruppe 2 in Millimeter

4.5 Zahnbogenbreiten

4.5.1 Anteriore Zahnbogenbreite im Oberkiefer (aZbbOK)

Die gemessenen anterioren Zahnbogenbreiten im Oberkiefer (aZbbOK) in der Gruppe 1 (n=25) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 36,14 mm \pm 2,53 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 35,35 mm \pm 2,5 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 67 dargestellt.

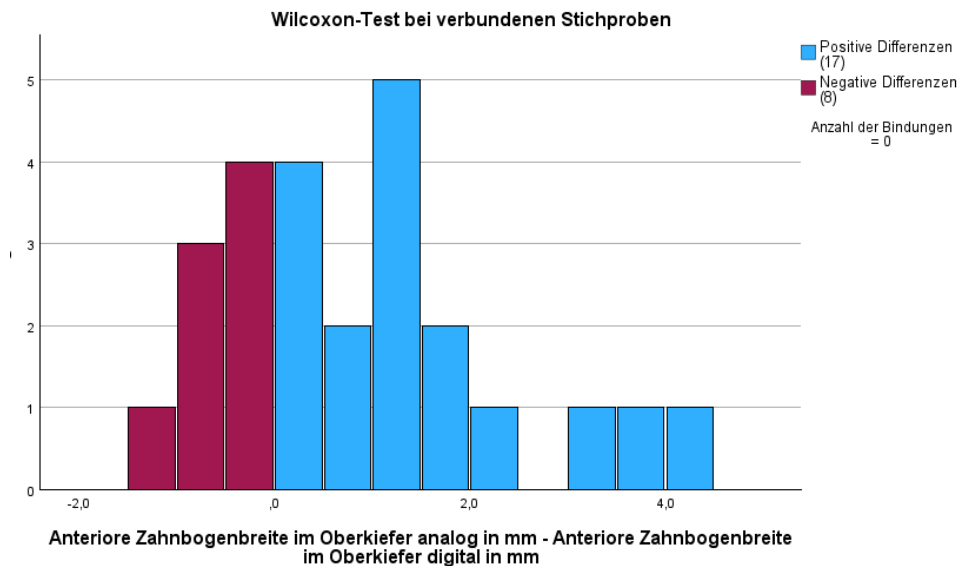


Abb. 67: Ergebnisse der Messungen der vorderen Zahnbogenbreite im Oberkiefer in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen anterioren Zahnbogenbreiten im Oberkiefer (aZbbOK) in der Gruppe 2 (n=25) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 36,8 mm \pm 2,09 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 36,38 mm \pm 2,02 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 68 dargestellt.

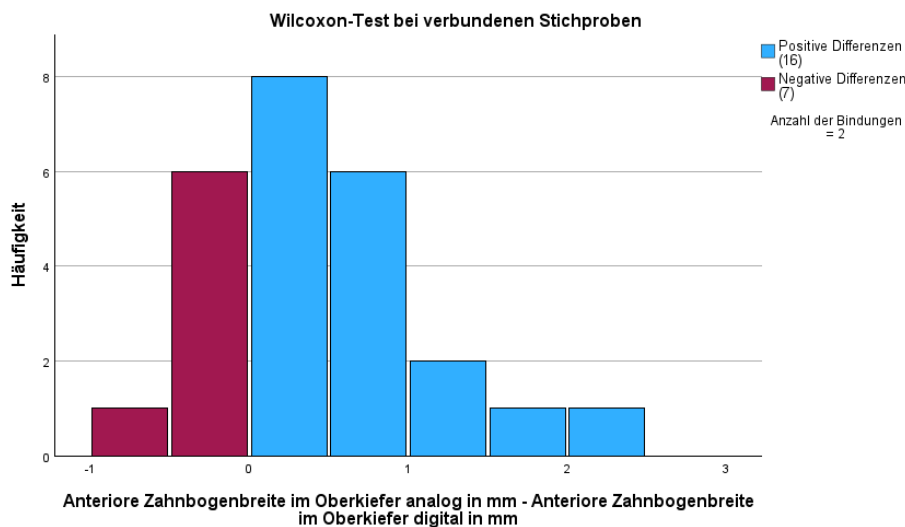


Abb. 68: Ergebnisse der Messungen der vorderen Zahnbogenbreite im Oberkiefer in Gruppe 2 in Millimeter

4.5.2 Anteriore Zahnbogenbreite im Unterkiefer (aZbbUK)

Die gemessenen anterioren Zahnbogenbreiten im Unterkiefer (aZbbUK) in der Gruppe 1 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 37,24 mm \pm 2,71 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 35,02 mm \pm 2,66 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 69 dargestellt.

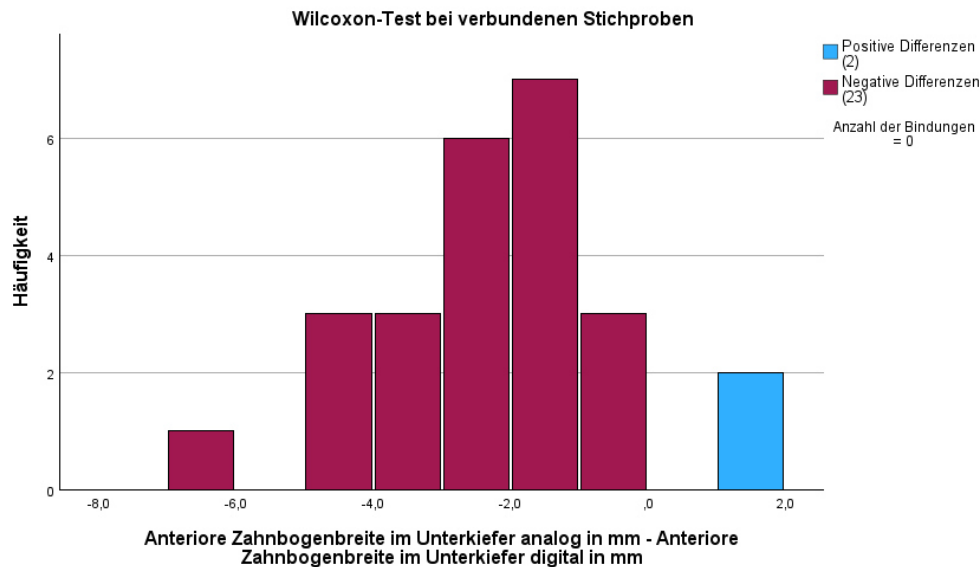


Abb. 69: Ergebnisse der Messungen der vorderen Zahnbogenbreite im Unterkiefer in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen anterioren Zahnbogenbreiten im Unterkiefer (aZbbUK) in der Gruppe 2 (n=25) waren beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 37,97 mm \pm 2,7 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 36,8 mm \pm 2,61 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 70 dargestellt.

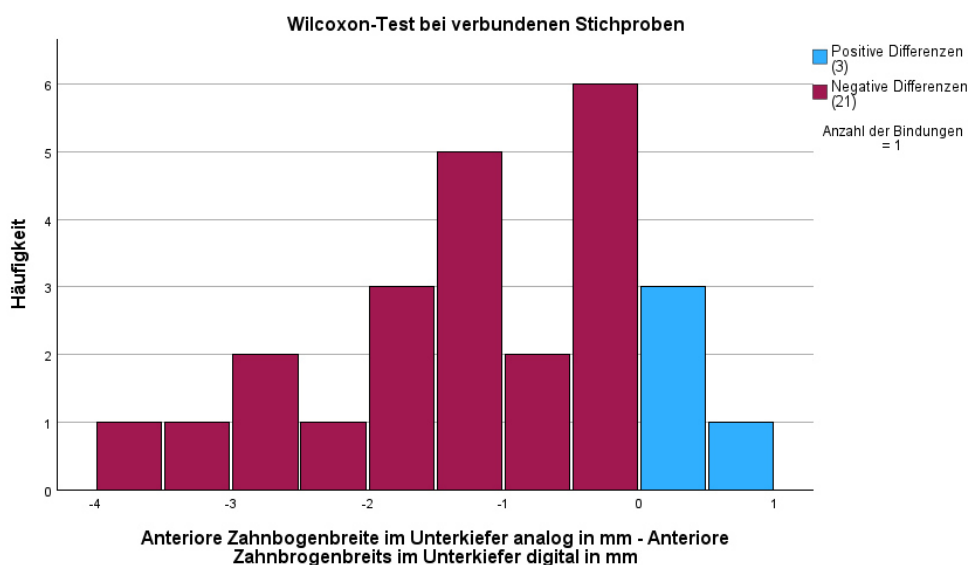


Abb. 70: Ergebnisse der Messungen der vorderen Zahnbogenbreite im Unterkiefer in Gruppe 2 in Millimeter

4.5.3 Posteriore Zahnbogenbreite im Oberkiefer

Die gemessenen posterioren Zahnbogenbreiten im Oberkiefer (pZbbOK) in der Gruppe 1 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $46,12 \text{ mm} \pm 2,85 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $45,72 \text{ mm} \pm 2,64 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 71 dargestellt.

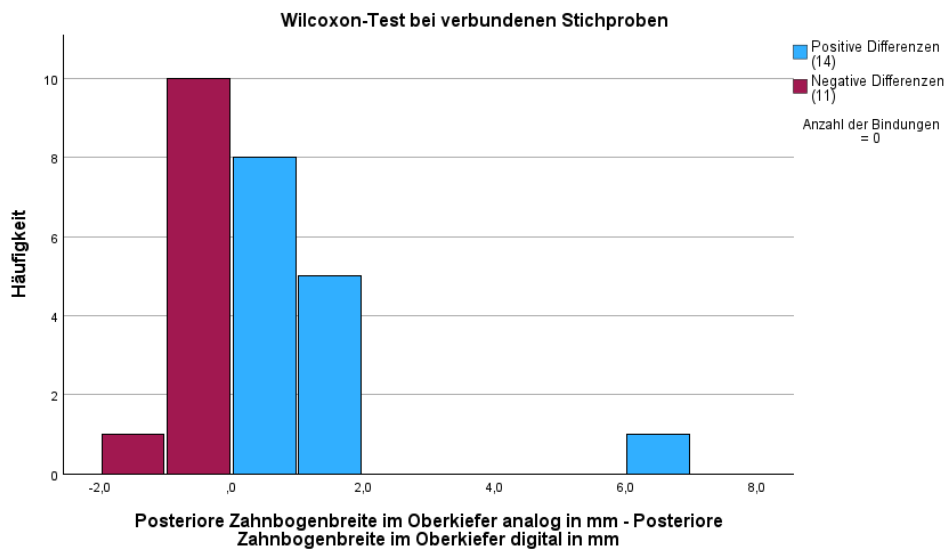


Abb. 71: Ergebnisse der Messungen der hinteren Zahnbogenbreite im Oberkiefer in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen posterioren Zahnbogenbreiten im Oberkiefer (pZbbOK) in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $46,9 \text{ mm} \pm 2,5 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $46,72 \text{ mm} \pm 2,76 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 72 dargestellt.

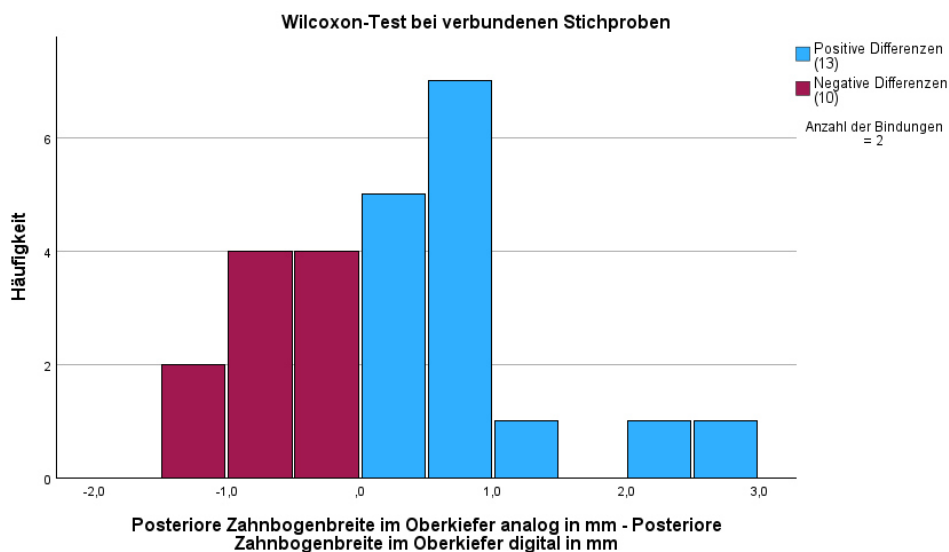


Abb. 72: Ergebnisse der Messungen der hinteren Zahnbogenbreite im Oberkiefer in Gruppe 2 in Millimeter

4.5.4 Posteriore Zahnbogenbreite im Unterkiefer (pZbbUK)

Die gemessenen posterioren Zahnbogenbreiten im Unterkiefer (pZbbUK) in der Gruppe 1 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $47,5 \text{ mm} \pm 2,68 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $47,92 \text{ mm} \pm 2,67 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 73 dargestellt.

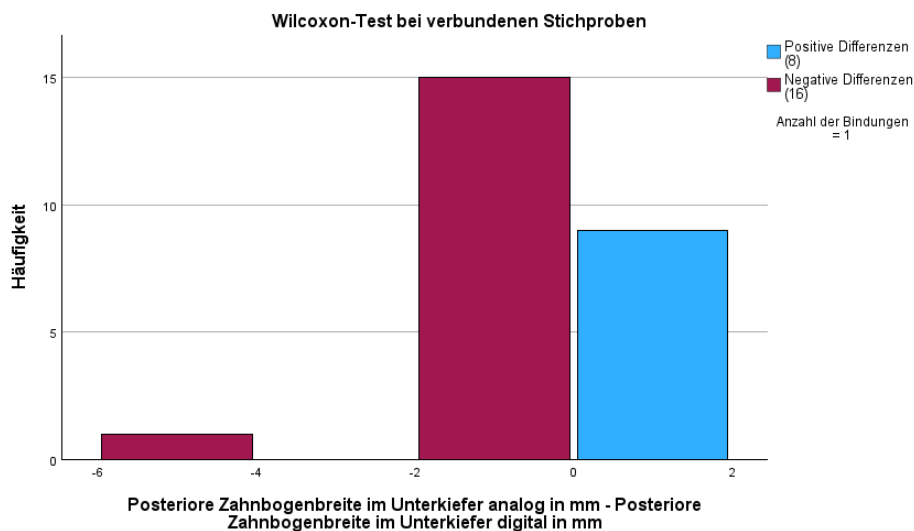


Abb. 73: Ergebnisse der Messungen der hinteren Zahnbogenbreite im Unterkiefer in Gruppe 1

Die gemessenen posterioren Zahnbogenbreiten im Unterkiefer (pZbbUK) in der Gruppe 2 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei $48,8 \text{ mm} \pm 3,62 \text{ mm}$ und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei $49,15 \text{ mm} \pm 3,63 \text{ mm}$. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 74 dargestellt.

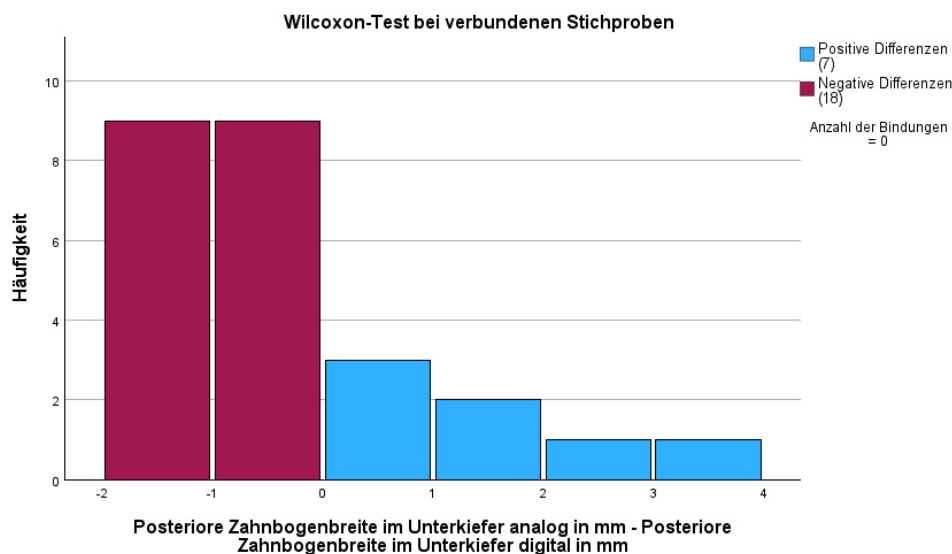


Abb. 74: Ergebnisse der Messungen der hinteren Zahnbogenbreite im Unterkiefer in Gruppe 2

4.6 Zahnbogenlängen

4.6.1 Zahnbogenlänge im Oberkiefer (LO)

Die gemessenen Zahnbogenlängen im Oberkiefer in der Gruppe 1 (n=25) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 18,92 mm \pm 1,98 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 17,18 mm \pm 1,61 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 75 dargestellt.

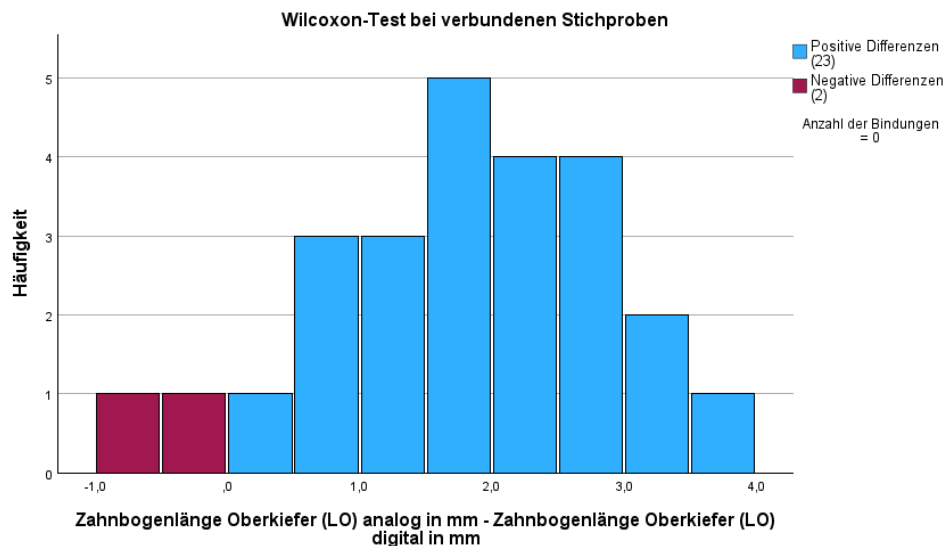


Abb. 75: Ergebnisse der Messungen Zahnbogenlänge im Oberkiefer in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbogenlängen im Oberkiefer in der Gruppe 2 (n=25) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 17,82 mm \pm 2,2 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 16,98 mm \pm 2,44 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 76 dargestellt.

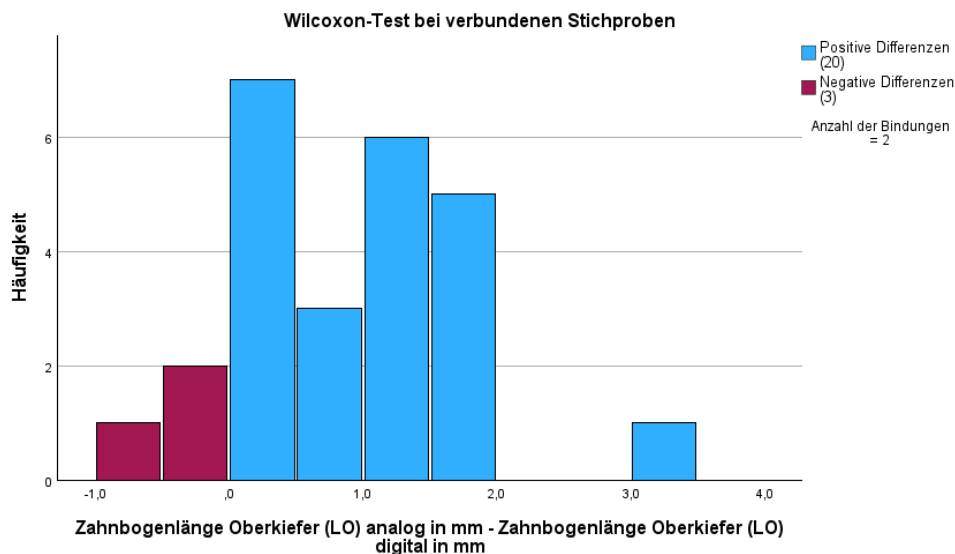


Abb. 76: Ergebnisse der Messungen Zahnbogenlänge im Oberkiefer in Gruppe 2 in Millimeter

4.6.2 Zahnbogenlänge im Unterkiefer (LU)

Die gemessenen Zahnbogenlängen im Unterkiefer in der Gruppe 1 (n=25) unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Beim analogen Messverfahren lag der Mittelwert bei 15,16 mm \pm 1,35 mm und beim digitalen Messverfahren lag der Mittelwert bei 15,1 mm \pm 2,18 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 77 dargestellt.

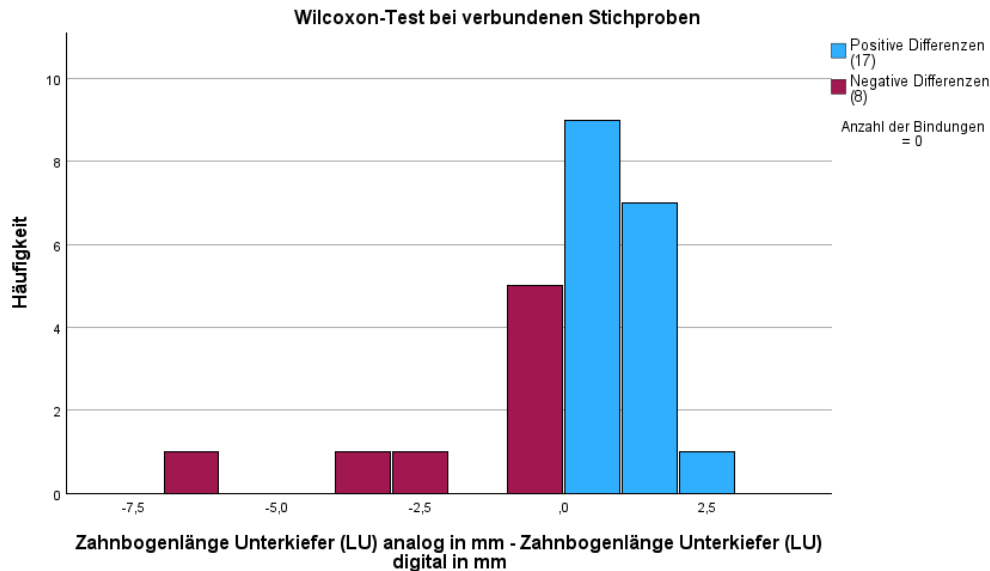


Abb. 77: Ergebnisse der Messungen Zahnbogenlänge im Unterkiefer in Gruppe 1 in Millimeter

Die gemessenen Zahnbogenlängen im Unterkiefer in der Gruppe 2 (n=25) waren beim analogen Messverfahren mit dem Mittelwert 15,78 mm \pm 1,54 mm signifikant höher ($p < 0,05$) als beim digitalen Messverfahren mit dem Mittelwert 15,09 mm \pm 2,13 mm. Die Häufigkeiten und Formen der Abweichungen sind in Abbildung 78 dargestellt.

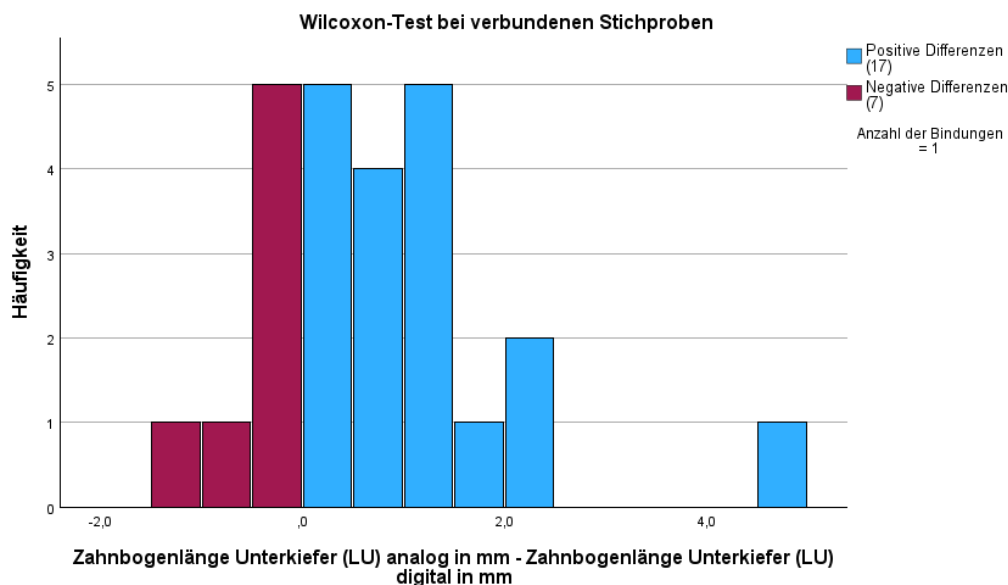


Abb. 78: Ergebnisse der Messungen Zahnbogenlänge im Unterkiefer in Gruppe 2 in Millimeter

4.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| Parameter | Wechselgebiss | Zweite Dentition |
|-------------|--------------------------|---------------------------|
| Zeit | Analog signifikant höher | Analog signifikant höher |
| 16 | Keine Signifikanz | Keine Signifikanz |
| 26 | Keine Signifikanz | Keine Signifikanz |
| 36 | Analog signifikant höher | Keine Signifikanz |
| 46 | Keine Signifikanz | Keine Signifikanz |
| 15 | Keine Signifikanz | Analog signifikant höher |
| 25 | Analog signifikant höher | Analog signifikant höher |
| 35 | Keine Signifikanz | Analog signifikant höher |
| 45 | Keine Signifikanz | Analog signifikant höher |
| 14 | Analog signifikant höher | Analog signifikant höher |
| 24 | Keine Signifikanz | Analog signifikant höher |
| 34 | Keine Signifikanz | Analog signifikant höher |
| 44 | Keine Signifikanz | Keine Signifikanz |
| 13 | Keine Signifikanz | Keine Signifikanz |
| 23 | Keine Signifikanz | Keine Signifikanz |
| 33 | Keine Signifikanz | Keine Signifikanz |
| 43 | Keine Signifikanz | Keine Signifikanz |
| 12 | Keine Signifikanz | Digital signifikant höher |

| | | |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
| 22 | Keine Signifikanz | Keine Signifikanz |
| 32 | Digital signifikant höher | Digital signifikant höher |
| 42 | Digital signifikant höher | Digital signifikant höher |
| | | |
| 11 | Digital signifikant höher | Digital signifikant höher |
| 21 | Keine Signifikanz | Digital signifikant höher |
| 31 | Digital signifikant höher | Digital signifikant höher |
| 41 | Digital signifikant höher | Digital signifikant höher |
| | | |
| SZro | Analog signifikant höher | Analog signifikant höher |
| SZlo | Analog signifikant höher | Analog signifikant höher |
| | | |
| SZru | Analog signifikant höher | Keine Signifikanz |
| SZlu | Keine Signifikanz | Keine Signifikanz |
| | | |
| Sag.-FZ-Stufe | Digital signifikant höher | Digital signifikant höher |
| Vert.-FZ-Stufe | Keine Signifikanz | Keine Signifikanz |
| | | |
| aZbbOK | Analog signifikant höher | Analog signifikant höher |
| pZbbUK | Keine Signifikanz | Keine Signifikanz |
| aZbbOK | Digital signifikant höher | Digital signifikant höher |
| pZbbUK | Keine Signifikanz | Keine Signifikanz |
| | | |
| LO | Analog signifikant höher | Analog signifikant höher |
| LU | Keine Signifikanz | Analog signifikant höher |

Tab. 6: Übersicht über die Ergebnisse

5 Diskussion

5.1 Patientenkollektiv

In der vorliegenden Studie wurden Modelle von insgesamt 50 Patienten untersucht. Die Patienten befanden sich zur kieferorthopädischen Behandlung im Patientenstamm der Klinik für Kieferorthopädie am Universitätsklinikum des Saarlandes. Zur Teilnahme an der Studie war das Vorliegen von Gipsmodellen des Ober- und Unterkiefers, sowie eines Bissregistrates erforderlich. Ausgeschlossen wurden Patienten mit einem Gebiss der ersten Dentition, vorhandenem Zahnersatz oder Lippen-Kiefer-Gaumenspalten. Die Auswahl der Modelle erfolgte nach dem Zufallsprinzip. Es erfolgte die Unterteilung in zwei Versuchsgruppen. Die Unterteilung erfolgte zur Klärung der Fragestellung, ob spezifische Unterschiede abhängig von der Dentition festzustellen sind. Diese wären beispielsweise aufgrund von Unterschieden beim Scan oder der Analyse durch die Software aufgrund von Variationen im Wechselgebiss denkbar.

In der klinischen Studie von Yilmaz et al. [55] erfolgte die Durchführung an einem kleineren Patientenkollektiv (n=30), wobei auch hier die Auswahl nach dem Zufallsprinzip erfolgte. Neben der Indikation zur Behandlung mittels festsitzender oder herausnehmbarer kieferorthopädischer Apparatur, war auch das Vorliegen einer geschlossenen Zahnreihe der zweiten Dentition bis zum ersten Molaren ein Einschlusskriterium der Studie. Somit wurden im Gegensatz zur hier vorliegenden Untersuchung nur Modelle der zweiten Dentition betrachtet. Reuschl et al. [46] untersuchten ein kleineres Patientenkollektiv (n=19 Patienten) und definierte als Einschlusskriterium ebenfalls das Vorliegen der zweiten Dentition. Murugesan et al. [43] definierten keine Kriterien hinsichtlich der Dentition und führten die Untersuchung an Modellen von insgesamt zehn Patienten durch. Es wurden jedoch nur Modelle betrachtet, welche vor Beginn einer kieferorthopädischen Behandlung angefertigt wurden. Eine entsprechende Differenzierung hinsichtlich des Zeitpunktes, bezogen auf eine kieferorthopädische Behandlung, erfolgte in der hier durchgeführten Untersuchung nicht, sodass Modelle aus allen Behandlungsphasen eingeschlossen wurden.

5.2 Material und Methode

Für die Erstellung der digitalen Modelle erfolgte ein Scan des vorhandenen Gipsmodells mittels Modellscanner. Die Modellherstellung erfolgte nach Abformung mit Alginat. Hierbei handelt es sich um ein etabliertes Verfahren, welches häufig zur Anwendung kommt und eine hohe Genauigkeit liefert [16,45]. Nachteilig ist bei dieser Verfahrensweise, dass die manuelle Herstellung des Gipsmodells mehrere Arbeitsschritte in einem zahntechnischen Labor erfordert und diese mit einem entsprechenden Zeitaufwand und Kosten verbunden sind [46]. Weiterhin entstehen durch Materialungenauigkeiten und Schrumpfsreaktion der Abformmaterialien und des Modellgipses weitere Fehlerquellen [28,53].

Eine zunehmende Relevanz in der zahnärztlichen Behandlung wird der Patientenerfahrung zugeschrieben, um Behandlungen aus Patientensicht angenehmer, verständlicher und transparenter zu gestalten. Zur wissenschaftlichen Betrachtung dieser Erfahrungen, erfolgen Befragungen von Patienten anhand zuvor definierter Kriterien. Die Ergebnisse werden dann als so genannte patient-reported experience measures (kurz: PREMs) zusammengefasst [20]. Betrachtet man diese patient-reported experience measures, so zeigt sich, dass die konventionelle Abformung insbesondere bei Patienten mit verstärktem Würgereiz eine negative Auswirkung auf die PRE der Behandlung aufweist [7,17,26]. Auch in Bezug zu einer nachhaltigen Arbeitsweise zeigen sich nachteilige Aspekte aufgrund des Materialeinsatzes von Abformmaterialien, Abformdesinfektionsmitteln, Gipsen und dem zur Herstellung benötigten Wasser [21].

Alternativ zu diesem indirekten Verfahren, wäre auch das direkte Verfahren zur Digitalisierung von Modellen mittels Intraoralscan möglich gewesen. Hier zeigt sich in den vergleichbaren Studien ein heterogenes Bild. So erfolgten die Untersuchungen von Yilmaz et al. [55] und Araón et al. [3] an Modellen, welche durch einen Intraoralscan generiert wurden. Dahingegen wurden die digitalen Modelle in den Studien von Leifert et al. [38], Zilberman et al. [59] und Bootvong et al. [5] mittels indirektem Modellscan generiert.

Gül Amuk et al. [27] konnten beim Vergleich der Digitalisierung von Modellen der direkten Methode mittels Intraoralscan und der indirekten Methode mittels Modellscan keine signifikanten Unterschiede feststellen und beschrieben beide Verfahren als valides Mittel für die klinische Anwendung. Zu ähnlichen Ergebnissen kam Cavalcanti et al. [15], wobei hier auch keine Unterschiede zwischen verschiedenen Typen von Intraoralscannern nachgewiesen werden konnten. Tomita et al. [51] hingegen beschreiben eine signifikant höhere Genauigkeit beim direkten Verfahren mittels Intraoralscanner, wobei die Untersuchung nicht mit klinisch relevanten Parametern, sondern mit fiktiv erstellten Strecken zwischen artifiziell erstellten Referenzpunkten durchgeführt wurde.

Es zeigt sich, dass die Genauigkeit sowohl vom Gerätetyp als auch von der Erfahrung des Behandlers abhängig ist [3,41]. Weiterhin ist die Genauigkeit abhängig von der klinischen Situation. So ist die Präzision beim Intraoralscan im zahnlosen oder teilbezahnten Kiefer geringer als bei vollbezahnten Kiefern.

Der Intraoralscan und der Abformungsscan sind hinsichtlich der benötigten Zeit effektiver als der Modellscan oder die analoge Verfahrensweise [14]. Vergleicht man die Verfahren hinsichtlich Ihrer Wirtschaftlichkeit, so zeigt sich die Durchführung eines Intraoralscans ebenfalls als vorteilhaft, da keine Abformmaterialien oder Gipse benötigt werden und die Arbeitsschritte im zahntechnischen Labor entfallen. In diesem Zusammenhang sind jedoch auch die teils hohen Kosten für die Anschaffung eines Intraoralscanners, sowie die anfallenden Wartungs- und Lizenzgebühren zu berücksichtigen, sodass die Wirtschaftlichkeit individuell betrachtet werden muss [25].

Auch bei den verwendeten Analysesoftwaren zeigt sich ein heterogenes Bild. So nutzten Lang et al. [37] ebenfalls das Programm Onyx Ceph® 3TM (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland), wohingegen von Reuschl et al. [46] und Yilmaz et al. [55] die Software Orthoanalyzer® (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) nutzen. Gracco et al. [24] hingegen nutzen eine eigenentwickelte Software der Fakultät für Informatik und Ingenieurwissenschaften der Universität Padova in Italien.

Die Konfiguration der in dieser Arbeit genutzten Software erfolgte manuell. Die gewünschten Referenzpunkte und Strecken wurden händisch in der Software eingepflegt und konfiguriert. Auch die Bestimmung der Messpunkte im Modell erfolgte händisch durch den Anwender. Yu et al. [56] verglichen diese Vorgehensweise mit Softwares, bei welchen artifizielle Intelligenz bei entsprechenden Schritten zur Anwendung kam. Es zeigte sich, dass durch die Anwendung von artifizieller Intelligenz ein weiterer statistisch signifikanter Zeitvorteil erreicht werden konnte bei gleichzeitig suffizienten Genauigkeiten. Bor et al. [6] hingegen zeigten, dass durch die Anwendung von artifizieller Intelligenz in den Softwares hohe Genauigkeiten mit gleichzeitig signifikantem zeitlichen Vorteil erreicht werden können, es aber bei einigen relevanten Messwerten zu erheblichen Abweichungen kommen kann, weshalb die alleinige klinische Anwendung zum aktuellen Zeitpunkt kritisch diskutiert werden sollte.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Untersuchungen und Auswertungen erfolgten durch einen Erstanwender (Zahnmedizinstudent), wodurch auch eine Betrachtung der Entwicklung der benötigten Zeit möglich war. Die Untersuchungen von Lang et al. [37] weisen ein ähnliches Studiendesign auf, jedoch wurden die Untersuchungen durch einen erfahrenen Anwender durchgeführt. Eine weitere Differenzierung hinsichtlich der Erfahrung und Vorkenntnissen erfolgte nicht. Auch bei Reuschl et al. [46] erfolgte vor Beginn der Untersuchungen eine Einweisung

der beiden Probanden und es wurden exemplarische Fälle zu Schulungszwecken gemeinsam durchgeführt, sodass auch hier keine Erstanwender-Situation vorlag.

Die untersuchten Parameter unterschieden sich zwischen den Studien. Eine Untersuchung der benötigten Zeit und der Genauigkeit wurde in den Untersuchungen von Yilmaz et al. [55], Reuschl et al. [46], Lang et al. [37], Mullen et al. [42], Grünheid et al. [26], Bukhari et al. [8] und Gracco et al. [24] durchgeführt. Der überwiegende Teil der vergleichenden Untersuchungen zwischen der digitalen und der analogen kieferorthopädischen Modellanalyse fokussierte sich jedoch ausschließlich auf mögliche Abweichungen der Messwerte, um die Genauigkeit der beiden Methoden zu vergleichen. Eine Betrachtung der Zeitentwicklung bzw. der Lernkurve bei einem Erstanwender erfolgte in keiner der genannten Studien.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Zeitmessung

Der in den eigenen Ergebnissen dargestellte signifikante Zeitvorteil der digitalen Vorgehensweise im Vergleich mit der analogen Vorgehensweise entspricht größtenteils auch den Ergebnissen der bisher veröffentlichten Untersuchungen. Die benötigte Zeit für die Durchführung der analogen Modellanalyse war in Gruppe 1 im Durchschnitt um den Faktor 3,48 höher als bei der digitalen Methode. In Gruppe 2 zeigte sich eine entsprechende Erhöhung um den durchschnittlichen Faktor 3,32. Lang et al. [37] differenzierten bei den Untersuchungen zwischen der ausschließlichen Messung der Zahnbreiten und einer vollständigen Modellanalyse. Bei der reinen Zahnbreitenmessung war die durchschnittliche benötigte Zeit beim analogen Vorgehen um den Faktor 1,67 erhöht, bei der vollständigen Modellanalyse sogar um durchschnittlich 1,73. Auch Yilmaz et al. [55] kamen zu dem Ergebnis, dass ein durchschnittlicher zeitlicher Mehraufwand um den Faktor 1,5 beim analogen Vorgehen vorlag. Eine genauere Differenzierung erfolgte hier nicht.

Lediglich die Untersuchungen von Bukhari et al. [8] lieferten konträre Ergebnisse. Bukhari et al. unterteilten ihre Ergebnisse in drei Gruppen hinsichtlich der Schwere des vorliegenden Engstandes. In allen drei Gruppen nahm das digitale Vorgehen signifikant mehr Zeit in Anspruch als das analoge Vorgehen. Die Autoren beschreiben ein widersprüchliches Ergebnis zur vorliegenden Literatur und begründen diese Abweichung damit, dass insbesondere die genaue Definition der relevanten Referenzpunkte, sowie die Segmentierung durch die Software mehr Zeit in Anspruch nehmen als die direkte Messung beim analogen Vorgehen. Verwendet wurde die Software Orthoanalyzer® (3Shape, Kopenhagen, Dänemark).

Es kann somit diskutiert werden, ob die Abweichung auf den Unterschied zwischen den verwendeten Softwarelösungen zurückzuführen ist. Gegen diese These spricht hingegen, dass auch die Untersuchungen von Lang et al. [37] mit der Software Orthoanalyzer® (Firma 3Shape, Kopenhagen, Dänemark) durchgeführt wurden.

5.3.2 Zeitentwicklung und Lernkurve

Da es sich bei dieser Studie um Untersuchungen durch einen Erstanwender bei beiden Verfahrensweisen handelt, konnten sehr gut Rückschlüsse auf die Zeitentwicklung und die Lernkurve gezogen werden. Vergleichbare Studien zur Zeitentwicklung bei kieferorthopädischen Modellanalysen sind in der Literatur bisher nicht beschrieben, jedoch sind ähnliche Studienmodelle zu zahnärztlichen Themen verfügbar, was zumindest eine Einordnung der Ergebnisse dieser Untersuchungen erlaubt.

Róth et al. [47] untersuchten die Zeitentwicklung bei Intraoralscans. Als Probanden wurden zehn Zahnmedizinstudenten ausgewählt, sodass auch hier eine Erstanwendersituation vorlag. Ähnlich wie bei den hier vorliegenden Ergebnissen kam es zu einer statistisch signifikanten Reduktion der benötigten Zeit. Vergleicht man jedoch die Zeitentwicklung, so entspricht die Reduktion in den Untersuchungen von Róth et al. eher einer linearen Abnahme, wobei in den hier vorliegenden Daten eine exponentielle Abnahme nachgewiesen werden konnte. Aufgrund der niedrigen Fallzahl von zehn Intraoralscans konnte weiterhin keine Plateauphase nachgewiesen werden, wie sie sich im hiesigen Fall etablierte [47].

Ein ebenfalls ähnliches zahnärztliches Studiendesign wurde bei der Arbeit von Koo et al. [35] angewendet. Es wurde hier an Erstanwendern untersucht, wie sich die Scanzeiten bei Intraoralscans abhängig vom Gerätetyp unterscheiden. Die Lernkurven ähneln hier stark den hier vorliegenden Ergebnissen mit einer exponentiellen Abnahme mit Ausbildung eines Plateaus.

Auch eine Einordnung der Ergebnisse in didaktische bzw. psychologische Modelle ist möglich. Newell und Rosenbloom [44] beschrieben in ihrem Modell des Lernens durch Wiederholen, dass der Lernerfolg bezogen auf die benötigte Zeit in der Regel einer mathematischen Potenzfunktion entspricht. Die Funktion ist so gestaltet, dass initial eine negativ exponentielle Abnahme der benötigten Zeit pro Durchführung zu beobachten ist. Diese flacht dann kontinuierlich ab, bis sie in eine Plateauphase übergeht. Wird diese Plateauphase erreicht, so kommt es zu keiner weiteren Abnahme der benötigten Zeit, sodass davon auszugehen ist, dass eine weitere Optimierung nicht mehr möglich sein wird. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen die Untersuchungen von Heathcote et al. [30], welche ebenfalls diese Art der Funktion als sinnvolles Modell zur Skizzierung des Lernens durch Wiederholen ansehen.

5.3.3 Messgenauigkeit

Bei der Betrachtung der Messgenauigkeit konnte in der vorliegenden Untersuchung nachgewiesen werden, dass es zu teilweise signifikanten Unterschieden bei den erhobenen Messwerten kam. Vergleichbare Untersuchungen zeigen hier ein heterogenes Bild.

In den Untersuchungen von Gracco et al. [24] konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Betrachtet wurden hier jedoch keine Zahnbreiten, sondern ausschließlich die Zahnbogenbreiten und Stützzonen. Auch Yilmaz et al. [55] konnten keine signifikanten Unterschiede bei den Messgenauigkeiten ermitteln.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Zhang et al. [58]. Sie konnten ausschließlich bei der posterioren Zahnbogenbreite im Unterkiefer einen signifikanten Unterschied ermitteln. Bei allen anderen erhobenen Messwerten wurden keine signifikanten Unterschiede dargestellt.

Stevens et al. [50] konnten zwar statistisch signifikante Unterschiede bei den Messwerten feststellen, jedoch ordneten sie diese in einem zweiten Schritt in den Peer-Assessment-Rating-Index ein, um die Fragestellung der klinischen Relevanz zu klären. Hierbei zeigte sich, dass trotz signifikanter statistischer Unterschiede bei den einzelnen Messwerten es zu keiner signifikanten Veränderung der klinischen Relevanz kam.

Weitere Untersuchungen von Mullen et al. [42] zeigten ebenfalls signifikante Unterschiede bei den Messungen, welche so stark abwichen, dass hier auch eine klinische Relevanz gegeben war.

5.4 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Arbeit lassen den Schluss zu, dass die digitale Modellanalyse im Vergleich zur analogen Vorgehensweise einen signifikanten zeitlichen Vorteil bietet. Dies trifft sowohl auf Modelle der Wechselgebissphase als auch auf Modelle der zweiten Dentition zu. Hinsichtlich möglicher Unterschiede zwischen genutzten Softwares gibt es in der Literatur widersprüchliche Aussagen, sodass hier weitere Nachuntersuchungen notwendig sind. Ebenfalls sollte nachuntersucht werden, ob die Zuhilfenahme von artifizieller Intelligenz einen weiteren Zeitvorteil bei zugleich hoher Messgenauigkeit mit sich bringt.

Die ermittelte Lernkurve ist deckungsgleich zu den wissenschaftlich anerkannten Modellen des Lernens durch Wiederholen und zeigt, dass die benötigte Zeit durch Übung bzw. Erfahrung deutlich reduziert werden kann. Ob und inwieweit ein relevanter didaktischer Unterschied beim Lernen im Rahmen der studentischen und postgraduellen Ausbildung besteht, ist ebenfalls in weiteren Nachuntersuchungen zu klären.

Die teilweise signifikanten statistischen Unterschiede bei den erhobenen Messwerten sind nur teilweise deckungsgleich mit den vergleichbaren Literaturergebnissen. Ob die Abweichungen in den Untersuchungen auf die Durchführung durch einen Erstanwender oder das Vorgehen an sich zurückzuführen ist, bleibt durch weitere Nachuntersuchungen zu klären.

6 Literaturverzeichnis

1. Alam M (2011) A to Z Orthodontics. Volume 22: History taking and Examination.
2. Alkaabi S, Maningky M, Helder MN, Alsabri G (2022) Virtual and traditional surgical planning in orthognathic surgery – systematic review and meta-analysis. *Br J Oral Maxillofac Surg* 60:1184–1191
3. Aragón MLC, Pontes LF, Bichara LM, Flores-Mir C, Normando D (2016) Validity and reliability of intraoral scanners compared to conventional gypsum models measurements: a systematic review. *Eur J Orthod* 38:429–434
4. Bolton (1958) Disharmony in tooth size and its relation to the analysis and treatment of malocclusion. *Angle Orthod* 28:
5. Bootvong K, Liu Z, McGrath C, Hägg U, Wong RWK, Bendeus M, Yeung S (2010) Virtual model analysis as an alternative approach to plaster model analysis: reliability and validity. *Eur J Orthod* 32:589–595
6. Bor S, Oğuz F, Khanmohammadi A (2025) Diagnostic Accuracy and Agreement Between AI and Clinicians in Orthodontic 3D Model Analysis. *Appl Sci* 15:7786
7. Bosoni C, Nieri M, Franceschi D, Souki BQ, Franchi L, Giuntini V (2023) Comparison between digital and conventional impression techniques in children on preference, time and comfort: A crossover randomized controlled trial. *Orthod Craniofac Res* 26:585–590
8. Bukhari SAA, Reddy KA, Reddy MR, Shah SH (2017) Evaluation of virtual models (3Shape Ortho System) in assessing accuracy and duration of model analyses based on the severity of crowding. *Saudi J Dent Res* 8:11–18
9. Bundesausschuss der Zahnärzte und Krankenkassen (2001) ANLAGE 1 zu Abschnitt B Nr. 3 (jetzt Nr. 2) der KFO – Richtlinien in der Fassung des Beschlusses vom 17.08.2001: Schema zur Einstufung des kieferorthopädischen Behandlungsbedarfs anhand kieferorthopädischer Indikationsgruppen (KIG).
10. Bundesausschuss der Zahnärzte und Krankenkassen (2001) ANLAGE 2 zu Abschnitt B Nr. 3 (jetzt Nr. 2) der KFO-Richtlinien in der Fassung des Beschlusses vom 17.08.2001: Kriterien zur Anwendung der kieferorthopädischen Indikationsgruppen (KIG).
11. Bundesausschuss der Zahnärzte und Krankenkassen (2004) Richtlinien des Bundesausschusses der Zahnärzte und Krankenkassen für die kieferorthopädische Behandlung in der Fassung vom 04. Juni 2003 und vom 24. September 2003 veröffentlicht im Bundesanzeiger Nr. 226 (S. 24 966) vom 03. Dezember 2003 in Kraft getreten am 1. Januar 2004.
12. Bundesministerium für Gesundheit Approbationsordnung für Zahnärzte vom 26. Januar 1955 in der Fassung der vierten Verordnung zur Änderung der Prüfungsordnung für Zahnärzte vom 18. Dezember 1992.
13. Bundesministerium für Gesundheit Approbationsordnung für Zahnärzte und Zahnärztinnen vom 8. Juli 2019 (BGBl. I S. 933), die zuletzt durch Artikel 4 der Verordnung vom 7. Juni 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 148) geändert worden ist.

14. Burzynski JA, Firestone AR, Beck FM, Fields HW, Deguchi T (2018) Comparison of digital intraoral scanners and alginate impressions: Time and patient satisfaction. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod* 153:534–541
15. Cavalcanti HN, Ribeiro de Almeida Lázaro V, da Silva VM, Bellini-Pereira SA, Janson G, Garib D, Henriques JFC (2025) Accuracy and reliability comparison between different intraoral scanning devices in patients with permanent dentition: A prospective clinical study. *Int Orthod* 23:100983
16. Cervino G, Fiorillo L, Herford AS, Laino L, Troiano G, Amoroso G, Crimi S, Matarese M, D'Amico C, Nastro Siniscalchi E, Cicciù M (2018) Alginate Materials and Dental Impression Technique: A Current State of the Art and Application to Dental Practice. *Mar Drugs* 17:18
17. Christopoulou I, Kaklamanos EG, Makrygiannakis MA, Bitsanis I, Tsolakis AI (2022) Patient-reported experiences and preferences with intraoral scanners: a systematic review. *Eur J Orthod* 44:56–65
18. Daniels C, Richmond S (2000) The development of the index of complexity, outcome and need (ICON). *J Orthod* 27:149–162
19. Delantoni A, Orhan K, Herausgeber (2024) *Digital Dentistry: An Overview and Future Prospects*. 1st ed. 2024 edition. Springer International Publishing, Cham
20. Desomer A, Van Den Heede K, Triemstra M, Paget J, De Boer D, Kohn L, Cleemput I (2018) *Use of patient-reported outcome and experience measures in patient care and policy*. 1. edition. Belgian Health Care Knowledge Centre (KCE)
21. Elwan AH, Fouda AM (2025) Carbon footprint of private dental laboratories in Egypt: A cross-sectional study. *BDJ Open* 11:40
22. Fischer-Brandies H, Stahl AN, Stahl ANF (1995) *Kieferorthopädische Modellanalyse*. Hanser, München
23. Fleming PS, Marinho V, Johal A (2011) Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res* 14:1–16
24. Gracco A, Buranello M, Cozzani M, Siciliani G (2007) Digital and plaster models: a comparison of measurements and times. *Prog Orthod* 8:252–259
25. Graf S (2017) Digitale Anwendungen im Praxisalltag: Yes we (s)can oder wie weit wollen wir gehen? *Informationen Aus Orthod Kieferorthopädie* 49:171–176
26. Grünheid T, McCarthy SD, Larson BE (2014) Clinical use of a direct chairside oral scanner: an assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod* 146:673–682
27. Gül Amuk N, Karsli E, Kurt G (2019) Comparison of dental measurements between conventional plaster models, digital models obtained by impression scanning and plaster model scanning. *Int Orthod* 17:151–158
28. Gupta R, Brizuela M (2024) *Dental Impression Materials*. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL). URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK574496/>
29. Harzer W, Herausgeber (2011) *Kieferorthopädie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart

30. Heathcote A, Brown S, Mewhort DJK (2000) The power law repealed: The case for an exponential law of practice. *Psychon Bull Rev* 7:185–207
31. Jordan AR, Kuhr K, Ohm C, Frenzel Baudisch N (2023) Methodology of the Sixth German Oral Health Study (DMS 6) to survey tooth and jaw misalignment. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie* 84:10–18
32. Jordan et al. (2021) Sechste Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS · 6). Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ), DE
33. Kahl-Nieke B (2017) Einführung in die Kieferorthopädie: Diagnostik, Behandlungsplanung, Therapie. 3. überarbeitete Auflage edition. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln
34. Kirschneck C, Kuhr K, Ohm C, Frenzel Baudisch N, Jordan AR (2023) Comparison of orthodontic treatment need and malocclusion prevalence according to KIG, ICON, and mIOTN in German 8- to 9-year-old children of the Sixth German Oral Health Study (DMS 6). *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie* 84:26–35
35. Koo B, Son K, Lee J-M, Kim S-Y, Jin M-U, Lee K-B (2023) Prediction of learning curves of wired and wireless intraoral scanners. *Sci Rep* 13:21661
36. Krey K-F, Orlob F, Gorynia S, Kühnert R (2015) Digitale Kieferorthopädie. *Zahnmed Up2date* 9:537–560
37. Lang FA, Lang NA, Vorloeper J, Niederau C, Craveiro RB, Knaup I, Wolf M (2025) Validation of a digital, partly automated three-dimensional cast analysis for evaluation of orthodontic treatment assessment. *Head Face Med* 21:36
38. Leifert MF, Leifert MM, Efstratiadis SS, Cangialosi TJ (2009) Comparison of space analysis evaluations with digital models and plaster dental casts. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod* 136:16.e1–4; discussion 16
39. Linder H (1931) Biometrische Untersuchungen des Normalgebisses in verschiedenen Lebensaltern. *Fortschritte Orthod* 1559-578
40. Moyers RE (1983) Handbook of orthodontics for the student and general practitioner. 3. ed., reprinted edition. Year Book Medical Publ, Chicago
41. Muallah J, Wesemann C, Nowak R, Robben J, Mah J, Pospiech P, Bumann A (2017) Accuracy of full-arch scans using intraoral and extraoral scanners: an in vitro study using a new method of evaluation. *Int J Comput Dent* 20:151–164
42. Mullen SR, Martin CA, Ngan P, Gladwin M (2007) Accuracy of space analysis with emodels and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132:346–352
43. Murugesan A, Sivakumar A (2020) Comparison of accuracy of mesiodistal tooth measurements made in conventional study models and digital models obtained from intraoral scan and desktop scan of study models. *J Orthod* 47:149–155
44. Newell A, Rosenbloom PS (1982) Mechanisms of skill acquisition and the law of practice. *Carnegie Mellon Univ Comput Sci Dep*
45. Nowak R, Wesemann C, Robben J, Muallah J, Bumann A (2017) An in-vitro study comparing the accuracy of full-arch casts digitized with desktop scanners. *Quintessence Int Berl Ger* 1985 667–676

46. Reuschl RP, Heuer W, Stiesch M, Wenzel D, Dittmer MP (2016) Reliability and validity of measurements on digital study models and plaster models. *Eur J Orthod* 38:22–26
47. Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbély J (2020) Learning curve of digital intraoral scanning - an in vivo study. *BMC Oral Health* 20:287
48. Sander FG, Schwenzer N, Herausgeber (2011) Kieferorthopädie. 2. edition. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
49. Schamsawary S, Esser E (2007) Dysgnathien: interdisziplinäre Therapiekonzepte von der Planung bis zur Operation ; [mit DVD]. 1. Aufl edition. Elsevier, Urban & Fischer, München
50. Stevens DR, Flores-Mir C, Nebbe B, Raboud DW, Heo G, Major PW (2006) Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs digital study models: Comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129:794–803
51. Tomita Y, Uechi J, Konno M, Sasamoto S, Iijima M, Mizoguchi I (2018) Accuracy of digital models generated by conventional impression/plaster-model methods and intraoral scanning. *Dent Mater J* 37:628–633
52. Tonn P (1937) Die mesio-distalen Zahnbreiten-Relationen der Zähne des Oberkiefers zu den entsprechenden des Unterkiefers bei normaler und anormaler Okklusion. Thiele Verlag
53. Torassian G, Kau CH, English JD, Powers J, Bussa HI, Marie Salas-Lopez A, Corbett JA (2010) Digital models vs plaster models using alginate and alginate substitute materials. *Angle Orthod* 80:662–669
54. Weber T (2016) Memorix Zahnmedizin. 4., unveränderte Auflage edition. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York
55. Yılmaz H, Özlü FÇ, Karadeniz C, Karadeniz Eİ (2019) Efficiency and Accuracy of Three-Dimensional Models Versus Dental Casts: A Clinical Study. *Turk J Orthod* 32:214–218
56. Yu J-H, Kim J-H, Liu J, Mangal U, Ahn H-K, Cha J-Y (2023) Reliability and time-based efficiency of artificial intelligence-based automatic digital model analysis system. *Eur J Orthod* 45:712–721
57. Zammit D, Ettinger RE, Sanati-Mehrzy P, Susarla SM (2023) Current Trends in Orthognathic Surgery. *Medicina (Mex)* 59:2100
58. Zhang F, Suh K-J, Lee K-M (2016) Validity of Intraoral Scans Compared with Plaster Models: An In-Vivo Comparison of Dental Measurements and 3D Surface Analysis. *PLOS ONE* 11:e0157713
59. Zilberman O, Huggare JAV, Parikakis KA (2003) Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. *Angle Orthod* 73:301–306
60. Sozialgesetzbuch (SGB) Fünftes Buch (V) - Gesetzliche Krankenversicherung - (Artikel 1 des Gesetzes v. 20. Dezember 1988, BGBl. I S. 2477) § 29 Kieferorthopädische Behandlung.

7 Publikation / Danksagung

7.1 Publikation

Die Studienergebnisse wurden im Rahmen der Jahrestagung 2025 der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie (DGKFO) vom 10. bis 13. September in Leipzig präsentiert.

Weiterhin wurde das passende Abstract mit dem Thema „Vergleich digitaler und analoger Verfahren zur kieferorthopädischen Modellanalyse“ akzeptiert und im Abstractband der Tagung veröffentlicht.

7.2 Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Professor Dr. Jörg A. Lisson unter dessen Betreuung ich diese Dissertation verfassen durfte. Ein besonderer Dank gilt Frau Dr. Maike Tabellion, die durch ihre kompetente, motivierende und kollegiale Unterstützung maßgeblich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen hat.

Darüber hinaus gilt mein Dank Frau Dipl.-Stat. Gudrun Wagenpfeil vom Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Medizinische Informatik des Universitätsklinikums des Saarlandes für ihre tatkräftige Unterstützung bei der statistischen Auswertung und Analyse der Ergebnisse.


Abschließend bedanke ich mich von ganzem Herzen bei meiner Familie und meiner Frau Marie, die mich auf meinem Weg immer unterstützt und an mich geglaubt haben.

8 Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Form der Dissertation nicht veröffentlicht.

9 Anhang

Befundboden für den Kursus der kieferorthopädischen Behandlung der Klinik für Kieferorthopädie am Universitätsklinikum des Saarlandes:



UNIVERSITÄT
DES
SAARLANDES

Universitätsklinikum des Saarlandes – Klinik für Kieferorthopädie – Univ.-Prof. Dr. Jörg Lisson

Befundbogen für den Kursus der kieferorthopädischen Behandlung I/II

cand. med. dent:

Auswertung am:

Unterschrift Assistent/Testat:

Patient:

Alter:

Anamnese

- allgemein / speziell:
- Habits / Dyskinesien:

Befund OPT:

NA – Nichtanlage
I – fehlender Zahn
MZ – Milchzahn
M – Mandibula
S – Schmelz
Z – zentraler Zahn
ZA – zusätzliche Zahnanlage
F – Füllung
C – Karies
WF – Wurzelfüllung
WR – Wurzelrest usw.

Füllungen sind in blau, Karies in rot im Schema eintragen

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|-------|--------|---------|--------|-------|-------|--------|---------|--------|-------|----|----|----|
| 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 7 | 6 | 5 (V) | 4 (IV) | 3 (III) | 2 (II) | 1 (I) | 1 (I) | 2 (II) | 3 (III) | 4 (IV) | 5 (V) | 6 | 7 | 8 |
| 48 | 47 | 46 | 45 | 44 | 43 | 42 | 41 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 |

Extraoraler Befund

UL/EL:

Lippenstufe:

Beziehung Stim-Kinn:

Beziehung Stim-Subnasale-Kinn:

Supramentalfalte:

Gesichtsdriftung: Subnasale-Pog:

Gesichtsasymmetrie (transversal):

Zahnbogenmitte zu Gesichtsmitte:

○ konkav

○ dorsal

○ nach hinten schief

○ konkav

○ stark ausgeprägt

○ verlängert

○ nach rechts

OK

UK

○ gerade

○ physiologisch

○ gerade

○ gerade

○ unauffällig

○ gleich

○ keine

nach ○ rechts

nach ○ rechts

○ konvex

○ ventral

○ nach vorne schief

○ konvex

○ verstrichen

○ verkürzt

○ nach links

○ links

○ links

Modellanalyse (I)

- Zahnbreiten:

- TONN'scher Index: $SI_{UK} =$ $SI_{OK} =$ $SI_{OK-Soll} (SI_{UK} \times \frac{4}{3} + 0,5) =$ Differenz=

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SI_{UK} | 19,5 | 20,0 | 20,5 | 21,0 | 21,5 | 22,0 | 22,5 | 23,0 | 23,5 | 24,0 | 24,5 | 25,0 | 25,5 | 26,0 | 26,5 | 27,0 | 27,5 | 28,0 | 28,5 | 29,0 |
| 3-S/OK | 21,0 | 21,3 | 21,5 | 21,8 | 22,1 | 22,4 | 22,6 | 22,9 | 23,2 | 23,5 | 23,7 | 24,0 | 24,3 | 24,6 | 24,8 | 25,1 | 25,4 | 25,7 | 25,9 | 26,2 |
| 3-S/UK | 20,5 | 20,8 | 21,1 | 21,4 | 21,7 | 22,0 | 22,3 | 22,6 | 22,9 | 23,2 | 23,5 | 23,8 | 24,0 | 24,3 | 24,6 | 24,9 | 25,2 | 25,5 | 25,8 | 26,1 |

Tabelle nach MOYERS: Mittelwerte für die Stützonen (3-5) bezogen auf SI_{UK}

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SI_{OK} | 27,0 | 27,5 | 28,0 | 28,5 | 29,0 | 29,5 | 30,0 | 30,5 | 31,0 | 31,5 | 32,0 | 32,5 | 33,0 | 33,5 | 34,0 | 34,5 | 35,0 | 35,5 | 36,0 |
| LO | 16,0 | 16,3 | 16,5 | 16,8 | 17,0 | 17,3 | 17,5 | 17,8 | 18,0 | 18,3 | 18,5 | 18,8 | 19,0 | 19,3 | 19,5 | 19,8 | 20,0 | 20,5 | 21,0 |
| 4-4 | 32,0 | 32,5 | 33,0 | 33,5 | 34,0 | 34,5 | 35,0 | 35,5 | 36,0 | 36,5 | 37,0 | 37,5 | 38,0 | 38,5 | 39,0 | 39,5 | 40,0 | 40,5 | 41,0 |
| 6-6 | 41,5 | 42,3 | 43,0 | 43,8 | 44,5 | 45,3 | 46,0 | 46,8 | 47,5 | 48,5 | 49,0 | 50,0 | 51,0 | 51,5 | 52,5 | 53,0 | 54,0 | 54,5 | 55,5 |

Tabelle nach PONT sowie LINDER und HARTH: Mittelwerte für LO, 4-4 und 6-6 in Abhängigkeit von SI_{OK}

- BOLTON - Index:

OK 3 – 3 = _____ mm

OK-Zähne 3 – 3 sind _____ mm

UK-Zähne 3 – 3 sind _____ mm

OK 6 – 6 = _____ mm

OK-Zähne 6 – 6 sind _____ mm

UK-Zähne 6 – 6 sind _____ mm

UK 3 – 3 = _____ mm

UK-Zähne 3 – 3 sind _____ mm

UK 6 – 6 = _____ mm

UK-Zähne 6 – 6 sind _____ mm

○ zu breit

○ zu breit

○ zu breit

○ zu breit

○ zu breit

○ im Mittel

○ im Mittel

○ im Mittel

○ im Mittel

○ im Mittel

○ zu schmal

○ zu schmal

○ zu schmal

○ zu schmal

○ zu schmal

Befundbogen für den Kursus der kieferorthopädischen Behandlung I/II

Abb. 76: Befundbogen Seite 1

Befundbogen für den Kursus der kieferorthopädischen
Behandlung I/II

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|
| OK | 40 | 40,5 | 41 | 41,5 | 42 | 42,5 | 43 | 43,5 | 44 | 44,5 | 45 | 45,5 | 46 | 46,5 | 47 | 47,5 |
| UK | 30,9 | 31,3 | 31,7 | 32 | 32,4 | 32,8 | 33,2 | 33,6 | 34 | 34,4 | 34,7 | 35,1 | 35,5 | 35,9 | 36,3 | 36,7 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| OK | 48 | 48,5 | 49 | 49,5 | 50 | 50,5 | 51 | 51,5 | 52 | 52,5 | 53 | 53,5 | 54 | 54,5 | 55 |
| UK | 37,1 | 37,4 | 37,8 | 38,2 | 38,6 | 39 | 39,4 | 39,8 | 40,1 | 40,5 | 40,9 | 41,3 | 41,7 | 42,1 | 42,5 |

BOLTON-Index für die Zähne 3–3 (6), auch „der kleine Bolton“.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| OK | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 |
| UK | 77,6 | 78,5 | 79,4 | 80,3 | 81,3 | 82,1 | 83,1 | 84 | 84,9 | 85,8 | 86,7 | 87,6 | 88,6 | 89,5 | 90,4 | 91,3 | 92,2 |

| | | | | | | | | | |
|----|------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
| OK | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 |
| UK | 93,1 | 94 | 95 | 95,9 | 96,8 | 97,8 | 98,6 | 99,5 | 100,4 |

BOLTON-Index für die Zähne 6–6 (12), auch „der große Bolton“.

Modellanalyse (II)

| | sagittal | transversal | vertikal |
|-------------------------------|---|---|---|
| OK | Zahnstellungsanomalien: _____ _____ Ist MW Δ | Zahnstellungsanomalien: _____ _____ Mittellinienüberwanderung: ○ rechts _____ mm ○ links _____ mm Zahnbogenbreite Ist MW Δ anterior _____ posterior _____ | Frontzahnsupraposition: 13 12 11 21 22 23 _____ Frontzahninfraposition: 13 12 11 21 22 23 _____ Seitenzahnbereich: _____ A-E (ist) 15-25 (soll) Δ |
| | ALD Oberkiefer | D-E MW 3-5 r. SI _{OK} MW 3-5 l. | |
| | | | |
| | | | |
| UK | Zahnstellungsanomalien: _____ _____ Ist MW Δ | Zahnstellungsanomalien: _____ _____ Mittellinienüberwanderung: ○ rechts _____ mm ○ links _____ mm Zahnbogenbreite Ist MW Δ anterior _____ posterior _____ | Frontzahnsupraposition: 43 42 41 31 32 33 _____ Frontzahninfraposition: 43 42 41 31 32 33 _____ Seitenzahnbereich: _____ A-E (ist) 35-45 (soll) Δ |
| | ALD Unterkiefer | D-E MW 3-5 r. SI _{UK} MW 3-5 l. | |
| | | | |
| | | | |
| OK K L. / K P. | sagittale Frontzahnstufe: _____ mm falsche Verzahnung: rechts links post. ant. post. ant. Ist _____ nach _____ Rekonstruktion _____ | Kreuzbissbeziehungen: Oberkiefer-Asymmetrie: ○ ja ○ nein fehlende Zahnbogenmitteübereinstimmung: _____ mm fehlende Kiefermitteübereinstimmung: (mandibuläre Laterognathie) UK-Versetzung ○ rechts ○ links UK-Schwenkung ○ rechts ○ links | vertikale Frontzahnstufe: _____ mm Schleimhautkontakt ○ ja ○ traum. ○ nein |

Abb. 77: Befundbogen Seite 2