

Aus dem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Medizinischen
Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin und der 3D DENTAL-RADIOLOGIE
MESANTIS Berlin

DISSERTATION

**Vergleichende Untersuchungen zur Erhebung des PAR-Index an-
hand analoger Gips- und Kunststoffmodelle, sowie
digitaler Modelle in OnyxCeph und OrthoAnalyzer**

**A comparison of the PAR Index based on analog plaster and
plastic models respectively, as well as digital models in
OnyxCeph and OrthoAnalyzer respectively**

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae dentariae

(Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät

Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Anika Hannebauer

aus Berlin

Datum der Promotion: 18.12.2020

Diese Arbeit widme ich meinen Eltern Petra und Bernd, die mich in meinem Leben sehr unterstützt haben sowie meinem Mann Ronald Hannebauer, der mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand.

Vorwort

Im nachfolgenden Text wird auf das Registered-Trade-Mark-Symbol ® oder ™, zur Kennzeichnung von Waren als eingetragene Marke, der Übersichtlichkeit halber verzichtet. Diese sind für Produkte, die im Rahmen dieser Arbeit verwendet wurden, im Material- und Methodenteil angegeben.

Der Form und besseren Lesbarkeit halber wird im Vancouver-Stil zitiert. Dieser gibt eine kurze Quellenangabe in Form einer in Klammern gestellten arabischen Zahl an den entsprechenden Abschnitten vor. Die vollständigen Quellen sind im Literaturverzeichnis einsehbar.

Gender-Erklärung

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Dissertation die Sprachform des generischen Maskulinums angewandt. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

Inhaltsverzeichnis

Widmung	I
Vorwort	II
Gender-Erklärung	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	XII
1 Zusammenfassung	1
1.1 Abstrakt – Deutsch	1
1.2 Abstract – English	3
2 Einleitung	4
2.1 Abformarten	5
2.1.1 Die konventionelle Abformung	5
2.1.2 Die digitale Abformung	7
2.1.3 Konventionell versus Digital	11
2.2 Indizes in der Kieferorthopädie	12
2.2.1 Der PAR-Index	13
2.2.2 Vermessung eines Modells mittels PAR-Index	15

3	Fragestellung	23
4	Material und Methode	24
4.1	Versuchsaufbau	24
4.2	Modellherstellung	27
4.2.1	konventionelle Herstellung des Gipsmodells	27
4.2.2	Digital	29
4.3	Behandler für die Modellvermessung	32
4.3.1	Goldstandardvermessung durch PAR-Zertifizierte	32
4.3.2	Kieferorthopäden	34
4.3.3	Studenten	34
4.3.4	Assistenten	35
4.4	Bestimmung des PAR-Wertes im Studiendesign	36
4.5	Statistische Methoden	39
5	Versuchsablauf	40
6	Ergebnisse	43
6.1	Vergleich innerhalb der Modellarten	44
6.2	Vergleich innerhalb der Behandlergruppen	52
6.3	Vergleich des PAR-Index in Abhängigkeit von Modellart und Behandlergruppe	58
7	Diskussion	62

7.1	Diskussion über Material und Methode	63
7.1.1	Diskussion der Methode	63
7.1.2	Diskussion der Modelle	64
7.1.3	Diskussion der Behandler.....	71
7.2	Diskussion des PAR-Index	75
7.3	Diskussion der Ergebnisse	80
7.4	Fehleranalysen	84
8	Schlussfolgerung, klinische Konsequenzen und Ausblick	88
9	Literaturverzeichnis	90
10	Anhang	99
11	Eidesstattliche Versicherung	101
12	Lebenslauf	102
13	Danksagung.....	103
14	Bescheinigung Statistik.....	105

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: konventionelle versus digitale Abformarten	11
Tabelle 2: Bewertung des PAR-Index – Kontaktpunktabweichung.....	17
Tabelle 3: Bewertung des PAR-Index – linke und rechte bukkale Okklusion	18
Tabelle 4: Bewertung des PAR-Index - Overjet und anteriorer Kreuzbiss	19
Tabelle 5: Bewertung des PAR-Index - Overbite und frontal offener Biss	20
Tabelle 6: Bewertung des PAR-Index - Mittellinie.....	21
Tabelle 7: Unterschiede in der Wichtung zwischen "US-PAR" und "UK-PAR"	36
Tabelle 8: Gesamtüberblick über die Studienverteilung	43
Tabelle 9: PAR-Index in Abhängigkeit von der Modellart	45
Tabelle 10: Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung der Modellarten.....	46
Tabelle 11: PAR-Index in Abhängigkeit von der Behandlerart.....	53
Tabelle 12: Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung der Behandler	54
Tabelle 13: Verteilung PAR-Index nach Behandler und Modellart.....	59
Tabelle 14: Verteilung PAR-Index nach Behandler und Modellart.....	60
Tabelle 15: Häufigkeitstabelle des Gesamt-PAR-Index für die Goldstandardvermesser	78
Tabelle 16: PAR-Gesamt in Abhängigkeit von der Behandlerart.....	78

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einteilung der Abformmaterialien nach ihrer Elastizität und Wiederverwendbarkeit, modifiziert nach Curriculum Prothetik (Band II, 2011, Seite 434) (1).....	6
Abbildung 2: Schema zur Funktionsweise eines Streifenprojektionsscanners: Der Projektor bildet Licht in Form von Streifen auf der Objektoberfläche ab. Die Deformation des Streifenmusters wird dann durch die Kamera erfasst und anschließend computergestützt ausgewertet.....	8
Abbildung 3: Schema zur Funktionsweise eines Laserscanners: Der Projektor bildet einen Lichtpunkt auf der Objektoberfläche ab. Die Kamera erfasst den Lichtpunkt und eine Software erstellt Punkt für Punkt das entsprechende dreidimensionale Modell.	9
Abbildung 4: Segmentunterteilung der Zahnbögen für den PAR-Index: anteriore Segmente (orange), bukkale Segmente (grün)	15
Abbildung 5: Das „PAR-Ruler“	16
Abbildung 6: PAR-Ruler beim Vermessen der Kontaktpunktabweichung.....	16
Abbildung 7: PAR-Ruler beim Vermessen des Overjet	16
Abbildung 8: Originalmodell frontal.....	24
Abbildung 9: Originalmodell lateral rechts	24
Abbildung 10: Originalmodell lateral links.....	24
Abbildung 11: schematische Darstellung des Versuchsaufbaus	25
Abbildung 12: Modell 1 Gips.....	25
Abbildung 13: Modell 2 Kunststoff	25

Abbildung 14: Modell 3 OnyxCeph	25
Abbildung 15: Modell 4 OrthoAnalyzer	25
Abbildung 16: Alginatabformung Oberkiefer	28
Abbildung 17: Alginatabformung Unterkiefer	28
Abbildung 18: Gips frontal	28
Abbildung 19: Gips lateral rechts	28
Abbildung 20: Gips lateral links	28
Abbildung 21: Kunststoff frontal	30
Abbildung 22: Kunststoff lateral rechts	30
Abbildung 23: Kunststoff lateral links	30
Abbildung 24: Onyx frontal	30
Abbildung 25: Onyx lateral rechts	30
Abbildung 26: Onyx lateral links	30
Abbildung 27: OrthoAnalyzer frontal	31
Abbildung 28: OrthoAnalyzer lateral rechts	31
Abbildung 29: OrthoAnalyzer lateral links	31
Abbildung 30: Auswertungsbogen für die „Goldstandardvermesser“	33
Abbildung 31: Anmerkungsblatt für die "Goldstandardvermesser"	38
Abbildung 32: Auswertungsbogen Modellvermessung für die Untersuchungsgruppen 1-4	42
Abbildung 33: Abhängigkeit des PAR-Index von der Modellart	45

Abbildung 34: Normalverteilung PAR-Index in Abhängigkeit der Modellart	46
Abbildung 35: Q-Q-Diagramm des PAR-Index für die Variable Kunststoff	47
Abbildung 36: Q-Q-Diagramm des PAR-Index für die Variable OrthoAnalyzer	47
Abbildung 37: Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm des PAR-Index für die Variable Kunststoff	48
Abbildung 38: Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm des PAR-Index für die Variable OrthoAnalyzer	48
Abbildung 39: PAR-Wert Häufigkeit Originalmodell.....	49
Abbildung 40: PAR-Wert Häufigkeit für die Modellart Gips.....	49
Abbildung 41: PAR-Wert Häufigkeit für die Modellart Kunststoff	50
Abbildung 42: PAR-Wert Häufigkeit für die Modellart Onyx.....	50
Abbildung 43: PAR-Wert Häufigkeit für die Modellart OrthoAnalyzer	51
Abbildung 44: Abhängigkeit des PAR-Index von der Behandlerart.....	53
Abbildung 45: Normalverteilung des PAR-Index in Abhängigkeit der Behandlerart.....	54
Abbildung 46: Q-Q-Diagramm des PAR-Index für die Variable Student.....	55
Abbildung 47: Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm des PAR-Index für die Variable Student.....	55
Abbildung 48: PAR-Wert Häufigkeit Goldstandardvermesser.....	56
Abbildung 49: PAR-Wert Häufigkeit Kieferorthopäde	56
Abbildung 50: PAR-Wert Häufigkeit Student	57
Abbildung 51: PAR-Wert Häufigkeit Assistent	57

Abbildung 52: Verteilung der durchschnittlichen PAR-Werte in Abhängigkeit der Modell- und Behandlerart	60
Abbildung 53: Profildiagramm der PAR-Werte im Verhältnis zu Modellart und Behandler	61
Abbildung 54: Abplatzungen und Zahnfrakturen an einem Gipsmodell nach einem Sturz während der Vermessung	66
Abbildung 55: Oberkieferfront des gleichen Modells nach Sturz auf den Boden. Die Lufteinschlüsse zeigen sich im Gips an den Zähnen 12 und 21	66
Abbildung 56: Streuung der Gesamt-PAR-Index Werte bei einer ermittelten Kontaktpunktabweichung von 17 Punkten	77

Abkürzungsverzeichnis

PAR Index	Peer Assessment Rating Index
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
STL	Standard Triangulation/Tesselation Language
Q-Q-Diagramm	Quantile-Quantile-Diagramm
Quantile	Schwellenwert als Lagemaß in der Statistik
3D	dreidimensional
ANOVA	analysis of variance (Streuungsanalyse)

1 Zusammenfassung

1.1 Abstrakt – Deutsch

Zielsetzung: Ziel dieser Studie ist es, die Genauigkeit von konventionellen Gipsmodellen, analogen Kunststoffmodellen und digitalen Modellen in der OnyxCeph- und OrthoAnalyzer-Software zu untersuchen. Zum Vergleich wird dafür der durchschnittliche Peer Assessment Rating Index (PAR-Index) jeder Modellart ermittelt. Anschließend werden diese PAR-Werte mit denen des Ursprungsmodells verglichen, um eine Aussage darüber treffen zu können, welche Art der Abformung und Modellherstellung für die Modellanalyse in der Kieferorthopädie zu bevorzugen ist.

Methodik: Ein Mastermodell wurde durch zwölf PAR-zertifizierte Behandler mittels PAR-Index vermessen und dessen Mittelwert gebildet. Anschließend erfolgte die Abformung des Mastermodells durch Alginat und mittels direkter Digitalisierung durch einen Intraoralscanner. Auf konventionellem Wege wurden Gipsmodelle hergestellt und der Scandatensatz wurde sowohl für den Druck von Kunststoffmodellen durch einen Stereolithografie-Drucker, als auch für die Modellerstellung in der OnyxCeph- und OrthoAnalyzer-Software genutzt. Die vier verschiedenen Modellarten wurden anschließend durch 120 Behandler aus drei verschiedenen Berufsgruppen – Kieferorthopäden, Studenten und Assistenten – vermessen und die ermittelten durchschnittlichen PAR-Werte der Gruppen mit dem des Mastermodells verglichen.

Ergebnisse: Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten des PAR-Index bei den Modellarten Mastermodell, Gipsmodell, Kunststoffmodell und den digitalen Modellen in OnyxCeph und OrthoAnalyzer festgestellt werden. Des Weiteren konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten des PAR-Index bei den Behandlerarten Goldstandardvermesser, Kieferorthopäden, Studenten und Assistenten festgestellt werden.

Schlussfolgerung: Alle vier Modellarten zeigen eine ausreichende Validität bei der Ermittlung des PAR-Index. Es konnten keine verbesserten Werte in Bezug auf Präzision

und Richtigkeit beim konventionellen Modell im Vergleich zu den digitalen Modellen festgestellt werden. Die digitale Abformung und Modellanalyse ist somit als gleichwertig zur konventionellen analogen Abformung zu betrachten. Dieser Umstand sollte in Zeiten von ständiger Digitalisierung auch in der modernen Zahnarztpraxis Anwendung finden.

Für eine umfassendere Bewertung in Bezug auf ökonomische und ökologische Faktoren sind weitere Studien wünschenswert.

1.2 Abstract – English

Objective: This study aims to investigate the accuracy of conventional plaster models, analog plastic models and digital models in OnyxCeph and OrthoAnalyzer. To examine this the average Peer Assessment Rating Index (PAR Index) of each model type is determined and compared to those of the original model to determine which form of impression and model is preferred for analysis in orthodontics.

Methods: First, the measurement of one original (master) model were taken by twelve PAR-certified dentists using the PAR index and the mean thereof were calculated. Afterwards a conventional alginate impression and an intraoral scan of the master model were taken. Plaster models were produced and the scan data set was used for printing plastic models with a stereo-lithography printer as well as creating digital models in the OnyxCeph- and OrthoAnalyzer- software. Later on 120 examiners from three different professions - orthodontists, students and assistants - measured the four different types of models. Lastly the average PAR values for each group were compared to the primarily calculates mean measurement of the master model.

Results: No significant differences were found between the average PAR index values of the master model, plaster model, acrylic model and the digital models in OnyxCeph and OrthoAnalyzer. Furthermore, no significant differences between the mean values of the PAR index were found for the examiners of gold standard, orthodontist, student and assistant.

Conclusion: All model types show sufficient validity in determining the PAR Index. There were no improved values in terms of precision and correctness for the conventional model compared to the digital models. The digital impression and analysis could therefore be considered equivalent to the conventional method. In times of constant digitalization, the results of this study should be considered in modern dental treatment.

Further studies should be done for a more comprehensive assessment in terms of economic and ecological factors.

2 Einleitung

Die letzten Jahrzehnte wurden durch die rasche Abfolge technologischer Innovationen geprägt. Auch die heutige Kieferorthopädie befindet sich im Wandel. Im Zuge dessen stehen dem Behandler eine Vielzahl neuer, zum Teil computergesteuerter, diagnostischer und therapeutischer Verfahren zur Verfügung.

Die moderne kieferorthopädische Praxis stellt sich als digitale Praxis vor. Diese spart Stauraum und verbraucht weniger Ressourcen. Die Patienten sind den ständigen Umgang mit elektronischen Geräten wie Smartphones und Computern gewohnt und stellen somit einen gewissen technologischen Anspruch an die Praxis.

Mit der Entwicklung von Computer-Aided Design (CAD) und Computer-Aided Manufacturing (CAM) ist der moderne Kieferorthopäde in der Lage, verschiedene Behandlungen digital zu simulieren, Abformungen zu modernisieren, Materialkosten zu verringern, Arbeitsschritte des Zahntechnikers zu übernehmen und Behandlungsgeräte eigenständig herzustellen.

Vor allem im Feld der digitalen Abformung herrscht ein großer Konkurrenzkampf. Jedes Jahr bringen die Entwickler neue, exaktere und verbesserte Scanner auf den Markt. Diese rasante technologische Entwicklung schafft neue Möglichkeiten den Praxisalltag zu vereinfachen, setzt aber auch das nötige Wissen und die Technik voraus. Der moderne Behandler sieht sich dadurch mit der Problematik konfrontiert, aus einer Flut von Informationen und Möglichkeiten auszuwählen.

Die Kombination von traditionellen Behandlungsphilosophien mit den Möglichkeiten der modernen Technik kann dazu führen, dass zukünftig eine verbesserte Behandlungsqualität und -effizienz erreicht wird.

2.1 Abformarten

Für die kieferorthopädische Beurteilung und Behandlungsplanung sind Arbeitsunterlagen in Form von Modellen unerlässlich. Diese dienen dazu, die Situation im Mund möglichst exakt und detailgetreu wiederzugeben. Modelle gestatten dem Behandler eine genaue Darstellung, Vermessung und Planung möglicher Zahnbewegungen. Außerdem erfüllen sie eine dokumentarische Aufgabe: Modelle zeigen eine Ausgangs-, Zwischen- oder Endsituation und können als Nachweismöglichkeit dienen. Zu diesem Zweck sind Abformarten nötig, die eine möglichst akkurate Dimensions- und Detailtreue der Modelle gewährleisten.

Die Abformung kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen:

1. Konventionell: Hierbei wird ein Abformmaterial im plastischen Zustand in den Mund eingebracht, bindet dort in den festen Zustand ab und wird anschließend wieder aus der Mundhöhle entfernt (die dabei entstehende Negativform wird dann durch einen Modellwerkstoff ausgegossen)
2. Digital: Hierbei wird die Situation in der Mundhöhle mit Hilfe eines opto-elektrischen Intraoralscanners erfasst (das dabei entstehende virtuelle Modell kann anschließend digital analysiert und genutzt werden oder es dient als Quelldatei, um maschinell ein Modell durch Digitaldruck herzustellen)

2.1.1 Die konventionelle Abformung

Bei den konventionellen Abformmassen gibt es eine Vielzahl verschiedener Arten und Einteilungen. Diese sollen hier nur kurz der Übersicht halber Erwähnung finden. Für die detaillierten Darstellungen verweist die Autorin auf entsprechende Literatur und Lehrbücher.

Konventionelle Abformmassen können auf unterschiedliche Arten eingeteilt werden:

1. nach der erforderlichen Anzahl von Arbeitsschritten und Materialkomponenten (Bsp. Einphasig, Zweiphasig, Doppelmisch etc.)
2. nach ihrer Konsistenz (Bsp. putty, light body etc.)
3. nach ihrer Elastizität und Wiederverwendbarkeit (**ABBILDUNG 1**)

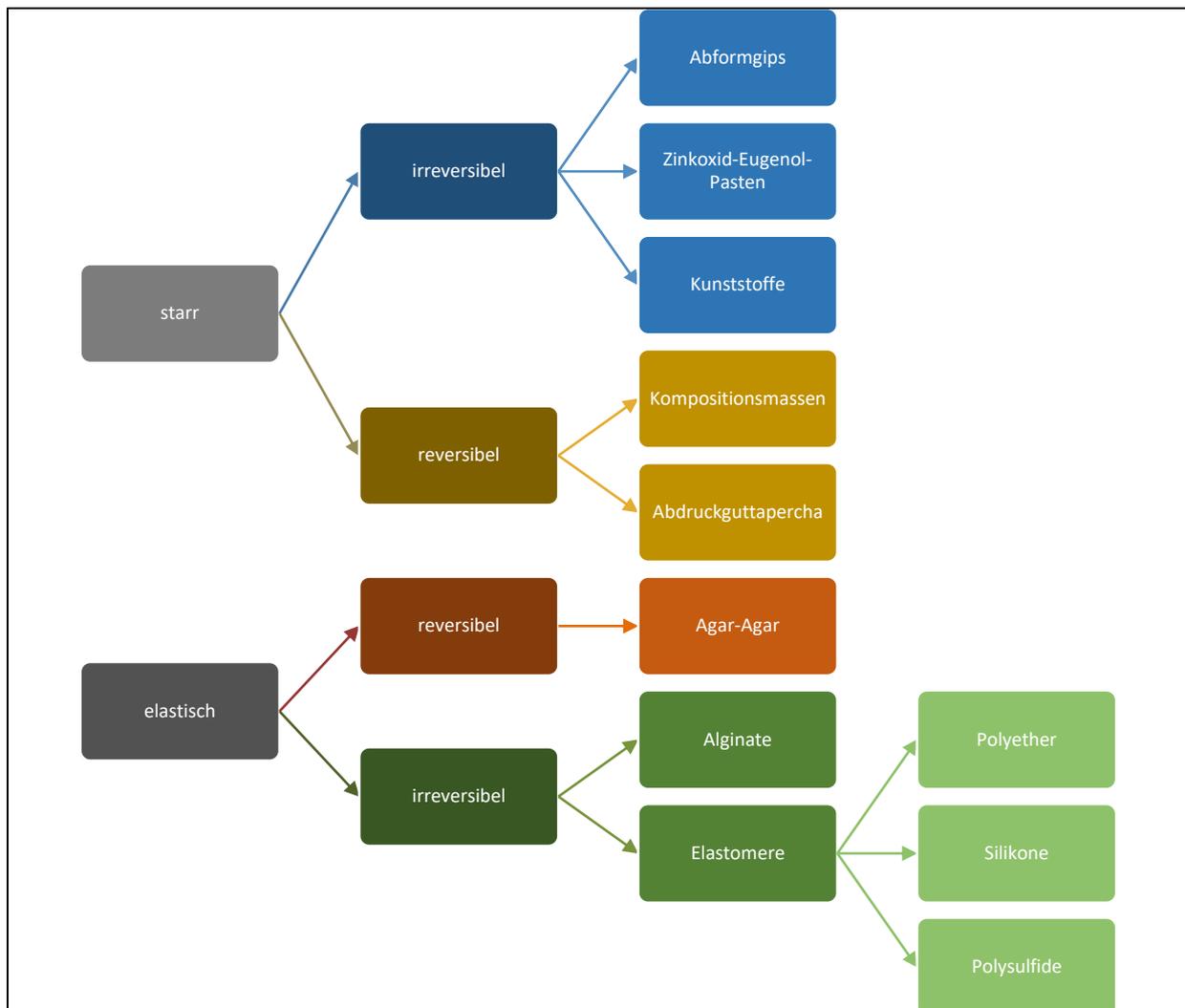


Abbildung 1: Einteilung der Abformmaterialien nach ihrer Elastizität und Wiederverwendbarkeit, modifiziert nach Curriculum Prothetik (Band II, 2011, Seite 434) (1)

Für die konventionelle Abformung in der Kieferorthopädie wird vor allem die Abformung mittels Alginat genutzt. Dies lässt sich auf die einfache Verarbeitung, die ausreichende Detailwiedergabe, die günstigen Materialkosten und auf die jahrelangen sehr guten Materialerfahrungen zurückführen (2-5).

Bei abgebundenen Alginatabformungen kann eine schnelle Wasserverdunstung zur Austrocknung führen. Daraus resultiert eine Kontraktion des Abdruckes, welche zum Verlust der Dimensionsstabilität führt. Eine exakte Wiedergabe der Mundsituation bei Alginaten setzt somit ein rasches Ausgießen nach der Abdrucknahme voraus.

Die Zuverlässigkeit von Alginaten wurde bereits von verschiedenen Autoren in unterschiedlichen Studien belegt (6-12). Die positiven Materialeigenschaften führten zu einer langjährigen Etablierung des Materials in den täglichen Praxisalltag in allen Bereichen der Zahnmedizin. Für eine detaillierte Darstellung zu Alginaten verweist die Autorin auf entsprechende Publikationen und Lehrbücher.

2.1.2 Die digitale Abformung

Ähnlich wie bei den konventionellen Verfahren gibt es bei den digitalen Abformungen eine Vielzahl verschiedener Arten und Einteilungen. Der folgende Abschnitt soll nur einen groben Überblick vermitteln.

Vor allem die letzten zwei Jahrzehnte brachten eine starke Weiterentwicklung der dreidimensionalen Abbildungstechniken. Sie wurden präziser, schneller und leichter in der Handhabung. Die Hardware, also Scanner und Drucker, wurden kompakter und exakter (13-15).

Grundsätzlich lassen sich die digitalen Scanner in zwei verschiedene Systemarten unterscheiden:

- mechanische Scanner
- optische Scanner

Bei den mechanischen Scannern wird die zu scannende Oberfläche durch Berührung oder Abtragung erfasst. Da dies einen vergleichsweise langsamen Prozess mit der Gefahr von Oberflächenveränderungen darstellt, werden mechanische Scanner nicht für den intraoralen Einsatz genutzt (13, 15).

Im Gegensatz zu den mechanischen Scansystemen erfassen die optischen Scanner die Oberflächen berührungsfrei. Die Gefahr einer Veränderung der zu erfassenden Fläche

ist somit bei den optischen Scannern geringer. In der modernen intraoralen Zahnmedizin finden vor allem Streifenprojektionsscanner und Laserscanner ihre Anwendung.

Die Streifenprojektionsscanner (auch Weißlicht- oder Strukturiertes-Licht-Scanner genannt) bilden mittels eines Projektors Licht in Form von Streifen auf der Oberfläche des Objektes ab. Die Deformation des Streifenmusters wird anschließend von einem Detektor (Kamera) erfasst und in elektrische Daten umgewandelt (*ABBILDUNG 2*). Die digitale Rekonstruktion der Oberfläche erfolgt dann durch computergestützte Auswertung der Daten. Diese Technik beruht auf dem Prinzip der Triangulation.

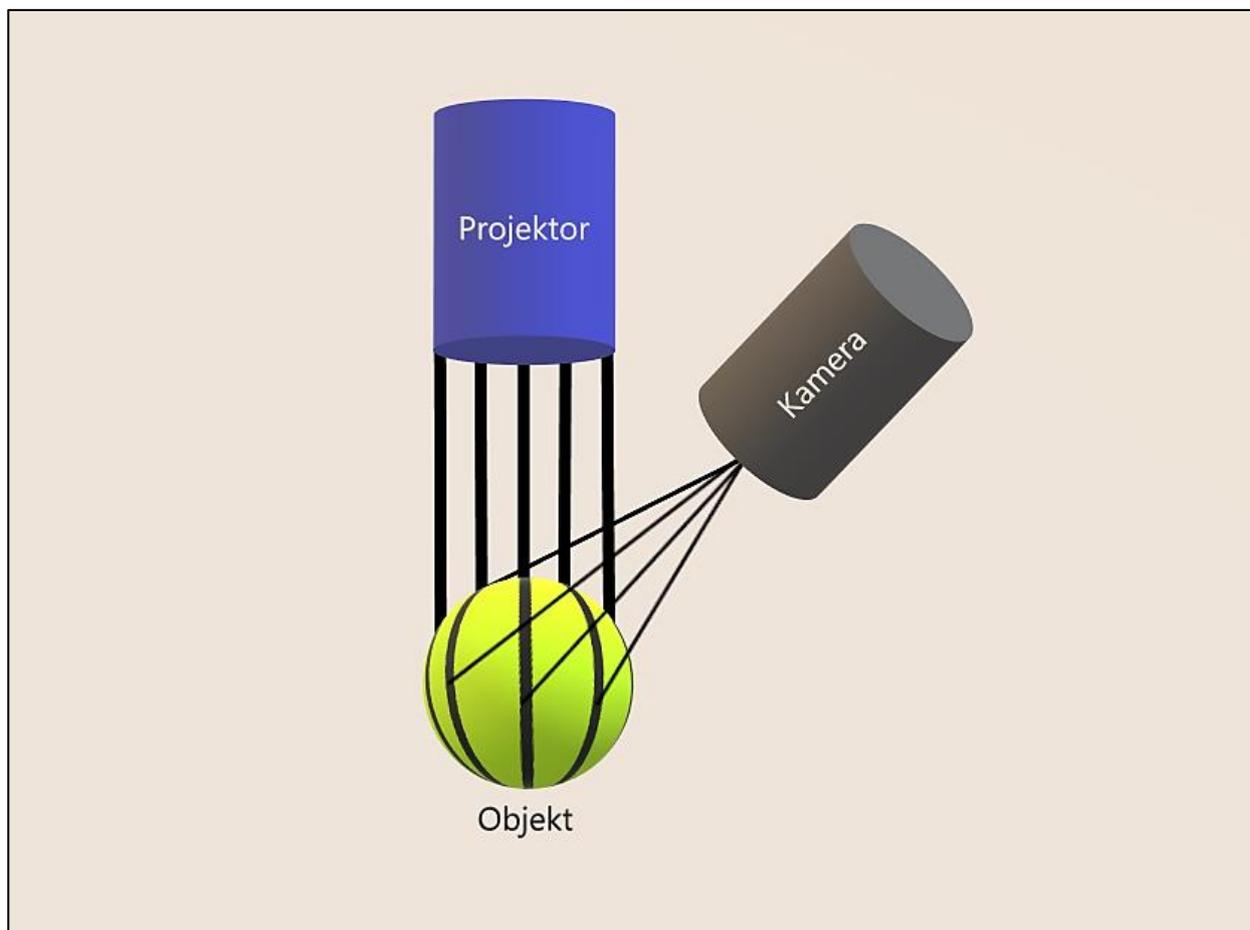


Abbildung 2: Schema zur Funktionsweise eines Streifenprojektionsscanners: Der Projektor bildet Licht in Form von Streifen auf der Objektoberfläche ab. Die Deformation des Streifenmusters wird dann durch die Kamera erfasst und anschließend computergestützt ausgewertet.

Nach Brauner et al. ist die Genauigkeit des Streifenprojektionsscanners vom Auflösungsvermögen des Projektors und der Kamera, den Umgebungsbedingungen sowie der Oberflächenbeschaffenheit des Scanobjektes abhängig (13).

Laserscanner arbeiten ebenfalls mit dem Prinzip der Triangulation – der Lasertriangulation. Hierbei wirft ein Laser, dessen Lage und Richtung im Raum bekannt ist, einen Lichtpunkt auf die Objektoberfläche. Ein Detektor (in Form einer Kamera, deren Koordinaten und Ausrichtung ebenfalls bekannt ist) erfasst das Licht, welches von der Oberfläche reflektiert wird und stellt den Sensorpunkt fest (ABBILDUNG 3).

Mit Hilfe dieser Daten errechnet eine Computersoftware die Lage des Lichtpunktes im Raum und kann ein dreidimensionales Modell erstellen. Die Oberfläche wird demnach punktweise erfasst (13, 15, 16).

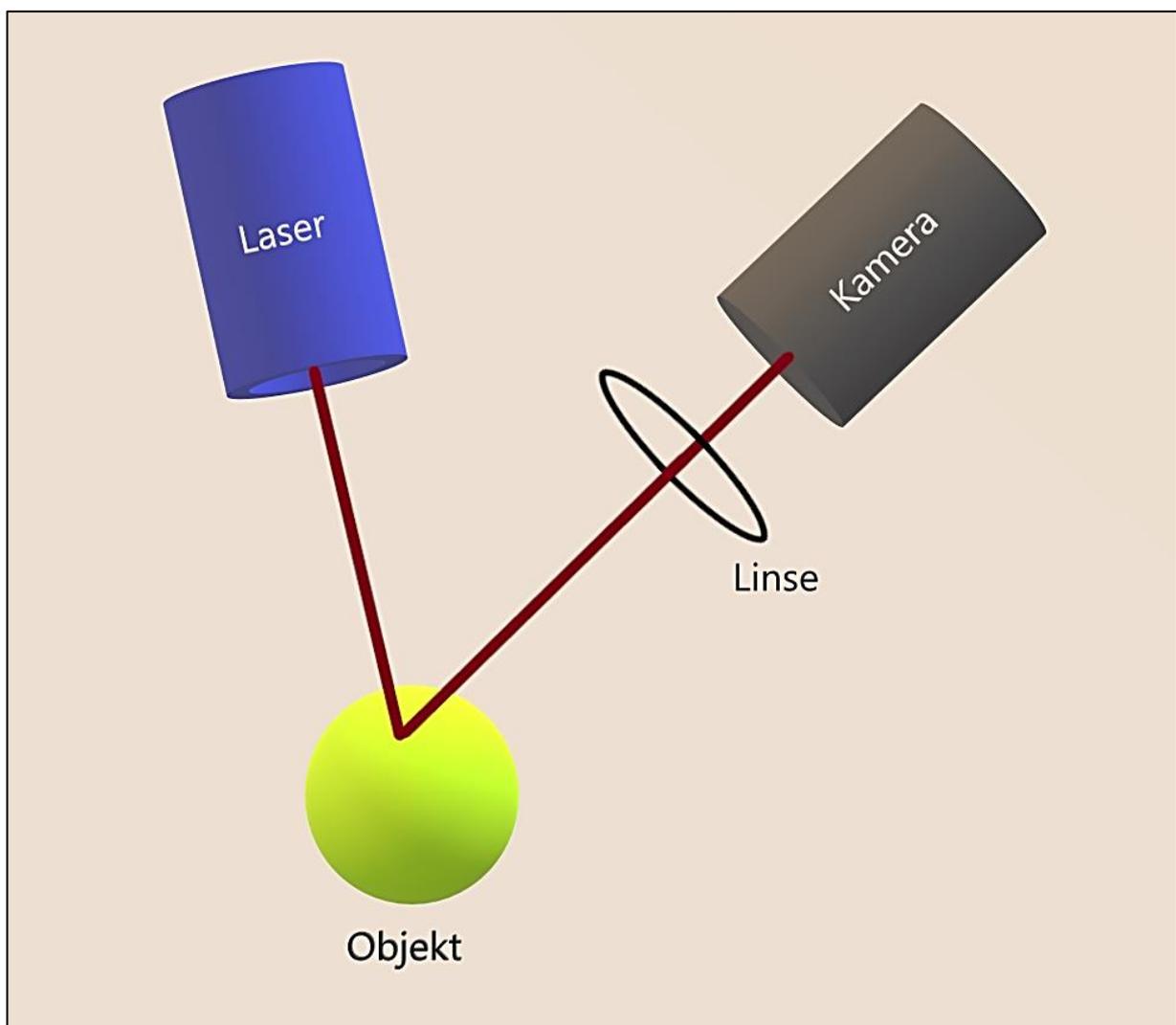


Abbildung 3: Schema zur Funktionsweise eines Laserscanners: Der Projektor bildet einen Lichtpunkt auf der Objektoberfläche ab. Die Kamera erfasst den Lichtpunkt und eine Software erstellt Punkt für Punkt das entsprechende dreidimensionale Modell.

Die Laserscanner stellen ein sehr genaues und kostengünstiges Aufnahmeverfahren dar. Die Messqualität aber ist, genau wie bei den Streifenprojektionsscannern, von der Laserqualität und der Kameraauflösung abhängig. Im Gegensatz zu Streifenprojektionsscannern besitzen Laserscanner eine geringe Geschwindigkeit bei der Datenerfassung (13, 15).

Für eine detailliertere Darstellung der digitalen Scansysteme verweist die Autorin ausdrücklich auf weiterführende Literatur und entsprechende Publikationen.

2.1.3 Konventionell versus Digital

Die Vor- und Nachteile von konventionellen und digitalen Abformarten wurden bereits in einer Vielzahl von Studien untersucht. Die nachfolgende Tabelle fasst die wichtigsten Punkte der Quellen zusammen: (2, 3, 9-11, 16-21)

Tabelle 1: konventionelle versus digitale Abformarten

	Konventionell	Digital
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • erprobter Standard • einfacher Workflow • günstige Materialien • akkurate Darstellung • gute Patientenakzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> • effiziente Lagerung • ortsunabhängige Abrufmöglichkeiten (hohe Kompatibilität) • einfacher Workflow • schnelle Verarbeitungszeit (sofortige Modellherstellung) • hohe Haltbarkeit • höhere Diagnosemöglichkeiten durch virtuelle Darstellung • kein zusätzlicher Materialverbrauch • sehr gute Patientenakzeptanz
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Akzeptanz bei Patienten mit starkem Würgereiz • Atmungsschwierigkeiten während der Abformung sind möglich • benötigt große Lagerflächen • hoher Materialverbrauch (Nachhaltigkeit?) • aufwendiger Versand • hohe Gefahr von Modellbruch/Abbruch von Modellteilen 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Anschaffungskosten • schlechte Darstellung subgingivaler Bereiche bei optischen Systemen • Probleme bei der Darstellung von reflektierenden Flächen (Bsp. Metallrestaurationen) bei optischen Systemen

2.2 Indizes in der Kieferorthopädie

Indizes in der Kieferorthopädie dienen vor allem der Beurteilung kieferorthopädischer Behandlungen. Sie helfen dabei die individuelle Okklusion eines Patienten zu messen und zu kategorisieren (22-25).

Dabei muss ein kieferorthopädischer Index folgende Kriterien erfüllen (23, 25):

1. statistische Auswertbarkeit
2. hohe Validität und Reliabilität
3. leichte Erlernbarkeit und Durchführbarkeit
4. schnelle und zuverlässige Beurteilbarkeit
5. hohe Sensitivität

Nach Tang et al. ist es möglich in quantitative und qualitative Indizes zu unterteilen (22). Dabei gibt ein quantitativer Index nur Auskunft darüber ob und welche Art einer Malokklusion vorliegt. Es wird keinerlei Aussage über den Ausprägungsgrad der Malokklusion getroffen. Ein bekanntes Beispiel eines quantitativen Index ist die Einteilung der ANGLE-Klassifikationen (23-27).

Ein qualitativer Index hingegen stellt ein genaues Graduierungssystem zur Ausprägung der Malokklusion zur Verfügung. Beispiele hierfür sind alle numerischen Indizes.

Die Entwicklung okklusaler Indizes ist darauf zurück zu führen, dass bei der Beurteilung kieferorthopädischer Behandlungen ein Index benötigt wurde, der qualitative Faktoren quantifizieren konnte. Dabei beschreibt ein okklusaler Index mit Punktwerten okklusale und dentale Merkmale, welche die Ausprägung der Dysgnathie widerspiegeln. Der PAR-Index ist an dieser Stelle als einer der bekanntesten okklusalen Indizes zu nennen (23-27).

2.2.1 Der PAR-Index

Der aktuell am häufigsten genutzte okklusale Index zur Bewertung von Behandlungsergebnissen ist der Peer Assessment Rating Index – kurz PAR-Index (25-35). Dieser wurde zwischen 1987 und 1992 von zehn erfahrenen Kieferorthopäden (der „British Orthodontic Standards Working Party“) in England erarbeitet. Hauptbegründer ist Stephen Richmond. Der Index wurde dafür entwickelt, um den kieferorthopädischen Standard des „General Dental Service“ zu kontrollieren und zu überprüfen (34). Bei dem Index handelt es sich um ein Bewertungssystem, das mit Hilfe von Punkten die Bissanomalien und Zahnfehlstellungen eines Patienten kategorisieren soll. Durch verschiedene Wichtungsfaktoren bei einzelnen Komponenten kann dann eine Gesamtaussage über das Ausmaß einer Malokklusion getroffen werden.

Der PAR Index schafft für den Untersucher eine schnelle und reproduzierbare Bewertung von Ganzkiefermodellen. Seine Reliabilität und Validität wurde gewissenhaft in verschiedenen Studien nachgewiesen (26, 33, 34). Die Validität wurde durch ein Gremium von 74 britischen Kieferorthopäden anhand von 272 Modellpaaren als hoch eingestuft. Die Reliabilität gilt ebenfalls als exzellent (26, 33, 34).

Das Konzept bei der Erstellung des PAR-Index ist der Vergleich zwischen dem Patientenmodell und der Normalokklusion. Auftretenden dentalen und okklusalen Abweichungen werden Punktwerte zugeordnet. Diese werden anschließend durch Multiplikation unterschiedlich gewichtet und schlussendlich summiert.

Dabei wird ein umso höherer Punktwert ermittelt, je ausgeprägter die Bissanomalie beim Patienten ist. Ein PAR-Index Wert von null Punkten bedeutet demnach, dass es sich um eine Idealokklusion ohne Bissanomalien handelt. Es ist anzumerken, dass auch ein Gesamtwert von über Null mit einer perfekten Okklusion und Zahnstellung gleichzusetzen ist, da die Komponenten des Index geringe Unregelmäßigkeiten erlauben (27, 34). Deshalb gelten Bewertungen von bis zu zehn Punkten immer noch als nahezu ideal. Theoretisch kann ein Punktwert von maximal 126 Punkten erreicht werden, praktisch ist die Erreichung von Werten über Fünfzig selten (27, 34).

Am häufigsten findet der Index bei der Beurteilung des Behandlungsergebnisses Anwendung. Hierfür wird der PAR-Wert des Anfangsmodells mit dem des Abschlussmodells verglichen.

Nach Richmond et al. ist ein Behandlungsergebnis als „greatly improved“ einzuschätzen, wenn die prozentuale PAR-Verbesserung mindestens 30 % und 22 PAR-Punkte beträgt. Ist die Verbesserung des Punktwertes geringer als 22 Punkte, dann fällt das Behandlungsergebnis in die „improved“-Kategorie, insofern die prozentuale Verbesserung 30 % oder mehr beträgt. Ergebnisse mit einer Verbesserung von unter 30 % werden als „worse – no different“ bezeichnet. Diese Einschätzungen wurden in einer Validitätsuntersuchung erarbeitet (27, 34).

2.2.2 Vermessung eines Modells mittels PAR-Index

Für die Ermittlung des PAR-Index wird das Modell zunächst in 3 Segmente unterteilt (**ABBILDUNG 4**):

- 1 anteriores Segment (mesial 3 bis mesial 3)
- 2 bukkale Segmente (distal 3 bis mesial 6)

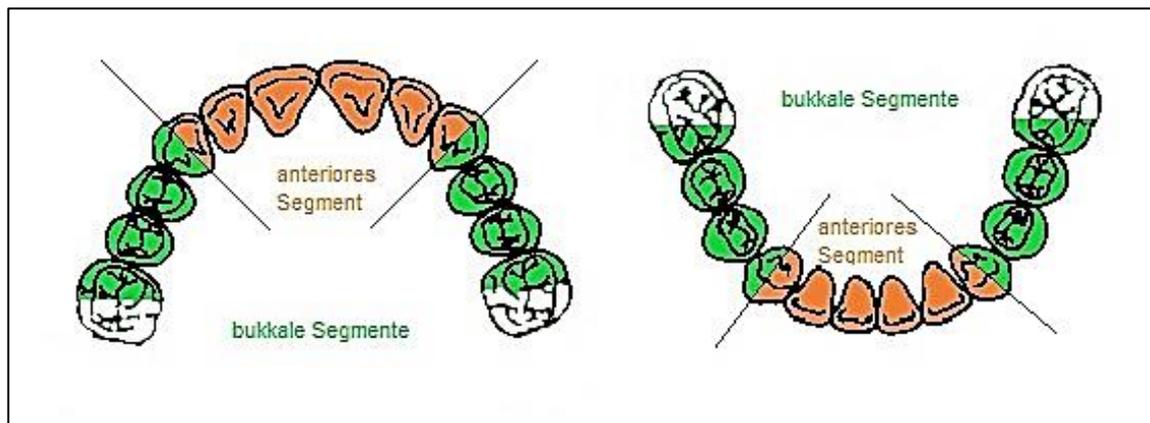


Abbildung 4: Segmentunterteilung der Zahnbögen für den PAR-Index: anteriore Segmente (orange), bukkale Segmente (grün)

Im Anschluss wird das Modell mit Hilfe von fünf Komponenten bewertet. Diese sind:

1. Kontaktpunktverlagerung im oberen und unteren anterioren Segment
2. linke und rechte bukkale Okklusion in Bezug auf:
 - a. Sagittale
 - b. Vertikale
 - c. Transversale
3. Overjet und anteriorer Kreuzbiss
4. Overbite und frontal offener Biss
5. Mittellinie

Um die Vermessungen für den Behandler zu vereinfachen entwickelte Richmond das „PAR-Ruler“ (ABBILDUNG 5). Durch einfaches Anlegen und Ablesen kann hiermit der PAR-Index in kürzester Zeit erhoben werden.

ANT-POST
0 None
1 < 1/2 unit dis
2 = 1/2 unit dis
TRANSVERSE
0 None
1 Xbite tend > = 11
2 1 tooth in xbite
3 > 1 tooth in xb
4 > 1 tooth in sb
VERTICAL
0 None
1 openb 2t > 2mm
CENTRELINE
0 <= 1/4
1 1/4 - 1/2
2 > 1/2
OVERBITE
0 0 - 1/3 open b
1 1/3 - 2/3
2 > 2/3
3 >= FTC
4
CONTACT Pt
0 -
1 -
2 -
3 -
4 -
5 Impacted tooth
THE PAR INDEX
<i>Manchester</i>
OVERJET
4 > 2t xb
3 1t xb
2 1t xb
1 1t xb
0 e to e

Abbildung 5:
Das „PAR-Ruler“

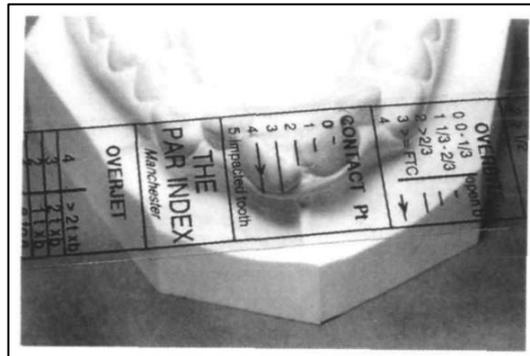


Abbildung 6: PAR-Ruler beim Vermessen der Kontaktpunktabweichung

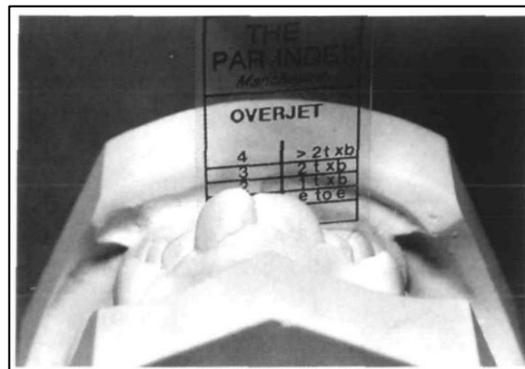


Abbildung 7: PAR-Ruler beim Vermessen des Overjet

Abbildungen 5-7 aus: Richmond S, Shaw WC, O'Brien KD, Buchanan IB, Jones R, Stephens CD, et al. The development of the PAR Index (Peer Assessment Rating): reliability and validity. Eur J Orthod. 1992 (34)

Für die Vergabe der Punktwerte einzelner Komponenten gibt es festgelegte Vorgaben.

2.2.2.1 Kontaktpunktverlagerung im oberen und unteren anterioren Segment

Hierbei wird das anteriore Segment vom mesialen Kontaktpunkt 13 (bzw. 33) bis zum mesialen Kontaktpunkt 23 (bzw. 43) beurteilt. Als Kontaktpunktverlagerung ist die kleinste Distanz zwischen den Kontaktpunkten benachbarter Zähne definiert. Gemessen wird der Abstand zwischen den Kontaktpunkten parallel zur Okklusionsebene. Es werden Lücken, Engstände und impaktierte Zähne beurteilt, wobei fehlende Zähne nicht als Lücken gelten. Als impaktiert gilt ein Zahn dann, wenn der Abstand zwischen den beiden angrenzenden Zähnen des impaktierten Zahnes ≤ 4 mm ist.

Tabelle 2: Bewertung des PAR-Index – Kontaktpunktabweichung

Punktwert	Kontaktpunktabweichung
0 Punkte	0–1 mm
1 Punkt	1,1–2 mm
2 Punkte	2,1–4 mm
3 Punkte	4,1–8 mm
4 Punkte	größer als 8 mm
5 Punkte	impaktierter Zahn

Quelle: in Anlehnung an RICHMOND et al. (34)

Daraus resultieren zehn einzelne Punktzahlen (fünf aus den Messungen im Oberkiefer und fünf aus den Messungen im Unterkiefer). Diese werden am Ende zu einer Gesamtsumme für die Kontaktpunktabweichung addiert.

2.2.2.2 linke und rechte bukkale Okklusion

Hierbei werden die bukkalen Segmente betrachtet. Das bedeutet, dass der Bereich vom Eckzahn bis zum letzten Molaren in die Wertung einfließt. Gemessen wird jedoch nur an dem Zahnpaar mit der höchsten Abweichung! Die Betrachtung erfolgt jeweils für die linke und die rechte Seite. Durchbrechende Zähne, Weisheitszähne und Milchzähne werden nicht berücksichtigt.

Tabelle 3: Bewertung des PAR-Index – linke und rechte bukkale Okklusion

Punktwert	Abweichung
sagittal	
0 Punkte	gute Okklusion (genau Klasse I, II oder III)
1 Punkt	weniger als ½ prämolarenbreite Abweichung
2 Punkte	mehr als ½ prämolarenbreite Abweichung
vertikal	
0 Punkte	kein lateral offener Biss
1 Punkt	lateral offener Biss (mind. 2 Zähne mehr als 2 mm)
transversal	
0 Punkte	kein Kreuzbiss
1 Punkt	Kreuzbiss-Tendenz
2 Punkte	Einzelzahn-Kreuzbissverzahnung
3 Punkte	mehr als ein Zahn im Kreuzbiss
4 Punkte	mehr als ein Zahn in bukkaler oder linguale Nonokklusion (Scherenbiss)

Quelle: in Anlehnung an RICHMOND et al. (34)

Die Beurteilung erfolgt in allen drei Raumrichtungen (sagittal, vertikal und transversal). Die daraus resultierenden sechs Punktwerte, werden wiederum addiert und bilden so die Gesamtsumme für die bukkale und linguale Okklusion.

2.2.2.3 Overjet und anteriorer Kreuzbiss

Für die Beurteilung wird erneut das anteriore Segment betrachtet. Es werden alle Schneidezähne sowie die Eckzähne betrachtet. Gemessen wird wiederum das Zahnpaar mit der höchsten Abweichung parallel zur Okklusionsebene.

Tabelle 4: Bewertung des PAR-Index - Overjet und anteriorer Kreuzbiss

Punktwert	Abweichung
Overjet	
0 Punkte	0–3 mm
1 Punkt	3,1–5 mm
2 Punkte	5,1–7 mm
3 Punkte	7,1–9 mm
4 Punkte	größer als 9 mm
anteriorer Kreuzbiss	
0 Punkte	kein anteriorer Kreuzbiss
1 Punkt	1 oder mehr Zähne im Kopfbiss
2 Punkte	1 Zahn im Kreuzbiss
3 Punkte	2 Zähne im Kreuzbiss
4 Punkte	mehr als zwei Zähne im Kreuzbiss

Quelle: in Anlehnung an RICHMOND et al. (34)

Wenn bei einem Patienten sowohl ein erhöhter Overjet als auch ein anteriorer Kreuzbiss vorliegen, werden zwei Punktwerte ermittelt, die anschließend zur Gesamtsumme addiert werden.

2.2.2.4 Overbite und frontal offener Biss

Wie bereits bei der Beurteilung des Overjet wird das anteriore Segment (inklusive der Eckzähne) betrachtet. Bewertet wird erneut das Zahnpaar mit dem am stärksten ausgeprägten vertikalen Überbiss.

Tabelle 5: Bewertung des PAR-Index - Overbite und frontal offener Biss

Punktwert	Abweichung
Offener Biss	
0 Punkte	kein offener Biss
1 Punkt	Offener Biss ≤ 1 mm
2 Punkte	Offener Biss 1,1–2 mm
3 Punkte	Offener Biss 2,1–3 mm
4 Punkte	Offener Biss ≥ 4 mm
Tiefer Biss	
0 Punkte	$\leq \frac{1}{3}$ Überdeckung des unteren Antagonisten
1 Punkt	$\frac{1}{3} - \frac{2}{3}$ Überdeckung des unteren Antagonisten
2 Punkte	$> \frac{2}{3}$ Überdeckung des unteren Antagonisten
3 Punkte	ganze Zahnkrone (oder mehr) überdeckt

Quelle: in Anlehnung an RICHMOND et al. (34)

Wie bereits beim Overjet kann es auch bei der Betrachtung des Overbite dazu kommen, dass bei einem Patienten sowohl ein tiefer als auch ein offener Biss vorliegt. In diesem Fall werden beide Punktzahlen addiert um die Gesamtsumme zu erhalten.

2.2.2.5 Mittellinie

Für die Betrachtung der Mittellinie wird die untere Mittellinie als Bezugspunkt gewählt. Anschließend wird die Abweichung zu der oberen Mittellinie – gemäß der Tabelle – in Relation zur Breite eines UK-Frontzahnes ermittelt.

Tabelle 6: Bewertung des PAR-Index - Mittellinie

Punktwert	Mittellinienabweichung
0 Punkte	Übereinstimmung der Mittellinien
1 Punkt	Abweichung $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{2}$ der Breite des UK-Zahnes
2 Punkte	Abweichung um mehr als $\frac{1}{2}$ Breite des UK-Zahnes

Quelle: in Anlehnung an RICHMOND et al. (34)

2.2.2.6 Gesamt-PAR-Index

Um am Ende den „Gesamt-PAR-Index“ zu erhalten, werden die Punkte der fünf Komponenten miteinander addiert.

Innerhalb der Entwicklungsphase des PAR-Index stellte das Team um Richmond bereits fest, dass nicht alle fünf Komponenten des Index gleichermaßen ausschlaggebend für die fachliche Beurteilung des Gebissbefundes waren. Dies war der Grund dafür, dass bereits früh eine Weiterentwicklung des Index erarbeitet wurde. In einer groß angelegten Studie mit 74 erfahrenen Kieferorthopäden wurden dafür insgesamt 272 Modelle in Bezug auf den Schweregrad der vorliegenden Malokklusion bewertet. Aus den Ergebnissen

dieser Studie konnte eine Gewichtung der einzelnen Komponenten erarbeitet werden, welche der damals aktuellen Meinung der britischen Kieferorthopäden entsprach. Dabei wird der Punktwert für den Overjet mit dem Faktor sechs multipliziert, der Overbite wird doppelt gewichtet und der Wert für die Mittellinienabweichung vervierfacht. Die anderen Komponenten behalten ihre einfache Wertigkeit (34).

In anderen Teilen der Welt wurde der PAR-Index, durch Veränderung der Wertigkeit einzelner Komponenten, an die entsprechenden ländertypischen kieferorthopädischen Idealvorstellungen angepasst. Dies wird im späteren Verlauf in Kapitel 4.4 nähergehend erläutert.

3 Fragestellung

Ziel der vorliegenden Studie war es herauszufinden, ob Unterschiede bei der Vermessung zwischen konventionellen Gipsmodellen und modernen digitalen Modellen bestehen. Der Vergleich wurde anhand des PAR-Index an vier verschiedenen Modellarten durchgeführt.

Des Weiteren sollte in der Studie herausgefunden werden, ob bei der Vermessung der genannten Modelle durch Kieferorthopäden, Studenten und Assistenten Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlergruppen bestehen.

Bisher existieren keine Studien, die sowohl drei verschiedene digitale Modellformen mit einem konventionellen Gipsmodell vergleichen, als auch verschiedene Behandlerarten mit unterschiedlichen Erfahrungswerten in ihr Studiendesign einbeziehen.

Daher wurden folgende Nullhypothesen aufgestellt:

1. Es gibt keinen Unterschied zwischen den durchschnittlichen Messwerten des PAR-Index bei konventionellen Gipsmodellen, gedruckten Kunststoffmodellen und digitalen Modellen in der OnyxCeph- und OrthoAnalyzer-Software.
2. Es gibt keinen Unterschied zwischen den durchschnittlichen Messwerten des PAR-Index bei den Behandlergruppen Kieferorthopäden, Studenten und Assistenten.

4 Material und Methode

4.1 Versuchsaufbau

Für den Studienaufbau musste zunächst ein passendes Anfangsmodell mit einer ausreichend hohen Abweichung von der idealen Okklusion ausgewählt werden. Da es sich bei dem PAR-Index um einen Index zur Beurteilung des Behandlungserfolges handelt (34), ist für die Erzielung eines ausreichend hohen PAR-Wertes eine Abweichung von der idealen Okklusion zwingend notwendig. Deshalb fiel die Wahl auf einen geeigneten Typodonten der Firma GF dental (Milano, Italien). Dieses Modell (*ABBILDUNG 8, ABBILDUNG 9, ABBILDUNG 10*) wurde für die komplette Studie als Mastermodell – im folgenden „Originalmodell“ genannt – genutzt.



*Abbildung 8: Originalmodell
frontal*



*Abbildung 9: Originalmodell
lateral rechts*



*Abbildung 10: Originalmodell
lateral links*

Von diesem Originalmodell wurden zunächst Abdrücke für die Studienmodellherstellung angefertigt. Zum einen erfolgte die Abformung und Modellherstellung auf konventionellem Weg mittels Alginat und Superhartgips. Zum anderen wurde das Originalmodell mit Hilfe eines Intraoralscanners digitalisiert. Das digitale Modell wurde dann sowohl gedruckt, als auch digital in der OnyxCeph- und OrthoAnalyzer-Software gespeichert.

Daraus resultierten die vier verschiedenen Untersuchungsmodelle des ursprünglichen Originalmodells:

1. Gipsmodell via konventioneller Alginatabformung
2. Kunststoffmodell via intraoralem Scan und anschließendem Druck
3. Digitales Modell via intraoralem Scan in der OnyxCeph Software
4. Digitales Modell via intraoralem Scan in der 3Shape Software (OrthoAnalyzer)

Die folgende Abbildung illustriert den schematischen Versuchsaufbau:

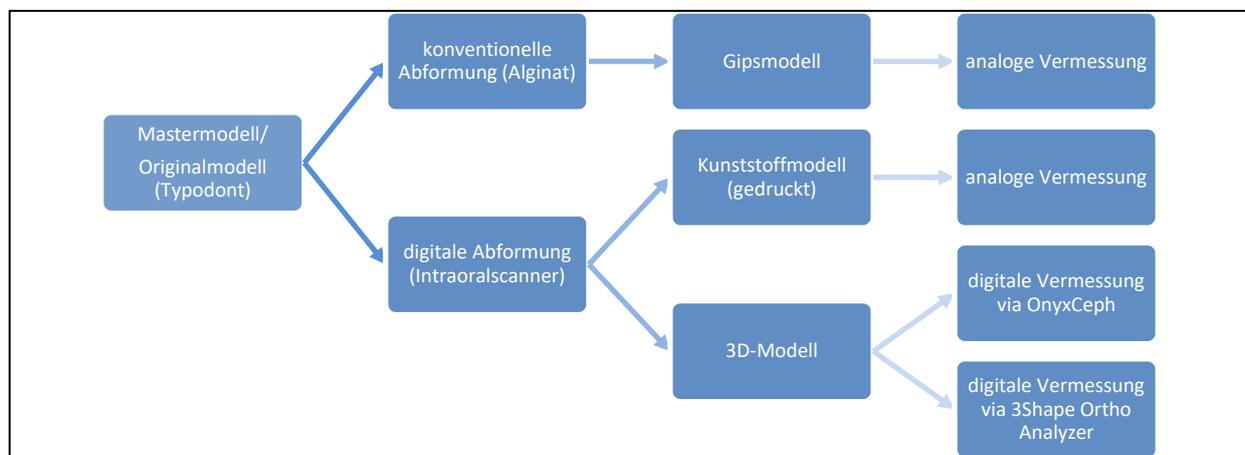


Abbildung 11: schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Für die vereinfachte Form werden diese vier Modellarten im Folgenden mit den entsprechenden Zahlen **(1-4)** benannt.

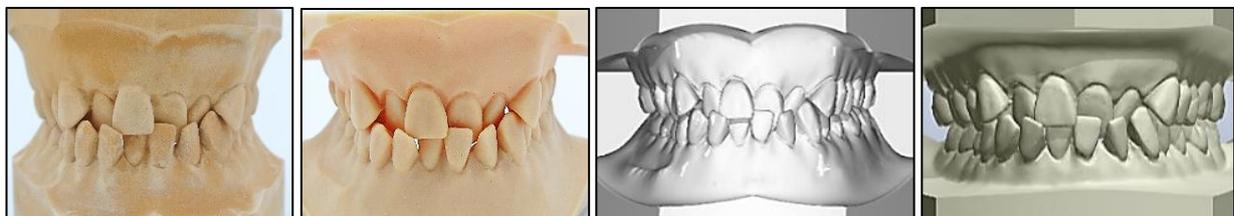


Abbildung 12:
Modell 1 Gips

Abbildung 13:
Modell 2 Kunststoff

Abbildung 14:
Modell 3 OnyxCeph

Abbildung 15:
Modell 4 OrthoAnalyzer

Die Modelle wurden im weiteren Verlauf durch 120 verschiedene Behandler (Kieferorthopäden, Assistenten, Studenten) vermessen, wobei jedem Behandler nur ein Modell vorgelegen hat. Die Aufteilung der Behandler wurde wie folgt vorgenommen:

1. 30 Behandler (analoge Messungen auf dem Gipsmodell (*ABBILDUNG 12*))
2. 30 Behandler (analoge Messungen auf dem Kunststoffmodell (*ABBILDUNG 13*))
3. 30 Behandler (digitale Vermessung in der OnyxCeph-Software (*ABBILDUNG 14*))
4. 30 Behandler (digitale Vermessung in der OrthoAnalyzer-Software (*ABBILDUNG 15*))

Die Messwerte jedes Behandlers wurden anschließend übertragen, ausgewertet und in den entsprechenden PAR-Wert umgerechnet.

4.2 Modellherstellung

4.2.1 konventionelle Herstellung des Gipsmodells

Die konventionelle Abformung erfolgte mittels Alginat (Kaniblu, Kaniedenta, Herford, Deutschland) bei annähernden Standardbedingungen ($22\pm 5^\circ\text{C}$; 1013,25 hPa). Im Oberkiefer wurde dabei ein perforierter Rim-Lock-Löffel in der Größe L der Firma Omnident (Rodgau Nieder-Roden, Deutschland) genutzt. Die Abformung im Unterkiefer erfolgte ebenfalls mit einem Rim-Lock-Löffel Größe L derselben Firma. Dieser wies jedoch keine Perforationen auf. Innerhalb von 5 Minuten nach Abdrucknahme folgte das Ausgießen der Alginatabformungen (*ABBILDUNG 16, ABBILDUNG 17,*) mit Typ III Kanistone KFO Spezial Hartgips (Kaniedenta, Herford, Deutschland). Das direkte Ausgießen sollte einer Verformung des Alginates mit anschließendem Verlust der Dimensionsstabilität entgegenwirken. Zur Sicherheit und Aufbewahrung wurde ein Silikonschlüssel (Contursil AV, Kaniedenta, Herford, Germany) des Gipsmodells (*ABBILDUNG 18, ABBILDUNG 19, ABBILDUNG 20*) gefertigt. Des Weiteren konnte das Gipsmodell mit Hilfe des Silikonschlüssels auf eine Zahl von insgesamt zehn Modellen vervielfältigt werden. Die Anzahl von 10 Modellen sollte eine parallele Vermessung durch mehrere Behandler ermöglichen. Die Übereinstimmung der duplizierten Modelle wurde vor Studienbeginn durch die Autorin überprüft.



Abbildung 16: Alginatabformung Oberkiefer



Abbildung 17: Alginatabformung Unterkiefer



Abbildung 18: Gips frontal



Abbildung 19: Gips lateral rechts



Abbildung 20: Gips lateral links

4.2.2 Digital

Die digitale Abformung erfolgte mittels eines Intraoralscanners. Dabei kam bei dieser Studie der TRIOS 3 Color (3s Shape, Kopenhagen, Dänemark) zur Anwendung. Ausgewählt wurde dieser, da er nach Wesemann et al. im Vergleich zu anderen Intraoralscannern die geringsten Abweichungen zeigte (36).

Die digitale Abformung erfolgte durch die Autorin. Diese wurde im Vorfeld in den Umgang mit dem TRIOS 3 Color eingewiesen, geschult und brachte zudem Erfahrungen aus einem Jahr Arbeit mit Intraoralscannern im Praxisalltag mit.

Um initiale Fehler zu vermeiden, wurde das Modell insgesamt fünfmal vollständig gescannt, wobei die ersten vier davon sofort verworfen wurden. Verlor der Scanner während des Scans den Pfad – auf Grund von falschem Abstand zum Modell oder wegen erhöhter Geschwindigkeit – wurde der Scan sofort abgebrochen und wiederholt.

Der Scanpfad richtete sich nach den Herstellerangaben und der Scan erfolgte unter Standardbedingungen ($22\pm 5^{\circ}\text{C}$; 1013,25 hPa). Damit sollte möglichen Matching-Fehlern während des Scans entgegengewirkt werden. Diese hätten im späteren Verlauf Einfluss auf die Dimensionsgenauigkeit haben können.

4.2.2.1 Herstellung des Kunststoffmodells

Für die Herstellung des Kunststoffmodells wurde der STL-Datensatz aus dem Intraoralscan (*SIEHE KAPITEL 4.2.2*) für die Weiterverarbeitung zunächst in die OrthoAnalyzer-Software (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) geladen. Dort wurden die digitalen Modelle für den Druck im Stereolithografie-Drucker angeordnet. Der Druck erfolgte anschließend mit Hilfe des Formlabs Form 2 (Formlabs, Somerville, USA) mit Kunstharz (Dental Modell, Formlabs, Somerville, USA).

Insgesamt konnten auf diesem Weg zehn identische Modelle aus Kunststoff (*ABBILDUNG 21, ABBILDUNG 22, ABBILDUNG 23*) für die Vermessung hergestellt werden. Wie bereits bei den Gipsmodellen, sollte durch eine erhöhte Modellanzahl eine parallele

Vermessung durch mehrere Behandler ermöglicht werden. Die Übereinstimmung der zehn Modelle wurde ebenfalls vor Studienbeginn durch die Autorin überprüft.



Abbildung 21: Kunststoff frontal

Abbildung 22: Kunststoff lateral rechts

Abbildung 23: Kunststoff lateral links

4.2.2.2 Herstellung des digitalen Modells für OnyxCeph

Für die Herstellung des 3D-Modells in OnyxCeph wurde der STL-Datensatz aus dem Intraoralscan für die Weiterverarbeitung in die OnyxCeph-Software (OnyxCeph, Chemnitz, Deutschland) geladen.

Das entsprechende Modell (*ABBILDUNG 24, ABBILDUNG 25, ABBILDUNG 26*), welches durch die Software dargestellt wird, ist beliebig oft an verschiedenen Computern einsehbar.

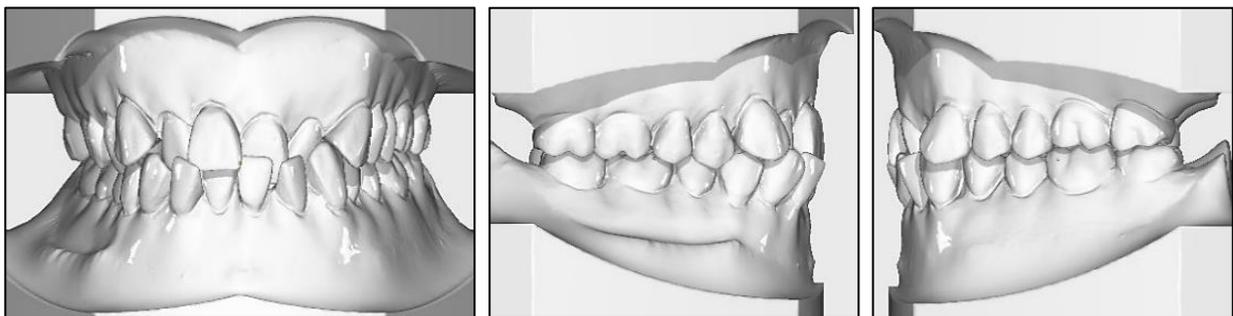


Abbildung 24: Onyx frontal

Abbildung 25: Onyx lateral rechts

Abbildung 26: Onyx lateral links

4.2.2.3 Herstellung des digitalen Modells für OrthoAnalyzer

Für die Herstellung des 3D-Modells wurde der STL-Datensatz aus dem Intraoralscan ebenfalls für die Weiterverarbeitung in die OrthoAnalyzer-Software (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) geladen.

Das dann in der Software sichtbare Modell (*ABBILDUNG 27, ABBILDUNG 28, ABBILDUNG 29*), ist ebenfalls beliebig oft an unterschiedlichen Computern einsehbar.

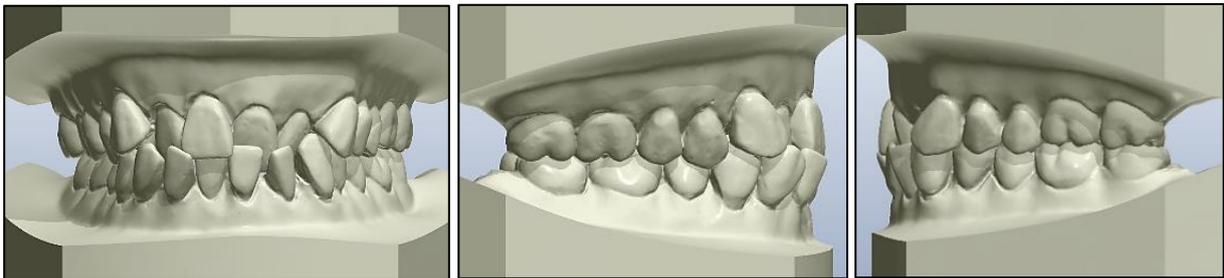


Abbildung 27: OrthoAnalyzer frontal

*Abbildung 28: OrthoAnalyzer
lateral rechts*

*Abbildung 29: OrthoAnalyzer
lateral links*

4.3 Behandler für die Modellvermessung

4.3.1 Goldstandardvermessung durch PAR-Zertifizierte

Für die Vermessung des Originalmodells, und die damit verbundene Festlegung des Goldstandardwertes, wurden zwölf freiwillige Vermesser in diese Studie einbezogen. Es handelte sich dabei um erfahrene Kieferorthopäden, die alle eine erfolgreiche Kalibrierung im Umgang mit dem PAR Index in einem Kurs bei Professor Dr. Richmond nachweisen konnten.

Nach Buchanan et al. ist die richtige Anleitung und anschließende Kalibrierung für die Benutzung des PAR-Index erforderlich, um die Reliabilität und Validität der Messungen durch einen Untersucher zu gewährleisten (29).

Zu dieser freiwilligen Gruppe an „Goldstandardvermessern“ zählen vier in Deutschland praktizierende Ärzte, sieben in Österreich praktizierende Ärzte und Professor Dr. Richmond aus Großbritannien.

Jeder Behandler aus dieser Gruppe erhielt das Originalmodell und nahm eine Vermessung nach einem vorgefertigten und standardisierten Auswertungsbogen vor (*ABBILDUNG 30*). Im Anschluss wurde das arithmetische Mittel aus den zwölf eruierten PAR-Indizes ermittelt. Dieses bildete für die folgende Studie den PAR-Index des Goldstandards.

Auswertungsbogen PAR-Index „Goldstandard“	Punkte	Punkte Gesamt		
<p>Kontaktpunktverlagerung oberes und unteres anteriores Segment</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beurteilung des anterioren Segmentes (mesialer Kontaktpunkt 13 (bzw. 33) bis mesialer Kontaktpunkt 23 (bzw. 43)) - Kontaktpunktverlagerung -> kleinste Distanz zwischen Kontaktpunkten benachbarter Zähne - gemessen wird der Abstand zwischen den Kontaktpunkten benachbarter Zähne - Impaktion -> wenn der Abstand zwischen den beiden angrenzenden Zähnen des impaktierten Zahnes ≤ 4mm <p><input type="checkbox"/> Impaktierter Zahn</p> <p style="text-align: right;">Kontaktpunktverlagerung in mm:</p> <p>Oberkiefer: 3-2: <input type="text"/> 2-1: <input type="text"/> 1-1: <input type="text"/> 1-2: <input type="text"/> 2-3: <input type="text"/></p> <p>Unterkiefer: 3-2: <input type="text"/> 2-1: <input type="text"/> 1-1: <input type="text"/> 1-2: <input type="text"/> 2-3: <input type="text"/></p>	<input type="text"/>	X1 <input type="text"/>		
<p>Linke und rechte bukkale Okklusion</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beurteilung vom Eckzahn zum letzten Molaren, gemessen wird das Zahnpaar mit jeweils höchster Abweichung <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top; padding: 5px;"> <p>Sagittal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> gute Okklusion (genau Klasse I, II oder III)</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> weniger als $\frac{1}{2}$ prämolarenbreite Abweichung</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als $\frac{1}{2}$ prämolarenbreite Abweichung</p> <p>Vertikal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> kein lateral offener Biss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> lateral offener Biss (mind. 2 Zähne mehr als 2mm)</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; padding: 5px;"> <p>Transversal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> kein Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kreuzbiss-Tendenz</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Einzelzahn-Kreuzbissverzahnung</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als ein Zahn im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als ein Zahn in bukkaler oder lingualer Nonokklusion</p> </td> </tr> </table>	<p>Sagittal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> gute Okklusion (genau Klasse I, II oder III)</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> weniger als $\frac{1}{2}$ prämolarenbreite Abweichung</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als $\frac{1}{2}$ prämolarenbreite Abweichung</p> <p>Vertikal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> kein lateral offener Biss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> lateral offener Biss (mind. 2 Zähne mehr als 2mm)</p>	<p>Transversal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> kein Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kreuzbiss-Tendenz</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Einzelzahn-Kreuzbissverzahnung</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als ein Zahn im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als ein Zahn in bukkaler oder lingualer Nonokklusion</p>	<input type="text"/>	X1 <input type="text"/>
<p>Sagittal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> gute Okklusion (genau Klasse I, II oder III)</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> weniger als $\frac{1}{2}$ prämolarenbreite Abweichung</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als $\frac{1}{2}$ prämolarenbreite Abweichung</p> <p>Vertikal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> kein lateral offener Biss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> lateral offener Biss (mind. 2 Zähne mehr als 2mm)</p>	<p>Transversal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> kein Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kreuzbiss-Tendenz</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Einzelzahn-Kreuzbissverzahnung</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als ein Zahn im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als ein Zahn in bukkaler oder lingualer Nonokklusion</p>			
<p>Overjet</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beurteilung aller Schneidezähne inklusive der Eckzähne - Beurteilung der am meisten anterior stehenden OK bzw UK Schneidekante (Achtung: negativer Overjet wird mitbewertet!) -> gemessen wird die bukkale Kante der Schneidekante des OK-Schneidezahnes zur zugehörigen bukkalen Kante der Schneidekante des UK-Schneidezahnes - Messung parallel zur Okklusionsebene <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top; padding: 5px;"> <p>Overjet</p> <p>in <input type="text"/> mm</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; padding: 5px;"> <p>Anteriorer Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> kein anteriorer Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 1 oder mehr Zähne im Kopfbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 1 Zahn im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 2 Zähne im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> mehr als 2 Zähne im Kreuzbiss</p> </td> </tr> </table>	<p>Overjet</p> <p>in <input type="text"/> mm</p>	<p>Anteriorer Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> kein anteriorer Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 1 oder mehr Zähne im Kopfbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 1 Zahn im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 2 Zähne im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> mehr als 2 Zähne im Kreuzbiss</p>	<input type="text"/>	X6 <input type="text"/>
<p>Overjet</p> <p>in <input type="text"/> mm</p>	<p>Anteriorer Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> kein anteriorer Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 1 oder mehr Zähne im Kopfbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 1 Zahn im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 2 Zähne im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> mehr als 2 Zähne im Kreuzbiss</p>			
<p>Overbite</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beurteilung des am stärksten ausgeprägten vertikalen Überbisses der Schneidezähne - gemessen wird von der bukkalen Kante der OK-Schneidekante zur bukkalen Kante der UK-Schneidekante <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top; padding: 5px;"> <p>Offener Biss</p> <p><input type="checkbox"/> offener Biss <input type="text"/> mm</p> <p><input type="checkbox"/> kein offener Biss</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; padding: 5px;"> <p>Tiefer Biss</p> <p><input type="checkbox"/> $\leq 1/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> $1/3 - 2/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> $\geq 2/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> ganze Zahnkrone überdeckt</p> </td> </tr> </table>	<p>Offener Biss</p> <p><input type="checkbox"/> offener Biss <input type="text"/> mm</p> <p><input type="checkbox"/> kein offener Biss</p>	<p>Tiefer Biss</p> <p><input type="checkbox"/> $\leq 1/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> $1/3 - 2/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> $\geq 2/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> ganze Zahnkrone überdeckt</p>	<input type="text"/>	X2 <input type="text"/>
<p>Offener Biss</p> <p><input type="checkbox"/> offener Biss <input type="text"/> mm</p> <p><input type="checkbox"/> kein offener Biss</p>	<p>Tiefer Biss</p> <p><input type="checkbox"/> $\leq 1/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> $1/3 - 2/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> $\geq 2/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> ganze Zahnkrone überdeckt</p>			
<p>Mittellinie</p> <p>Gemessen wird der transversale Abstand zwischen oberer und unterer dentaler Mittellinie.</p> <p><input type="checkbox"/> Übereinstimmung</p> <p><input type="checkbox"/> Abweichung $\leq \frac{1}{4}$ der Breites des Unterkiefer 1ers</p> <p><input type="checkbox"/> $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ der Breite des Unterkiefer 1ers</p> <p><input type="checkbox"/> mehr als halbe Breite des Unterkiefer 1ers</p>	<input type="text"/>	X4 <input type="text"/>		
<p>Anmerkungen:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: right; margin-top: 10px;">Auswerter: _____</p>	<input type="text"/>	<p>Gesamt- punkte</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div>		

Abbildung 30: Auswertungsbogen für die „Goldstandardvermesser“

4.3.2 Kieferorthopäden

Da die Vermessung von Modellen für jeden Kieferorthopäden einen wesentlichen Bestandteil bei der Erstellung von Behandlungsplänen darstellt, bilden Kieferorthopäden die erste Untersuchungsgruppe. An der Studie nahmen vierzig freiwillige Kieferorthopäden aus Berlin und Brandenburg teil.

Die Vorgabe für die Teilnahme an der Studie war eine vollständige Weiterbildung zum Kieferorthopäden. Die Berufserfahrung (nach abgeschlossener Weiterbildung) in dieser Studiengruppe betrug zwischen zwei und zweiundvierzig Jahren.

Innerhalb dieser Studiengruppe gab es keine Unterscheidung nach personenspezifischen oder berufsspezifischen Merkmalen.

Jeder Behandler aus dieser Gruppe erhielt ein Modell aus einer der vier Untersuchungsgruppen (Gips, Kunststoff, Onyx oder OrthoAnalyzer) und musste dieses nach einem vorgefertigten und standardisierten Auswertungsbogen (*ABBILDUNG 32*) vermessen. Auf die Wahl des Modells für jeden Behandler wird im weiteren Verlauf eingegangen (*SIEHE KAPITEL 5. VERSUCHSABLAUF*).

4.3.3 Studenten

Als Teilnehmer für die zweite Studiengruppe wurden Studenten der Charité – Universitätsmedizin Berlin ausgewählt. Studenten lernen bereits während der klinischen Jahre die klassische Modellvermessung und bilden den Grundstock für zukünftige Generationen an Zahnärzten und Kieferorthopäden. Aus diesem Grund wurde diese Behandlergruppe auch in der Studie berücksichtigt. Wie auch bei den Kieferorthopäden bekamen vierzig Studenten jeweils eines der Modelle (Gips, Kunststoff, Onyx und OrthoAnalyzer) zum Vermessen.

Die Studenten mussten sich für die Studienteilnahme mindestens im klinischen Abschnitt des Zahnmedizinstudiums befinden und sollten schon Erfahrung in der klassischen Modellvermessung gesammelt haben. Dies wurde mit einem kurzen Test der klassischen

Modellvermessung durch die Autorin überprüft, bevor die eigentlichen Modelle für die Vermessung zur Verfügung gestellt wurden.

Auch in dieser Gruppe wurde nicht nach personenspezifischen oder berufsspezifischen Merkmalen unterschieden.

Die Modellvermessung wurde ebenfalls mit denselben vorgefertigten und standardisierten Auswertungsbögen (*ABBILDUNG 32*) wie in der Studiengruppe der Kieferorthopäden vorgenommen.

4.3.4 Assistenten

Da in vielen kieferorthopädischen Praxen bei Modellvermessungen auch dentales Fachpersonal anwesend ist, wurde eine dritte Untersuchungsgruppe erstellt. Dazu wurden vierzig dentale Assistenten aus kieferorthopädischen Praxen darum gebeten jeweils ein Modell aus einer der vier Untersuchungsgruppen (Gips, Kunststoff, Onyx, OrthoAnalyzer) zu vermessen.

Bei den Assistenten wurde nicht nach der ursprünglichen Berufsausbildung unterschieden (Zahntechniker, zahnmedizinischer Fachangestellter, Laborassistent). Die Erfahrung mit den verschiedenen Vermessungsmethoden in dieser Studiengruppe betrug zwischen einem Tag und sechzehn Jahren. Die Behandler mit weniger als drei Monaten Erfahrung wurden vorher in die Modellvermessung eingewiesen und durften erst nach erfolgreich durchgeführten Probemessungen die tatsächliche Vermessung des zugeteilten Modells vornehmen.

Es kam auch in dieser Studiengruppe zu keiner Unterscheidung zwischen personenspezifischen Merkmalen.

Die Auswertung und Vermessung der Modelle fand mit demselben vorgefertigten und standardisierten Auswertungsbogen (*ABBILDUNG 32*) wie bei den anderen beiden Studiengruppen statt.

4.4 Bestimmung des PAR-Wertes im Studiendesign

Da es für die Bestimmung des PAR-Index unterschiedliche Bewertungssysteme bezüglich der Wichtungsfaktoren gibt, war die Hauptaufgabe zunächst ein einheitliches Bewertungssystem für die Studie zu bestimmen.

Grundsätzlich kann man zwischen dem „UK-PAR“, welcher vor allem in Europa angewandt wird, und dem „US-PAR“, der in Amerika Verwendung findet, unterscheiden. Der Hauptunterschied beider PAR-Indizes drückt sich in der Wichtung der einzelnen Komponenten aus. Dadurch kann sich der Endwert des PAR-Index, je nachdem welchen der beiden Indizes man nutzt, massiv unterscheiden. Unter anderem wird beim „US-PAR“ dem anterioren UK-Segment keinerlei Bedeutung beigemessen. Dafür werden die Komponenten „Overbite“ und „bukale Okklusion“ höher gewichtet (31, 32, 34, 37).

Tabelle 7: Unterschiede in der Wichtung zwischen "US-PAR" und "UK-PAR"

Gewichtung		
US	UK	Komponenten des PAR Index
1x	1x	Kontaktpunktabweichung des oberen anterioren Segments
0x	1x	Kontaktpunktabweichung des unteren anterioren Segments
2x	1x	rechte und linke Seitenzahnokklusion sagittal
2x	1x	rechte und linke Seitenzahnokklusion transversal
2x	1x	rechte und linke Seitenzahnokklusion vertikal
5x	6x	sagittaler Überbiss/ umgekehrte Frontzahnstufe
3x	2x	tiefer Biss/ offener Biss
3x	4x	Mittellinienabweichung zwischen Mandibula und Maxilla

Tabelle 7 In Anlehnung an Naim, 2006, S.30 (25)

Für die Studie fiel die Entscheidung auf den „UK-PAR“. Da dieser im Gegensatz zum „US-PAR“ in Europa standardmäßig Anwendung findet, war für die „Goldstandardvermesser“ somit keine Umstellung für die Errechnung des PAR-Index nötig. Diese stammten, wie bereits oben erwähnt, aus den Ländern Deutschland, Österreich und Großbritannien.

Da es innerhalb Europas zu kleineren, lokalen Abweichungen in der Ermittlung der Messwerte bzw. in der Zuordnung der entsprechenden Punktwerte kommt, wurde zusätzlich zum Auswertungsbogen ein Anmerkungsblatt an die „Goldstandardvermesser“ übermittelt (*ABBILDUNG 31*). Dadurch sollte möglichen Fehlern durch individuelle Mess- und Auswertungsgewohnheiten entgegengewirkt werden.

Anmerungsblatt Auswertungsbogen PAR-Index „Goldstandard“

Das Modell federt leicht. Bitte für die Untersuchung der vertikalen Verzahnung die Modelle leicht zusammendrücken.

Bewertung:

Kontaktpunktabweichungen (Eckzahn bis Eckzahn)

0 0 - 1 mm	Begutachtung im Wechselgebiss mittels der durchschnittlichen mesiodistalen Breiten- tensumme:
1 1,1 - 2 mm	OK 22mm (Retention <= 18 mm)
2 2,1 - 4 mm	UK 21 mm (Retention <= 17 mm)
3 4,1 - 8 mm	
4 > 8 mm	
5 retinierter Zahn (Lücke <= 4mm)	

sagittal (Eckzahn bis letzter Molar)	transversal (Prämolaren u. Molaren)	vertikal (Eckzahn bis letzter Molar)
0 gute Verzahnung kl. I, II od. III	0 kein KB / kein SB	0 kein offener Biss
1 < 1/2 PM-Breite Abweichung	1 Tendenz KB / SB (Kopfbiss)	1 lateraler offener Biss (mindestens an 2 Zähnen mehr als 2 mm)
2 = 1/2 PM-Breite Abweichung (Höcker-Höcker Verzahnung)	2 1 Zahn im KB oder SB	
	3 > 1 Zahn im Kreuzbiss (KB)	
	4 > 1 Zahn im Scherenbiss (SB)	

Zähne im Durchbruch / Milchzähne in Infraokklusion werden nicht bewertet

sagittaler Überbiss (Schneidezähne)	frontaler Kreuzbiss (inkl. Eckzähne)
0 0 - 3 mm	0 kein Kreuzbiss
1 3,1 - 5 mm	1 mind. 1 Zahn im Kantbiss
2 5,1 - 7 mm	2 1 Zahn im KB
3 7,1 - 9 mm	3 2 Zähne im KB
4 > 9 mm	4 > 2 Zähne im KB

Tiefer Biss (mittlerer UK Schneidezahn wird gedrittelt)	offener Biss
0 0 - 1/3 mm	0 kein offener Biss
1 1/3 - 2/3	1 <= 1mm
2 > 2/3	2 1,1 - 2 mm
3 > 1/1	3 2,1 - 4 mm
	4 > 4 mm

Mittellinie

0 Übereinstimmung oder bis zu 1/4 einer UK-Schneidezahnbreite

1 1/4 UK-SZ Breite

2 > 1/2 UK-SZ Breite

Bewertungshilfe:

Komponente PAR-Index											Punkte ohne Wichtungsfaktor	Punkte mit Wichtungsfaktor	
Kontaktpunkt- verlagerung	OK	3-2		2-1		1-1		1-2		2-3			X1
	UK	3-2		2-1		1-1		1-2		2-3			X1
Bukkale Okklusion	Sagittal rechts					Sagittal links						X1	
	Transversal rechts					Transversal links						X1	
	Vertikal rechts					vertikal links						X1	
Overjet	Positiv					Negativ						X6	
Overbite	Tiefer Biss					Offener Biss						X2	
Mittellinie												X4	

Abbildung 31: Anmerungsblatt für die "Goldstandardvermesser"

4.5 Statistische Methoden

Die mathematisch-statistische Auswertung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBikE) der Charité Berlin.

Die statistische Analyse, Grafiken und Zusammenhänge wurden mit SPSS statistics (Version 25, IBM) berechnet. Es wurden dafür folgende Werte bestimmt:

- arithmetisches Mittel
- der Median
- die Standardabweichung
- Minimum
- Maximum

Die untersuchten Variablen (Modellart und Behandlerart) wurden zunächst mittels ein- und zweifaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) geprüft. Anschließend wurden diese mit Hilfe des Shapiro-Wilk-Test und Q-Q-Diagrammen auf Normalverteilung getestet. Durch den Levene-Test wurde am Ende die Varianzhomogenität überprüft.

Das Signifikanzniveau wurde mit $p \leq 0,05$ festgelegt.

5 Versuchsablauf

Bei allen drei Untersuchungsgruppen war der Versuchsablauf gleich. Die Vermessungen fanden im Zeitraum zwischen Dezember 2018 und August 2019 in Berlin und Brandenburg statt.

Zunächst wurden die Behandler nach den bereits in Kapitel 4.3.2 bis 4.3.4 genannten Kriterien ausgewählt. Bei der Modellwahl wurde darauf geachtet, dass der Behandler ein Modell vermaß, bei welchem er mit der Vermessungsmethode geübt war. So bekam beispielsweise ein Behandler aus einer „modernen“ digitalisierten Praxis ein digitales Modell zur Vermessung. Im Gegensatz dazu wurde einem Behandler mit hohen Erfahrungswerten in der analogen Vermessung ein analoges Modell zugeteilt. Dies sollte Messfehler durch unzureichende Erfahrung in der Vermessung des Modelltypus minimieren.

Nachdem jeder Behandler ein für seine Erfahrung passendes Modell zugeteilt bekommen hatte, bekam er ebenfalls einen standardisierten Auswertungsbogen (*ABBILDUNG 32*).

Analogen Vermessern wurde zusätzlich noch eine Schiebelehre („Züricher Modell“) zur Verfügung gestellt.

Digitale Vermesser erhielten in der Onyx-Software ein eigens für diese Studie programmiertes Patch. Dieses hatte alle zu vermessenden Punkte bereits vorgegeben, sodass der Behandler lediglich die entsprechenden Punkte im Modell anklicken musste. Für die Vermessung im OrthoAnalyzer stand ein solches Patch nicht zur Verfügung. Allerdings waren die Punkte wie bei allen anderen Untersuchungsgruppen auch im Auswertungsbogen klar definiert.

Nach dem Erhalt der Modelle hatten die Behandler keine Zeitbegrenzung für die Vermessung. Wenn es trotz der Definitionen und Erklärungen auf dem Auswertungsbogen zu Rückfragen kam, wurden diese durch die Autorin beantwortet. Die Vermessungen erfolgten individuell und unter Ausschluss Dritter.

Es kam während der Vermessungen zu keinem Zeitpunkt zum Eingreifen in die Messwert- und Entscheidungsfindung von Seiten der Autorin. Der Großteil der Fragen konnte durch einen Verweis auf die im Auswertungsbogen stehenden Anweisungen geklärt werden. Fragen nach Werten oder Einschätzungen wurden nicht beantwortet.

Nachdem alle Auswertungsbögen vollständig durch die Behandler ausgefüllt worden waren, wurden die Ergebnisse durch die Autorin tabellarisch in Microsoft Excel (2016) übertragen und gesammelt.

Da die meisten der Behandler aus den Untersuchungsgruppen für die Modellvermessungen (1-Gips, 2-Kunststoff, 3-Onyx und 4-OrthoAnalyzer) über keinerlei Vorwissen zum PAR-Index verfügten, waren diese entsprechend nicht für die PAR-Messung kalibriert.

Aus diesem Grund wurde der Auswertungsbogen bei den Untersuchungsgruppen 1–4 so gewählt, dass die Behandler nur die Anweisungen für die entsprechenden Messungen bekamen.

Die Umrechnung der Werte und die Ermittlung jedes einzelnen PAR-Wertes erfolgte, nachdem alle Messungen in allen Studiengruppen (Kieferorthopäden, Assistenten, Studenten) durchgeführt worden waren. Die Ermittlung der PAR-Werte fand durch die Autorin statt. Diese PAR-Werte wurden anschließend zur Überprüfung tabellarisch (*SIEHE KAPITEL 10*), unsortiert und ohne Angabe der Zugehörigkeit (sowohl Modell- als auch Behandlerart) an einen PAR-kalibrierten Behandler geschickt.

Dadurch sollte der PAR-kalibrierte Behandler beim Kontrollieren der Werte nicht erkennen können um was für eine Behandler- oder Modellart es sich handelte. Somit wurde eine Unwissenheit im Sinne einer Doppelblindstudie von Seiten des kontrollierenden Behandlers sichergestellt, sodass eine Verzerrung der Studienergebnisse ausgeschlossen werden kann.

Die Begutachtung der errechneten PAR-Werte auf Richtigkeit und Vollständigkeit konnte somit sichergestellt werden.

AUSWERTEBOGEN „MODELLVERMESSUNG“			
<p>Kontaktpunktverlagerung oberes und unteres anteriores Segment</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beurteilung des anterioren Segmentes (mesialer Kontaktpunkt 13 (bzw. 33) bis mesialer Kontaktpunkt 23 (bzw. 43)) - Kontaktpunktverlagerung -> kleinste Distanz zwischen Kontaktpunkten benachbarter Zähne - gemessen wird der Abstand zwischen den Kontaktpunkten benachbarter Zähne - Impaktion -> wenn der Abstand zwischen den beiden angrenzenden Zähnen des impaktierten Zahnes $\leq 4\text{mm}$ <p><input type="checkbox"/> Impaktierter Zahn</p> <p style="text-align: right;">Kontaktpunktverlagerung in mm:</p> <p>Oberkiefer: 3-2: <input type="text"/> 2-1: <input type="text"/> 1-1: <input type="text"/> 1-2: <input type="text"/> 2-3: <input type="text"/></p> <p>Unterkiefer: 3-2: <input type="text"/> 2-1: <input type="text"/> 1-1: <input type="text"/> 1-2: <input type="text"/> 2-3: <input type="text"/></p>			
<p>Linke und rechte bukkale Okklusion</p> <p>- Beurteilung vom Eckzahn zum letzten Molaren, gemessen wird das Zahnpaar mit jeweils höchster Abweichung</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border: none;"> <p>Sagittal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> gute Okklusion (genau Klasse I, II oder III)</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> weniger als $\frac{1}{2}$ prämolarenbreite Abweichung</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als $\frac{1}{2}$ prämolarenbreite Abweichung</p> <p>Vertikal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> kein lateraler offener Biss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> lateraler offener Biss (mind. 2 Zähne mehr als 2mm)</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border: none;"> <p>Transversal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> kein Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kreuzbiss-Tendenz</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Einzelzahn-Kreuzbissverzahnung</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als ein Zahn im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als ein Zahn in bukkaler oder lingualer Nonokklusion</p> </td> </tr> </table>		<p>Sagittal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> gute Okklusion (genau Klasse I, II oder III)</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> weniger als $\frac{1}{2}$ prämolarenbreite Abweichung</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als $\frac{1}{2}$ prämolarenbreite Abweichung</p> <p>Vertikal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> kein lateraler offener Biss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> lateraler offener Biss (mind. 2 Zähne mehr als 2mm)</p>	<p>Transversal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> kein Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kreuzbiss-Tendenz</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Einzelzahn-Kreuzbissverzahnung</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als ein Zahn im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als ein Zahn in bukkaler oder lingualer Nonokklusion</p>
<p>Sagittal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> gute Okklusion (genau Klasse I, II oder III)</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> weniger als $\frac{1}{2}$ prämolarenbreite Abweichung</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als $\frac{1}{2}$ prämolarenbreite Abweichung</p> <p>Vertikal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> kein lateraler offener Biss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> lateraler offener Biss (mind. 2 Zähne mehr als 2mm)</p>	<p>Transversal</p> <p>L R</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> kein Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kreuzbiss-Tendenz</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Einzelzahn-Kreuzbissverzahnung</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als ein Zahn im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> mehr als ein Zahn in bukkaler oder lingualer Nonokklusion</p>		
<p>Overjet</p> <p>- Beurteilung aller Schneidezähne inklusive der Eckzähne</p> <p>- Beurteilung der am meisten anterior stehenden OK Schneidekante -> gemessen wird von der bukkalen Kante der Schneidekante des OK-Schneidezahnes zur zugehörigen bukkalen Kante der Schneidekante des UK-Schneidezahnes</p> <p>- Messung parallel zur Okklusionsebene</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border: none;"> <p>Overjet</p> <p>in <input type="text"/> mm</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border: none;"> <p>Anteriorer Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> kein anteriorer Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 1 oder mehr Zähne im Kopfbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 1 Zahn im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 2 Zähne im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> mehr als 2 Zähne im Kreuzbiss</p> </td> </tr> </table>		<p>Overjet</p> <p>in <input type="text"/> mm</p>	<p>Anteriorer Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> kein anteriorer Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 1 oder mehr Zähne im Kopfbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 1 Zahn im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 2 Zähne im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> mehr als 2 Zähne im Kreuzbiss</p>
<p>Overjet</p> <p>in <input type="text"/> mm</p>	<p>Anteriorer Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> kein anteriorer Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 1 oder mehr Zähne im Kopfbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 1 Zahn im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> 2 Zähne im Kreuzbiss</p> <p><input type="checkbox"/> mehr als 2 Zähne im Kreuzbiss</p>		
<p>Overbite</p> <p>- Beurteilung des am stärksten ausgeprägten vertikalen Überbisses der Schneidezähne - gemessen wird von der bukkalen Kante der OK-Schneidekante zur bukkalen Kante der zugehörigen UK-Schneidekante (auch ein negativer Overjet zählt)</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border: none;"> <p>Offener Biss</p> <p><input type="checkbox"/> offener Biss <input type="text"/> mm</p> <p><input type="checkbox"/> kein offener Biss</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border: none;"> <p>Tiefer Biss</p> <p><input type="checkbox"/> $\leq 1/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> $1/3 - 2/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> $\geq 2/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> ganze Zahnkrone überdeckt</p> </td> </tr> </table>		<p>Offener Biss</p> <p><input type="checkbox"/> offener Biss <input type="text"/> mm</p> <p><input type="checkbox"/> kein offener Biss</p>	<p>Tiefer Biss</p> <p><input type="checkbox"/> $\leq 1/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> $1/3 - 2/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> $\geq 2/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> ganze Zahnkrone überdeckt</p>
<p>Offener Biss</p> <p><input type="checkbox"/> offener Biss <input type="text"/> mm</p> <p><input type="checkbox"/> kein offener Biss</p>	<p>Tiefer Biss</p> <p><input type="checkbox"/> $\leq 1/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> $1/3 - 2/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> $\geq 2/3$ Überdeckung</p> <p><input type="checkbox"/> ganze Zahnkrone überdeckt</p>		
<p>Mittellinie</p> <p>Gemessen wird der transversale Abstand zwischen oberer und unterer dentaler Mittellinie.</p> <p><input type="checkbox"/> Übereinstimmung</p> <p><input type="checkbox"/> Abweichung $\leq \frac{1}{4}$ der Breites des Unterkiefer 1ers</p> <p><input type="checkbox"/> $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ der Breite des Unterkiefer 1ers</p> <p><input type="checkbox"/> mehr als halbe Breite des Unterkiefer 1ers</p>			
<p>Anmerkungen:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 80px; width: 100%;"></div>			

Abbildung 32: Auswertungsbogen Modellvermessung für die Untersuchungsgruppen 1-4

6 Ergebnisse

Der Übersichtlichkeit halber werden die folgenden Ergebnisse vor allem in Säulendiagrammen, Fehlerbalken, Tabellen, Profildiagrammen und Boxplots dargestellt.

Die Tabelle 8 gibt eine Gesamtübersicht über die Verteilungen innerhalb der Studie.

Tabelle 8: Gesamtüberblick über die Studienverteilung

Gesamtübersicht			
		Wertelabel	N
Behandler	1	Goldstandardvermesser	12
	2	Kieferorthopäde	40
	3	Student	40
	4	Assistent	40
Modellart	1	Originalmodell	12
	2	Gips	30
	3	Kunststoff	30
	4	Onyx	30
	5	OrthoAnalyzer	30

Die für die Statistik geprüften Variablen unterteilten sich wie folgt:

- die Modellart in Abhängigkeit zum PAR-Index-Punktwert
- die Behandlerart in Abhängigkeit zum PAR-Index-Punktwert
- die Modell- und Behandlerart in Abhängigkeit zum PAR-Index-Punktwert.

6.1 Vergleich innerhalb der Modellarten

Es wurde eine einfaktorielle ANOVA berechnet, um zu untersuchen, ob es einen Unterschied im PAR-Index-Punktwert in Abhängigkeit zur Modellart gab.

Die Modellarten wurden in fünf Gruppen aufgeteilt (*TABELLE 9*):

- Originalmodell
- Gips
- Kunststoff
- Onyx
- OrthoAnalyzer

Es gab zwei leichte Ausreißer in der Gruppe des Originalmodells (Fallnummern 127 und 129). Diese wurden mittels Box-Plot beurteilt (*ABBILDUNG 34*).

Die PAR-Werte waren für die Gruppen Gips, Onyx und Originalmodell normalverteilt, nicht aber für Kunststoff und OrthoAnalyzer, wie eine Überprüfung mit dem Shapiro-Wilk-Test ergab (Shapiro-Wilk-Test, $\alpha = 0,05$) (*TABELLE 10*). Es wurde mit diesen Werten dennoch weitergerechnet, da Simulationsstudien gezeigt haben, dass die einfaktorielle ANOVA robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilungsannahme bei gleicher Gruppengröße ist (42).

Die Überprüfung der Varianzhomogenität mittels Levene-Test ergab: $p = 0,84$, basierend auf dem Mittelwert. Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Modellarten für die Werte des PAR-Index, $F(4, 127) = 1,81$, $p = 0,13$.

In der Tabelle 9 sind die Anzahl [N] der Vermessungen, Standardabweichung, sowie Minimum, Maximum, Spannweite und Mittelwert für die verschiedenen Modellarten dargestellt.

Tabelle 9: PAR-Index in Abhängigkeit von der Modellart

PAR-INDEX						
Modellart	N	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	Spannweite	Mittelwert
Originalmodell	12	5,158	35	57	22	46,67
Gips	30	5,568	33	58	25	45,97
Kunststoff	30	4,768	34	54	20	47,57
Onyx	30	4,810	39	58	19	49,37
OrthoAnalyzer	30	5,401	39	62	23	46,93

Das Säulendiagramm (**ABBILDUNG 33**) veranschaulicht die Mittelwerte des PAR-Index der verschiedenen Modellarten.

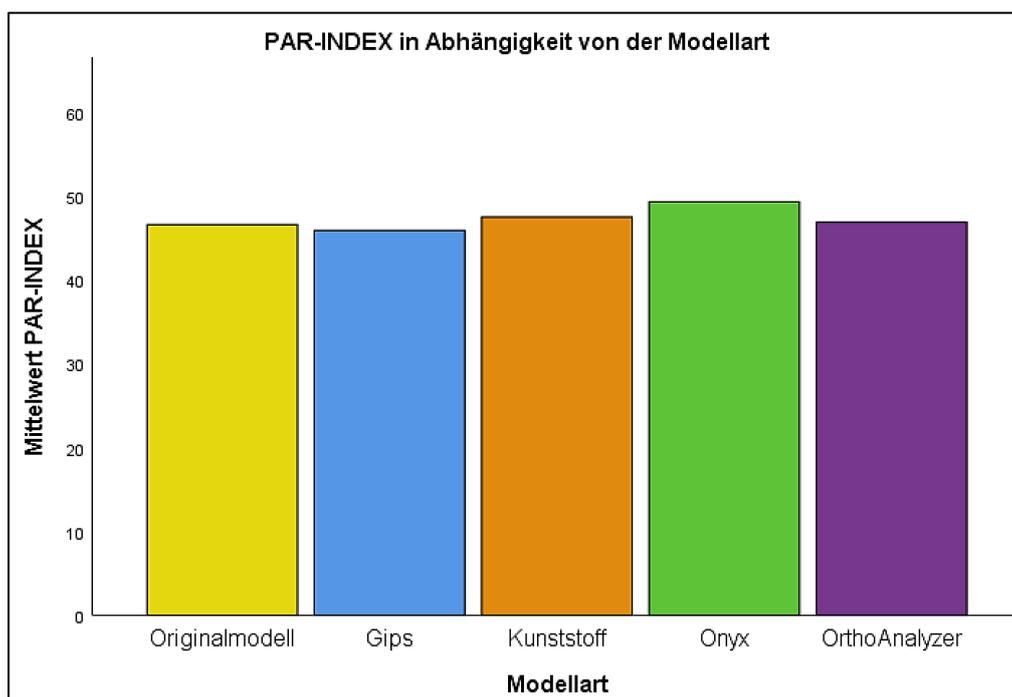


Abbildung 33: Abhängigkeit des PAR-Index von der Modellart

Gelb = Originalmodell mit einem PAR-Wert von 46,67 Punkten, Blau = Gips mit einem PAR-Wert von 45,97 Punkten, Orange = Kunststoff mit einem PAR-Wert von 47,57 Punkten, Grün = Onyx mit einem PAR-Wert von 49,37 Punkten, Lila = OrthoAnalyzer mit einem PAR-Wert von 46,93 Punkten

Die Boxplotdiagramme (ABBILDUNG 34) zeigen Minimum, Maximum, Median und Interquartilsrange des PAR-Index in Abhängigkeit von der Modellgruppe. Es sind zwei leichte Ausreißer in der Gruppe des Originalmodells erkennbar (Fall 127 und 129).

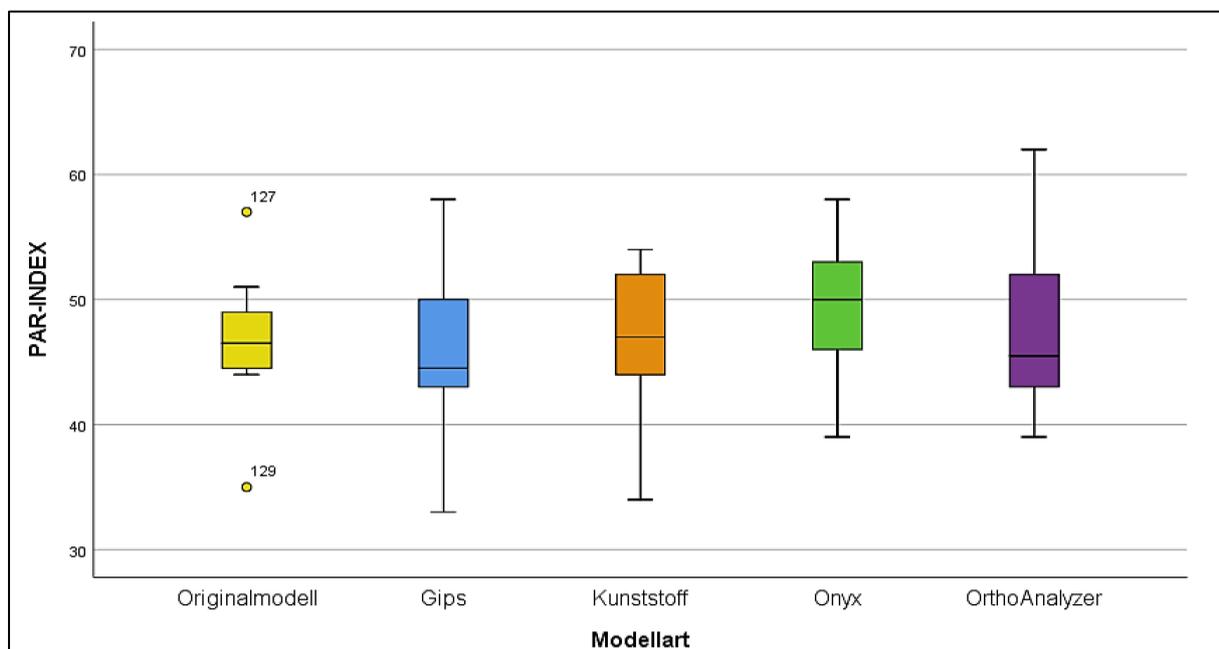


Abbildung 34: Normalverteilung PAR-Index in Abhängigkeit der Modellart
Zwei leichte Ausreißer in der Gruppe des Originalmodells: Fallnummern 127 und 129

Die Tabelle 10 zeigt eine Normalverteilung für die Gruppen Originalmodell, Gips und Onyx. Die Gruppen Kunststoff und OrthoAnalyzer zeigen eine Signifikanz $p < 0,05$, was darauf hinweist, dass die Daten nicht normalverteilt sind.

Tabelle 10: Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung der Modellarten

		Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	Signifikanz
PAR-INDEX	Originalmodell	,917	12	,259
	Gips	,961	30	,324
	Kunststoff	,915	30	,020
	Onyx	,982	30	,867
	OrthoAnalyzer	,903	30	,010

Das Q-Q-Diagramm für die Variablen „Kunststoff“ (ABBILDUNG 35) und „OrthoAnalyzer“ (ABBILDUNG 36) zeigte eine grenzwertige Abweichung von der Normalverteilungsdigonale mit erkennbaren Ausreißern.

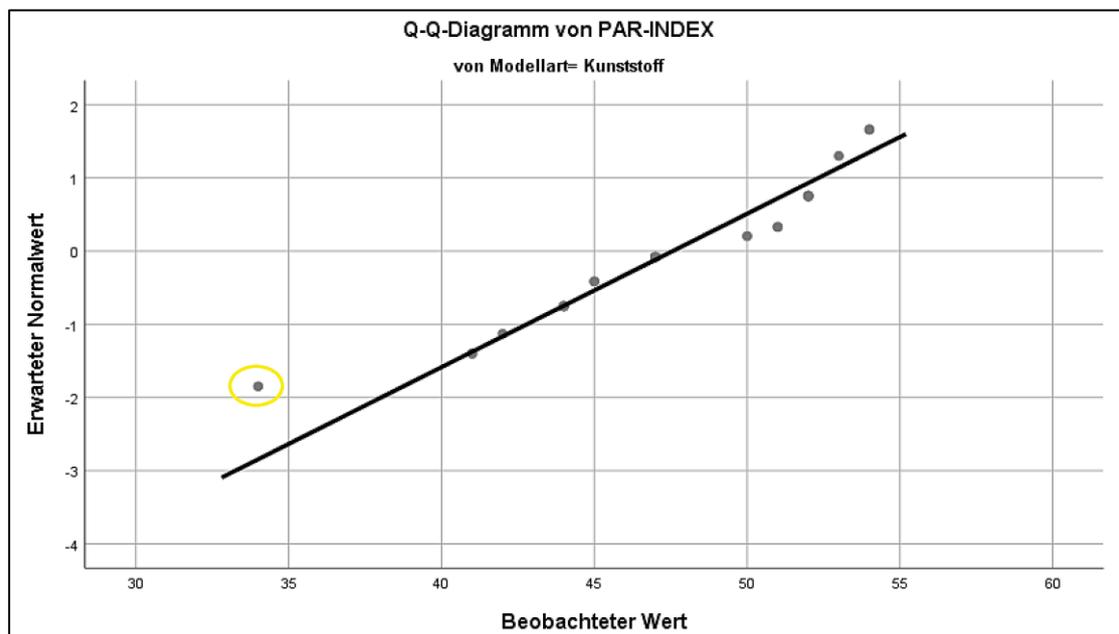


Abbildung 35: Q-Q-Diagramm des PAR-Index für die Variable Kunststoff
der größte Ausreißer ist gelb markiert

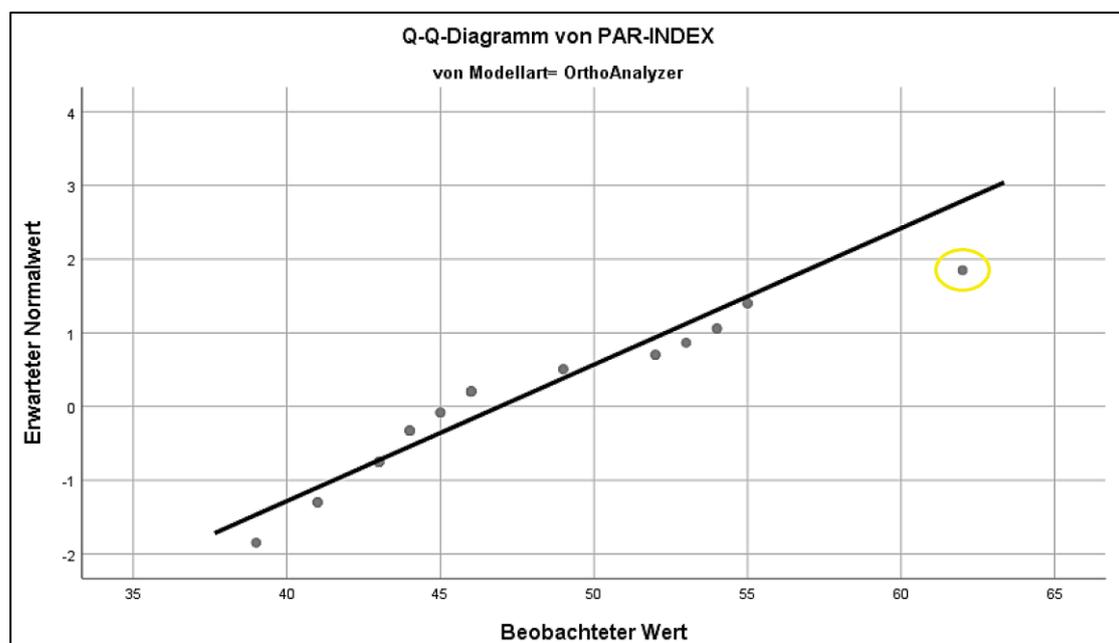


Abbildung 36: Q-Q-Diagramm des PAR-Index für die Variable OrthoAnalyzer
der größte Ausreißer ist gelb markiert

Das trendbereinigte Q-Q-Diagrammen für die Variablen „Kunststoff“ (ABBILDUNG 37) und „OrthoAnalyzer“ (ABBILDUNG 38) zeigt Abweichungen einzelner Werte um den beobachteten Normalverteilungswert.

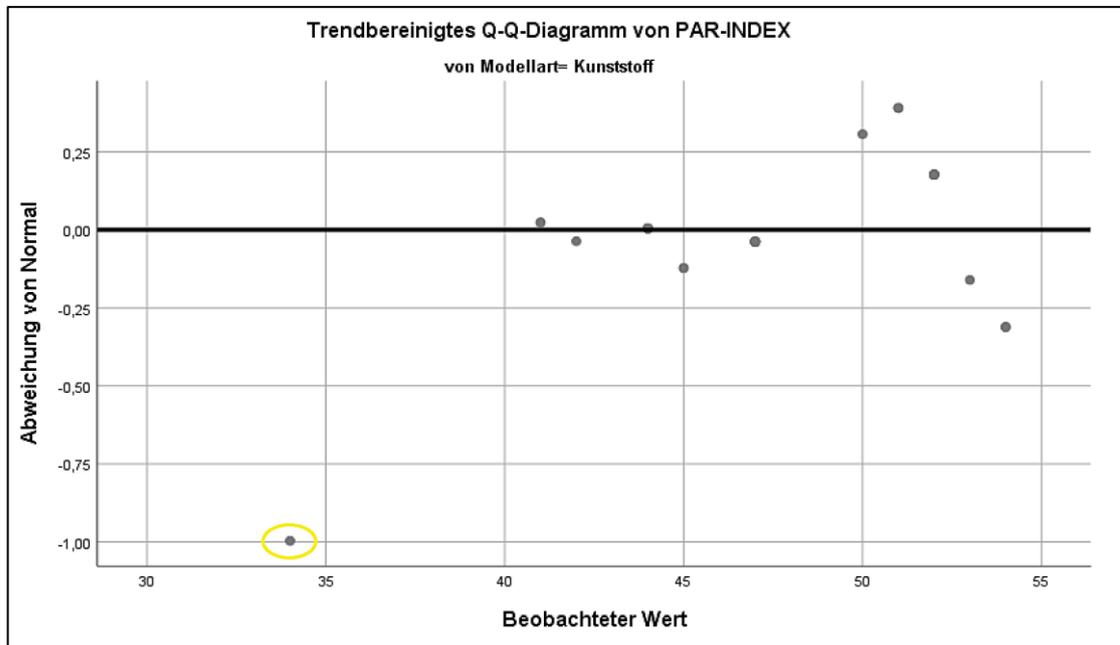


Abbildung 37: Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm des PAR-Index für die Variable Kunststoff
der größte Ausreißer ist gelb markiert

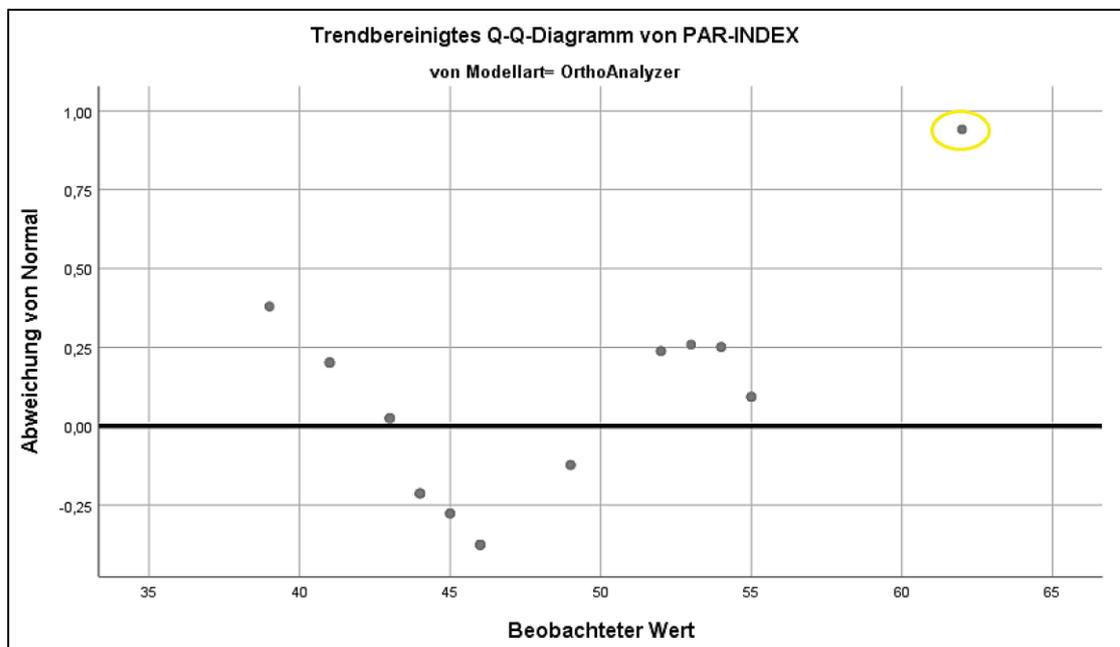


Abbildung 38: Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm des PAR-Index für die Variable OrthoAnalyzer
der größte Ausreißer ist gelb markiert

Die Histogramme (ABBILDUNG 39, ABBILDUNG 40, ABBILDUNG 41, ABBILDUNG 42, ABBILDUNG 43) zeigen die Häufigkeiten der einzelnen PAR-Werte je Modellart.

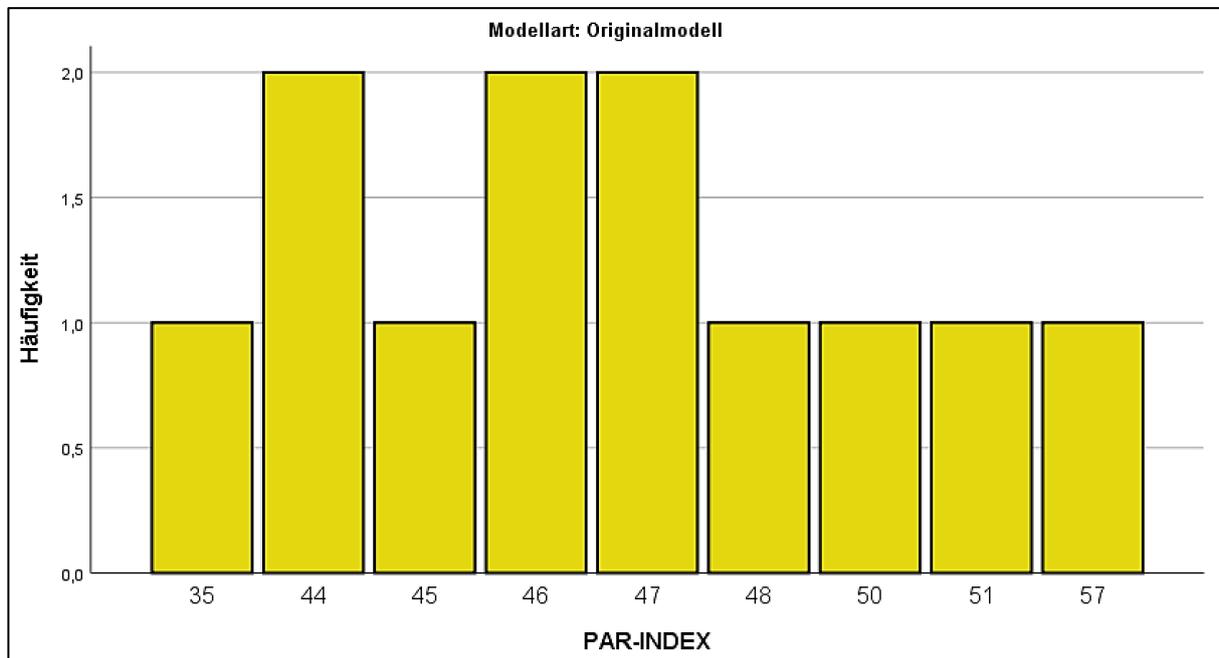


Abbildung 39: PAR-Wert Häufigkeit Originalmodell

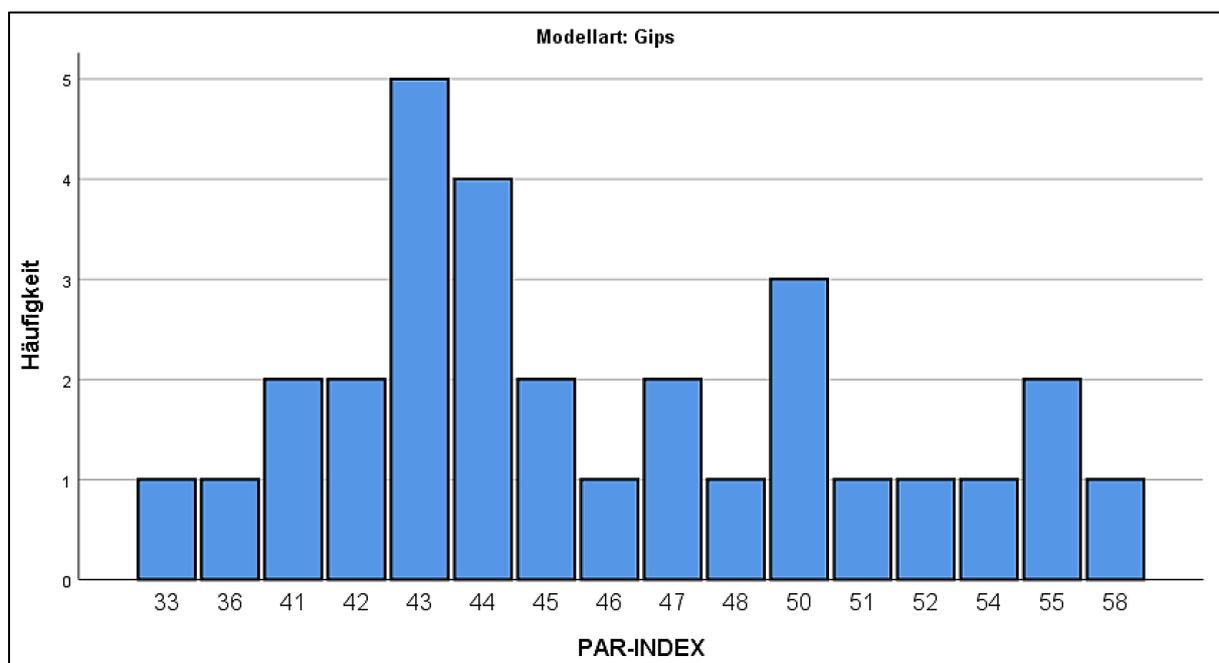


Abbildung 40: PAR-Wert Häufigkeit für die Modellart Gips

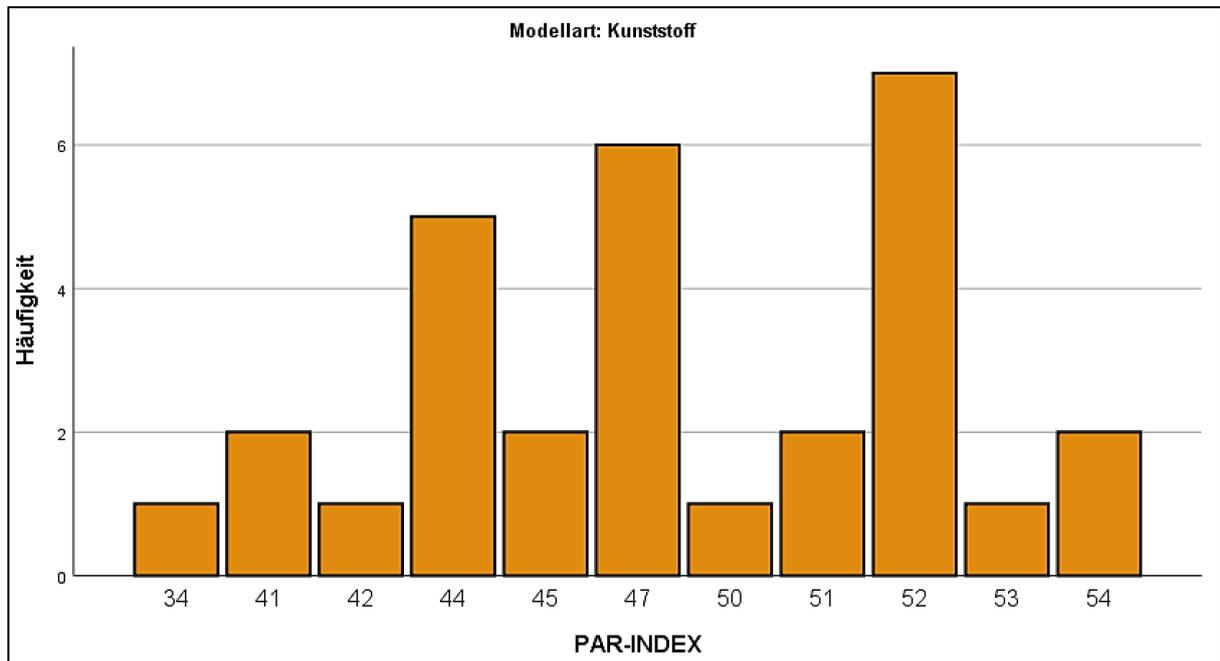


Abbildung 41: PAR-Wert Häufigkeit für die Modellart Kunststoff

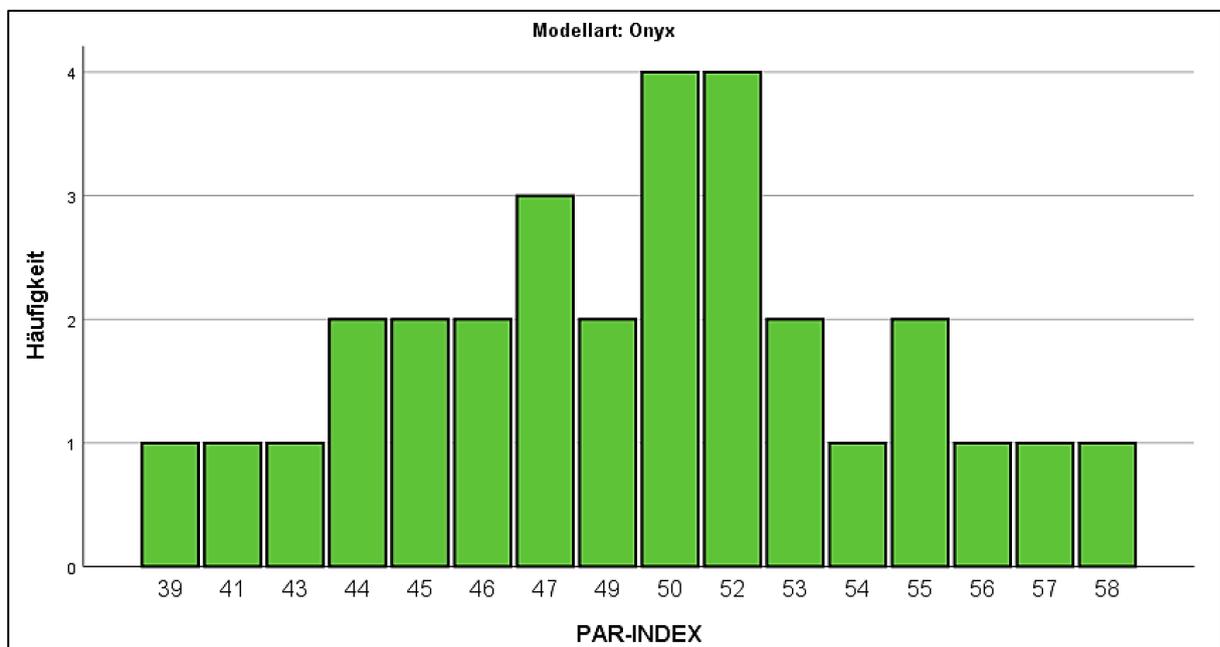


Abbildung 42: PAR-Wert Häufigkeit für die Modellart Onyx

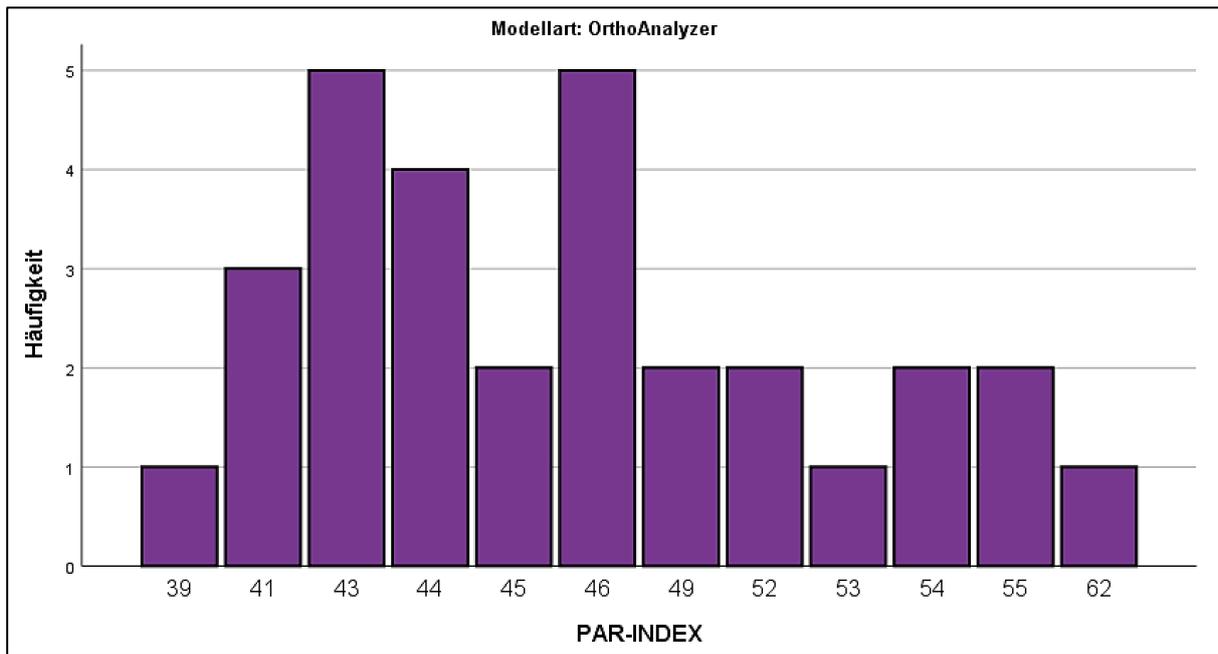


Abbildung 43: PAR-Wert Häufigkeit für die Modellart OrthoAnalyzer

6.2 Vergleich innerhalb der Behandlergruppen

Für diese Untersuchung wurde ebenfalls die einfaktorielle ANOVA berechnet, um zu ermitteln, ob es einen Unterschied im PAR-Index-Punktwert in Abhängigkeit von der Behandlerart gibt.

Die Behandlerarten wurden in die folgenden vier Gruppen aufgeteilt (*TABELLE 11*):

- Goldstandardvermesser
- Kieferorthopäde
- Student
- Assistent

Es gab zwei leichte Ausreißer in der Gruppe der Goldstandardvermesser (Fallnummern 127 und 129). Diese wurden mittels Box-Plot beurteilt (*ABBILDUNG 45*).

Die PAR-Werte waren für die Gruppen Goldstandard, Kieferorthopäde und Assistent normalverteilt, nicht aber für die Gruppe Student, wie eine Überprüfung mit dem Shapiro-Wilk-Test ergab (Shapiro-Wilk-Test, $\alpha = 0,05$) (*TABELLE 12*). Es wurde ebenfalls ohne Änderung der Werte weitergearbeitet.

Die Überprüfung der Varianz erfolgte mit dem Levene-Test, gemäß dem wir eine Gleichheit der Varianzen annehmen können ($p = 0,42$ basierend auf dem Mittelwert). Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Modellarten für die Werte des PAR-Index, $F(3, 128) = 1,91, p = 0,13$.

In der Tabelle 11 sind die Anzahl [N] der Vermessung, Standardabweichung, sowie Minimum, Maximum und Mittelwert für die verschiedenen Behandlerarten dargestellt.

Tabelle 11: PAR-Index in Abhängigkeit von der Behandlerart

PAR-INDEX					
Behandler	N	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	Mittelwert
Goldstandardvermesser	12	5,158	35	57	46,67
Kieferorthopäde	40	6,076	33	62	46,28
Student	40	4,752	42	58	48,93
Assistent	40	4,511	36	55	47,17

Die Säulendiagramm (**ABBILDUNG 44**) veranschaulichen die Mittelwerte des PAR-Index der verschiedenen Behandlerarten.

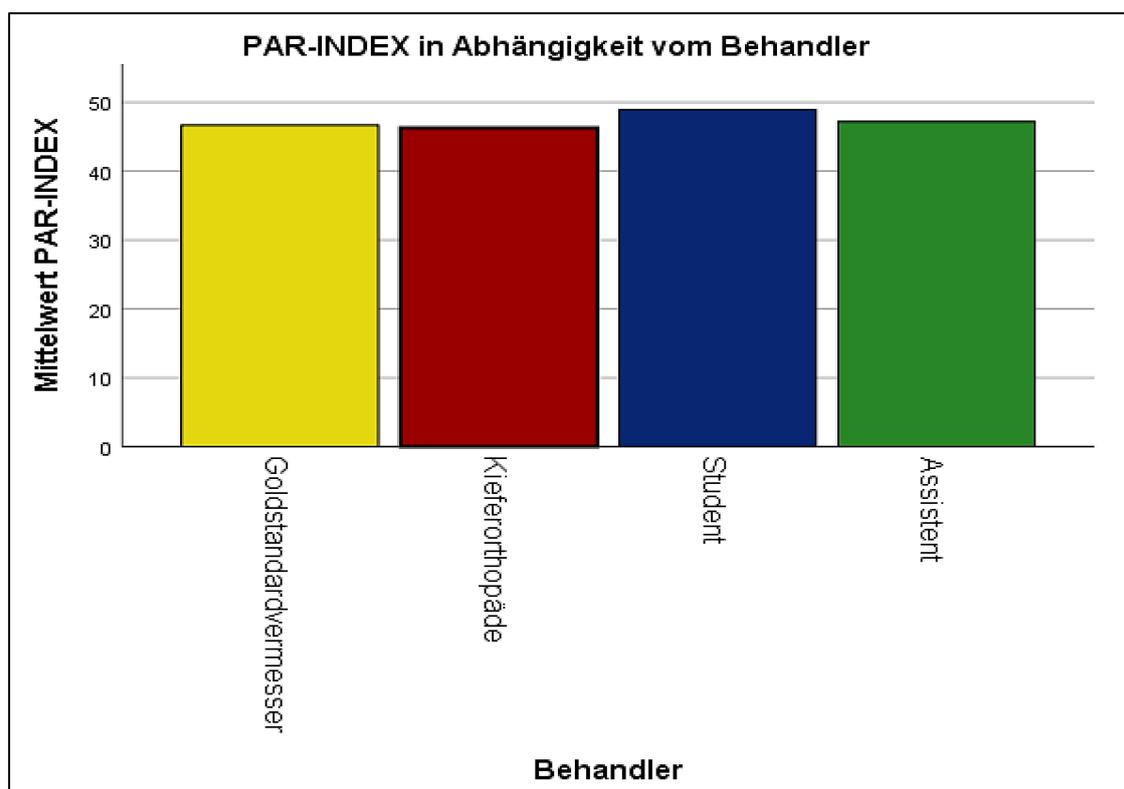


Abbildung 44: Abhängigkeit des PAR-Index von der Behandlerart

Gelb = Goldstandardvermesser mit einem PAR-Wert von 46,67 Punkten, Rot = Kieferorthopäde mit einem PAR-Wert von 46,28 Punkten, Blau = Student mit einem PAR-Wert von 48,93 Punkten, Grün = Assistent mit einem PAR-Wert von 47,17 Punkten

Die Boxplot-Diagramme (**ABBILDUNG 45**) zeigen Minimum, Maximum, Median und Interquartilsrange des PAR-Index im Verhältnis zur Behandlergruppe. Es sind zwei leichte Ausreißer in der Gruppe der Goldstandardvermesser (Fall 127 und 129) erkennbar.

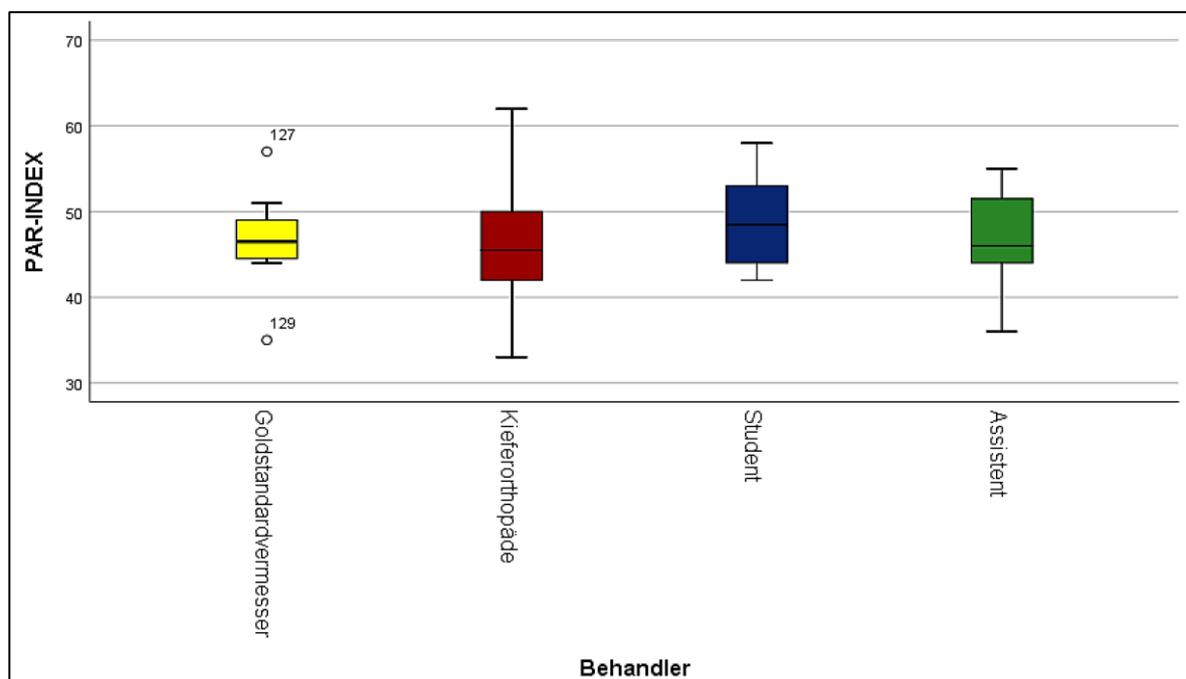


Abbildung 45: Normalverteilung des PAR-Index in Abhängigkeit der Behandlerart
Zwei leichte Ausreißer in der Gruppe der Goldstandardvermesser: Fallnummern 127 und 129

Die Tabelle 12 zeigt eine Normalverteilung für die Gruppe Goldstandardvermesser, Kieferorthopäde und Assistent. Die Gruppe Student zeigt eine Signifikanz kleiner als 0,05, was darauf hinweist, dass die Daten nicht normalverteilt sind.

Tabelle 12: Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung der Behandler

Behandler		Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	Signifikanz
PAR-INDEX	Goldstandardvermesser	,917	12	,259
	Kieferorthopäde	,978	40	,601
	Student	,918	40	,007
	Assistent	,956	40	,125

Das Q-Q-Diagramm (**ABBILDUNG 46**) für die Variable Student zeigt eine grenzwertige Abweichung von der Normalverteilungsdiagonale mit erkennbarem Ausreißer.

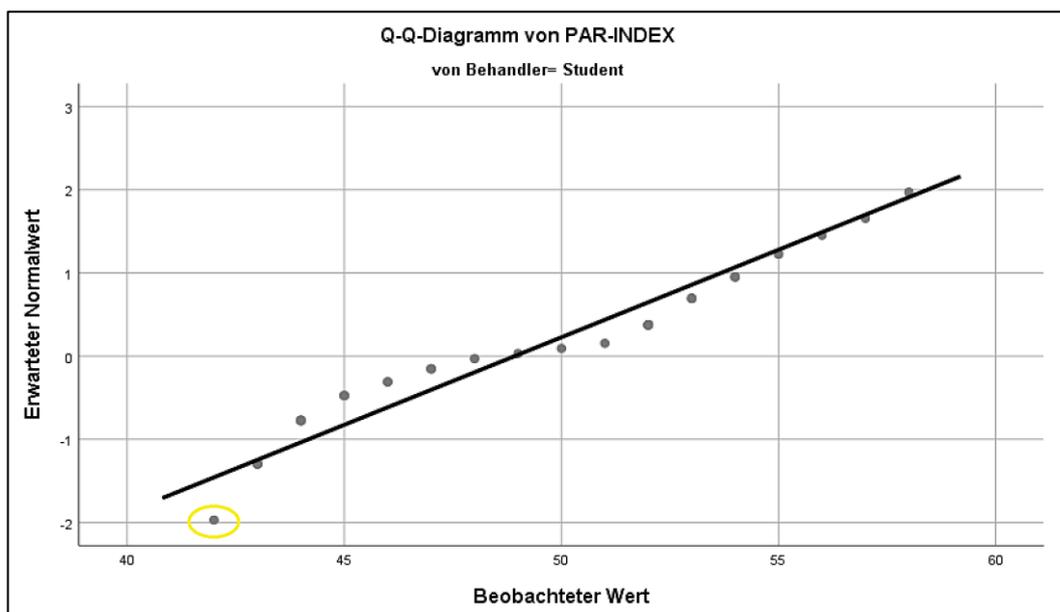


Abbildung 46: Q-Q-Diagramm des PAR-Index für die Variable Student
der größte Ausreißer ist gelb markiert

Das trendbereinigte Q-Q-Diagramm (**ABBILDUNG 47**) zeigt im Falle der Variable „Student“ eine grenzwertige Abweichung einzelner Werte um den beobachteten Normalverteilungswert. Es sind einzelne Werte als Ausreißer erkennbar.

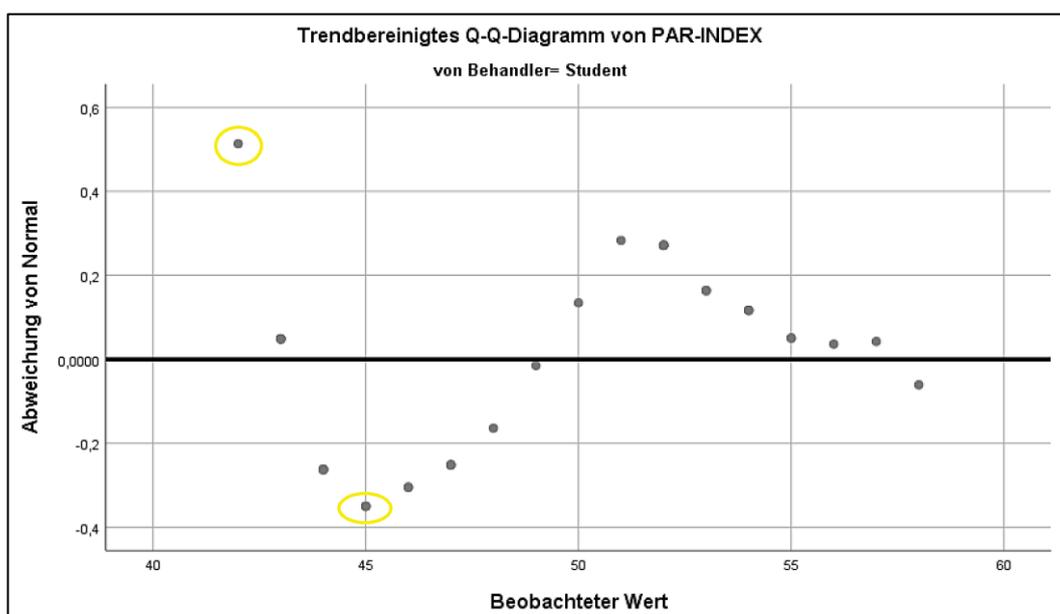


Abbildung 47: Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm des PAR-Index für die Variable Student
die größten Ausreißer sind gelb markiert

Die Histogramme (ABBILDUNG 48, ABBILDUNG 49, ABBILDUNG 50, ABBILDUNG 51) zeigen die Häufigkeiten der einzelnen PAR-Werte je Behandlerart.

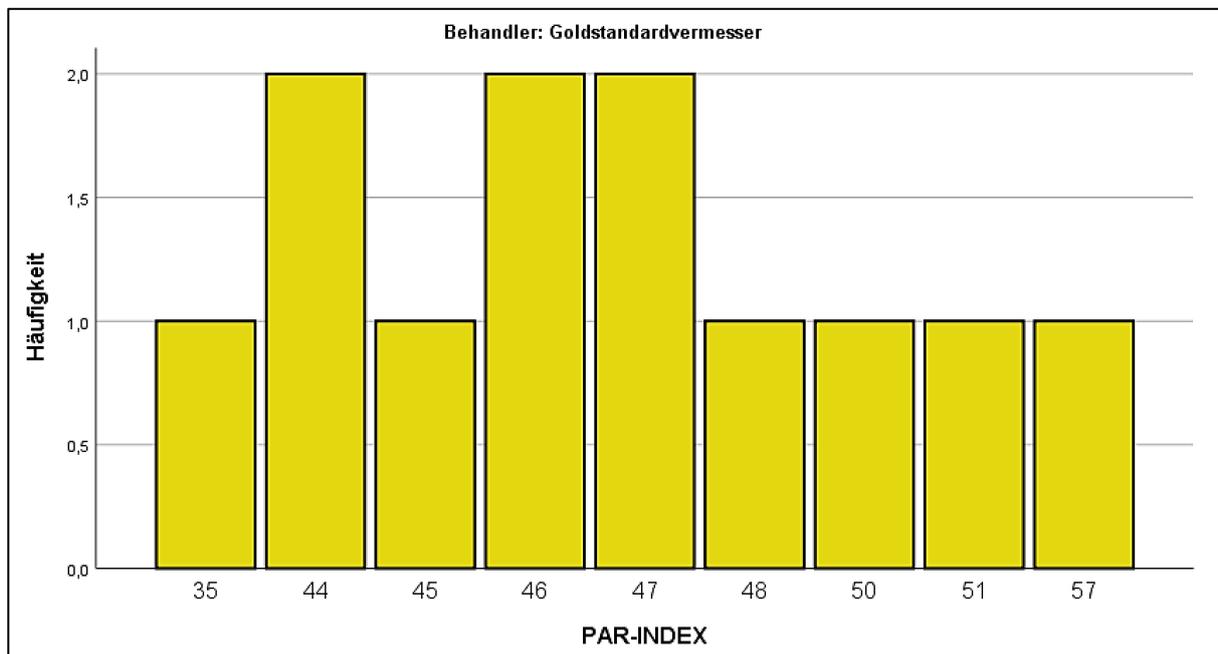


Abbildung 48: PAR-Wert Häufigkeit Goldstandardvermesser

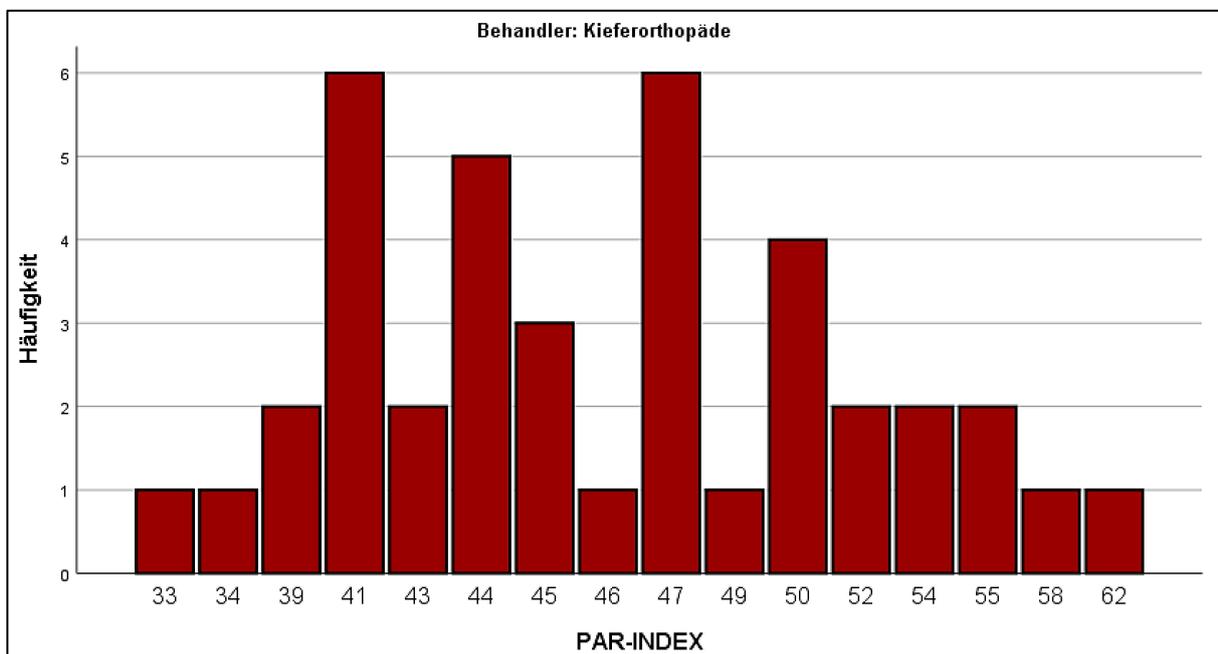


Abbildung 49: PAR-Wert Häufigkeit Kieferorthopäde

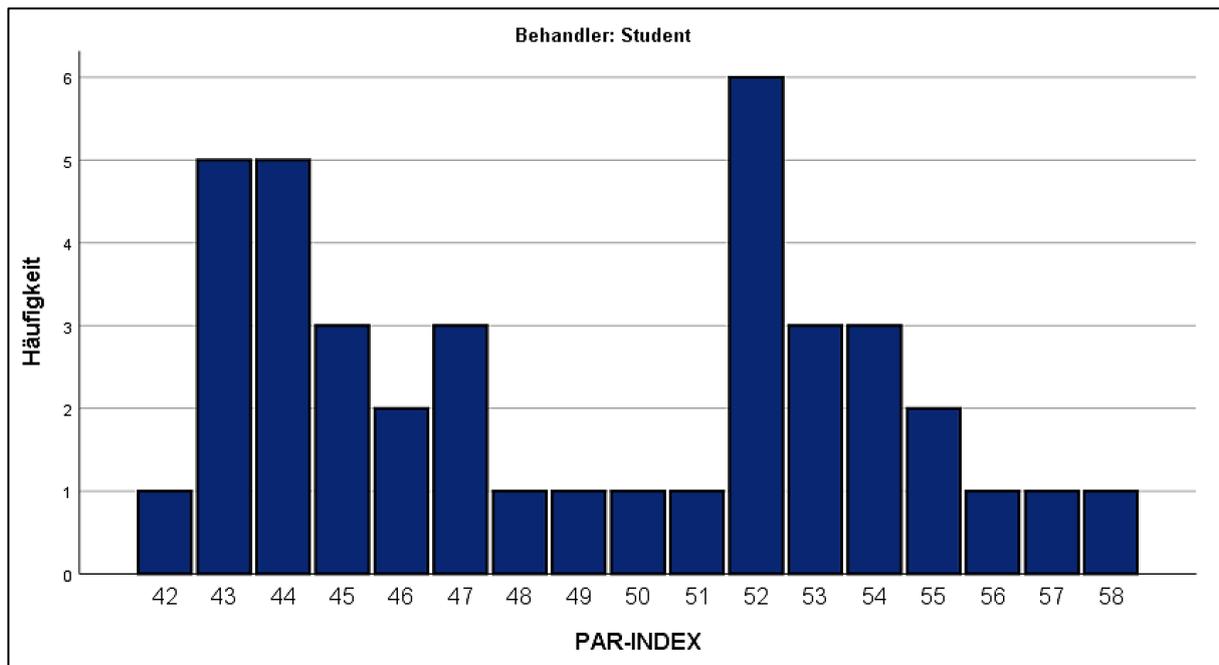


Abbildung 50: PAR-Wert Häufigkeit Student

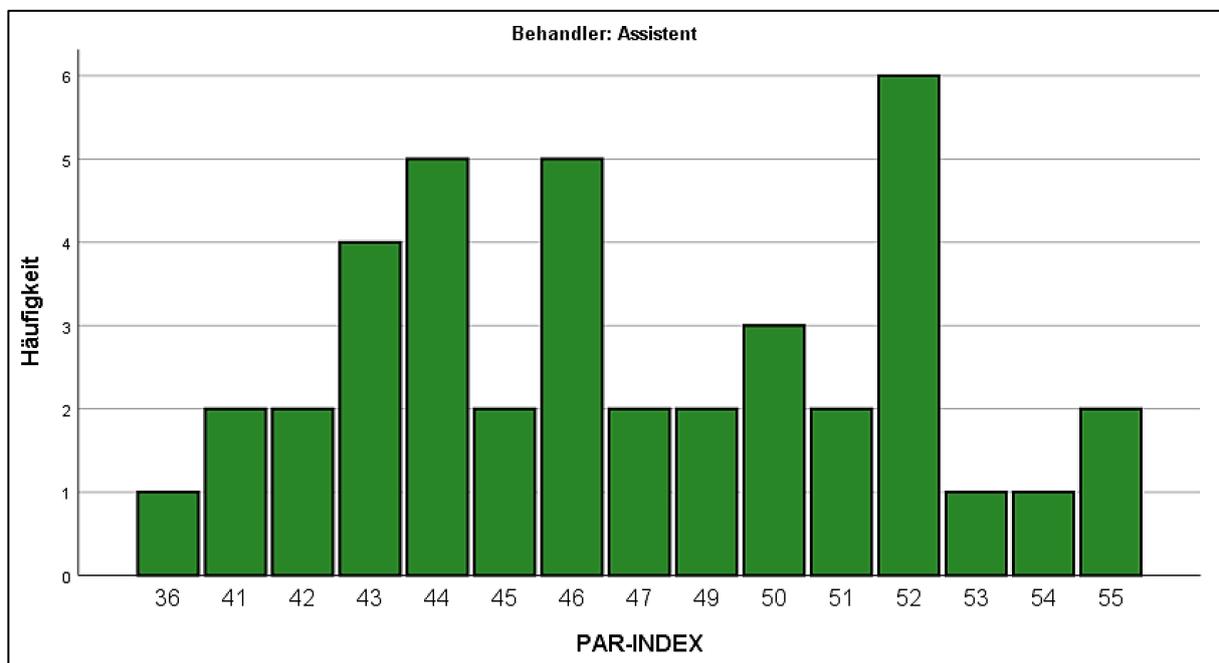


Abbildung 51: PAR-Wert Häufigkeit Assistent

6.3 Vergleich des PAR-Index in Abhängigkeit von Modellart und Behandlergruppe

Es wurde eine zweifaktorielle ANOVA berechnet, um zu untersuchen, ob es einen Unterschied im PAR-Index-Punktwert in Abhängigkeit zur Modell- und zur Behandlerart gab.

Die Gruppeneinteilung erfolgte bei den Modellarten in fünf – und bei den Behandlergruppen in vier Gruppen. Es gab erneut zwei leichte Ausreißer in der Gruppe des Originalmodells/Goldstandardvermesser (Fallnummern 127 und 129). Diese wurden mittels Box-Plot beurteilt (*ABBILDUNG 34, ABBILDUNG 45*).

Die Prüfung auf Normalverteilung ergab eine Normalverteilung für Originalmodell, Gips, Onyx, OrthoAnalyzer, Goldstandardvermesser, Kieferorthopäde und Assistent; nicht aber für die Gruppen Kunststoff und Student.

Die Überprüfung der Varianz erfolgte mit dem Levene-Test, gemäß dem wir eine Gleichheit der Varianzen annehmen können ($p = 0,58$ basierend auf dem Mittelwert) (*TABELLE 14*).

Es konnte kein signifikanter Unterschied des PAR-Index zwischen den verschiedenen Modellarten ($p = 0,068$) und Behandlergruppen ($p = 0,077$) festgestellt werden. Es konnte außerdem kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Behandler und Modellart (Behandler * Modellart = $p = 0,766$) ermittelt werden.

Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Modellart, Behandler und Modellart*Behandler für die Werte des PAR-Index festgestellt werden, $F(12, 119) = 1,34$, $p = 0,20$.

Die Tabelle 13 zeigt alle durchschnittlichen PAR-Werte in Abhängigkeit von deren Behandler- und Modellart.

Tabelle 13: Verteilung PAR-Index nach Behandler und Modellart

Deskriptive Statistiken				
Abhängige Variable: PAR-INDEX				
Behandler	Modellart	Mittelwert	Std.- Abweichung	N
Goldstandardvermesser	Originalmodell	46,67	5,158	12
Kieferorthopäde	Gips	44,90	5,763	10
	Kunststoff	46,40	6,484	10
	Onyx	46,60	5,317	10
	OrthoAnalyzer	47,20	7,300	10
	Gesamt	46,28	6,076	40
Student	Gips	47,80	5,371	10
	Kunststoff	48,80	3,736	10
	Onyx	52,10	4,458	10
	OrthoAnalyzer	47,00	4,295	10
	Gesamt	48,93	4,752	40
Assistent	Gips	45,20	5,673	10
	Kunststoff	47,50	3,749	10
	Onyx	49,40	3,098	10
	OrthoAnalyzer	46,60	4,695	10
	Gesamt	47,17	4,511	40

Die Fehlerbalkendiagramme (ABBILDUNG 52) veranschaulichen diese PAR-Wert-Verteilung nach Behandler- und Modellart noch einmal.

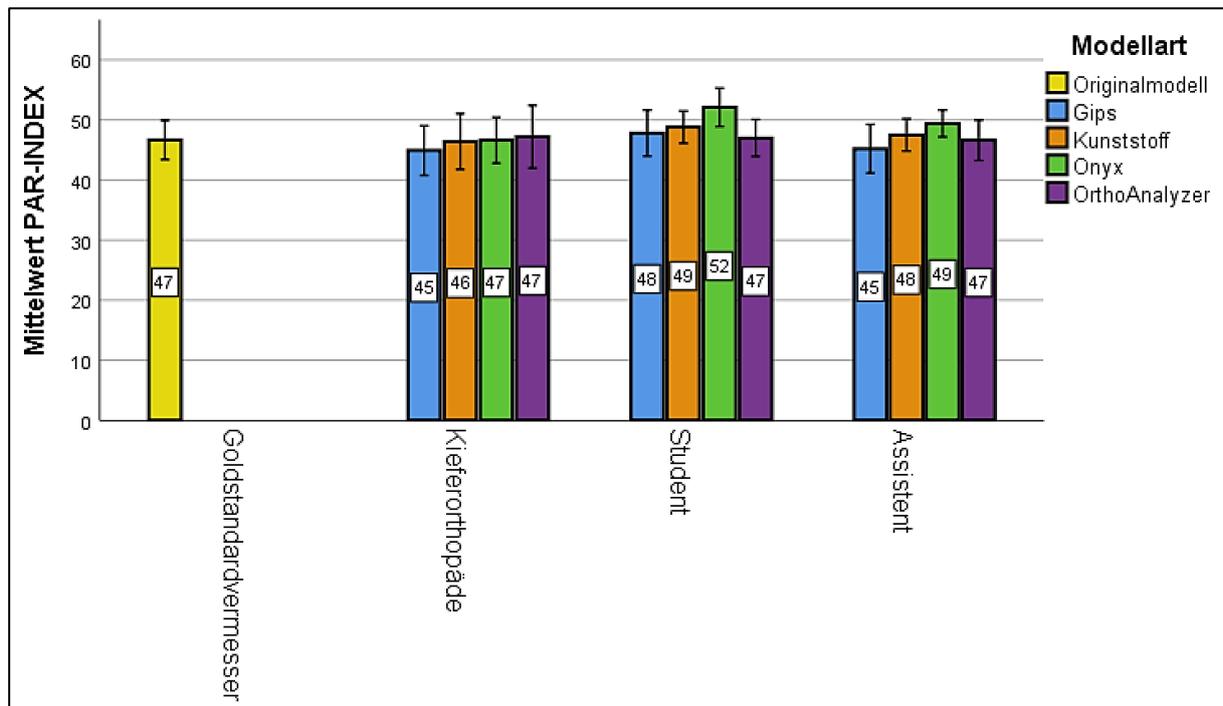


Abbildung 52: Verteilung der durchschnittlichen PAR-Werte in Abhängigkeit der Modell- und Behandlerart

Die Tabelle 14 zeigt die Ergebnisse der Varianzprüfung.

Tabelle 14: Verteilung PAR-Index nach Behandler und Modellart

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen ^{a,b}		Levene-Statistik	df1	df2	Sig.
PAR-INDEX	Basiert auf dem Mittelwert	,869	12	119	,581

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Abhängige Variable: PAR-INDEX

b. Design: Konstanter Term + Behandler + Modellart + Behandler * Modellart

Das Profildiagramm (**ABBILDUNG 53**) veranschaulicht die ermittelten PAR-Werte im Verhältnis zu den Modellarten und Behandlern.

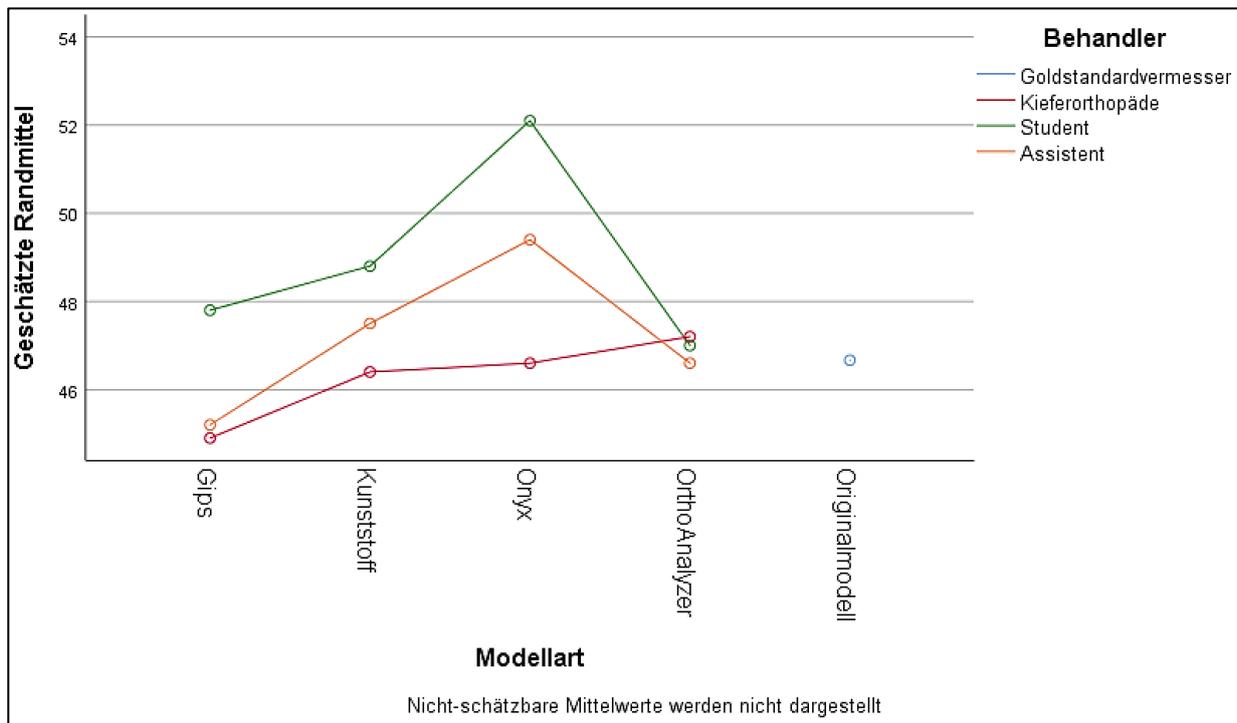


Abbildung 53: Profildiagramm der PAR-Werte im Verhältnis zu Modellart und Behandler
 geringster Profilverlauf in der Gruppe Kieferorthopäde (rot), stärkster Profilverlauf in der Gruppe Student (grün)

7 Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war es herauszufinden, ob Unterschiede bei der Vermessung zwischen konventionellen Gipsmodellen und modernen digitalen Modellen bestehen. Der Vergleich wurde anhand des PAR-Index an vier verschiedenen Modellarten durchgeführt.

Des Weiteren sollte in der Studie herausgefunden werden, ob bei der Vermessung der genannten Modelle durch Kieferorthopäden, Studenten und Assistenten Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlergruppen bestehen.

Dafür wurden die Messergebnisse verglichen, um mögliche Schlüsse für den zukünftigen Behandlungsalltag zu ziehen.

Im nachfolgenden Abschnitt wird zunächst genauer auf Material und Methode eingegangen. Dabei werden vor allem die Modell- und Behandlerauswahl sowie der Versuchsaufbau kritisch betrachtet.

Im Weiteren wird der PAR-Index als okklusaler Bewertungsindex diskutiert und inwieweit sich dieser für die Beurteilung der Fragestellung eignet.

Am Ende werden die Ergebnisse diskutiert und es wird ein Fazit gezogen.

7.1 Diskussion über Material und Methode

7.1.1 Diskussion der Methode

In den letzten Jahren hat sich die Zahl der Studien, die sich mit dem Vergleich von konventionellen und digitalen Abformmethoden beschäftigen, stark erhöht (2, 4, 17-19, 21, 43, 44). Die Ergebnisse ähneln sich bei allen Studien. Nach Ender et al. zeigt der Scan mit einem Intraoralscanner eine geringere Abweichung bei einer Ganzkieferabformung als bei Alginat. Die Studie ergab, dass Alginat signifikant weniger präzise war, als die Abformung mit anderen getesteten Abformmaterialien. Ganzkieferscans zeigten eine ausreichende Präzision (44). Die gute Verlässlichkeit, Genauigkeit und klinische Akzeptanz konnten ebenfalls in anderen Studien nachgewiesen werden (2, 4, 19, 43). Kamimura et al. geben an, dass die digitale Abformung besser sein kann, dies jedoch vom Erfahrungsgrad des Behandlers abhängig ist (17). Schott et al. fanden bei ihrer Studie heraus, dass Studenten mit beiden Varianten der Abformung ohne große Vorerfahrung arbeiten konnten. Die Studenten bevorzugten nach eigenen Angaben jedoch die digitale Abformung (18).

Der Vergleich digitaler und konventioneller Abformungen - beziehungsweise konventioneller und digitaler Modelle - mittels PAR-Index wurde ebenfalls in einigen Studien betrachtet (45-48). Dabei konnte in allen Studien kein signifikanter Unterschied zwischen den PAR-Werten digitaler und analoger Modelle festgestellt werden. Es muss jedoch angemerkt werden, dass diese Studien fast ausschließlich indirekte digitale Modelle betrachteten und voreingestellte Software zur Auswertung eingesetzt wurde.

Die Autoren aller Studien weisen darauf hin, dass für eine umfassende Bewertung weitere Studien wünschenswert wären.

Die Versuche in dieser Studie zeigen ebenfalls, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen der konventionellen und der digitalen Abformung gibt. Allerdings scheint die Spannweite der ermittelten Punktwerte sowohl von der Behandler- als auch der Modellart abhängig zu sein. Die Ergebnisse dieser Studie stimmen mit den Ergebnissen der anderen Studien überein.

7.1.2 Diskussion der Modelle

7.1.2.1 Originalmodell

Für das Originalmodell fiel die Wahl auf einen Typodonten. Diese Entscheidung wurde getroffen, da man so relativ einfach ein Modell mit einer für Studien geeigneten Abweichung von der idealen Okklusion aussuchen konnte. Des Weiteren bot die Wahl eines Typodonten den großen Vorteil, dass man patientenunabhängig arbeiten und somit das Originalmodell an die verschiedenen Vermesser via Post senden konnte.

Wäre die Wahl auf einen Patienten gefallen, hätten entweder Modelle von der Mundsituation angefertigt und versandt werden müssen, oder alle Vermesser für den Goldstandard hätten die Vermessung direkt im Mund des Patienten vornehmen müssen. Ersteres hätte die Gefahr von Übertragungsfehlern beinhaltet, denn jede Form der Abformung birgt mögliche Fehlerquellen und damit verbundene Abweichungen in der Dimensionsgenauigkeit des dabei entstehenden Modells. Die Variante der direkten Beurteilung im Patientenmund wurde primär aus logistischen Gründen abgelehnt, denn die Vermesser für den Goldstandard waren auf Deutschland, Österreich und Großbritannien verteilt. Des Weiteren ist der PAR-Index ursprünglich für die Beurteilung von Modellen und nicht für die intraorale Befundung entwickelt worden. Die Wahl eines Modells für den Goldstandard lag somit nahe.

Der für die Studie ausgewählte Typodont zeigt dentale Abweichungen und kann durch die rückseitigen Scharniere aus Kunststoff zweifelsfrei in Okklusion gebracht werden. Der Kunststoff, aus dem das Modell besteht, weist eine hohe Festigkeit auf, was die Gefahr von Abrasionen oder Beschädigungen - im Vergleich zu einem adäquaten Modell aus Superhartgips - verringert. Dies war vor allem in Anbetracht des mehrfachen Versandes per Post von hoher Bedeutung.

Ein Nachteil des Modells zeigt sich allerdings bei der Betrachtung der Bisslage. Um diese zweifelsfrei beurteilen zu können, muss das Modell durch den Behandler fest aufeinandergedrückt werden. Andernfalls kann es durch eine leichte Pufferwirkung im Scharnier zu einer inkorrekten Bissöffnung kommen.

Um diesem Fehler entgegen zu wirken, erhielt jeder Goldstandardvermesser ein zusätzliches Anmerkungsblatt auf dem dieser Hinweis enthalten war. Außerdem wurde dies in jeder Korrespondenz mit den Vermessern von der Autorin angemerkt.

Die Dimensionsstabilität des Modells ist als sehr gut einzuschätzen. Da diese Modelle als Anschauungsmodelle für den Praxisalltag entwickelt wurden, sollte das Material wenig bis keine Ermüdungserscheinungen sowie Dimensionsveränderungen in den nächsten zehn Jahren zeigen. Sicherheitshalber wurde das Modell zusätzlich durch den Desktopscanner R700 (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) gescannt und ein STL-Datensatz des Modells gespeichert. Nach Wesemann et. al. zeigte der R700 sehr hohe Genauigkeiten (49). Somit ist die ausreichende Lagerstabilität für forensische Zwecke erfüllt.

7.1.2.2 Gipsmodell

Die Gipsmodelle wurden direkt nach der Abdrucknahme mit Alginat angefertigt. Dabei wurden die Anweisungen des Herstellers korrekt eingehalten um möglichen Dimensionsfehlern durch einen inkorrekten Arbeitsablauf entgegen zu wirken.

Bis heute erfolgt die Modellvermessung für die kieferorthopädische Befunderhebung klassischerweise an Gipsmodellen. Dies hat einen traditionellen Bestand und die akkurate Wiedergabe von Alginatabformungen und Gipsmodellen – bei korrekter Anwendung – wurde in zahlreichen Studien nachgewiesen (2-6, 11, 44, 50-52). Die Vorteile von Gipsmodellen sind vielseitig. Die Verarbeitung und Herstellung ist einfach, kostengünstig und die Detailwiedergabe ausreichend gut (53).

Allerdings bringen Gipsmodelle auch Nachteile mit sich: Sie benötigen Lagermöglichkeiten, können verloren gehen, frakturieren und zeigen nach wiederholter Nutzung Abnutzungserscheinungen. Beim Ausgießen entstandene – und nicht sichtbare – Blasen führen zu Instabilität und erhöhen das Risiko von Teilabbrüchen.

Die für die Studie erstellten Gipsmodelle wurden mit Typ III Kanistone KFO Spezial Hartgips hergestellt. Dieser zeichnet sich durch eine hohe mechanische Belastbarkeit aus, was für die Studie besonders wichtig war. Die Gipsmodelle wurden insgesamt vierzig Mal vermessen und mussten mehrfach transportiert werden. Obwohl zehn Duplikatmodelle

vorhanden waren, wurden für die Studie nur fünf Modelle als ausreichend hochwertig für die Vermessungen eingestuft. Diese fünf wiesen von allen zehn Modellen die höchste Oberflächenqualität auf. Vor Studienbeginn konnten an den fünf ausgewählten Modellen keine Beschädigung in Form von Blasen im Gips, Unebenheiten und Abplatzungen festgestellt werden.

Jedes Modell wurde im Schnitt acht Vermessungen unterzogen. Trotz der Wahl eines KFO Spezial Hartgipses und einer besonders sorgfältigen Aufbewahrung zwischen den einzelnen Vermessungen zeigen alle fünf Modelle nach Beendigung der Studie leichte, sichtbare Abnutzungserscheinungen. Diese manifestieren sich in geringen Schliffacetten im Bereich der okklusalen Kontaktpunkte. Eines der Modelle fiel einem Behandler während der Vermessung auf den Boden und zeigt Abplatzungen und Zahnfrakturen an den okklusalen Flächen und in der Front (**ABBILDUNG 54, ABBILDUNG 55**). Dieses Modell wurde augenblicklich ausgetauscht und nicht weiter in der Studie genutzt.

Die vorliegenden Studienmodelle zeigen, wie wenig abrasionsstabil und bruchstabil Gipsmodelle sein können. Bereits bei der Herstellung kann es durch Blasenbildung zu Instabilitäten kommen. Bei der Vermessung der Modelle ist auf ausreichende Vorsicht zu achten; selbiges gilt für die Lagerung und den Transport.

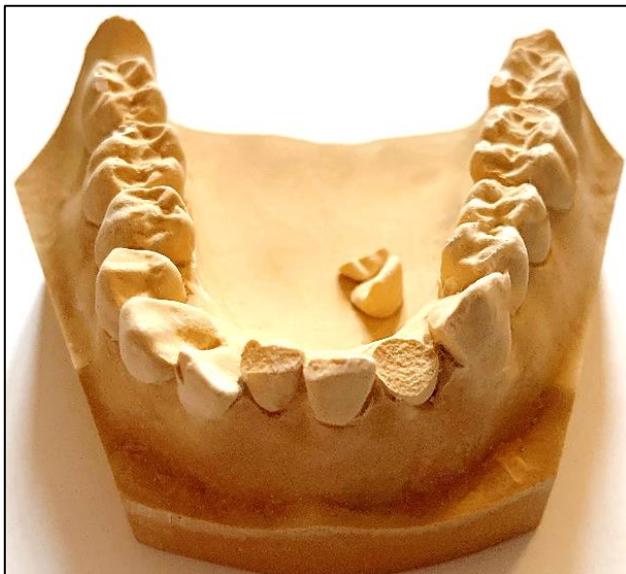


Abbildung 54: Abplatzungen und Zahnfrakturen an einem Gipsmodell nach einem Sturz während der Vermessung



Abbildung 55: Oberkieferfront des gleichen Modells nach Sturz auf den Boden. Die Luft einschlüsse zeigen sich im Gips an den Zähnen 12 und 21.

7.1.2.3 Kunststoffmodell

Die Kunststoffmodelle wurden aus dem Scandatensatz des Intraoralscanners im Stereolithografie-Drucker Formlabs Form 2 mit Kunstharz gefertigt.

Der digitale Druck von Modellen wurde in den 1980er Jahren das erste Mal vorgestellt (54). Mit zunehmender technologischer Entwicklung ermöglichte diese Technik auch die Erstellung von Modellen für die Zahnmedizin. In der modernen Zahnarztpraxis sind gedruckte Modelle ein fester Bestandteil, ebenso wie digitale Modelle mit der entsprechenden Computersoftware.

Die gedruckten Modelle geben dem Behandler die Möglichkeit der taktilen Beurteilung. Die gewohnte Vermessung des Modells, wie sie aus der Beurteilung von Gipsmodellen bekannt ist, kann dank gedruckter Modelle bei Bedarf weiterhin stattfinden. Somit bilden gedruckte Modelle eine Zwischenform zwischen den konventionellen Gipsmodellen und den digitalen Modellen. Gedruckte Modelle können sowohl in der Therapeutik als auch der Diagnostik ihre Anwendung finden. Sie gelten als hochauflösend, akkurat, glatt und sehr widerstandsfähig (54, 55).

Als nachteilig wird in der Literatur beschrieben, dass gedruckte Modelle nachbehandelt werden müssen. Es kann durch Restpolymerisation oder das Anbringen beziehungsweise Entfernen von Strukturen zu Veränderungen in der Dimensionsstabilität kommen (54, 56). Des Weiteren spielt die Wahl der Modellbasis eine übergeordnete Rolle. Studien haben ergeben, dass die Wahl einer Hufeisenform als Basis zu Veränderungen in der transversalen Dimension führen kann (54). Ein weiterer Faktor für die Dimensionsstabilität ist die Dicke des Kunststoffmodells. Je dünner diese gewählt wird, desto stärker kann es zu einer Schrumpfung des Material kommen (57).

Für diese Studie wurden insgesamt zehn identische Modelle gedruckt. Da aus der Gruppe der Gipsmodelle nur fünf Modelle für die Vermessung ausgewählt werden konnten, kamen in der Gruppe der Kunststoffmodelle ebenfalls nur fünf Modelle für die Vermessungen zum Einsatz. Die Reduktion auf fünf Modelle wurde nur für die Vergleichbarkeit zwischen den beiden Untersuchungsgruppen gewählt.

Somit wurde auch in dieser Gruppe jedes Modell im Schnitt acht Mal vermessen. Auch in der Untersuchungsgruppe der Kunststoffmodelle kam es dazu, dass eines der Modelle während der Untersuchung zu Boden fiel. Im Vergleich zum Gipsmodell kam es aber zu keiner sichtbaren Beschädigung des Modells und es konnte weiter für die Vermessung genutzt werden. Alle fünf Modelle wiesen nach den Vermessungen keine sichtbaren Abnutzungserscheinungen auf.

Diese Tatsache zeigt, dass innerhalb der Studie die Kunststoffmodelle in Bezug auf ihre Oberflächenbeständigkeit weniger abrasiv im Vergleich zu Gipsmodellen waren. Vorteilhaft ist weiterhin das geringe Gewicht der Modelle, welches vor allem beim Transport der Modelle auffiel. Nachteilig sind die höheren Herstellungskosten im Vergleich zu Gipsmodellen. Dies sollte jedoch in Relation zur höheren Dimensionsstabilität gesetzt werden.

7.1.2.4 Modell in der OnyxCeph-Software

Der Scandatensatz des Intraoralscanners diente ebenfalls für die Erstellung eines digitalen Modells in der OnyxCeph-Software. Da OnyxCeph bereits ein voreingestelltes Modellvermessungstool für den PAR-Index in der Software bereitstellt, musste zunächst geklärt werden, ob dieses auch für die Vermessungen im Rahmen der Studie genutzt werden konnte. Es zeigte sich, dass dieses Tool für den Markt in Österreich entwickelt wurde und somit nicht den Anforderungen dieser Studie entsprach.

Daraus resultierend gab es zwei mögliche Vorgehensweisen: Das Modell hätte manuell mittels freier Modellvermessung im Programm vermessen werden können. Die zweite Variante beinhaltete einen eigens für diese Studie erstellten Patch und erwies sich somit als sinnvoller. Dieser Patch wurde nach den gewünschten Vorgaben durch den Hersteller bereitgestellt und konnte innerhalb von drei Minuten an jedem Computer in das bereits installierte Programm integriert werden. Der große Vorteil ergab sich dann darin, dass die Behandler lediglich die entsprechenden Punkte am Modell markieren mussten und die Software die Werte automatisch analysierte und am Ende ausgab.

Diese Tatsache beschleunigte den Auswertungsprozess, barg aber auch die Gefahr, dass die Anweisungen auf den Auswertungsbögen nicht ausreichend von den Behandlern gelesen und umgesetzt wurden. Die Möglichkeit der Modellvergrößerung brachte zusätzlich das Risiko, dass wichtige Parameter – wie das parallele Messen zur Okklusionsebene – nicht immer beachtet wurden.

Die Benutzeroberfläche des Programms ist sehr gut verständlich und OnyxCeph war in jeder digitalen kieferorthopädischen Praxis bereits in den Arbeitsalltag der Behandler integriert. Somit stellte die Auswertung in OnyxCeph für die Gruppe der Kieferorthopäden und Assistenten keine Schwierigkeiten dar. Ein weiterer positiver Aspekt war die Tatsache, dass die digitalen Modelle mittels Speichermedien oder verschlüsselter Datenübertragung an die Behandler gesendet werden konnten. Eine Modellbeschädigung während des Transportes oder der Vermessung ist bei digitalen Modellen - in der Form wie bei analogen Modellen – nicht zu befürchten.

7.1.2.5 Modell in der OrthoAnalyzer-Software

Die digitale Modellerstellung im OrthoAnalyzer erfolgte ebenfalls mit dem Scandatensatz des Intraoralscanners. Wie schon bei der OnyxCeph-Software stellt auch die OrthoAnalyzer-Software ein integriertes Tool zur Ermittlung des PAR-Index bereit. Dieses orientiert sich ebenfalls am österreichischen PAR und entsprach damit nicht den Anforderungen für diese Studie. Von Seiten des Herstellers wurde auch auf Nachfrage kein angepasster Patch zur Verfügung gestellt. Die Ermittlung der Messwerte erfolgte somit manuell in der freien Modellvermessung.

Die Benutzeroberfläche des OrthoAnalyzers ist komplexer als die in der OnyxCeph-Software, was die Vermessung im freien Modus erschwerte. Zusätzlich verfügten nicht alle modernen digitalen kieferorthopädischen Praxen über die OrthoAnalyzer-Software. Diese war nur in größeren Praxen mit eigenen Stereolithografiedruckern und angeschlossenem Dentallabor zu finden. In diesen Praxen verfügte immer nur ein Computer über die Software, welche dort lediglich zur Herstellung der dreidimensionalen Modelle diente. Das im OrthoAnalyzer ebenfalls eine Vermessungsfunktion integriert ist, fand im

Alltag der entsprechenden Praxen keine Anwendung. Das wiederum hatte zur Folge, dass die Behandler keinerlei Vorerfahrung für die Vermessung in der Software mitbrachten und vor der ersten Vermessung in die Software eingearbeitet werden mussten. Durch diesen Umstand, gekoppelt mit der komplexen Benutzeroberfläche, war die Modellvermessung für die Behandler - im Vergleich zu den anderen Modellarten - besonders aufwendig und zeitintensiv.

Die Darstellung des Modells war hochauflösend und die Oberflächenbeschaffenheit stellte sich sehr gut dar. Genau wie andere digitale Software bringt OrthoAnalyzer die positive Eigenschaft mit, dass bestimmte Bereiche am Modell bei Bedarf ausgeblendet oder transluzent eingestellt werden können. Dadurch können Bereiche, die sonst schwer einsehbar sind, sehr gut eingeschätzt werden. Ebenso kann es bei mehrfacher Vermessung oder Transport zu keinerlei Dimensionsänderung am digitalen Modell kommen. Die Übermittlung des Datensatzes ist schnell und ressourcensparend möglich – ebenso wie die Lagerung der Modelle.

7.1.3 Diskussion der Behandler

7.1.3.1 Goldstandardbehandler

Zur Gruppe der Goldstandardvermesser zählen insgesamt zwölf Behandler. Diese unterteilen sich wiederum in vier in Deutschland praktizierende Kieferorthopäden, sieben in Österreich praktizierende Kieferorthopäden und Professor Dr. Richmond aus Großbritannien. Die Auswahl der Behandler verlief zufällig und über Empfehlungen von Kollegen. Als Grundvoraussetzung musste jeder Behandler den Kurs und das Zertifikat für den „PAR-Index“ bei Professor Dr. Richmond abgelegt haben. Ausgeschlossen von dieser Regelung war nur Professor Dr. Richmond selbst.

Wie in Kapitel 4.3.1 bereits erläutert, wurde das Originalmodell mit dem Auswertungsbogen und einem Hinweisblatt zu den Goldstandardvermessern gebracht bzw. gesendet. Für die Modellauswertung selbst gab es keinerlei Zeitlimit, die Behandler wurden jedoch darum gebeten, das Modell möglichst zügig auszuwerten, um Verzögerungen im weiterführenden Vermessungsablauf zu vermeiden.

Außerdem wurde jeder Behandler vor Modellerhalt auf das Anmerkungsblatt hingewiesen (*ABBILDUNG 31*). Dabei wurde darum gebeten, dass dieses gewissenhaft und gründlich gelesen wird und die darauf befindlichen Anweisungen befolgt werden. Mit diesem Hinweis sollte eine möglichst standardisierte Vermessung und Wertung des PAR-Index erreicht werden, denn dessen Auslegung unterscheidet sich je nach Region. Insbesondere wird der Index in Österreich standardmäßig für die Bewertung der Behandlungsergebnisse ermittelt, was zur Folge hat, dass Behandler aus Österreich geübter in der Vermessung mit diesem sind. Allerdings unterscheidet sich das dortige Vermessungsprozedere teilweise signifikant von den Vorgaben für diese Studie. Es bestand die Gefahr, dass die Behandler ihre gewohnten „alltäglichen“ Messungen durchführten, ohne die Hinweise des Anmerkungsblattes zu beachten.

Da alle Auswertungen der Goldstandardvermesser in Abwesenheit der Autorin durchgeführt wurden, konnte nicht überprüft werden, ob die Anweisungen durch die Goldstandardbehandler tatsächlich umgesetzt wurden.

7.1.3.2 Kieferorthopäden

Zu dieser Gruppe zählten vierzig Kieferorthopäden aus Berlin und Brandenburg. Sie wurden ebenfalls zufällig und auf Empfehlung von Kollegen ausgewählt. Die Grundvoraussetzung lag in der vollständig abgeschlossenen Weiterbildung zum Fachzahnarzt für Kieferorthopädie. Alle Behandler aus der Gruppe waren mit der Modellvermessung mittels Schiebelehre vertraut. Etwa $\frac{2}{3}$ waren ebenfalls in der digitalen Modellvermessung geübt.

Grundsätzlich durfte jeder Behandler vor der Modellvermessung entscheiden, ob seine Vermessung an einem digitalen oder analogen Modell stattfinden sollte. Die Zuweisung zu Gips/Kunststoff in der analogen Gruppe erfolgte dann zufällig, die digitale Gruppe wurde nach Ausstattung der Praxis zugeteilt. Wie bereits in Kapitel 7.1.2.5 erläutert wurde, besaßen nicht alle Praxen die entsprechende OrthoAnalyzer-Software. Somit konnte die Zuweisung OnyxCeph/OrthoAnalyzer nicht, wie in der analogen Gruppe, rein zufällig stattfinden.

Die Modellauswertungen in der Gruppe der Kieferorthopäden fanden größtenteils in Abwesenheit der Autorin statt. Die Vermessung erfolgte bei allen Kieferorthopäden lediglich mit den Anweisungen auf dem Auswertungsblatt (*ABBILDUNG 32*). Dieses wurde vor jeder Vermessung von der Autorin übergeben und es wurde mehrfach darauf aufmerksam gemacht, dass die Anweisungen gründlich und gewissenhaft zu lesen und zu befolgen sind.

7.1.3.3 Studenten

Die Gruppe wurde aus vierzig Studenten der Charité – Universitätsmedizin Berlin gebildet, welche sich mindestens im klinischen Abschnitt befinden mussten. Die Studenten nahmen freiwillig an der Vermessung teil.

Da alle Teilnehmer der Gruppe zwar mit der klassischen Modellvermessung vertraut waren, aber ihnen noch jedwede Übung fehlte, war die Autorin bei allen Vermessungen anwesend um mögliche Fragen zu beantworten.

Die Auswahl des Modells – digital oder analog – durften die Studenten selbst treffen. Bei den analogen Modellen wurde Hilfestellung bei der Nutzung der Schiebelehre sowie bei der richtigen Modellausrichtung (korrekte Relation von Oberkiefer- zu Unterkiefermodell) geleistet. Bei den digitalen Modellen kam es zu Fragen bezüglich der Benutzeroberfläche und der Bedienung innerhalb der digitalen Software.

Alle Fragen in Bezug auf Handhabung und Ausrichtung der Modelle wurden von der Autorin beantwortet. Es kam jedoch zu keinem Zeitpunkt zu Unterstützungen bei der Vermessung oder zu Fehlerkorrekturen.

Ebenso wie die Gruppe der Kieferorthopäden erhielten die Studenten das Auswertungsblatt mit den entsprechenden Hinweisen zur korrekten Vermessung der Modelle (*ABBILDUNG 32*). Die Studenten wurden ebenfalls vor jeder Vermessung ausdrücklich von der Autorin auf die Hinweise des Auswertungsblattes aufmerksam gemacht. Dennoch konnte die Autorin beobachten, dass ein Teil der Vermessungen in der Gruppe der Studenten nicht korrekt ausgeführt wurde. Dies betraf vor allem die Messung von Overjet und Overbite. Hierbei wurden nicht die korrekten Positionen am Zahn gemessen oder die Messungen erfolgten nicht parallel zur Okklusionsebene. Um die Verhältnisse zwischen den Behandlungsgruppen exakt vergleichen zu können, kam es jedoch nicht zu einer Korrektur dieser Fehler.

7.1.3.4 Assistenten

In die Gruppe der Assistenten zählten Zahntechniker, zahnmedizinische Fachangestellte und Laborassistenten aus verschiedenen Praxen in Berlin und Brandenburg. Alle Assistenten befanden sich zum Zeitpunkt der Vermessung in einem Anstellungsverhältnis mit einem der Kieferorthopäden, die ebenfalls an dieser Studie mitwirkten (*SIEHE KAPITEL 4.3.2*).

Der Erfahrungsgrad in Bezug auf Modellvermessungen war innerhalb der Gruppe sehr inhomogen. Es nahmen Assistenten teil, die viele Jahre Erfahrung in der Vermessung – digital und analog oder nur analog – mitbrachten. Aber es gab auch einige Assistenten, die zwar mit der klassischen Modellvermessung vertraut waren, diese aber selbst nie oder nur selten durchgeführt hatten. Aus diesem Grund wurde auch in der Gruppe der Assistenten Hilfestellung von Seiten der Autorin geleistet. Wie bei den Studenten lagen die Probleme vor allem in der Ausrichtung der Modelle, der korrekten Nutzung der Schiebelehre und der Benutzung der digitalen Software.

Die Assistenten nahmen freiwillig an der Studie teil. Die Zuteilung der Modelle in Bezug auf analog oder digital erfolgte nach Wunsch des jeweiligen Assistenten. Bei den analogen Modellen erfolgte die Zuteilung eines Gips- oder Kunststoffmodell dann zufällig. Bei den digitalen Modellen richtete sich die Auswahl – wie auch bei der Gruppe der Kieferorthopäden – nach dem vorhandenen Praxisequipment.

Alle Fragen in Bezug auf Handhabung und Ausrichtung der Modelle wurden von der Autorin beantwortet. Es gab jedoch zu keinem Zeitpunkt Unterstützung bei der Vermessung oder eine Fehlerkorrektur.

Genau wie die Gruppe der Kieferorthopäden und Studenten erhielten die Assistenten das Auswertungsblatt mit den entsprechenden Hinweisen zur korrekten Vermessung der Modelle (*ABBILDUNG 32*). Auch sie wurden vor jeder Vermessung ausdrücklich von der Autorin auf die Hinweise des Auswertungsblattes aufmerksam gemacht. Wie bei den Studenten konnten die Autorin inkorrektes Messen beobachten. Dies betraf ebenfalls vor allem Messungen von Overjet und Overbite. Um die Verhältnisse zwischen den Behandlungsgruppen vergleichen zu können, kam es nicht zu einer Korrektur dieser Fehler.

7.2 Diskussion des PAR-Index

Beim PAR-Index handelt es sich um einen okklusalen Index, der eigens für die Bewertung von kieferorthopädischen Behandlungsergebnissen entwickelt wurde. Durch die Möglichkeit der immer gleichartigen Interpretation von Behandlungsergebnissen ist der PAR-Index sehr gut für die Selbstkontrolle geeignet.

Seine Validität und Reliabilität wurde mehrfach in klinischen Studien bewiesen (26, 29, 32, 34). Der Index ist in der Erfassung der Messergebnisse sehr akkurat und für den Behandler im stressigen Behandlungsalltag schnell und gut durchführbar. Außerdem ist dieser durch seinen strukturierten Aufbau sehr schnell und einfach erlernbar.

Nach Firestone et. al (32) gilt der PAR-Index als geeignet für die Betrachtung von epidemiologischen Untersuchungen. Dies ist auch einer der Gründe für die häufige Verwendung des PAR-Index in verschiedenen anderen klinischen Studien (23, 25-35, 37).

Sollen jedoch mehrere Behandler die Daten verschiedener Studien vergleichen, ist eine Kalibrierung der Behandler notwendig (29). Geschieht dies nicht, kann es zu großen Streuweiten in der Vergabe der Punkte kommen.

Einige Autoren zeigen auch negative Aspekte auf (27, 58, 59): Bereits nach der Entwicklung des Index, konnte festgestellt werden, dass trotz Kalibrierung der Behandler manche Aspekte des PAR-Index eine geringere Reliabilität aufwiesen (27).

Obwohl es sich bei dem PAR-Index um einen okklusalen Index handelt, stellten Holman et. al fest, dass dieser nicht ausreichend sensitiv ist, um exakte Unterschiede bei hohen Behandlungsstandards zu differenzieren (59).

Auch in dieser Studie konnte festgestellt werden, dass gewisse Toleranzen bei nahezu allen Komponenten des Index gewährt werden, noch bevor eine Vergabe durch Punkte stattfindet.

Als erstes Beispiel sei an dieser Stelle die in Kapitel 2.2.2.5 beschriebene Vermessung der Mittellinie genannt. Dabei werden Abweichungen bis $\frac{1}{4}$ der Breite des Unterkiefer-schneidezahnes nicht mit einer entsprechenden Punktzuweisung honoriert. Auch Kontaktpunktabweichungen in der Front, die weniger als 1 mm betragen, bekommen

keine Punktzweisung durch den Index. Im Gegensatz dazu werden minimale Abweichungen im Seitenzahnsegment mit hohen Punktzahlen bewertet und eine gute Höcker-Höcker-Verzahnung im Sinne einer Angle Klasse I, II oder III wird mit null Punkten eingestuft. Das klinische Bild einer Angle Klasse II oder III stellt aber weder eine korrekte sagittale Verzahnung noch ein zufriedenstellendes Behandlungsergebnis dar.

Die Behandlungsqualität wird durch die Gewichtungsfaktoren ebenfalls stark gestört. Als Beispiel ist an dieser Stelle vor allem die ungleichmäßige Punktegewichtung in der Bewertung von Overjet und Overbite zu nennen. Eine Reduktion des Overjet ergibt eine deutliche Verbesserung des Gesamt-PAR-Index am Behandlungsende, da dieser mit dem Faktor sechs gewichtet, also multipliziert, wird. Die Reduktion des Overbite hingegen wird durch die Gewichtung gering honoriert. Die Punkte des Overbite werden am Ende lediglich verdoppelt.

Als okklusaler Index misst der PAR-Index nur dentoalveoläre Parameter. Andere diagnostische Hilfsmittel, wie Röntgenbilder, Familienanamnese und fotografische Aufnahmen, werden nicht beachtet. Dies hat zur Folge, dass wichtige Faktoren für einen vollständigen kieferorthopädischen Befund - wie Profil- und Weichgewebsveränderungen - nicht berücksichtigt werden. Dentale Befunde in Form von Karies, Gingivarezessionen, Knochenangebot und Wurzelresorptionen werden neben funktionellen Befunden ebenfalls nicht gewertet. Diese sind aber vor allem für forensische Zwecke dringend notwendig. Als abschließender Faktor sei an dieser Stelle auch noch die mangelnde Bewertung der Behandlungsstabilität zu nennen. Genau wie andere okklusale Indizes weist der PAR-Index somit bereits definitionsgemäß Limitationen auf.

In der vorliegenden Studie zeigt sich vor allem die Problematik der zu geringen Sensitivität bei der Erfassung feiner Unterschiede. Obwohl die Behandler teilweise unterschiedliche Werte bei den verschiedenen Komponenten des PAR-Index ermittelt haben, ergab sich für den Gesamt-PAR-Index am Ende nur ein vergleichbar geringer Unterschied. Ein Beispiel dafür ist die Kontaktpunktabweichung: Im Durchschnitt wurde diese von allen Behandlern mit rund 16,6 Punkten bewertet. Betrachtet man nun die Behandler, welche bei der Kontaktpunktabweichung einen Wert von 17 Punkten ermittelt haben, so fällt auf, dass der Gesamt-PAR-Index dieser Behandler eine sehr große Streuung aufweist (*ABBILDUNG 56*). Der geringste hierbei ermittelte PAR-Index ergab 42 Punkte, der höchste Wert wurde mit 58 Punkten angegeben. Dies ergibt einen Unterschied von 16 Punkten im

Gesamt-PAR-Index, obwohl jeder dieser Behandler bei der Kontaktpunktabweichung einen Wert von 17 Punkten ermittelt und überdies das gleiche Modell vermessen hatten.

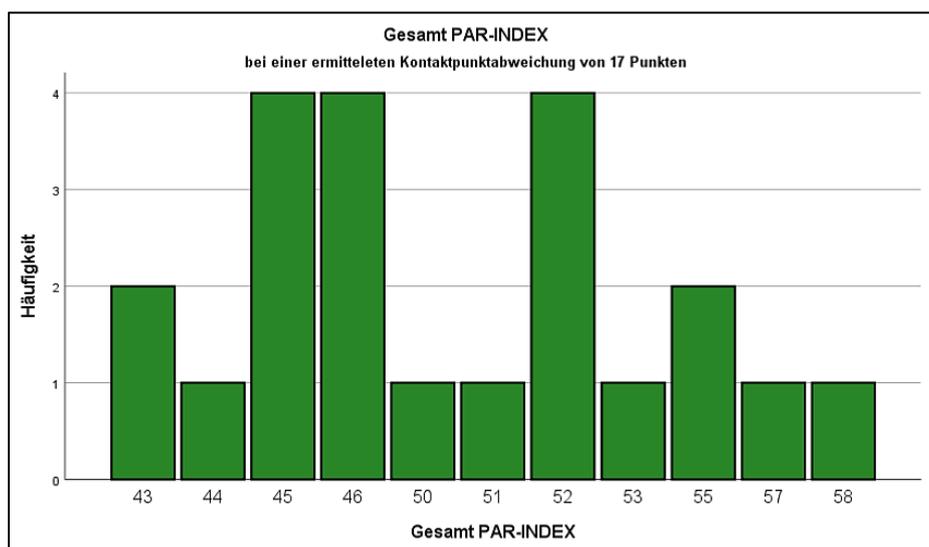


Abbildung 56: Streuung der Gesamt-PAR-Index Werte bei einer ermittelten Kontaktpunktabweichung von 17 Punkten

Außerdem zeigt die Studie, wie groß die Streubreiten der ermittelten PAR-Werte innerhalb einer Gruppe für ein und dasselbe Modell sein kann. Betrachtet man beispielsweise die Gruppe der Goldstandardvermesser, die alle die PAR-Zertifizierung durch einen Kurs erlangt haben und dasselbe Modell vermaßen, so wird auch in dieser Gruppe deutlich, wie unterschiedlich die Gesamt-PAR-Werte am Ende ausfielen. (**ABBILDUNG 48**) Der Minimalwert der Gruppe lag bei 35 Punkten, der Maximalwert bei 57 Punkten. Das ergibt eine Differenz von 22 Punkten für ein identisches Modell. Die Tabelle (**TABELLE 15**) zeigt die ermittelten Werte für die Goldstandardvermesser.

Tabelle 15: Häufigkeitstabelle des Gesamt-PAR-Index für die Goldstandardvermesser

PAR-INDEX Häufigkeit für Goldstandardvermesser			
		Häufigkeit	Prozent
Gültig	35	1	8,3
	44	2	16,7
	45	1	8,3
	46	2	16,7
	47	2	16,7
	48	1	8,3
	50	1	8,3
	51	1	8,3
	57	1	8,3
	Gesamt	12	100,0

Generell erscheint der ermittelte PAR-Index eine sehr große Streubreite aufzuweisen – sowohl bei den kalibrierten Goldstandardbehandlern als auch bei den nicht kalibrierten Behandlern.

Tabelle 16: PAR-Gesamt in Abhängigkeit von der Behandlerart

Behandlerart	Minimum	Maximum	Spannweite
Goldstandard	35	57	22
Kieferorthopäden	33	62	29
Studenten	42	58	16
Assistenten	36	55	19

Ein möglicher Grund dafür ist die subjektive Betrachtung einzelner Beurteilungspunkte. So gibt der PAR-Index beispielsweise bei der Einschätzung der linken und rechten Okklusion nur vor, dass der Behandler sich das Zahnpaar mit der größten Abweichung im Bereich vom Eckzahn bis zum letzten Molaren auswählen soll. Während der Messungen konnte von der Autorin beobachtet werden, dass die Behandler unterschiedliche Zahnpaare für diese Beurteilung auswählten. Da drei von fünf Bewertungsgruppen – linke und rechte Okklusion, Overjet und Overbite - mit diesen subjektiven Einschätzungen bewertet werden, sind dies mögliche Fehlerquellen. Fortgeführt werden diese Fehler möglicherweise weiterhin, wenn anschließend die Schwere der Abweichung beurteilt werden soll, denn auch dort muss sehr grob und subjektiv abgeschätzt werden. Betrachtet man zum Beispiel den Punkt des Overbite, so soll die Überdeckung des Antagonisten nach dessen Drittelung beurteilt werden. Während der Vermessungen hatten einige der Behandler vor allem dann Schwierigkeiten, wenn sich ihr ermittelter Wert ihrer Meinung nach genau zwischen zwei Bewertungspunkten befand. Durch die Wichtungsfaktoren des PAR-Index kommt es dann im Anschluss wiederum zu gravierenden Folgen im ermittelten Gesamt-PAR-Index.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der PAR-Index vor allem für die Bewertung eines Falls durch verschiedene Behandler eine Variabilität in der Punktvergabe aufweist. Das Hauptproblem dabei stellt die subjektive Wahrnehmung eines jeden Behandlers und die Toleranzen des Index selbst dar. Allerdings treffen die genannten Probleme ebenfalls auf fast alle alternativen Bewertungssysteme und Indizes zu. Überdies traten die im Rahmen dieser Studie genannten kritischen Punkte in allen Untersuchungsgruppen gleichermaßen auf, was für die Auswertung wiederum von großer Bedeutung ist. Für die Beurteilung der Modellvermessung in Bezug auf die Modellart ist der PAR-Index damit als geeignet einzuschätzen. Zu diesem Ergebnis kamen auch Autoren mit einem ähnlichen Studiendesign (45-48).

7.3 Diskussion der Ergebnisse

Für die deskriptive Statistik wurden die Ergebnisse von insgesamt 132 Vermessungen ausgewertet. Es erfolgte anschließend eine Unterscheidung nach Modell- und Behandlerart. Die Modellarten konnten in vier Gruppen mit je 30 Vermessungen und eine Gruppe mit 12 Vermessungen unterteilt werden. Betrachtet man die Ergebnisse in Bezug auf Behandlerart erhält man drei Gruppen mit je 40 Behandlern und eine Gruppe mit 12 Behandlern.

Vergleichbare Studien wurden mit ähnlichen (2, 3) oder geringeren (26, 45, 55) Fallzahlen durchgeführt. Die Fallzahlen wurden außerdem durch das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Charité Berlin vor Studienbeginn als ausreichend bewertet.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte zunächst mittels ein- und zweifaktorieller ANOVA. Dieses Testverfahren ermöglicht es deskriptive Statistiken zu interpretieren. Allerdings zeigen die Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA lediglich an, ob zwei Gruppen sich voneinander unterscheiden. Es wird keine Aussage darüber getroffen, welche Gruppen sich unterscheiden. Dafür sind weitere post-hoc-Tests, wie beispielsweise Tukey-HSD-Tests notwendig (39).

Der verwendete Shapiro-Wilk-Test gilt als Methode mit hoher Güte, da dieser auch bei kleinen Stichproben ($n < 50$) eine hohe Teststärke bietet. Allerdings ist der Test relativ anfällig gegenüber Bindungen und Ausreißern. Vor allem letztere können das Verteilungsbild stark verzerren, was zu einer fälschlichen Ablehnung der Normalverteilung führen kann. Deshalb ist die Betrachtung der Q-Q-Diagramme als zusätzliches Mittel zur Überprüfung der Normalverteilung entscheidend (38, 60).

Für die Überprüfung der Normalverteilung innerhalb der Studie kamen folgende Hypothesen zum Einsatz:

1.

H_0 : Der PAR-Wert für die Modellart folgt einer Normalverteilung

H_1 : Der PAR-Wert für die Modellart folgt keiner Normalverteilung

2.

H_0 : Der PAR-Wert für die Behandlerart folgt einer Normalverteilung

H_1 : Der PAR-Wert für die Behandlerart folgt keiner Normalverteilung

Der Shapiro-Wilk-Test für die erste Nullhypothese ergab eine Normalverteilung für Originalmodell, Gipsmodell und Onyxmodell. Für die Modellarten „Kunststoff“ und „OrthoAnaylzer“ stellte der Test eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung fest (*TABELLE 13*). Deshalb wurden diese beiden Variablen noch einmal graphisch auf Normalverteilung überprüft. Die Auswertung erfolgte mittels Q-Q-Diagrammen, da deren Betrachtung eine gute Einschätzung über eine mögliche Normalverteilung zulässt.

Das Q-Q-Diagramm für die Variablen „Kunststoffmodell“ (*ABBILDUNG 35*) und „OrthoAnaylzer“ (*ABBILDUNG 36*) zeigte eine grenzwertige Abweichung von der Normalverteilungsdiagonale mit erkennbaren Ausreißern. Um diese Verteilung besser einschätzen zu können, wurden anschließend trendbereinigte Q-Q-Diagramme (*ABBILDUNG 37, ABBILDUNG 38*) für die Variablen erstellt.

Im Fall der beiden Variablen ist im trendbereinigten Q-Q-Diagramm eine erhebliche Abweichung einzelner Werte um den beobachteten Normalverteilungswert erkennbar (*ABBILDUNG 37, ABBILDUNG 38*). Somit bestätigt die graphische Analyse auf den ersten Blick die Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests.

Allerdings ist in den Q-Q-Diagrammen auch erkennbar, dass die Mehrheit aller Messwerte auf der Normalverteilungskurve liegt. Lediglich einzelne Ausreißer sorgen für eine Verzerrung der Verteilungskurve. In solchen Fällen ist es sinnvoll, diese Ausreißer aus der Betrachtung auszuschließen. Werden die Q-Q-Diagramme der beiden Modellarten

unter Ausschluss des jeweils größten Ausreißers erneut betrachtet, so ergibt sich eine Normalverteilungskurve beider Variablen (38, 42, 60-62).

Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass alle Variablen – nach Ausschluss des jeweils größten Ausreißers - eine Normalverteilung aufweisen. Das Stichprobenergebnis ist somit für den ersten Fall mit der Nullhypothese vereinbar.

Der Shapiro-Wilk-Test für die zweite Nullhypothese ergab eine Normalverteilung für Goldstandardbehandler, Kieferorthopäde und Assistent. Für die Behandlerart „Student“ stellte der Test eine signifikante Abweichung von dieser fest (*TABELLE 12*).

Deshalb wurde die Variable Student noch einmal graphisch auf Normalverteilung überprüft. Die Auswertung mittels Q-Q-Diagramm (*ABBILDUNG 46*) zeigte eine grenzwertige Abweichung von der Normalverteilungsdiagonale mit erkennbaren Ausreißern. Um diese Verteilung besser einschätzen zu können, wurde anschließend ebenfalls ein trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für diese Variable erstellt.

Das trendbereinigte Q-Q-Diagramm (*ABBILDUNG 47*) zeigt im Falle der Variable „Student“ eine grenzwertige Abweichung einzelner Werte um den beobachteten Normalverteilungswert. Es sind Werte als Ausreißer erkennbar. Somit bestätigt die graphische Analyse auch im zweiten Fall zunächst das Ergebnis des Shapiro-Wilk-Tests.

Werden die beiden Q-Q-Diagramme näher betrachtet, ist erkennbar, dass die Mehrheit aller Messwerte dicht an der Normalverteilungskurve liegen. Lediglich einzelne Ausreißer sorgen für starke Verzerrungen der Verteilungskurve. In diesem Fall ist es ebenfalls sinnvoll diese Ausreißer aus der Betrachtung auszuschließen. Werden die Q-Q-Diagramme für die Variable „Student“ unter Ausschluss des jeweils größten Ausreißers erneut betrachtet, so ergibt sich eine grenzwertige Normalverteilungskurve der Variable.

Die graphische Analyse lässt den Schluss zu, dass die Variable Student – nach Ausschluss des jeweils größten Ausreißers - eine grenzwertige Normalverteilung aufweist. Das Stichprobenergebnis ist demnach auch für den zweiten Fall mit der Nullhypothese vereinbar.

Einige Autoren zeigten in Ihren Studien, dass die einfaktorielle ANOVA relativ robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilungsannahme ist (42, 61-64). Dies war unter anderem der Grund dafür, dass die Auswertung der Ergebnisse - ohne Streichung der Ausreißer - weitergeführt wurde.

Der im nächsten Schritt verwendete Levene-Test (*TABELLE 10*) dient der Bestimmung der Varianzhomogenität. Diese ist genau dann gegeben, wenn die Varianz in allen Gruppen etwa gleich ist. Besteht keine Varianzhomogenität ist die Wahrscheinlichkeit einen Fehler 1. Art zu begehen erhöht. Des Weiteren gilt der Levene-Test als sehr robust bei Abweichungen von der Normalverteilung (39-41).

Der Test dient der Überprüfung der Nullhypothese H_0 gegen die Alternativhypothese H_1 und überprüft somit, ob alle Gruppenvarianzen gleich sind.

Für den ersten Fall ergab der Levene-Test $F(4, 127) = 1,805, p = 0,132$. Der Test für die Modellarten ist demnach nicht signifikant und es kann von einer Varianzhomogenität der Modellgruppen ausgegangen werden. Die Nullhypothese wird nicht verworfen und die Alternativhypothese entsprechend abgelehnt.

Für den zweiten Fall ergab der Levene-Test $F(3, 128) = 1,905, p = 0,132$. Der Test für die Behandlerarten ist demnach ebenfalls nicht signifikant und es kann von einer Varianzhomogenität der Behandlergruppen ausgegangen werden. Die Nullhypothese wird nicht verworfen und die Alternativhypothese entsprechend abgelehnt.

Liegt keine signifikante Abweichung der Varianzhomogenität vor, ist eine weitere Untersuchung der Werte – in Form eines post-hoc-Testes - nicht indiziert. Dies ist nur dann notwendig, wenn eine der Grundvoraussetzungen für die Varianzhomogenität verletzt wird (41).

Die deskriptive Auswertung der gesammelten Daten lässt somit den Rückschluss zu, dass es keinen signifikanten Unterschied des PAR-Index zwischen den Modellarten und Behandlerarten gibt. Des Weiteren zeigt sich auch kein signifikanter Unterschied des PAR-Index zwischen den Modellarten in Abhängigkeit von den Behandlerarten. Demnach wurde die Normalhypothese nicht verletzt und die Alternativhypothese kann abgelehnt werden.

7.4 Fehleranalysen

Bei jeder wissenschaftlichen Arbeit kann man trotz vorbildlicher Fehlerprophylaxe nicht verhindern, dass es zu Ungenauigkeiten und Messfehlern kommt. Vor allem wenn die Versuche Messinstrumente und verschiedene Probanden mit subjektiven Werteinschätzungen beinhalten, sollte eine besonders gründliche Fehleranalyse stattfinden.

Dafür ist es relevant, die möglichen Fehlerquellen zu erkennen, um deren Auswirkung auf das Gesamtergebnis besser abschätzen zu können. Nach Houston et al. sollte hierbei zunächst die Prüfung der Validität und Reliabilität der durch empirische Messungen erzielten Ergebnisse erfolgen (65).

Bei dem Begriff Validität handelt es sich um ein Testgütekriterium welches angibt, wie gültig ein Testverfahren ist. Es ist der Grad der Genauigkeit, mit dem eine Messmethode tatsächlich das misst, was gemessen werden soll. Dabei gestaltet sich die Validität inhärent und muss bei jeder neuen Messmethode im Vorfeld ermittelt werden (23, 65).

Für den PAR-Index wurde die Validität bereits während der Entwicklung durch Richmond et al. nachgewiesen (34). Weitere Autoren konnten die gute Validität des PAR-Index in ihren Studien ebenfalls nachweisen (26, 29, 32,). Somit ist hinreichend bewiesen, dass der PAR-Index tatsächlich das ausdrückt, was er quantifizieren soll.

Für die klassische Modellanalyse mittels Schiebelehre konnten Rudge et al. nachweisen, dass diese repräsentative Ergebnisse im Vergleich zu anderen gebräuchlichen Messmethoden liefert. Rudge et al. weisen aber darauf hin, dass die tatsächliche Validität im Praxisalltag häufig geringer ausfällt. Mangels besserer Alternativen, ist diese Messmethode seiner Meinung nach jedoch praktikabel, solange man sich über diese Einschränkung bewusst ist (66). Somit kann man sich in Bezug auf hinreichende Validität - bei der Modellvermessung mittels Schiebelehre - ebenfalls auf die Literatur stützen.

Für die computergestützte Modellanalyse konnte in mehreren Studien eine gute Validität nachgewiesen werden (45, 47, 48, 55, 67, 68). Dabei sollte jedoch beachtet werden, dass die Validität immer abhängig von der Software ist. Eine gute Validität bei der digitalen Modellvermessung setzt immer eine ausreichend getestete und aktualisierte Software voraus.

Bei dem Begriff Reliabilität handelt es sich um ein Testgütekriterium, welches angibt, wie zuverlässig ein Test ein bestimmtes Merkmal misst. Mit der Reliabilität wird die Verlässlichkeit einer Methode beschrieben. Dabei wird in der Regel die Übereinstimmung zwischen wiederholten Messungen am selben Objekt geprüft. Nach Rudge et al. ist die Reliabilität von drei Faktoren abhängig (66):

1. die Qualität der zur Untersuchung herangezogenen Unterlagen
2. die Voraussetzungen bei den Messungen
3. die Sorgfältigkeit und Erfahrung des Messenden

Für den ersten Faktor – die Qualität der zur Untersuchung herangezogenen Unterlagen - kann in Bezug auf diese Studie Folgendes zusammenfassend festgehalten werden: Alle verwendeten Modelle wurden in einem professionellen zahntechnischen Labor gefertigt. Die konventionellen Gips- und Kunststoffmodelle wurden exakt nach Herstellerangaben gefertigt (*SIEHE 4.2.1*) und ungenaue Modelle wurden aus der Studie ausgeschlossen. Mögliche Fehlerquellen bei der Herstellung können bereits während der Abdrucknahme (falsche Anmischtechnik oder Scantechnik), während der Modellherstellung (falsches Mischverhältnis der Materialien, mangelndes Zeitmanagement, inkorrekte Arbeitsmaterialien oder zu hohe Umgebungstemperatur) und nach der Modellherstellung (inkorrekte Lagerung oder falscher Transport) entstehen. Die in der Studie verwendeten Modelle genügten vor Studienbeginn den Ansprüchen der dimensionsgetreuen anatomischen Oberflächenwiedergabe. Sie wiesen eine ausreichende Kantenfestigkeit auf und waren entsprechend ihrer Materialeigenschaften abrasionsstabil.

Für die digitalen Modelle erfolgte der Scan ebenfalls exakt nach Herstellerangaben (*SIEHE 4.2.2*) und wurde verworfen, sobald der Scanner den Scanpfad verlor. Mögliche Fehlerquellen können bereits während des Scanvorgangs (falscher Abstand zum Modell, inkorrekte Scangeschwindigkeit, zu komplexe oder spiegelnde Oberflächen), während der Modellherstellung (Matching-Fehler bei der Datenübertragung, inkorrekte Softwarebedienung, falsche Positionierung im 3D-Drucker) und nach der Modellherstellung (inkorrekte Softwarebedienung) entstehen. Auch bei den digitalen Modellen erfolgten alle Schritte nach Herstellerangaben und in Zusammenarbeit mit einem erfahrenen Team (3D DENTAL-RADIOLOGIE MESANTIS Berlin), um mögliche Fehler auszuschließen. Die für die Studie verwendeten digitalen Modelle genügten vor Studienbeginn ebenfalls allen Ansprüchen der detailgetreuen, anatomischen Oberflächenwiedergabe.

Für den zweiten Faktor - die Voraussetzungen bei den Messungen - kann Folgendes zusammenfassend festgehalten werden: Alle Vermessung erfolgten ohne Zeitlimit bzw. Zeitdruck und es wurde stets auf einen ausreichend ausgeleuchteten Arbeitsplatz geachtet. Die konventionelle Vermessung erfolgte dabei mit identischen Schiebelehren desselben Herstellers („Züricher Modell“, Henry Schein Dental Deutschland GmbH, Deutschland).

Für den dritten Faktor - die Sorgfältigkeit und Erfahrung des Messenden – kann Folgendes zusammenfassend festgehalten werden: Alle Behandler bekamen denselben Fragebogen mit der theoretischen Anleitung zum Definieren und Auffinden der korrekten Messpunkte. Die Erfahrung aller Behandler in dieser Studie betrug zwischen einem Tag und sechsunddreißig Jahren. Die Behandler mit weniger als drei Monaten Erfahrung wurden vorher in die Modellvermessung eingewiesen und durften erst nach erfolgreich durchgeführten Probemessungen die tatsächliche Vermessung des zugeteilten Modells vornehmen. Es muss jedoch die Tatsache berücksichtigt werden, dass die Vermessung von insgesamt 132 Behandlern durchgeführt wurde. Dies kann, trotz guter Einweisung und Anweisung, zu subjektiven Unterschieden in der Wahl und Auswertung der Vermessungspunkte führen. Diese Fehlerquelle wurde in der Studie jedoch wissentlich in Kauf genommen, da nur so realistische und praxisnahe Werte zustanden kommen konnten. Außerdem war es nur auf diesem Weg möglich die Unterschiede zwischen den Behandlerarten festzustellen.

Diese Auflistung zeigt, dass trotz aller Vorkehrungen die Verhinderung von Fehlern nicht vollständig möglich ist. Denn jede noch so sorgsam durchgeführte Messung ist stets fehlerhaft (69). Umso wichtiger ist es, dass diese Fehler richtig eingeordnet und abgeschätzt werden.

Grundsätzlich können zwei unterschiedliche Fehlerarten auftreten: die systematischen und die zufälligen Fehler. Beide Fehlerarten sind unabhängig voneinander und können gemeinsam auftreten. Die folgende Formel verdeutlicht diesen Umstand (69):

$$X = T + r + e$$

X - Messwert, T - tatsächlicher Wert, r - systematische Fehler, e – zufällige Fehler

Bei den systematischen Fehlern handelt es sich um Fehler, die eine bestimmte gemeinsame Abweichung aller einzelnen Messwerte vom wahren Wert aufweisen. Diese bleiben auch bei Wiederholung der Messungen – unter identischen Messbedingungen – gleich und können somit weder erkannt noch eliminiert werden. Systematische Fehler beeinflussen die Richtigkeit und können sich gegenseitig addieren oder auch aufheben. Typische Ursachen von systematischen Fehlern sind Probenverunreinigungen oder falsch geeichte Messinstrumente (69).

Die systematischen Fehler wurden durch die bereits oben genannten Maßnahmen weitgehend vermieden. Deshalb sind für die weitere Betrachtung vor allem die zufälligen Fehler von Bedeutung.

Diese entstehen durch zufällige Prozesse während des Messens und beeinflussen die Präzision der Messung. Die zufälligen Fehler werden überwiegend den Behandlern und den Umgebungseinflüssen zugeschrieben und äußern sich beispielsweise in Ablesefehlern. Im Gegensatz zu systematischen Fehlern addieren sich die zufälligen Fehler. Durch Messwiederholungen können sie verringert werden (69).

Im Falle der Studie wurde durch eine erhöhte Zahl von Behandlern versucht, mögliche zufällige Fehler zu minimieren. Des Weiteren wurde die Fähigkeit zum korrekten Arbeiten mit der Schiebelehre bei den Behandlergruppen Assistenten und Studenten vor der Vermessung abgeprüft. Dennoch konnten zufällige Fehler während der Untersuchungen von der Autorin beobachtet werden. Vor allem das Aufsuchen und Ablesen der korrekten Messpunkte, sowie der nonkonforme Messhabitus durch nicht beachteten des Anmerkungsblattes stellten Fehlerquellen dar. Diese Messfehler sind nach Ansicht der Autorin Hauptursache für die entstandenen Ausreißer in der Auswertung.

Die Studie sollte ebenfalls dazu dienen die Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Behandlern und den Behandlergruppen aufzuzeigen. Aus diesem Grund wurden diese zufälligen Fehler wissentlich toleriert und es wurde zu keinem Zeitpunkt in das Messgeschehen von Seiten der Autorin eingegriffen.

8 Schlussfolgerung, klinische Konsequenzen und Ausblick

In der Studie zeigte sich, dass im Durchschnitt kein signifikanter Unterschied zwischen den PAR-Werten der konventionellen und digitalen Modelle nachgewiesen werden konnte. Einzelne Untersuchungswerte weichen aber in Form von Ausreißern vom durchschnittlichen PAR-Wert ab. Diese Ausreißer konnten sowohl beim Goldstandardmodell als auch in den Gruppen Gipsmodell, Kunststoffmodell, Onyx und OrthoAnalyzer nachgewiesen werden und scheinen somit keinen Rückschluss auf eine zu bevorzugende Modellart zuzulassen.

Außerdem konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den PAR-Werten der Behandlergruppen Kieferorthopäden, Studenten und Assistenten im Vergleich zu den Goldstandardbehandlern festgestellt werden. Auch in dieser Untersuchungsgruppe waren einzelne Ausreißer im Vergleich zum Mittelwert zu beobachten. Diese traten ebenfalls in allen Behandlergruppen auf.

Des Weiteren konnte kein signifikanter Unterschied zwischen dem durchschnittlichen PAR-Wert in Abhängigkeit von Modell- und Behandlerart festgestellt werden. Somit kann kein Rückschluss auf die mögliche Bevorzugung bestimmter Behandlergruppen und Modellarten gezogen werden. Es ist bei der Betrachtung des PAR-Durchschnitts kein Zusammenhang ersichtlich, welche Behandlerart welche Modellart vermisst.

Laut der Literatur ist der PAR-Index gegenwärtig der gebräuchlichste und am besten geeignete Index zur Beurteilung kieferorthopädischer Behandlungsergebnisse. Somit eignet er sich sehr gut um Modelle untereinander zu vergleichen. In der Studie zeigte sich, dass der PAR-Index oftmals nicht empfindlich genug schien, um die feinen Unterschiede bei hohem Behandlungsniveau zu differenzieren. Ein möglicher Grund hierfür ist in der unterschiedlichen Bewertung einzelner Untersuchungspunkte gegeben. Des Weiteren toleriert der Index die dentalen und okklusalen Abweichungen vor der ersten Punktevergabe relativ stark.

Trotz alledem hat die Studie verdeutlicht, dass bei einem klinisch häufig genutzten Index keine signifikanten Unterschiede zwischen den Modellarten nachgewiesen werden

konnte. Für den Praxisalltag bedeutet dies vor allem einen wichtigen Schritt hin zur modernen, digitalen Praxis. Zukünftig können so mithilfe digitaler Abformung und Modellherstellung viele Ressourcen und Stauraum gespart werden. Die digitale Technik schafft aber auch eine einfachere Daten- und Modellübermittlung und eine bessere Patientenakzeptanz beim Scanvorgang. Die zeitlich unbegrenzte Aufbewahrung der Modelle ist dank digitaler Systeme möglich. Dies birgt vor allem aus forensischer Sicht große Vorteile.

Die Abrechnung der Abformung und Modellerstellung von gesetzlich versicherten Kassenpatienten in Deutschland ist nach dem aktuellen Stand (April 2020) lediglich mittels Alginat, in Hartgips und mit Wachsbissnahme in habitueller Okklusion abrechenbar. Die digitale Abformung und Modellerstellung wird derzeit nicht von der gesetzlichen Krankenkasse unterstützt und muss rein privat in Rechnung gestellt werden. Aufgrund der vorliegenden Studie und anderen Studien mit ähnlichem Versuchsaufbau (2, 4, 17, 19, 39, 40, 41-44) kann jedoch gezeigt werden, dass moderne, digitale Techniken, der konventionellen Technik in Bezug auf Präzision und Richtigkeit in nichts nachstehen.

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse sollte die Abrechnung kieferorthopädischer Patienten in Bezug auf Abdrucknahme und Modellherstellung in Deutschland neu überdacht und moderner gestaltet werden. Andere Länder, wie die Niederlande oder den USA, können dabei als Vorbild dienen.

Weitere Studien sind für eine umfassendere ökonomische und ökologische Bewertung wünschenswert.

9 Literaturverzeichnis

1. Strub JR. Curriculum Prothetik. 4. Edition: Quintessenz-Verlag; 2011
2. Burzynski JA, Firestone AR, Beck FM, Fields HW, Jr., Deguchi T. Comparison of digital intraoral scanners and alginate impressions: Time and patient satisfaction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018;153(4):534-41.
3. Glisic O, Hoejbjerre L, Sonnesen L. A comparison of patient experience, chair-side time, accuracy of dental arch measurements and costs of acquisition of dental models. *Angle Orthod.* 2019;89(6):868-75.
4. Gul Amuk N, Karsli E, Kurt G. Comparison of dental measurements between conventional plaster models, digital models obtained by impression scanning and plaster model scanning. *Int Orthod.* 2019;17(1):151-8.
5. Ng J, Ruse D, Wyatt C. A comparison of the marginal fit of crowns fabricated with digital and conventional methods. *J Prosthet Dent.* 2014;112(3):555-60.
6. Al Qahtani MA, Alrefaie M, Altamimi A, Aljowyed I, Al Qahtani MA, AlQahtani A, Habib SR. Evaluation of pre-alginate impression preparation methods in the surface accuracy of dental cast. *Saudi Dent J.* 2019;31(4):451-6.
7. Beyer TS. Werkstoffkundlich vergleichende Untersuchung mechanischer Eigenschaften von Alginaten und Alginatersatzmaterialien: Universität Würzburg; 2014.
8. Cohen BI, Pagnillo M, Deutsch AS, Musikant BL. Dimensional accuracy of three different alginate impression materials. *J Prosthodont.* 1995;4(3):195-9.

9. Imbery TA, Nehring J, Janus C, Moon PC. Accuracy and dimensional stability of extended-pour and conventional alginate impression materials. *J Am Dent Assoc.* 2010;141(1):32-9.
10. Peutzfeldt A, Asmussen E. Accuracy of alginate and elastomeric impression materials. *Scand J Dent Res.* 1989;97(4):375-9.
11. Sawyer HF, Sandrik JL, Neiman R. Accuracy of casts produced from alginate and hydrocolloid impression materials. *J Am Dent Assoc.* 1976;93(4):806-8.
12. Zhou LH, Wang D, Huang HY, Zhang YF. Effect of two manual mixing methods on the accuracy of alginate impression. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue.* 2019;28(2):133-5.
13. Brauner M. Einfluss der Zahnstellung und zweier Scanmethoden auf die Genauigkeit eines intraoralen Scanners in vitro: Charité - Universitätsmedizin Berlin; 2015.
14. Hayasaki H, Martins RP, Gandini LG, Saitoh I, Nonaka K. A new way of analyzing occlusion 3 dimensionally. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;128(1):128-32.
15. Luthardt R, Weber A, Rudolph H, Schone C, Quaas S, Walter M. Design and production of dental prosthetic restorations: basic research on dental CAD/CAM technology. *Int J Comput Dent.* 2002;5(2-3):165-76.
16. Klering D, Eisenburger M, Stiesch M, Pott P-C. Die digitale intra- und extraorale Abformung. *ZWR.* 2019;128(05):231-5.

17. Kamimura E, Tanaka S, Takaba M, Tachi K, Baba K. In vivo evaluation of inter-operator reproducibility of digital dental and conventional impression techniques. *PLoS One*. 2017;12(6):e0179188.
18. Schott TC, Arsalan R, Weimer K. Students' perspectives on the use of digital versus conventional dental impression techniques in orthodontics. *BMC Med Educ*. 2019;19(1):81.
19. Zhang F, Suh KJ, Lee KM. Validity of Intraoral Scans Compared with Plaster Models: An In-Vivo Comparison of Dental Measurements and 3D Surface Analysis. *PLoS One*. 2016;11(6):e0157713.
20. Zimmermann M, Ender A, Mehl A. Local accuracy of actual intraoral scanning systems for single-tooth preparations in vitro. *J Am Dent Assoc*. 2020;151(2):127-35.
21. Zügel D, Luthardt RG, Graf MR, Rudolph H. Abformung – konventionell versus digital. *Zahnmedizin up2date*. 2016;10(04):359-80.
22. Tang EL, Wei SH. Recording and measuring malocclusion: a review of the literature. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1993;103(4):344-51.
23. Ochlich A. Langzeituntersuchung Bionator-behandelter Patienten 20 Jahre nach Behandlungsende. Modellanalyse: Ludwig-Maximilians-Universität zu München, Medizinische Fakultät, 2005.
24. Schmidt-Rogge N. Quantitative und qualitative Auswertung kieferorthopädischer Behandlungen: Humboldt-Universität zu Berlin, Medizinische Fakultät - Universitätsklinikum Charité; 2001.

25. Naim J. Behandlungsqualität bei kieferorthopädischer Therapie mittels Lingualtechnik: eine retrospektive Bewertung mittels PAR-Index: Berlin, Univ.-Medizin, 2006.
26. Buchanan IB, Shaw WC, Richmond S, O'Brien KD, Andrews M. A comparison of the reliability and validity of the PAR Index and Summers' Occlusal Index. *Eur J Orthod.* 1993;15(1):27-31.
27. Richmond S, Shaw WC, Roberts CT, Andrews M. The PAR Index (Peer Assessment Rating): methods to determine outcome of orthodontic treatment in terms of improvement and standards. *Eur J Orthod.* 1992;14(3):180-7.
28. Birkeland K, Furevik J, Boe OE, Wisth PJ. Evaluation of treatment and post-treatment changes by the PAR Index. *Eur J Orthod.* 1997;19(3):279-88.
29. Buchanan IB, Russell JI, Clark JD. Practical application of the PAR index: an illustrative comparison of the outcome of treatment using two fixed appliance techniques. *Br J Orthod.* 1996;23(4):351-7.
30. Burden DJ, Stratford N. Training dental nurses in the use of the PAR Index: a pilot study. *Br J Orthod.* 1996;23(2):153-5.
31. Dyken RA, Sadowsky PL, Hurst D. Orthodontic outcomes assessment using the peer assessment rating index. *Angle Orthod.* 2001;71(3):164-9.
32. Firestone AR, Beck FM, Beglin FM, Vig KW. Evaluation of the peer assessment rating (PAR) index as an index of orthodontic treatment need. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002;122(5):463-9.

33. Mayers M, Firestone AR, Rashid R, Vig KW. Comparison of peer assessment rating (PAR) index scores of plaster and computer-based digital models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;128(4):431-4.
34. Richmond S, Shaw WC, O'Brien KD, Buchanan IB, Jones R, Stephens CD, Roberts CT, Andrews M. The development of the PAR Index (Peer Assessment Rating): reliability and validity. *Eur J Orthod.* 1992;14(2):125-39.
35. Taner L, Uzuner FD, Caylak Y, Gencturk Z, Kaygisiz E. Peer Assessment Rating (PAR) Index as an Alternative for Orthodontic Treatment Need Decision in Relation to Angle Classification. *Turk J Orthod.* 2019;32(1):1-5.
36. Wesemann C. Genauigkeit von digitalisierten und gedruckten Ganzkiefermodellen: Charité - Universitätsmedizin Berlin; 2018.
37. Cassinelli AG, Firestone AR, Beck FM, Vig KW. Factors associated with orthodontists' assessment of difficulty. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;123(5):497-502.
38. Flynn MR. Analysis of censored exposure data by constrained maximization of the Shapiro-Wilk W statistic. *Ann Occup Hyg.* 2010;54(3):263-71.
39. Jan S-L, Shieh G. Sample size determinations for Welch's test in one-way heteroscedastic ANOVA. *Br J Math Stat Psychol.* 2014;67(1):72-93.
40. Levy KJ. Some empirical power results associated with welch's robust analysis of variance technique. *Journal of Statistical Computation and Simulation.* 1978;8(1):43-8.

41. O'Neill ME, Mathews KL. Levene tests of homogeneity of variance for general block and treatment designs. *Biometrics*. 2002;58(1):216-24.
42. Blanca MJ, Alarcon R, Arnau J, Bono R, Bendayan R. Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*. 2017;29(4):552-7.
43. Aragon ML, Pontes LF, Bichara LM, Flores-Mir C, Normando D. Validity and reliability of intraoral scanners compared to conventional gypsum models measurements: a systematic review. *Eur J Orthod*. 2016;38(4):429-34.
44. Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent*. 2016;115(3):313-20.
45. Luqmani S, Jones A, Andiappan M, Cobourne MT. A comparison of conventional vs automated digital Peer Assessment Rating scoring using the Carestream 3600 scanner and CS Model+ software system: A randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2020;157(2):148-55 e1.
46. Leung C-YV, Yang Y, Liao C, Hägg U, Wong RWK, McGrath C, Gu M. Digital Models as an Alternative to Plaster Casts in Assessment of Orthodontic Treatment Outcomes. *ScientificWorldJournal*. 2018;2018:9819384.
47. Pasapula S, Sherriff M, Breckon J, Bister D, Abela S. Comparison of validity, repeatability and reproducibility of the Peer Assessment Rating (PAR) between digital and conventional study models. *Aust Orthod J*. 2016;32(2):184-92.

-
48. Stevens DR, Flores-Mir C, Nebbe B, Raboud DW, Heo G, Major PW. 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.* 2006;129(6):794-803.
 49. Wesemann C, Muallah J, Mah J, Bumann A. Accuracy and efficiency of full-arch digitalization and 3D printing: A comparison between desktop model scanners, an intraoral scanner, a CBCT model scan, and stereolithographic 3D printing. *Quintessence Int.* 2017;48(1):41-50.
 50. Ibrahim AA, Alhaji MN, Khalifa N, Gilada MW. Does 6 Hours of Contact With Alginate Impression Material Affect Dental Cast Properties? *Compend Contin Educ Dent.* 2017;38(6):e1-e4.
 51. Johnson LN. Commentary presented by Committee on Dental Materials and Devices. Alginate impression materials. *Dent J.* 1975;41(1):42-3.
 52. Ralph WJ, Gin SS, Cheadle DA, Harcourt JK. The effects of disinfectants on the dimensional stability of alginate impression materials. *Aust Dent J.* 1990;35(6):514-7.
 53. Jlg VK. Comparative study on preservation of the impression accuracy of alginate. *Dtsch Zahnarztl Z.* 1950;5(8):415-21; contd.
 54. Camardella LT, de Vasconcellos Vilella O, Breuning H. Accuracy of printed dental models made with 2 prototype technologies and different designs of model bases. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;151(6):1178-87.

-
55. Koretsi V, Kirschbauer C, Proff P, Kirschneck C. Reliability and intra-examiner agreement of orthodontic model analysis with a digital caliper on plaster and printed dental models. *Clin Oral Investig.* 2019;23(8):3387-96.
 56. Choi JY, Choi JH, Kim NK, Kim Y, Lee JK, Kim MK, Lee JH, Kim MJ. Analysis of errors in medical rapid prototyping models. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2002;31(1):23-32.
 57. Hazeveld A, Huddleston Slater JJ, Ren Y. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145(1):108-15.
 58. Fox NA. The first 100 cases: a personal audit of orthodontic treatment assessed by the PAR (peer assessment rating) index. *Br Dent J.* 1993;174(8):290-7.
 59. Holman JK, Hans MG, Nelson S, Powers MP. An assessment of extraction versus nonextraction orthodontic treatment using the peer assessment rating (PAR) index. *Angle Orthod.* 1998;68(6):527-34.
 60. Zimmerman DW. Power comparisons of significance tests of location using scores, ranks, and modular ranks. *Br J Math Stat Psychol.* 2011;64(Pt 2):233-43.
 61. Lix LM, Keselman JC, Keselman HJ. Consequences of Assumption Violations Revisited: A Quantitative Review of Alternatives to the One-Way Analysis of Variance F Test. *Review of Educational Research.* 1996;66(4):579-619.
 62. Schmider E, Ziegler M, Danay E, Beyer L, Bühner M. Is It Really Robust? *Methodology.* 2010;6(4):147-51.

63. Harwell MR, Rubinstein EN, Hayes WS, Olds CC. Summarizing Monte Carlo Results in Methodological Research: The One- and Two-Factor Fixed Effects ANOVA Cases. *Journal of Educational Statistics*. 1992;17(4):315-39.
64. Glass GV, Peckham PD, Sanders JR. Consequences of Failure to Meet Assumptions Underlying the Fixed Effects Analyses of Variance and Covariance. *Review of Educational Research*. 1972;42(3):237-88.
65. Houston WJB. The analysis of errors in orthodontic measurements. *American Journal of Orthodontics*. 1983;83(5):382-90.
66. Rudge SJ, Jones PT, Hepenstal S, Bowden DE. The reliability of study model measurement in the evaluation of crowding. *Eur J Orthod*. 1983;5(3):225-31.
67. De Luca Canto G, Pacheco-Pereira C, Lagravere MO, Flores-Mir C, Major PW. Intra-arch dimensional measurement validity of laser-scanned digital dental models compared with the original plaster models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res*. 2015;18(2):65-76.
68. Goracci C, Franchi L, Vichi A, Ferrari M. Accuracy, reliability, and efficiency of intra-oral scanners for full-arch impressions: a systematic review of the clinical evidence. *Eur J Orthod*. 2016;38(4):422-8.
69. Parthier R. Messabweichungen. *Messtechnik: Grundlagen für alle technischen Fachrichtungen und Wirtschaftsingenieure*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag; 2001. p. 45-50.

10 Anhang

Die unten folgende Datentabelle fasst die Ergebnisse der Modellanalysen aller Modelle und Behandler zusammen.

Dabei ist die Verschlüsselung der Zahlen in den ersten beiden Spalten wie folgt:

Zuordnung Behandler:

1	Professor Dr. Richmond
2	Goldstandardvermesser
3	Kieferorthopäden
4	Studenten
5	Assistenten

Zuordnung Modellart:

1	Gips
2	Kunststoff
3	Onyx
4	OrthoAnalyzer
5	Originalmodell

Beachtet werden muss, dass in der Gruppe der Goldstandardvermesser nicht jeder Vermesser alle Unterpunkte des PAR-Indexes angegeben hat. Bei diesen Bögen waren lediglich die Gesamtpunktzahlen notiert. Aus diesem Grund sind die fehlenden Angaben auch in der Datentabelle nicht vermerkt.

Behandler	Modellart	Kontaktpunktabweichung										linke und rechte bukkale Okklusion				Overjet	Anteriorer Kreuzbiss		Overbite			Mittellinie				PAR-INDEX
		Oberkiefer					Unterkiefer					sagittal		vertikal			transversal		offener Biss	tiefer Biss		Überstimmung	Abweichung ≤ 1/4 Breite	Abweichung 1/4 - 1/2 Breite	Abweichung > 1/2 Breite	
		13-12	12-11	11-21	21-22	22-23	23-32	32-31	31-41	41-42	42-43	Inter Okklusion	1/2 PM-Breite	1/2 PA-Breite	Inter offener Biss		Inter offener Biss	Kein Offener Biss		1/3 Überdeckung	1/3 - 2/3 Überdeckung					
3	1	4,5	3,5	4,7	0,9	7,5	1,1	6,4	1,0	1,3	1,0	16	R	L	LR	LR	3	2,9	X	X	X	1	X	X	0	45
5	3	5,2	3,3	5,4	2,9	6,3	2,4	1,1	0,6	1,2	1,7	18	R	L	LR	LR	3	3,3	X	X	X	1	X	X	0	53
3	4	5,2	4,8	4,8	2,5	7,5	2,1	1,9	0,5	5,0	3,8	21	LR	LR	LR	LR	3	4,0	X	X	X	1	X	X	0	57
4	2	4,0	3,4	5,3	1,7	9,1	1,3	1,4	0,9	4,9	1,8	18	LR	LR	LR	LR	3	4,0	X	X	X	1	X	X	0	52
3	4	4,0	2,6	4,9	1,2	7,8	1,7	4,8	0,4	1,4	1,0	16	LR	LR	LR	LR	2	4,5	X	X	X	1	X	X	0	52
4	4	4,1	2,4	4,8	1,4	7,6	1,7	4,3	0,5	1,3	1,1	18	LR	LR	LR	LR	2	4,3	X	X	X	1	X	X	0	52
4	2	5,0	3,2	5,0	1,6	8,5	1,6	1,0	1,0	5,0	1,5	18	R	L	LR	LR	3	3,5	X	X	X	1	X	X	0	53
3	4	4,1	2,9	3,6	1,2	7,1	1,2	1,3	0,9	0,4	1,4	14	R	L	LR	LR	1	2,9	X	X	X	1	X	X	0	39
5	3	4,8	2,8	5,3	1,7	7,5	1,2	1,5	1,3	5,0	2,0	19	R	L	LR	LR	2	2,0	X	X	X	1	X	X	0	49
3	3	3,0	1,5	2,0	1,0	2,5	0,5	1,5	0,5	5,0	2,0	10	R	L	LR	LR	3	1,5	X	X	X	1	X	X	0	41
4	3	4,7	2,8	4,8	1,4	7,8	1,2	1,8	0,7	5,0	2,2	19	R	L	LR	LR	3	3,5	X	X	X	1	X	X	0	54
4	1	4,3	2,4	3,2	1,1	4,7	1,9	4,2	0,4	1,1	1,5	17	R	L	LR	LR	1	4,4	X	X	X	1	X	X	0	50
4	1	5,0	4,0	4,2	2,0	7,5	2,0	4,5	1,0	2,0	1,5	18	R	L	LR	LR	4	4,0	X	X	X	1	X	X	0	54
4	2	4,9	3,7	5,2	1,0	6,8	0,9	0,9	0,3	4,3	1,4	15	R	L	LR	LR	3	3,7	X	X	X	1	X	X	0	52
3	3	3,1	1,3	1,9	0,9	4,4	0,6	1,0	0,7	3,2	1,5	10	R	L	LR	LR	3	2,9	X	X	X	1	X	X	0	41
5	3	4,1	3,0	5,4	2,2	7,3	1,3	1,6	0,8	4,9	0,7	18	LR	LR	LR	LR	2	3,8	X	X	X	1	X	X	0	41
4	4	5,1	3,5	5,2	2,2	7,9	2,0	4,7	0,7	1,5	1,0	18	R	L	LR	LR	2	3,8	X	X	X	1	X	X	0	52
4	3	5,3	3,7	5,4	2,2	8,8	3,0	4,8	0,9	1,1	1,3	21	R	L	LR	LR	3	2,6	X	X	X	1	X	X	0	52
4	2	5,5	3,5	4,7	0,7	7,5	1,0	1,3	0,8	4,7	0,9	15	R	L	LR	LR	3	2,0	X	X	X	1	X	X	0	44
5	1	5,0	3,0	4,0	1,0	6,0	1,0	1,0	0,5	2,5	1,0	12	LR	LR	LR	LR	2	3,7	X	X	X	1	X	X	0	44
4	2	5,0	3,5	5,0	1,5	7,0	1,5	1,5	1,0	4,0	2,0	17	L	R	LR	LR	3	0,5	X	X	X	1	X	X	0	44
4	4	6,1	2,5	4,1	1,0	7,9	1,6	1,3	0,6	4,7	1,0	16	R	L	LR	LR	2	2,9	X	X	X	1	X	X	0	52
3	1	2,0	1,0	2,0	0,5	2,5	0,8	1,0	0,5	1,3	1,0	5	LR	LR	LR	LR	2	2,0	X	X	X	1	X	X	0	33
4	1	6,5	3,0	5,0	2,0	10,0	1,0	2,0	1,0	5,0	2,0	17	L	R	LR	LR	1	0,5	X	X	X	1	X	X	0	44
4	2	4,5	2,9	4,6	0,8	8,0	1,4	1,1	0,6	4,5	1,0	16	R	L	LR	LR	3	2,0	X	X	X	1	X	X	0	45
4	4	3,9	2,7	3,8	1,3	7,3	1,0	1,3	0,9	2,4	1,3	14	R	L	LR	LR	3	3,0	X	X	X	1	X	X	0	41
4	3	4,9	3,1	4,3	1,8	7,4	0,9	1,6	0,9	4,5	0,9	16	R	L	LR	LR	3	0,9	X	X	X	1	X	X	0	43
4	1	4,0	3,0	3,9	0,9	4,0	1,0	1,7	0,5	3,8	1,7	12	LR	LR	LR	LR	2	2,7	X	X	X	1	X	X	0	42
4	3	5,0	3,3	5,0	1,8	8,2	1,5	1,4	0,8	5,1	1,4	19	R	L	LR	LR	4	4,2	X	X	X	1	X	X	0	55
4	1	4,9	2,3	4,6	1,3	7,7	0,7	1,1	0,4	4,4	1,4	17	R	L	LR	LR	3	5,6	X	X	X	1	X	X	0	58
2	4	2,2	5,9	1,2	8,2	1,0	0,9	1,0	4,5	4,5	1,0	13	R	L	LR	LR	3	2,8	X	X	X	1	X	X	0	45
3	3	5,1	3,4	4,6	2,1	7,1	1,1	1,9	0,9	0,6	1,3	16	L	R	LR	LR	2	2,7	X	X	X	1	X	X	0	44
4	1	5,1	3,0	4,9	2,0	6,6	1,2	1,5	1,0	4,3	2,0	18	L	R	LR	LR	1	4,0	X	X	X	1	X	X	0	51
4	2	5,0	3,5	5,0	2,0	8,0	1,5	0,5	0,5	1,0	1,0	16	LR	LR	LR	LR	2	3,0	X	X	X	1	X	X	0	44
4	5	5,1	3,8	4,9	2,8	2,1	3,1	0,9	1,5	1,5	1,7	17	LR	LR	LR	LR	3	2,8	X	X	X	1	X	X	0	45
3	3	3,0	2,0	3,5	0,5	5,5	1,0	0,5	3,5	0,5	1,0	10	L	R	LR	LR	3	2,5	X	X	X	1	X	X	0	41
3	4	3,4	2,3	3,9	1,5	3,3	2,1	1,8	0,7	0,9	1,4	13	R	L	LR	LR	4	2,1	X	X	X	1	X	X	0	41
4	1	5,3	3,6	4,7	0,7	7,4	1,0	1,1	0,5	4,8	1,0	15	LR	LR	LR	LR	2	2,0	X	X	X	1	X	X	0	43
3	2	2,0	1,0	2,0	0,5	3,0	1,0	1,5	0,3	1,5	1,0	6	R	L	LR	LR	2	2,5	X	X	X	1	X	X	0	34
4	4	3,6	2,1	4,1	1,4	6,9	2,1	1,4	0,7	1,1	0,9	15	R	L	LR	LR	3	2,8	X	X	X	1	X	X	0	45
3	5	4,3	4,3	5,4	2,3	8,3	2,2	1,8	1,2	5,5	2,1	24	LR	LR	LR	LR	2	2,5	X	X	X	1	X	X	0	52
5	3	5,2	4,4	5,1	2,5	7,2	2,3	1,3	1,7	5,8	2,4	23	R	L	LR	LR	4	2,8	X	X	X	1	X	X	0	52
4	3	4,7	3,1	5,4	1,5	5,3	2,1	1,6	1,2	4,2	0,7	19	R	L	LR	LR	3	3,4	X	X	X	1	X	X	0	46
4	1	3,5	3,0	5,0	1,0	5,5	2,5	1,0	1,0	2,0	1,0	13	LR	LR	LR	LR	0	3,9	X	X	X	1	X	X	0	53
4	4	5,1	4,0	5,5	1,0	8,0	1,0	1,7	0,8	5,2	1,0	18	LR	LR	LR	LR	2	2,8	X	X	X	1	X	X	0	43
4	2	5,0	4,0	5,0	1,5	9,0	1,5	2,0	1,0	5,0	1,0	18	R	L	LR	LR	3	3,0	X	X	X	1	X	X	0	47
3	3	3,7	3,4	4,8	1,4	8,3	1,3	1,7	0,9	2,3	1,4	17	R	L	LR	LR	2	4,6	X	X	X	1	X	X	0	45
5	2	4,1	3,6	4,0	1,3	7,4	1,2	1,9	0,7	2,1	1,3	16	LR	LR	LR	LR	2	2,1	X	X	X	1	X	X	0	44
4	4	3,6	2,2	5,1	1,8	3,6	2,0	1,2	0,8	2,7	1,1	15	R	L	LR	LR	3	2,5	X	X	X	1	X	X	0	45
3	3	5,3	3,4	4,5	2,0	8,0	1,5	1,3	1,1	5,5	2,3	20	LR	LR	LR	LR	2	3,1	X	X	X	1	X	X	0	54
4	5	4,2	3,6	4,5	2,2	7,9	1,7	1,3	0,8	5,9	2,7	20	LR	LR	LR	LR	2	3,7	X	X	X	1	X	X	0	54
4	3	5,5	3,1	4,9	1,9	8,4	1,4	1,5	1,0	5,4	2,1	20	R	L	LR	LR	3	3,9	X	X	X	1	X	X	0	55
5	1	3,0	1,0	3,0	1,0	4,0	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	8	LR	LR	LR	LR	2	2,1	X	X	X	1	X	X	0	36
4	1	5,0	3,1	1,4	8,3	1,1	1,5	2,4	1,1	1,4	1,4	18	R	L	LR	LR	3	2,8	X	X	X	1	X	X	0	47
4	1	5,0	4,0	5,0	2,0	9,0	2,0	5,0	0,5	0,5	1,0	17	LR	LR	LR	LR	2	3,0	X	X	X	1	X	X	0	43
5	4																									

11 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Anika Hannebauer, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: **„Vergleichende Untersuchungen zur Erhebung des PAR-Index anhand analoger Gips- und Kunststoffmodelle, sowie digitaler Modelle in OnyxCeph und OrthoAnalyzer“** beziehungsweise **„A comparison of the PAR Index based on analog plaster and plastic models respectively, as well as digital models in OnyxCeph and OrthoAnalyzer respectively“** selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.

Datum

Unterschrift

12 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

13 Danksagung

Diese Arbeit entstand von Oktober 2018 bis Mai 2020 unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. med. dent. Axel Bumann, Leiter der 3D DENTAL-RADIOLOGIE MESANTIS Berlin und in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Zahn-, Mund- & Kieferheilkunde der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin. Ich möchte allen danken, die mich in dieser Zeit unterstützt haben und mir mit Rat und Tat zur Seite standen. Im Besonderen möchte ich mich bei den folgenden Personen persönlich bedanken:

Herr Professor Dr. med. dent. Axel Bumann für das Vertrauen bei der Überlassung des Themas, für die kontinuierliche, freundliche Betreuung und die hilfreiche, konstruktive Unterstützung während des gesamten Erschaffungsprozesses.

Allen Studienteilnehmern und vorrangig Dr. Theodosia Bartzela, Prof. Dr. Stephen Richmond, DDr. Silvia M. Silli, DDr. Michael Angerer und seinen Mitarbeitern, Dr. Martin Brock, Dr. Karl Reck, Prof. Dr. Rainer-Reginald Miethke und Prof. Dr. Paul-G. Jost-Brinkmann gilt mein Dank für die Vermessung des Goldstandardmodells. Ich möchte mich an dieser Stelle noch einmal besonders bei Dr. Theodosia Bartzela bedanken, die mir mit ihrer hilfsbereiten Art sehr zur Seite stand.

Dem Team der 3D DENTAL RADIOLOGIE MESANTIS Berlin und insbesondere dem Mitarbeiter Christoph Burmeister für die Einweisung in die Geräte und Software und für die Hilfe bei der Erstellung der Studienmodelle gilt mein Dank.

Meinem Zweitbetreuer Professor Dr. Florian Beuer sowie den Mitarbeitern der Abteilung für Kieferorthopädie der Charité Berlin danke ich für die Unterstützung und die Möglichkeit der Studiendurchführung in ihren Räumlichkeiten.

Den Mitarbeitern von AMENTICS und insbesondere Woo-Ttum Bittner und Dr. Ralf Müller-Hartwich sowie Professor Dr. Dr. Ralf Radlanski für die Modellvermessungen und die Akquirierung von neuen Studienteilnehmern.

Herrn Kühnert und den Mitarbeitern von OnyxCeph® danke ich für die Erstellung des Patches sowie die Einweisung in die Software.

Ein ganz besonderer Dank gilt Dr. Christian Wesemann für die Unterstützung bei der Erarbeitung des Studiendesigns, für die Ratschläge während der Studiendurchführung, für die Hilfe bei der statistischen Datenauswertung sowie die unzähligen motivierenden Gespräche.

Meinen Freunden Dr. Ufuk Adali, Franz Büchner, Anna Voronenko, Falk Fischer und Theresa Schürer danke ich für die Unterstützung bei der Korrektur und die vielen aufmunternden Worte ohne die es oftmals schwer geworden wäre, neue Antriebskraft zu finden.

Zu guter Letzt danke ich meiner Familie, vor allem meinen Eltern Petra und Dr. Bernd Püstow und meinem geliebten Mann Ronald Hannebauer für die viele Geduld, die moralische Unterstützung während meiner gesamten beruflichen Laufbahn und dafür, dass sie mich stets zu motivieren wussten.

14 Bescheinigung Statistik



CharitéCentrum für Human- und Gesundheitswissenschaften

Charité | Campus Charité Mitte | 10117 Berlin

Name, Vorname: Hannebauer, Anika (geb. Püstow)

Emailadresse: anika.hannebauer@charite.de

Matrikelnummer: 218978

PromotionsbetreuerIn: Prof. Dr. Axel Bumann

Promotionsinstitution/ Klinik: CC03 Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie mit Arbeitsbereich Oralmedizin, zahnärztliche Röntgenologie und Chirurgie

Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBikE)

Direktor: Prof. Dr. Geraldine Rauch

Postanschrift:
Charitéplatz 1 | 10117 Berlin
Besucheranschrift:
Reinhardtstr. 58 | 10117 Berlin

Tel. +49 (0)30 450 562171
geraldine.rauch@charite.de
<https://biometrie.charite.de/>



Bescheinigung

Hiermit bescheinige ich, dass Frau Anika Hannebauer innerhalb der Service Unit Biometrie des Instituts für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBikE) bei mir eine statistische Beratung zu einem Promotionsvorhaben wahrgenommen hat. Folgender Beratungstermin wurden wahrgenommen:

- Termin 1: 13.09.2019

Folgende wesentliche Ratschläge hinsichtlich einer sinnvolle Auswertung und Interpretation der Daten wurden während der Beratung erteilt:

- Ggf. Boxplots zur graphischen Visualisierung verwenden
- Interpretation des Intraklassenkorrelationskoeffizienten

Diese Bescheinigung garantiert nicht die richtige Umsetzung der in der Beratung gemachten Vorschläge, die korrekte Durchführung der empfohlenen statistischen Verfahren und die richtige Darstellung und Interpretation der Ergebnisse. Die Verantwortung hierfür obliegt allein dem Promovierenden. Das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie übernimmt hierfür keine Haftung.

Datum: 13.09.2019 Name der Beraterin: Carolin Herrmann



UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN
Institut für Biometrie und
Klinische Epidemiologie
Campus Charité Mitte
Charitéplatz 1 | D-10117 Berlin
Sitz: Reinhardtstr. 58

Unterschrift BeraterIn, Institutsstempel