

Aus dem Charité-Centrum 3 für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde,  
Abt. für Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Untersuchung der Behandlungsqualität von Kieferorthopäden mit  
unterschiedlicher Berufserfahrung bei einer Behandlung mit dem  
Invisalign®-System**

**Examination of the treatment quality of orthodontists with different  
work experience in treatments with the Invisalign® System**

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Woo-Ttum Bittner

Datum der Promotion: 03.03.2023

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Inhaltsverzeichnis .....</b>                                       | <b>I</b>  |
| <b>Tabellenverzeichnis.....</b>                                       | <b>IV</b> |
| <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>                                    | <b>V</b>  |
| <b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>                                    | <b>IV</b> |
| <b>1 Zusammenfassung.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Abstract - Deutsch.....   | 1         |
| 1.2 Abstract - English .....  | 2         |
| <b>2 Einleitung .....</b>   | <b>3</b>  |
| 2.1 Neue Behandlungsmethoden .....                                    | 3         |
| 2.2 Behandlungsqualität.....  | 4         |
| 2.3 Das Donabedian-Modell zur Bestimmung der Behandlungsqualität..... | 6         |
| 2.3.1 Struktur - Einfluss der (Praxis-)Struktur.....                  | 7         |
| 2.3.2 Prozesse I - Einfluss der Erfahrung des Behandlers.....         | 8         |
| 2.3.3 Prozesse II - Einfluss des Behandlungsprozesses.....            | 9         |
| 2.3.4 Prozesse III - Einfluss der Behandlungsmethode.....             | 10        |
| 2.3.5 Ergebnis - Ermittlung des Behandlungsergebnisses.....           | 11        |
| 2.4 Behandlungsqualität in der Kieferorthopädie?.....                 | 15        |
| 2.5 Fragestellung:.....   | 16        |
| <b>3 Material und Methode: .....</b>                                  | <b>17</b> |
| 3.1 Material .....  | 17        |
| 3.1.1 Praxis und Behandlungsprozesse.....                             | 17        |
| 3.1.2 Behandlungsgeräte .....   | 18        |
| 3.1.3 Behandler.....  | 18        |
| 3.1.4 Patienten .....   | 18        |
| 3.1.5 Modelle.....  | 19        |
| 3.1.6 Scanner und Vermessungssoftware .....                           | 20        |

---

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.2      | Methode .....   | 21        |
| 3.2.1    | Das Behandlungsprotokoll für Invisalign bei ADENTICS .....    | 21        |
| 3.2.2    | Patienteninstruktionen.....                                   | 21        |
| 3.2.3    | Messverfahren .....   | 22        |
| 3.2.4    | Untersuchungszeiträume und Gruppengrößen .....                | 23        |
| 3.2.5    | Ermittlung der Ergebnisqualität .....                         | 24        |
| 3.2.6    | Ermittlung der Prozessqualität .....                          | 25        |
| 3.2.7    | Statistische Analyse .....                                    | 25        |
| <b>4</b> | <b>Ergebnisse:</b> .....                                      | <b>27</b> |
| 4.1      | Deskriptive Statistik .....                                   | 27        |
| 4.2      | Überprüfung der Testvoraussetzungen .....                     | 28        |
| 4.3      | PAR-Index der Anfangsmodelle ungewichtet und gewichtet .....  | 31        |
| 4.4      | PAR-Index der Endmodelle ungewichtet und gewichtet .....      | 33        |
| 4.5      | PAR-Indexverbesserung ungewichtet und gewichtet .....         | 34        |
| 4.6      | Little-Index der Anfangsmodelle im Ober- und Unterkiefer..... | 36        |
| 4.7      | Little-Index der Endmodelle im Ober- und Unterkiefer .....    | 37        |
| 4.8      | Little-Index-Verbesserung im Ober- und Unterkiefer .....      | 39        |
| 4.9      | Behandlungsdauer .....  | 40        |
| 4.10     | Anzahl der Schienensätze.....                                 | 41        |
| 4.11     | Anzahl der Termine und Notfalltermine .....                   | 43        |
| <b>5</b> | <b>Diskussion:</b> .....                                      | <b>45</b> |
| 5.1      | Material .....  | 46        |
| 5.1.1    | Fehleranalyse.....  | 46        |
| 5.1.2    | Behandlungsgeräte .....                                       | 46        |
| 5.1.3    | Behandler.....  | 47        |
| 5.1.4    | Patienten .....   | 47        |
| 5.1.5    | Scanner, Drucker, Modelle.....                                | 48        |
| 5.1.6    | Vermessungssoftware.....                                      | 49        |

---

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 5.2       | Methode .....  | 50        |
| 5.2.1     | Das Behandlungsprotokoll für Invisalign bei ADENTICS .....         | 50        |
| 5.2.2     | Patienteninstruktionen.....  | 51        |
| 5.2.3     | Messverfahren .....  | 51        |
| 5.2.4     | Untersuchungszeitraum und Gruppengröße .....                       | 51        |
| 5.2.5     | Ergebnisqualität .....   | 52        |
| 5.2.6     | Prozessqualität.....   | 54        |
| <b>6</b>  | <b>Schlussfolgerung, klinische Konsequenzen und Ausblick .....</b> | <b>57</b> |
| <b>7</b>  | <b>Literaturverzeichnis: .....</b>                                 | <b>60</b> |
| <b>8</b>  | <b>Eidesstattliche Versicherung .....</b>                          | <b>72</b> |
| <b>9</b>  | <b>Lebenslauf .....</b>  | <b>73</b> |
| <b>10</b> | <b>Danksagung.....</b>   | <b>74</b> |
| <b>11</b> | <b>Bescheinigung Statistik.....</b>                                | <b>75</b> |

## Tabellenverzeichnis

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabelle 1: | Deskriptive Statistik der evaluierten Parameter: AM: Anfangsmodelle, SM: Schlussmodelle, N: Anzahl, Min: Minimum, Max: Maximum, MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung. .... | 27 |
| Tabelle 2: | P-Werte der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit den Variablen „Behandlungsbeginn“ und „Behandler“ sowie deren Interaktionseffekt. ....                                       | 29 |
| Tabelle 3: | Retest-Reliabilität .....  | 51 |
| Tabelle 4: | Unterteilung der Patientengruppe auf drei Zeiträume T1, T2 und T3 .....  | 52 |

## Abbildungsverzeichnis

|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Abbildung 1:  | Übersicht über die gängigsten Indizes in der Kieferorthopädie und ihre wichtigsten Inauguratoren. ....   | 12 |
| Abbildung 2:  | Vorder-, Seiten- sowie Aufsichten eines digitalen Endmodells nach Speicherung in der Onyx Software.....  | 20 |
| Abbildung 3:  | Für die automatisierte Vermessung platzierte Richtungspfeile zur automatisierte Ermittlung der mesiodistalen Kronendurchmesser in der CS Model+ Software. .... | 23 |
| Abbildung 4:  | Verschiedene Gewichtung des PAR-Index, UK (britische Gewichtung), US (amerikanische Gewichtung).....   | 24 |
| Abbildung 5:  | Darstellung des ungewichteten PAR-Index der Anfangsmodelle in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. ....                   | 32 |
| Abbildung 6:  | Darstellung des gewichteten PAR-Index der Anfangsmodelle in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. ....                     | 32 |
| Abbildung 7:  | Darstellung des ungewichteten PAR-Index der Schlussmodelle in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. ....                   | 33 |
| Abbildung 8:  | Darstellung des gewichteten PAR-Index der Schlussmodelle in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. ....                     | 34 |
| Abbildung 9:  | Darstellung der ungewichteten PAR-Indexverbesserung der Modelle in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.....               | 35 |
| Abbildung 10: | Darstellung der gewichteten PAR-Indexverbesserung der Modelle in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. ....                | 35 |
| Abbildung 11: | Darstellung des Little-Index der Anfangsmodelle im Oberkiefer in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. ....                | 36 |

---

|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Abbildung 12: | Darstellung des Little-Index der Anfangsmodelle im Unterkiefer in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. .... | 37 |
| Abbildung 13: | Darstellung des Little-Index der Schlussmodelle im Oberkiefer in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. ....  | 38 |
| Abbildung 14: | Darstellung des Little-Index der Schlussmodelle im Unterkiefer in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. .... | 38 |
| Abbildung 15: | Darstellung des Little-Index der Schlussmodelle im Oberkiefer in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. ....  | 38 |
| Abbildung 16: | Darstellung der Little-Indexverbesserung im Unterkiefer in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. ....        | 40 |
| Abbildung 17: | Darstellung der Behandlungsdauer in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. ....                               | 41 |
| Abbildung 18: | Darstellung der Anzahl der verwendeten Schienensätze in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. ....           | 42 |
| Abbildung 19: | Darstellung der Anzahl der benötigten Behandlungstermine in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. ....       | 44 |
| Abbildung 20: | Darstellung der Anzahl der SOS-Termine in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot. ....                         | 44 |
| Abbildung 21: | Beispiel für einen Engstand, der eine manuelle Nachmessung erforderlich machte. ....   | 50 |
| Abbildung 22: | Beispiel für die Korrektur eines extremen Engstandes im Unterkiefer aus der Untersuchungsgruppe T3. ....   | 56 |
| Abbildung 23: | Die Ebbinghaus´sche Lernkurve mit den von Dreyfus und Dreyfus definierten fünf Stadien. ....   | 58 |

## Abkürzungsverzeichnis

|              |  |
|--------------|--|
| ABO          | American Board of Orthodontics                               |
| ABO-DI       | American Board of Orthodontics Discrepancy Index             |
| ABO-OGS      | American Board of Orthodontics Objective Grading System      |
| AM           | Anfangsmodelle   |
| B2C          | Business to Customer   |
| CA           | Clear Aligner  |
| ClinCheck    | Behandlungssimulation einer Invisalignbehandlung             |
| DAI          | Dental Aesthetic Index                                       |
| IDS          | Invisalign Doctor Site                                       |
| IOTN         | Index of Orthodontic Treatment Need                          |
| KFO          | Kieferorthopädie   |
| LII          | Little's Irregularity Index                                  |
| OK           | Oberkiefer   |
| PAR-Index    | Peer Assessment Rating Index                                 |
| Praxis Mitte | Adentics Praxisstandort Leipziger Platz                      |
| PSA          | Panoramaschichtaufnahme                                      |
| QM           | Qualitätsmanagement  |
| Q-Q-Plot     | Quantil-Quantil-Diagramm                                     |
| Review       | Überarbeitung eines ClinChecks bis zum Bestellen der Aligner |
| SM           | Schlussmodelle   |
| STL          | Surface Tessellation Language                                |
| UK           | Unterkiefer  |
| WHO          | World Health Organization                                    |



# 1 Zusammenfassung

## 1.1 Deutsch

**Zielsetzung:** Das Ziel dieser Studie war es zu ermitteln, ob Kieferorthopäden mit unterschiedlich langer Berufserfahrung in derselben Praxis mit den gleichen Behandlungsprotokollen die gleiche Behandlungsqualität bei der Behandlung mit dem Invisalign-System erbringen. Zum Vergleich wurden die Anfangs- und Endmodelle der Behandlungen vermessen und der durchschnittliche Peer Assessment Rating Index (PAR-Index) als auch der Little Irregularity Index (LII) ermittelt und die Ergebnisse verglichen. Weiterhin wurden die Behandlungsdauer, die benötigte Anzahl der Behandlungstermine, die Notfalltermine sowie die Anzahl der Schienensätze erfasst.

**Material und Methode:** Nach strengen Selektionskriterien wurden 81 Behandlungen von erwachsenen Patienten ausgewählt, die ausschließlich mit dem Produkt Invisalign Full / Comprehensive behandelt worden waren. Die digitalen Anfangs- und Endmodelle wurden 3D-gedruckt, mit einem CS 3600 Intraoralscanner eingescannt und in die Vermessungssoftware CS Model+ eingelesen. In der Software wurden die Modelle semi-automatisch vermessen und die beiden Indizes ermittelt. Dann wurden die Behandlungen entsprechend ihres Beginns in drei Zeiträume T0, T1 und T2 unterteilt, die den entsprechenden Erfahrungshorizonten der Behandler entsprachen, diese Daten wurden entsprechend statistisch miteinander verglichen.

**Ergebnisse:** Die Behandlungsergebnisse waren sowohl über die betrachteten Zeiträume als auch zwischen den Behandlern gleich. Es gab ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in der Behandlungsdauer, in der Anzahl der Behandlungstermine, der Notfalltermine und der Schienensätze.

**Schlussfolgerung:** Bei Vorliegen einer guten Strukturqualität (Praxis) und Prozessqualität (Behandlungsprotokolle) erbringen Kieferorthopäden mit gleicher fachzahnärztlicher Ausbildung aber unterschiedlicher Berufserfahrung eine gleich gute Behandlungsqualität (Behandlungsergebnisse).

## 1.2 English

**Objective:** The aim of this study was to determine, if orthodontists with differently long professional experience who work in the same clinic with the same treatment protocols could provide the same treatment quality with the Invisalign-System. To compare their results, all initial and final study models were analyzed to assess the average Peer Assessment Rating Index (PAR-Index) and Little´s Irregularity Index (LII). Furthermore, the treatment durations, the amount of regular appointments, of emergency appointments, and the amount of aligner sets were recorded.

**Methods:** After a strict selection protocol, 81 treatments of adult patients, who underwent exclusively a treatment with the product Invisalign Full/Comprehensive were included in this study. The initial and final models were 3D-printed, scanned with a CS 3600 intraoral scanner, and transferred into the CS Model+ measuring software. With this software all models were semiautomatically evaluated, and the two indices were determined. According to their treatment start all treatments were divided into three time periods T0, T1 and T2 at which all specialists had a different experience level. The entire data were statistically compared.

**Results:** The treatment results were the same between the different periods and the different operators. Also, there were no significant differences in treatment durations, amount of treatment appointments, emergency appointments, and the amount of aligner sets.

**Conclusion:** In case of an accordingly good structure (clinic) and process (treatment protocols) orthodontists with the same level of postgraduate training but different levels of work experience can provide the same good treatment quality (treatment results).

## 2 Einleitung

### 2.1 Neue Behandlungsmethoden

Wie allgemein in der Medizin sucht man auch in der Kieferorthopädie besonders nach besseren Behandlungsmethoden für gewebeschonende und möglichst wenig sichtbare Zahnstellungskorrekturen. Nach den Erfahrungen in der Praxis des Autors, sowie nach aktuellem Stand der Literatur sind Clear Aligner (CA) derzeit Behandlungsmittel, die viele Vorteile gegenüber anderen herkömmlichen Therapiemöglichkeiten hinsichtlich Tragekomfort, Ästhetik und Mundhygiene (15, 20, 45, 58, 73, 75, 76) haben, jedoch auch Nachteile durch Limitationen in der Biomechanik (60, 61, 84) und in der Wirksamkeit, die sehr abhängig von der Compliance des Patienten ist. Da die Mehrheit der erwachsenen Patienten herkömmliche kieferorthopädische Apparaturen unattraktiv und für sich nicht akzeptabel finden interessieren sich dennoch immer mehr Patienten für CA und sie sind sogar bereit, dafür entsprechende Kosten auf sich zu nehmen (85).

Beim Invisalign-System werden Zähne mit einer Serie von CA in ihre gewünschte Position bewegt. Dabei wird die Ausgangszahnstellung abgeformt (konventionell oder digital), um schlussendlich ein digitales Modell zu erstellen. Auf diesem werden ausgewählte Zähne in genau vordefinierten Schritten verschoben. Für jeden Einzelschritt wird dann eine transparente Kunststoffschiene hergestellt.

Obwohl die Bewegung von Zähnen mittels elastischer Positioner schon seit Mitte der 1950iger Jahre bekannt ist (62), wurde diese Behandlungstechnik durch das Unternehmen Align Technology (USA) mit ihrem Produkt Invisalign seit Ende des letzten Jahrhunderts international bei Kieferorthopäden in großem Stil verbreitet. Align Technology patentierte das softwarebasierte Schienendesign und die softwarebasierte Schienenherstellung (CAD/CAM). Über eine beim Anwender installierte Software können die CAD/CAM Produktionsstätten alle Aufträge von Kieferorthopäden weltweit erledigen. Align Technology ist inzwischen Weltmarktführer im Bereich von Clear Alignern mit über zehn Millionen bereits behandelten Patienten (<https://www.align-tech.com/newsroom>).

Nach Ablauf der Patente von Invisalign im Jahr 2012 entwickelten viele Firmen eigene CAD/CAM-basierte Aligner-Systeme. Beschleunigt durch den Kampf um Marktanteile

steigerte sich die Aktivität im CA-Marketing, was zu einem wachsenden Interesse gerade bei erwachsenen Patienten führte.

Inzwischen gibt es sogar gewerbliche zahntechnische Labore, die diese Schienen anbieten (Business to Business Marketing: B2B). Hinzu kommen Praxen, die CA für Ihre Patienten im Eigenlabor herstellen (Business to Customer Marketing: B2C). Schließlich existieren Firmen ohne direkten zahnärztlichen oder gar kieferorthopädischen Hintergrund, die eine CA-Therapie ihren Kunden (Patienten) direkt anbieten (Direct to Customer Marketing: D2C).

An dieser Stelle kommt ethisch die Frage auf, ob das Behandeln mit CA nicht in die Hände eines Fachzahnarztes oder wenigstens eines weitergebildeten Zahnarztes gehört, da CA Veränderungen im stomatognathen System eines Patienten bewirken und daher nach Auffassung dieses Autors eine medizinische Betreuung erfordern. Von ihrer Ausbildung her sind Fachzahnärzte für Kieferorthopädie diejenigen, die dafür am besten qualifiziert ist, da sie sowohl ein Zahnmedizinstudium und in Europa anschließend eine mindestens dreijährige universitätsbegleitete Spezialisierung für Kieferorthopädie mit abschließender Fachprüfung absolviert haben.

Da die CA-Therapie aber als relativ neue Behandlungsmethode an Universitätskliniken nur sehr wenig Raum in der Ausbildung zum Fachzahnarzt findet, ist es erforderlich herauszufinden, ob die Dauer der Berufstätigkeit nach Ablegen der Fachzahnarztanerkennung und die Erfahrung mit dem jeweils verwendeten CA-System mit der Ergebnisqualität korreliert.

In einer späteren Untersuchung könnte hierauf aufbauend untersucht werden, ob es Unterschiede in der CA-Behandlung zwischen (spezialisierten) Kieferorthopäden und (nicht spezialisierten) Zahnärzten gibt. Vorerst aber sollte hier ermittelt werden, welche Rolle die generelle Berufserfahrung eines Kieferorthopäden spielt, und ob die zunehmende Erfahrung mit einem CA-System zu einem effizienteren Behandeln und zu einer besseren Behandlungsqualität führt.

## **2.2 Behandlungsqualität**

Behandlungsqualität zu messen ist eine komplexe Anforderung, da die Kriterien zur Definition von Qualität in der Kieferorthopädie noch nicht international einheitlich definiert wurden. So gibt es Indizes, die die Zahnstellung nach einer kieferorthopädischen

Behandlung bewerten (6, 10, 12, 68, 69, 78, 81, 82) und es gibt patientenorientierte Untersuchungen, die die Verbesserung der Lebensqualität durch eine kieferorthopädische Therapie untersuchten (42, 45, 49, 63, 66, 96).

Nach der internationalen Norm für Qualitätsmanagement (DIN EN ISO 9000:2015-11) ist Qualität definiert als „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt“ (33).

Versucht man nun, diese „inhärenten Merkmale“ von Qualität zu beschreiben, wird man bei Garvin fündig, der insgesamt acht Bewertungskriterien für Qualität definiert, die sich primär auf die Produktqualität eines industriellen Prozesses beziehen (46). Würde man das Modell von Gavin auf die Kieferorthopädie übertragen, ergäben sich nach Interpretation dieses Autors folgende Qualitätskriterien:

1. „Performance“: Funktion des stomatognathen Systems nach erfolgter Behandlung.
2. „Features“: Behandlungsservice, Behandlungskomfort.
3. „Reliability“: Zuverlässigkeit des Erreichens des Behandlungsergebnisses.
4. „Durability“: Stabilität des Behandlungsergebnisses.
5. „Conformance“: Einhalten von Behandlungsstandards, die in Fachkreisen allgemein akzeptiert sind.
6. „Serviceability“: Behandlungsaufwand und Aufwand der Nachkontrolle.
7. „Aesthetics“: Ästhetik des Behandlungsergebnisses (und der Behandlungsausrüstung).
8. „Perceived Quality“: wahrgenommene Behandlungsqualität durch Patient und Behandler.

Doch so sehr die oben genannten Punkte einzeln betrachtet sinnvoll für die Kieferorthopädie sind, so unvollständig sind sie für das Ermitteln von Behandlungsqualität im Kontext des deutschen Gesundheitssystems, da hier viele weitere Faktoren wie Verfügbarkeit von Behandlungseinrichtungen, Erfahrung des Personals, Behandlungskosten und Art des Behandlungsmittels zusätzlich eine Rolle spielen.

## 2.3 Das Donabedian-Modell zur Bestimmung der Behandlungsqualität

Das Bestimmen von Behandlungsqualität in der Medizin oder im Gesundheitswesen allgemein ist, wie oben geschildert, ein komplexes Unterfangen. 1988 hat Donabedian einen Artikel veröffentlicht (35), der bis heute weltweit die entscheidende Grundlage für Qualitätsermittlungen im Gesundheitswesen ist.

Das Qualitätsmodell nach Donabedian beschreibt drei Gruppen, die alle in Abhängigkeit zu einander stehen:

1. **„Structure“**, die Struktur, umfasst die zur Behandlung notwendigen materiellen Voraussetzungen (bauliche Einrichtung, technische Ausrüstung und Arbeitsmittel/Finanzen), die personelle Ausstattung (Anzahl und Qualifikation des Personals) und die Organisationsstruktur (Organisation des medizinischen Personals im Sinne von Einteilung und Verfügbarkeit, Verfügbarkeit von ärztlichen Konsilien/Studiengruppen, Art der Vergütung), auf die der Leistungserbringer Zugriff hat.
2. **„Process“**, der Prozess, beschreibt die Art der Behandlung aus Sicht des Arztes (Diagnose, Behandlungsempfehlung und Umsetzung der Behandlung) und auch des Patienten (Behandlung annehmen und Behandlungsanweisungen befolgen).
3. **„Outcome“**, das Ergebnis, beschreibt den Effekt der Behandlung auf den Gesundheitszustand des Patienten oder der behandelten Population. Dieser Begriff umfasst die verbesserte Aufklärung eines Patienten und die daraus resultierenden gesundheitsfördernden Verhaltensänderungen ebenso wie dessen Zufriedenheit mit der Behandlung.

Um Behandlungsqualität in der Kieferorthopädie zu untersuchen, sollte man die drei Gruppen des Donabedian-Modells so weit wie möglich berücksichtigen. Dieser dreistufige Aufbau wurde auch im „Weißbuch Kieferorthopädie“ des Berufsverbandes Deutscher Kieferorthopäden übernommen und auf die vertragszahnärztliche Versorgung von Patienten in Deutschland abgestimmt (8). In der hier durchgeführten retrospektiven Untersuchung wird das Donabedian-Modell durch eine entsprechende Auswahl der Praxis, der Behandler und der Patienten berücksichtigt.

Um diesem Modell ausreichend Rechnung zu tragen, sollten demnach nur Behandlungen aus **einer** Praxis ausgewertet werden, da hier sowohl die materiellen, personellen und organisatorischen Ressourcen identisch sind („Structure“).

Weiterhin werden so auch die Prozesse („Process“) ausreichend beachtet, da die Praxis vergleichbar für Patienten zu erreichen ist, die Diagnose mit denselben Geräten und nach den gleichen Prinzipien erfolgt, was ebenso für die Behandlung selbst gilt. Diese Untersuchung bezieht sich ausschließlich auf das Behandlungssystem Invisalign. Seit 2011 ist in deutschen Zahnarztpraxen ein Qualitätsmanagementsystem vorgeschrieben, das in der untersuchten Praxis sehr genau und diszipliniert eingehalten wird. Somit ist garantiert, dass die Rahmenbedingungen aller Behandlungen gleich sind.

Das Behandlungsergebnis („Outcome“) wurde hier durch das retrospektive Analysieren von Kiefermodellen quantitativ ermittelt. In dieser Hinsicht ist die Kieferorthopädie relativ ungewöhnlich, weil das Anfertigen von Studienmodellen, Fotografien und Röntgenaufnahmen vor und nach Therapie Standard ist.

Die von Donabedian weiterhin aufgeführten Verhaltensänderungen des Patienten und dessen Zufriedenheit mit der Behandlung werden routinemäßig bisher nicht erfasst, könnten aber zukünftig ermittelt werden.

### **2.3.1 Struktur – Einfluss der (Praxis-)Struktur**

Es gibt bisher keine Studien über den Einfluss der Praxisstruktur oder -organisation auf das Ergebnis von Behandlungen in der Kieferorthopädie. Es ist aber bekannt, dass sowohl die Art der Kommunikation als auch die Praxisgröße einen Einfluss auf die Behandlungsqualität in Gesundheitseinrichtungen haben (17, 38).

So sind beispielsweise für die multidisziplinäre Behandlung von Tumorpatienten die örtliche Lage des Krankenhauses, die Anwesenheit von ausreichend qualifiziertem Personal und die technische Ausstattung neben vielen anderen strukturellen Merkmalen entscheidend (40). Das lässt sich sicherlich auch in gewisser Weise auf die Kieferorthopädie mit ihrem interdisziplinären Charakter übertragen.

In Kenntnis der Notwendigkeit von verbindlichen Standards in der Medizin hat der gemeinsame Bundesausschuss im Jahr 2000 eine Qualitätsmanagement-Richtlinie (47) in Kraft gesetzt, die für alle in Deutschland tätigen Vertragsärzte und -zahnärzte sowie

Krankenhäuser gilt. In dieser Richtlinie werden die Methoden und die Instrumente der Qualitätskontrolle erläutert, die auch für die Kieferorthopädie gültig sind. Da diese Richtlinie allgemein wirksam und verpflichtend ist, wurde sie auch uneingeschränkt in der untersuchten Praxis angewendet.

### **2.3.2 Prozesse I - Einfluss der Erfahrung des Behandlers**

In der Kieferorthopädie sind die Einflüsse der Behandlererfahrung auf die Qualität von Behandlungsergebnissen wenig untersucht. Larsson et al. und Feldmann haben in Fragebogenstudien 2005 Zusammenhänge zwischen empfundener Behandlungsqualität und der Güte der Beziehung des Zahnarztes zum Patienten gefunden (42, 66). In beiden Studien korrelierte das vom Patienten empfundene Maß an Aufmerksamkeit und Aufklärung während der Therapie eng mit der empfundenen Behandlungsqualität. Im weitesten Sinne kann man also daraus schließen, dass die Erfahrung des Behandlers im Umgang mit seinen Patienten die subjektiv empfundene Behandlungsqualität begünstigt.

In der Chirurgie hat man sich sehr ausführlich mit dem Einfluss der Erfahrung des Behandlers auf die Effizienz von Operationen und die langfristige Mortalitätsrate befasst. Nach dem Donabedianschen Modell wurden dabei Prozess- und Ergebnisqualität untersucht. So fanden Burt et al. beispielsweise heraus, dass die Erfahrung des Operateurs einen wichtigen Einfluss auf die Effizienz von Bypass-Operationen und die Langzeit-Überlebensrate der therapierten Patienten hat: Mit zunehmender Erfahrung verkürzten sich die OP-Zeiten und die Überlebensrate stieg an (16).

Erfahrung korreliert weiterhin direkt mit der Zahl an erfolgten Eingriffen. So zeigten Chowdhury et al. 2007 in ihrer Übersichtsarbeit von 1075 Veröffentlichungen, dass operative Eingriffe umso erfolgreicher verliefen, je mehr Eingriffe der jeweilige Chirurg durchgeführt hatte (24). Weiterhin zeigten die Autoren aber wie Burt et al., dass bei gleicher Menge an Eingriffen eine Spezialisierung des Operateurs vorteilhaft für die Effizienz ist.

Burt et al. wiesen weiterhin nach, dass sich bei Herzklappen-Operationen mit zunehmenden Jahren an Erfahrung (Seniorität) sowohl die Technik des Operateurs als auch die Überlebensrate seiner Patienten verbessern (16).



Übertragen auf die Kieferorthopädie könnte hier die Überlebensrate von Dauerretainern betrachtet werden. So konnten Scheibe et al. 2010 in ihrer 1026 Patienten umfassenden Studie zeigen, dass von Kieferorthopäden eingebrachte Dauerretainer eine um 14 % geringere Defektrate aufwiesen als die von Weiterbildungsassistenten (86).

Weitere auf Fragebögen basierte Studien haben Unterschiede in der kieferorthopädischen Behandlung zwischen Fachzahnärzten für Kieferorthopädie und allgemein-tätigen Zahnärzten gefunden. Das gilt primär für die Frequenz, da Kieferorthopäden deutlich mehr Patienten mit den unterschiedlichsten Geräten behandeln als Zahnärzte (44, 89, 94), aber auch für die Patientenauswahl, für die Behandlungsdurchführung und schließlich für die persönliche Erfahrung im Umgang mit Alignern (9, 29).

Wenn man also zugrunde legt, dass eine zunehmende Expertise die Patientenauswahl des Behandlers beeinflusst, kann man auch davon ausgehen, dass aus einer unterschiedlichen Expertise bei gleichem angestrebten Behandlungsergebnis eine unterschiedlich lange Behandlungszeit mit einer unterschiedlichen Anzahl an Kontrollterminen resultiert. So haben Parrish et al., Vu et al. und Aljehani et al. in ihren Studien gezeigt, dass die Behandlungszeit direkt mit der Behandlungskomplexität zusammenhängt (3, 79, 90).

### **2.3.3 Prozesse II - Einfluss des Behandlungsprozesses**

ElBardissi et al. wiesen 2013 nach, dass die kumulative Berufserfahrung sowohl des einzelnen Chirurgen aber auch die seines Hilfspersonals einen sehr starken Einfluss auf die Effizienz einer Operation hat (38). So verbesserten sich die Ergebnisse, wenn Eingriffe von einem Team mit viel Erfahrung durchgeführt wurden. Weiterhin zeigte sich, dass die Lernkurve eines einzelnen Chirurgen nach Abschluss seiner Spezialisierung keinen signifikanten Einfluss auf seine zukünftige Arbeit hat.

Nach Galbreath et al. hatten jedoch neben der Ausbildungsstätte, der Lage der Praxis und der Entfernung zum nächsten Kieferorthopäden auch die Länge der Fachausbildung einen Einfluss auf die kieferorthopädische Behandlung (44).

Um hier die Struktur- und Prozessqualität so weit wie möglich vergleichbar zu machen, beschränkt sich dieser Author in der nachfolgenden Untersuchung auf die Qualitätsbestimmung von Behandlungen mit dem Invisalign-System aus einer Praxis von drei Fachzahnärzten mit unterschiedlicher Berufserfahrung.

### 2.3.4 Prozesse III - Einfluss der Behandlungsmethode

Die Dysgnathiekorrektur mit transparenten Zahnschienen wurde in den beiden vergangenen Jahrzehnten sehr populär. Sie beruht ursprünglich auf der Positionertherapie von Harold D. Kesling aus dem Jahr 1945 und beschreibt Set-Up basierte Zahnbewegungen (Schließen von Restlücken) durch herausnehmbare elastische Geräte (62). Während Kesling vorab regelmäßig festsitzende Geräte zur Zahnkorrektur benutzte, ist das bei modernen Alignersystemen eher die Ausnahme. Stattdessen werden sogenannte Attachments (kleine Kunststoffkörper) vom Behandler bei Therapiebeginn temporär auf bestimmten Zähnen mittels Adhäsivtechnik aufgebracht. Weiterhin sind je nach Schwere der Therapie proximale Schmelzreduktionen und Hilfsmittel wie Gummizüge und kortikale Verankerungselemente erforderlich.

Kesling musste seinerzeit die Gebisse seiner Patienten noch mit Alginat abformen, um Modelle aus Gips herstellen zu können, auf denen dann seine Positioner gefertigt wurden. Heutzutage werden dafür immer häufiger intraorale Scans verwendet, die dann zu digitalen Modellen umgerechnet werden. Auf diesen Digitalmodellen werden jeweils bestimmte Zähne in einem vorher vordefinierten Ausmaß umgestellt. Das Ausmaß (durchschnittlich 0,2 mm) führt zu Serie von Set-Ups, die sämtlich 3D-gedruckt werden, so dass auf diesen Modellen Schienen in einem folienbasierten Druckformverfahren hergestellt werden können. Diese Schienen (Aligner) werden schließlich dem Patienten eingegliedert, und vom ihm, je nach Aligner-System, wöchentlich oder 14-tägig gewechselt.

Ursprünglich als Behandlungstechnik nur für Fachzahnärzte entwickelt, musste Align Technology nach einer Sammelklage die Behandlungstechnik auch Zahnärzten zur Verfügung stellen (89). Als eine auf den ersten Blick relativ einfach anzuwendende Therapie mit standardisierten Prozessen hat diese Behandlung danach weite Verbreitung bei Allgemeinzahnärzten gefunden, wobei allerdings Align Technology vor der Anwendung einen Zertifizierungskurs zur Bedingung macht.

Wesentlich angenehmer und bei richtiger Indikationsstellung weniger risikobehaftet als eine Behandlung mit festsitzenden Apparaturen (1, 39, 41, 73, 75, 93) wird eine Therapie mit Alignern immer attraktiver sowohl für Patienten wie auch Behandler. Doch obwohl diese Form der Therapie zu Kompromissen bei der Behandlungsqualität führt, sind ihre Ergebnisse ausreichend gut (51, 65), so dass sich immer mehr Patienten für eine Alignerbehandlung interessieren.

Wichtig ist hier zu erwähnen, dass sich Clear Aligner allgemein und besonders das Invisalign-System ständig weiterentwickelt haben. So wurden im Laufe der Zeit beispielsweise nicht nur die Form der Attachments, sondern auch das Material der Schienen verändert, was Einfluss auf das Tragen der Geräte für Patienten (11) aber auch für die Behandlungsprotokolle hatte.

### **2.3.5 Ergebnis - Ermittlung des Behandlungsergebnisses**

In der Kieferorthopädie herrscht international bedingt Einigkeit darüber, wie ein ideales Gebiss auszusehen hat (5, 22).

Da für eine kieferorthopädische Behandlung vor Beginn und nach Abschluss Abformungen der Kiefer und Zähne genommen werden, um daraus Modelle zur Behandlungsplanung und -bewertung herzustellen, war es möglich, ein ideales Gebiss zu beschreiben und Indizes zu entwickeln, die Auskunft über Abweichungen vom Ideal geben (22, 69, 81, 82).

Über lange Zeit hin haben sich zahlreiche Autoren und Gremien intensiv mit dem Erstellen von Indizes beschäftigt. Da aber die Fragestellung immer etwas unterschiedlich war, gab es bis zum Zeitpunkt dieser Studie keinen verbindlichen Qualitätsindex in der Kieferorthopädie.

Die Behandlungsqualität nach einer kieferorthopädischen Behandlung wird durch dafür entwickelte Indizes wiedergegeben, die am häufigsten aus dem Analysieren von Kiefermodellen ermittelt werden. Diese Indizes sind in kieferorthopädischen Fachkreisen verbreitet und validiert, sie sind gut darstellbar und ermöglichen sowohl einen numerischen Vergleich der Ausgangs- mit der Endsituation als auch einen Vergleich von Behandlungen verschiedener Behandler oder Behandlergruppen, wobei einige Indizes für die Anwendung auf gewisse ethnische Bevölkerungsgruppen mit ihren charakteristischen Gebissituationen mehr geeignet zu sein scheinen (30) als andere.

#### **2.3.5.1 Indices in der Kieferorthopädie**

In der Kieferorthopädie wurden über Jahrzehnte viele Indizes entwickelt, um die Schwere einer Zahn- und Kieferfehlstellung sowie die daraus resultierende Behandlungsnotwendigkeit einschätzen zu können. Eine gute Übersicht dazu findet sich bei Buchanan 1993 (12). Folgende Indizes werden dabei aufgelistet: Linder-Aronson,

1975; Grainger 1967; Salzman 1968; Evans und Shaw 1987; Brook und Shaw 1989 (siehe auch Abb. 1). Allerdings gibt es nach Buchanan vergleichsweise wenige Indizes, die unmittelbar den Behandlungserfolg messen (Eismann 1974; Gottlieb 1975). Darüber hinaus wurden einige Indizes für die Beurteilung von Behandlungsergebnissen angewandt, obwohl sie ursprünglich für andere Aufgaben entwickelt worden waren (Summers 1966; Pickering und Vig 1976; Elderton und Clark 1984).

Im Folgenden werden die aktuell bekanntesten Indices betrachtet.

| <b>(Qualitäts-) Indizes in der Kieferorthopädie</b>       |  |
|---|--|
| Index of Tooth Position                                   | Massler & Frankel, 1951                          |
| Malalignment Index  | Van Kirk & Pennell, 1959                         |
| Handicapping Labiolingual Deviation Index                 | Draker, 1960                                     |
| Malocclusion Severity Estimate                            | Crainger, 1960                                   |
| Occlusal Feature Index                                    | Poulton & Aaronson 1961                          |
| Occlusal Index  | Summers, 1966                                    |
| Treatment Priority Index                                  | Grainger, 1967                                   |
| Handicapping Malocclusion Assessment Record               | Salzmann, 1968                                   |
| Swedish National Board for Health and Welfare Index       | Linder-Aaronson, 1974                            |
| Irregularity Index  | Little, 1975                                     |
| Need for Treatment  | Lundström, 1977                                  |
| Peer Assessment Rating Index (PAR)                        | British Orthodontic Standards Working Party 1986 |
| Index of Orthodontic Treatment Need (IOTN)                | Brook & Shaw, 1989                               |
| Dental Aesthetic Index                                    | Cons et al., 1989                                |
| Malocclusion Severity Index                               | Hill, 1992                                       |
| American Board of Orthodontics Grading System             | AAO, 1999  |
| American Board of Orthodontics Discrepancy Index (ABO DI) | Cangialosi et al., 2004                          |

**Abbildung 1: Übersicht über die gängigsten Indizes in der Kieferorthopädie und ihre wichtigsten Inauguratoren.**

### Little´s Irregularity Index

Bereits 1975 stellte Little seinen „Irregularity Index“ (LII) zur Erfassung der Abweichung von Unterkieferfrontzähnen vor (69). Dieser Index ist aber trotz späterer Erweiterung auf die Frontzahnguppe im Oberkiefer hinsichtlich seiner Beschränkung auf Frontzähne vielleicht nicht aussagekräftig genug, um ein kieferorthopädisches Ergebnis umfassend zu beurteilen, da er die Okklusion und Anomalien in den übrigen Zahnbogenabschnitten völlig außer Acht lässt, obwohl sie ebenfalls wesentliche Merkmale eines

Gebisses sind (5). Darüber hinaus bestehen Zweifel daran, wie zuverlässig dieser Index zu ermitteln ist (71).

### **Der PAR-Index**

1992 veröffentlichte Richmond den Peer Assessment Rating (PAR)-Index (81). Dieser Index wurde durch eine Gruppe von 10 britischen Kieferorthopäden anhand der Untersuchung von über 200 Kiefermodellen mit den unterschiedlichsten Zahnfehlstellungen entwickelt und danach von 74 Kieferorthopäden und Zahnärzten validiert, die alle die gleichen 128 Modellpaare beurteilen mussten.

Der Index berücksichtigt neben der Frontzahnstellung auch vier weitere Faktoren wie die bukkale Okklusion in allen drei Raumebenen, die Art und Größe der sagittale Schneidezahnstufe, Abweichungen vom physiologischen vertikalen Schneidezahnüberbiss und Mittelliniendiskrepanzen. Das Ergebnis aller Abweichungen vom Ideal wird in einer Zahl zusammengefasst. Dieser Index wird sowohl für Anfangs- und Endmodelle angewandt, und somit reflektiert die Änderung des PAR-Wertes die Behandlungseffektivität.

Der PAR-Index besitzt eine hohe Zuverlässigkeit und Validität (31, 81), dennoch wurden verschiedene Gewichtungen der gemessenen Parameter eingeführt, um den Ansprüchen verschiedener kieferorthopädischer Gruppen gerecht zu werden. Unter den Gewichtungen sind die britische und die US-amerikanische am meisten verbreitet. Insgesamt ist der britisch gewichtete PAR-Index international am weitesten verbreitet; diese Gewichtung betrachtet auch die Frontzahnguppe im Unterkiefer. Ein Nachteil des PAR-Indexes ist, dass er zwar die Behandlungsverbesserung, aber nicht die Optimierung von Zahnpositionen an sich, quantifizieren kann (19).

Während die britische Wichtung des PAR-Indexes die für jeden Patienten sehr bedeutende Stellung der Unterkieferfrontzähne ausreichend berücksichtigt, legt die amerikanische mehr Bedeutung auf die Okklusion und den vertikalen Überbiss.

### **Index of Orthodontic Treatment Need (IOTN)**

Dieser Index basiert auf Indizes aus dem skandinavischen Raum und wurde ergänzend zum PAR-Index entwickelt (87), um in erster Linie eine kieferorthopädische

Behandlungsnotwendigkeit präziser zu ermitteln. Der IOTN gliedert sich in zwei Teile. Im zahngesundheitsbezogenen Teil werden neben der Zahnstellung auch Daten zu fehlenden Zähnen, Lippen-Kiefer-Gaumenspalten, Kreuzbissformen und viele weitere Befunden erhoben. Der ästhetisch orientierte Teil beschäftigt sich dagegen mit der Beeinträchtigung des Aussehens des eigenen Gebisses anhand von Vergleichsfotos mit 10 verschiedenen Dysgnathien unterschiedlichen Schweregrades. Eigentlich primär als Index zur Ermittlung einer Behandlungsnotwendigkeit entwickelt, ist er auch für die Ermittlung des Behandlungsergebnisses geeignet (78).

### **Der Dental Aesthetic Index (DAI)**

Der Dental Aesthetic Index wurde ursprünglich entwickelt, um die soziale Akzeptanz von Zahnfehlstellungen zu evaluieren (27, 80). Er kann sowohl intraoral als auch an Kiefermodellen erhoben werden. Die World Health Organization (WHO) empfiehlt diesen Index für die Evaluierung von Verbreitung und Behandlungsbedürftigkeit von Zahnfehlstellungen. Der Index erfasst aber zum Beispiel keine impaktierten Zähne, kephalometrische Befunde und posteriore Okklusionsstörungen. Ferner hat er in Europa und den USA wenig Verbreitung gefunden. Es wurde aber eine signifikante Korrelation zwischen dem DAI und dem in den USA verbreiteten American Board of Orthodontics Discrepancy Index (ABO-DI) gefunden (80).

### **Der American Board of Orthodontics Discrepancy Index (ABO-DI)**

Der ABO-DI wurde 1998 entwickelt, um die für das American Board of Orthodontists (ABO) eingereichten Modelle nach Fallkomplexität zu untersuchen (18) und benötigt für seine Erhebung 10 auch radiologisch zu ermittelnde Faktoren (sagittale Stufe, vertikale Stufe, frontal offener Biss, lateral offener Biss, Engstand, Okklusion, lingualer posteriorer Kreuzbiss, bukkaler posteriorer Kreuzbiss; FRS-Werte: ANB, IMPA, SN-GOGn und eine „Sonstiges“-Kategorie). Er berücksichtigt somit als einer der wenigen Indizes auch Befunde von Röntgenaufnahmen. Der ABO-DI dient also in erster Linie der Ermittlung der Dysgnathie vor einer Behandlung.

## **Das American Board of Orthodontics Objective Grading System (ABO-OGS)**

Um Behandlungsergebnisse besser beurteilen zu können, hat das ABO ein separates System für das Bewerten von Abschlussmodellen entwickelt, das acht Kriterien abfragt (Einstellung aller Zähne in einen idealen Zahnbogen, vertikale Übereinstimmung der Randleisten benachbarter Seitenzähne, bukkolinguale Inklination, Perfektion der Interkuspitation der Seitenzähne, antagonistischer Kontakt in neutraler Bisslage, Schneidezahnabstützung, Kontaktpunktstützung und parallele Ausrichtung aller Zahnwurzeln).

Da die Korrelation zwischen ABO-DI und ABO-OGS nicht signifikant ist (19), erhöht die Ermittlung verschiedener Werte für Anfangs- und Endmodell die Komplexität der Vermessung und das Risiko eines Verzerrungsfehlers. Auf Grund der Tatsache, dass zwei Studien die enge Korrelation von PAR-Index und ABO-DI sowie von PAR-Index und IOTN feststellten (68, 78), verwendet der Verfasser dieser Studie den PAR-Index.

## **2.4 Behandlungsqualität in der Kieferorthopädie**

Diese bisher sehr ausführliche Einleitung macht die Komplexität des Unterfangens deutlich, die Behandlungsqualität in der Kieferorthopädie zu ermitteln. Ebenso deutlich wurde daraus, dass in der deutschsprachigen Fachliteratur noch nicht untersucht wurde, in welchem Zusammenhang die Behandlungserfahrung eines Kieferorthopäden mit der daraus resultierenden Behandlungsqualität steht, und welchen Einfluss die Faktoren „Struktur“ und „Prozesse“ auf das Behandlungsergebnis haben.

Die Behandlungserfahrung in dieser Untersuchung wird vor allem anhand der Seniorität (Berufsjahre nach Fachzahnarztprüfung) und der Anzahl der zum Untersuchungszeitpunkt behandelten Patienten ermittelt. Für die Behandlungsqualität erfolgt die Ermittlung hier mittels der Kriterien Verbesserung des PAR-Indexes, Gesamtbehandlungsdauer, Anzahl der dafür notwendigen Termine und Anzahl der für die Behandlung notwendigen zusätzlichen Schienensätze.

## 2.5 Fragestellung

Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob Kieferorthopäden mit einem unterschiedlichen Erfahrungshorizont bei gleicher Struktur (Praxisorganisation) und gleichen Prozessen (Behandlungsprotokolle) die gleichen Behandlungsergebnisse (Zahnstellungsverbesserung) liefern. Weiterhin sollte untersucht werden, ob sich unter derartigen identischen Voraussetzungen die Dauer, die Anzahl der Behandlungsgeräte und -termine sowie die Anzahl der Notfalltermine während der Behandlung unterscheiden. Diese Faktoren geben einen Aufschluss über die Prozessqualität der Behandlung.

Bisher existieren keine Studien, die ferner den Einfluss der Praxisstruktur und der Praxisprozesse auf die Behandlungsergebnisse eines Kieferorthopäden untersucht haben.

Für die nachfolgende Untersuchung wurden folgende Nullhypothesen aufgestellt:

1. Bei gleich stringenter Praxisstruktur mit gleich stringenten Praxisprozessen beeinflusst die Erfahrung des Behandlers die Behandlungsqualität bei einer Behandlung mit Invisalign nicht.
2. Bei gleich stringenter Praxisstruktur mit gleich stringenten Praxisprozessen hat die unterschiedliche Berufserfahrung des Behandlers zum Zeitpunkt des Behandlungsbeginns keinen Einfluss auf die Prozessqualität seiner Behandlung, wenn diese durch Behandlungszeit, Anzahl der Behandlungsgeräte und -termine sowie Häufigkeit der Notfalltermine definiert wird.
3. Dementsprechend gibt es bei der Behandlung mit Invisalign bei gleicher stringenter Praxisstruktur mit gleichen stringenten Praxisprozessen über die Zeit betrachtet auch keine signifikanten Veränderungen in den Behandlungsergebnissen eines Behandlers, also keinen individuellen Lerneffekt.



## 3 Material und Methode

### 3.1 Material

In dieser retrospektiven kieferorthopädischen Modellstudie wurden konsekutiv begonnene Behandlungen mit Invisalign-Alignern von drei Kieferorthopäden mit unterschiedlicher Berufserfahrung aus einer einzelnen Praxis und aus drei unterschiedlichen Zeiträumen (2013/14, 2015/16, 2017/18) untersucht. Somit lagen zwischen dem ersten und dem letzten Untersuchungszeitraum mehr als fünf Jahre, die eine zunehmende Therapieerfahrung mit dem Invisalign-System bewirkt haben könnten. Alle Behandler hatten in der Zeit vor dem Jahr 2013 nur sehr wenige Patienten mit dem Invisalign-System behandelt.

#### 3.1.1 Praxis und Behandlungsprozesse

Die Untersuchung wurde mit Ärzten und Patienten der Praxis ADENTICS - Die Kieferorthopäden am Standort Berlin-Mitte durchgeführt. ADENTICS ist eine Partnergesellschaft mit sechs Standorten in Berlin und Brandenburg, die alle gemeinsam durch ein umfassendes Qualitätsmanagementsystem mit sehr detaillierten Behandlungs- und Kommunikationsprotokollen gekennzeichnet sind. Die QM-Protokolle werden durch die sechs Partner (alle Fachzahnärzte für Kieferorthopädie) und einem wissenschaftlichen Beirat (zwei Universitätsprofessoren) in regelmäßigen Abständen aktualisiert.

Die Behandlungsteams der drei untersuchten Fachzahnärzte waren in Größe und Ausbildung vergleichbar. Sie bestanden grundsätzlich aus mindestens zwei zahnmedizinischen Fachangestellten mit langjähriger Berufserfahrung sowie einer Auszubildenden. Alle Mitarbeiter wurden regelmäßig in sämtlichen Praxisprozessen fortgebildet. Die technische und räumliche Ausstattung (Rezeption, Röntgen, Labor, Abrechnung) war ebenso identisch wie die für die jeweilige Behandlung verfügbaren Materialien und Finanzmittel. Da in dieser Untersuchung nur Patienten einer Behandlungsart (Invisalign® „Full“, inzwischen umbenannt in Invisalign® „Comprehensive“) eingeschlossen wurden, waren die Behandlungskosten (13) für die Gesamtheit dieser Patienten sehr ähnlich.

Die Prozessqualität der Praxis Mitte ist durch ein Qualitätsmanagementsystem vorgegeben, das seit 2012 nach der ISO 9001 durch den TÜV Nord zertifiziert wurde; hinzu

kommt eine Praxisverwaltungssoftware, die stringent durch die festgelegten Protokolle führt und wenig Abweichungen vom standardisierten Behandlungsablauf erlaubt. Die Qualitätssicherung erfolgte weiterhin durch jährliche externe QM-Audits sowie turnusmäßige Kontrollen der zahnärztlichen Behörden (Landesamt für Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz und technische Sicherheit).

### **3.1.2 Behandlungsgeräte**

Das zu untersuchende Behandlungsmittel waren ausschließlich Invisalign-Aligner des Unternehmens Align Technology. Diese Anwendung war sehr gut standardisierbar, und die Prozesse zur Planung sowie zum Bestellen der Schienen waren stringent vorgegeben, so dass lediglich die kieferorthopädische Fachkompetenz des Behandlers einen Einflussfaktor darstellte, da die Indikationsstellung und Behandlungsplanung individuell erfolgten.

### **3.1.3 Ärzte**

Untersucht wurden die Behandlungen von drei Kieferorthopäden mit unterschiedlich langer Facherfahrung.

Arzt B hatte zum Start der Untersuchung im Januar 2020 19 Jahre, Arzt M 17 Jahre und Arzt U acht Jahre Berufserfahrung ausschließlich in der Kieferorthopädie.

Alle drei Individuen hatten Ihre fachspezifische Ausbildung an derselben Universität abgeschlossen und ihre Abschlussprüfung im gleichen Kammerbereich abgelegt. Sie arbeiteten am gleichen Praxisstandort mit dem gleichen Team und waren sämtlich für das Invisalign-System zertifiziert.

### **3.1.4 Patienten**

Eine Vorselektion der Neupatienten fand in keinem Falle statt, da alle freien Sprechstunden je nach Verfügbarkeit auf die jeweiligen Ärzte verteilt wurden. Hatte der Stammbehandler keine zeitnahe Sprechstundenkapazität, konnten Patienten einen anderen Arzt aufsuchen, was gelegentlich geschah.

Zum Start der Untersuchung am 18.12.2020 stellte das Unternehmen Align Technology eine Gesamtliste aller bis dahin von ADENTICS behandelten Patienten zur Verfügung; diese Liste umfasste 2.046 Patienten.

Nach Ausschluss aller Patienten der einfachen Behandlungskategorie Invisalign „Express“ und „Lite“ verblieben 1.434 „Full“, beziehungsweise „Comprehensive“ Behandlungen, von denen 1019 auf den Standort Mitte entfielen. Nach Berücksichtigung aller Behandlungsaufnahmen bis zum 31.3.2018 reduzierte sich die Ausgangspopulation auf 745 Patienten. Aus dieser Gruppe mussten 138 Individuen ausgeschlossen werden, da bei ihnen aus verschiedenen Gründen kein Abschlussmodell angefertigt wurde (Behandlungsabbruch, Umzug des Patienten, keine Schlussdiagnostik aus finanziellen Gründen, Behandlung noch nicht abgeschlossen).

Wurden Behandlungen vom Patienten selbst beendet, galten sie als abgebrochen ebenso wie Behandlungen, die sich durch Fernbleiben des Patienten von mehr als sechs Monaten verzögerten.

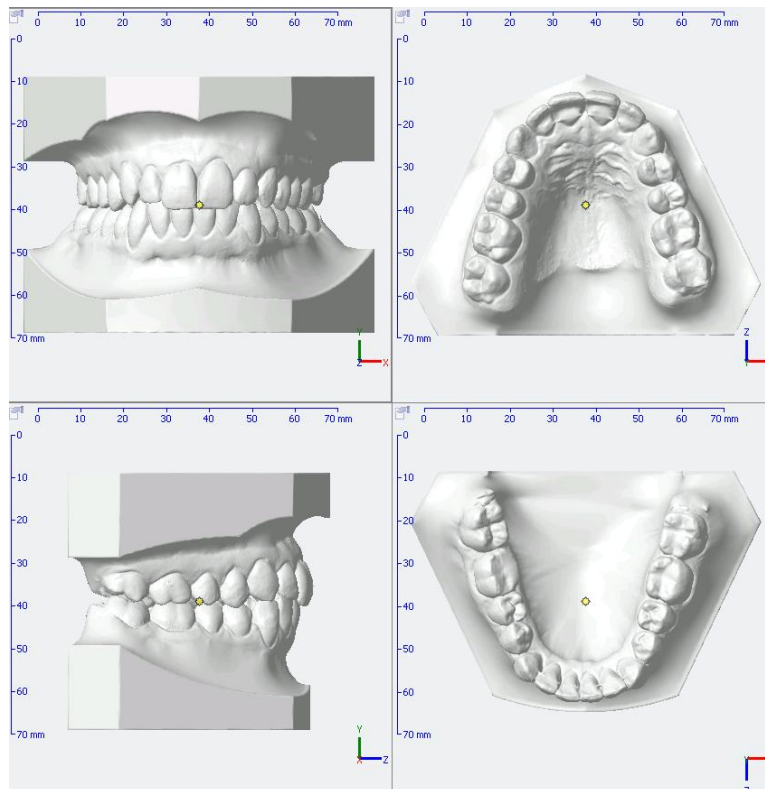
Da in der untersuchten Praxis mehrere Ärzte und Weiterbildungsassistenten tätig waren, blieben von den restlichen 607 Patienten die unberücksichtigt, bei denen es einen Arztwechsel gab. Damit sollte sichergestellt werden, dass nur die Behandlungsstrategie des jeweiligen Stammbehandlers analysiert wurde. Dieses Vorgehen reduzierte die Patientenzahl auf 240. Da die persönliche Mitarbeit ein entscheidender Faktor bei der Alignerbehandlung ist, hat sich der Verfasser entschieden, alle Patienten nicht zu berücksichtigen, deren Mitarbeit mangelhaft war. Die Definition dafür war, dass mehr als zwei Kontrolltermine nicht wahrgenommen wurden, die Aligner laut Akteneintrag nicht ausreichend getragen oder nicht nach Anweisung gewechselt worden waren.

Das letzte Ausschlusskriterium betraf alle die Patienten, die eine Vor- oder Nachbehandlung mit irgendeinem einem anderen Behandlungsgerät erhalten hatten, also nicht ausschließlich nur mit dem Invisalign-System behandelt worden waren. Nach diesen rigiden Auswahlverfahren verblieben schlussendlich 81 Patienten (Anlage 1).

### **3.1.5 Modelle**

Nahezu alle Patienten wurden intraoral digital abgeformt (Intraoralscanner Itero Element 2) und die entstandenen Daten mit der Software OnyxCeph Lab bearbeitet (Abbildung 2). Einige wenige Anfangsmodelle lagen ursprünglich analog vor, doch auch

sie wurden nachträglich digitalisiert. Da ein Import der 3D-Modelle aus den Patientenakten in die Vermessungssoftware Model+ nicht möglich war, wurde es als Zwischenschritt erforderlich, sämtliche Modelle mit einem 3D Drucker auszudrucken (Prusa i3 MK3 Filamentdrucker), um sie danach erneut mit dem CS 3600 Scanner in dem für die Model+ Software kompatiblen Format einzulesen. Als Druckmaterial wurde Extrudr GreenTec Pro verwendet, das sich durch eine hohe Hitzebeständigkeit und Stabilität auszeichnet.



**Abbildung 2:** Vorder-, Seiten- sowie Aufsichten eines digitalen Endmodells nach Speicherung in der Onyx Software.

### 3.1.6 Scanner und Vermessungssoftware

Wie bereits erwähnt, wurde zum intraoralen Scannen und auch zum Digitalisieren der analogen Modelle der Scanner Carestream 3600 verwendet, da er als einziger mit der für die Vermessung notwendigen Software Model+ kompatibel war. Zum semi-automatisierten Erfassen der jeweiligen Indizes wurde die Software CS Model+, Version 5 verwendet.

## **3.2 Methode**

### **3.2.1 Das Behandlungsprotokoll für Invisalign bei ADENTICS**

Für die Behandlung mit Invisalign®-Alignern wurden intraorale Scans des Gebisses eines Patienten erstellt und zusammen mit einer Röntgenpanoramaschichtaufnahme (PSA), drei extra- und fünf intraoralen Fotos über die Invisalign Doctor Site (IDS) an das Unternehmen Align Technology gesandt. Von dort wurde dem Behandler wenige Tage später über die IDS ein digitales Modell zurückgeschickt, das die simulierte Zielzahnstellung samt aller Zwischenschritte darstellte (ClinCheck). Nachfolgend galt es zu prüfen, ob die Simulation fachlich akzeptabel war. Falls nicht annehmbar, konnte der Behandler schriftlich Änderungswünsche übermitteln oder entsprechende Korrekturen selbst softwareunterstützt vornehmen. Darüber hinaus musste der Behandler alle Zusatzelemente (Attachments, Schienenausschnitte und -einkerbungen) planen, die für die Behandlung notwendig waren und zusätzlich musste die erforderliche Zahnschmelzreduktion (zum Schaffen fehlenden Platzes) kontrolliert werden. Abschließend wurden die gesamten Änderungswünsche an Align Technology zurückgeschickt, wo der so entstandene ClinCheck überprüft, überarbeitet und dem Behandler wiederum zur Verfügung gestellt wurde.

Dieser Vorgang wiederholte sich so oft, bis der Behandler sowohl mit dem Therapieergebnis, dem Behandlungsweg und der Anzahl der dazu notwendigen Schienen zufrieden war. Im Schnitt waren von 2013 bis 2020 bei ADENTICS 3,7 Durchläufe der ClinCheckkontrollen (Reviews) notwendig.

Nach Freigabe des endgültigen ClinChecks wurden alle Aligner produziert („Schienensatz“) und dem Behandler einzeln verpackt und beschriftet zugesandt. Diese Schienen wurden dann dem Patienten mit entsprechenden Anweisungen eingesetzt beziehungsweise durch ihn selbst gewechselt. Dabei wurde der Therapiefortschritt in Intervallen von 8 bis 12 Wochen kontrolliert.

### **3.2.2 Patienteninstruktionen**

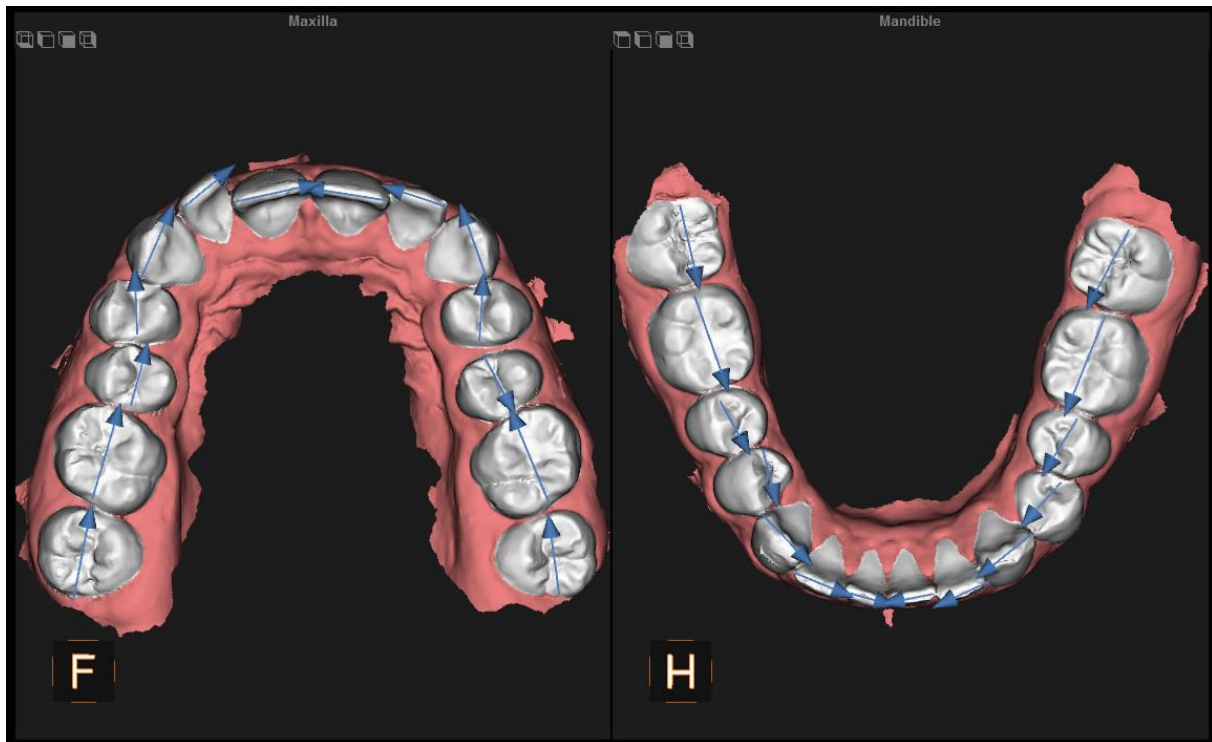
Jeder Patient wurde angewiesen, jede Schiene jeweils 14 Tage zu tragen und danach auf die nächste Schiene zu wechseln. Waren alle Schienen eines Satzes getragen worden, oder wiesen Schienen schon vorher eine schlechte Passung auf, wurde das

erzielte Ergebnis gemeinsam mit dem Patienten betrachtet, um darüber zu entscheiden, ob ein weiterer Schienensatz zur Nach- oder Zwischenkorrektur bestellt werden sollte („zusätzliche Aligner“). In diesem Fall musste der Patient nochmals intraoral gescannt und fotografiert werden. Mit diesen Behandlungsunterlagen wurden zusätzliche Aligner nach dem beschriebenen Verfahren bestellt. Waren beide Parteien mit dem Ergebnis zufrieden, erfolgte die Entfernung aller Hilfsmittel, das Absetzen der Schienen und der Ersatz durch passende Retentionsmittel.

Während das Schienenwechselintervall ursprünglich vom Arzt individuell bestimmt wurde, nahm ADENTICS nach dem 1. April 2018 die Umstellung des offiziellen Trageprotokolls für Invisalign-Aligner bei ADENTICS von einem 2-wöchentlichen auf einen 1-wöchentlichen Wechsel vor. Das war ein weiterer Grund, warum keine Behandlungen aus einem späteren Zeitraum in die Studie einbezogen werden konnten.

### **3.2.3 Messverfahren**

Wie bereits geschildert, wurde der PAR-Index mit der Software Model+ ermittelt, die mit ihrem Algorithmus automatisch Messpunkte auf digitalen Kiefermodellen identifiziert. Um die Software in der korrekten Identifizierung zu unterstützen, erfolgte regelmäßig eine vorherige Kontrolle und gegebenenfalls eine manuelle Nachkorrektur der von der Software vorgeschlagenen Pfeilrichtung. Die Pfeile gaben die Richtung an, in der die Software den mesiodistalen Kronendurchmesser für den jeweiligen Zahn zu errechnen hatte (Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Für die automatisierte Vermessung platzierte Richtungspfeile für die automatisierte Ermittlung der mesiodistalen Kronendurchmesser in der CS Model+ Software.

### 3.2.3.1 Fehlerprüfung beim Bestimmen des mesiodistalen Kronendurchmessers

Um die Genauigkeit in der Ausrichtung der mesiodistalen Pfeile durch den Untersucher zu ermitteln, wurden die Pfeile in den 25 Anfangs- und Endmodellpaaren nach vier Wochen durch den gleichen Untersucher erneut platziert und analysiert.

### 3.2.4 Untersuchungszeiträume und Gruppengrößen

Es wurden für diese Studie für jeden der drei Behandler drei Zeiträume isoliert betrachtet, um eine mögliche longitudinale Veränderung in den Untersuchungsparametern über die Jahre besser zu erkennen. Es wurden die Behandlungen der Zeiträume 2013/2014 (T0), 2015/16 (T1) und 2017/18 (T2) betrachtet. Diese Unterteilung empfahl sich auch, um eine homogenere Verteilung der Patientenzahl zu bekommen. Für die Untersuchung der Prozessqualität wurde diese Unterteilung nicht vorgenommen, da sich die strukturellen Rahmenbedingungen in den genannten Zeiträumen nicht geändert hatten.

### 3.2.5 Ermittlung der Ergebnisqualität

Die Ergebnisqualität wurde durch den PAR-Index mit britischer Gewichtung ermittelt (Abbildung 4).

| Komponenten des PAR Indexes  | ungewichtet | UK | US |
|--|-------------|----|----|
| Kontaktpunktabweichungen des oberen frontalen Segments (3-3)         | 1x          | 1x | 1x |
| Kontaktpunktabweichungen des unteren frontalen Segments (3-3)        | 1x          | 1x | 0x |
| Rechte und linke Seitenzahnokklusion sagittal                        | 1x          | 1x | 2x |
| Rechte und linke Seitenzahnokklusion transversal                     | 1x          | 1x | 2X |
| Rechte und linke Seitenzahnokklusion vertikal                        | 1x          | 1x | 2x |
| Sagittaler Überbiss: negative, positive Frontzahnstufe/Kopfbiss      | 1x          | 6x | 5x |
| Tiefer Biss/offener Biss   | 1x          | 2x | 3x |
| Mittellinienabweichung in Relation zu Breite der Unterkieferinzisivi | 1x          | 4x | 3x |

**Abbildung 4:** Verschiedene Gewichtung des PAR-Index, UK (britische Gewichtung), US (amerikanische Gewichtung).

Als weiterer Indikator für die Ergebnisqualität wurde der Little Irregularity Index gemessen, der lediglich über das Ausmaß der Frontzahnunregelmäßigkeiten auch bei Lückenstand und Rotationen ohne jeglichen Engstand Auskunft gibt. Er ist sehr einfach anzuwenden und scheint gerade in der softwarebasierten Vermessung digitaler Modelle verlässlich zu sein (36).



### **3.2.6 Ermittlung der Prozessqualität**

Um eine Aussage zur Qualität des Behandlungsprozesses der verschiedenen Behandler zu machen, wurden weiterhin sowohl die Behandlungsdauer, die Anzahl der Behandlungs- und der Notfalltermine, sowie die Anzahl der Schienensätze für jeden Patienten behandler-spezifisch ermittelt.

#### **3.2.6.1 Behandlungsdauer**

Als Behandlungsdauer definierte der Verfasser den Zeitraum vom Termin des Einsetzens der ersten Invisalignschienen bis zum Entfernen der letzten Schienen. Die Schienen wurden nur entfernt, wenn die Behandlung als abgeschlossen angesehen wurde.

Dies war der Fall, wenn das Therapieergebnis sowohl die Erwartungen des Patienten als auch die des Behandlers erfüllte. Es gab keine finanziellen Nachteile für den Patienten bei einer längeren Behandlung, da bei einer Invisalign „Full“, beziehungsweise „Comprehensive“ Behandlung zusätzliche Schienen fünf Jahre kostenfrei nachbestellt werden konnten.

Ebenso wurde die Behandlung beendet, wenn der Patient zufrieden mit dem Ergebnis war, weitere Schienen abgelehnte, und der Behandler das Ergebnis fachlich vertreten konnte. Danach erfolgten jeweils angemessene Retentionsmaßnahmen.

#### **3.2.6.2 Anzahl der Behandlungsgeräte**

Die Anzahl der benötigten Schienen für eine Behandlung war nicht aus der bestellten Schienenanzahl zu ermitteln, weil gelegentlich schlecht passende Schienen während einer Behandlung einen neuen intraoralen Scan erforderten, um neue, besser sitzende Aligner zu bestellen. Somit wurden nicht immer alle Schienen eines Satzes bis zum geplanten Ende getragen. Aus diesem Grund wurde nur die Gesamtzahl der Schienensätze als Kriterium für die Prozessqualität herangezogen.

#### **3.2.6.3 Anzahl der Behandlungstermine**

Die Behandlungs- beziehungsweise Kontrolltermine wurden für jeden Patienten individuell durch den jeweiligen Behandler festgelegt. Die Basis dafür war sowohl die Einschätzung der Behandlungsschwierigkeit als auch die jeweilige Mitarbeit des Patienten. Aus den Kontroll- oder Behandlungsterminen inklusive Einsetz- und

Entfernungstermin ergab sich die Anzahl der Gesamttermine. Nicht eingehaltene Termine wurden nicht mitgezählt, Notfalltermine jedoch mit aufgenommen.

#### **3.2.6.4 Anzahl der Notfalltermine**

Notfalltermine waren alle Termine, die der Patient außerhalb der vorgesehenen Kontrollen wegen Schmerzen, Defekten oder sonstiger Probleme wahrnehmen musste.

#### **3.2.7 Statistische Analyse**

Zur Überprüfung der Testvoraussetzungen wurden die Daten auf Normalverteilung (Q-Q-Plots) und Varianzhomogenität (Levene-Tests) überprüft.

Die Analyse der Daten erfolgte anschließend anhand der deskriptiven Statistik und multivariaten Varianzanalyse (MANOVA) mit Post-hoc Paarvergleichen (Tukey-HSD-Tests). Der Einfluss der unabhängigen Variablen „Behandlungsbeginn“ und „Behandler“ sowie deren Interaktionseffekt sollte auf die folgenden abhängigen Variablen untersucht werden: a) PAR-Index der Anfangsmodelle (AM) ungewichtet und gewichtet, b) PAR-Index der Endmodelle (SD) ungewichtet und gewichtet, c) PAR-Indexverbesserung ungewichtet und gewichtet, d) Little-Index der Anfangsmodelle im Ober- und Unterkiefer, e) Little-Index der Endmodelle im Ober- und Unterkiefer, f) Little-Indexverbesserung im Ober- und Unterkiefer, g) Behandlungsdauer, h) Anzahl der Schienensätze, i) Anzahl der Termine und Notfalltermine (SOS-Termine).

Die Messwiederholbarkeit wurde durch erneute Vermessung von 50 Modellen anhand der Retest-Reliabilität (Pearson-Korrelation) evaluiert.

Das Signifikanzniveau wurde bei  $p=0,05$  festgelegt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Deskriptive Statistik

In die Untersuchung wurden insgesamt 81 Probanden eingeschlossen, davon 57 weibliche (70,4 %) und 24 männliche (29,6 %). Die Probanden waren zwischen 21 Jahren und 62 Jahren alt mit einem durchschnittlichen Alter von  $37,4 \pm 9,5$  Jahren (Tabelle 1).

**Tabelle 1: Deskriptive Statistik der evaluierten Parameter: AM: Anfangsmodelle, SM Schlussmodelle, N: Anzahl, Min: Minimum, Max: Maximum, MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung.**

|                                    | N  | Min  | Max   | MW   | SD   |
|------------------------------------|----|------|-------|------|------|
| Behandlungsdauer in Wochen         | 81 | 20,9 | 177,4 | 83,8 | 39,6 |
| Anzahl der Schienensätze           | 81 | 1,0  | 8,0   | 3,1  | 1,6  |
| Anzahl der SOS-Termine             | 81 | 0,0  | 7,0   | 1,0  | 1,7  |
| Anzahl Behandlungstermine          | 81 | 5,0  | 32,0  | 13,8 | 6,4  |
| PAR-Index AM ungewichtet           | 81 | 4,0  | 21,0  | 11,5 | 4,1  |
| PAR-Index AM gewichtet             | 81 | 5,0  | 39,0  | 18,5 | 8,8  |
| PAR-Index SM ungewichtet           | 81 | 1,0  | 13,0  | 4,8  | 2,2  |
| PAR-Index SD gewichtet             | 81 | 1,0  | 20,0  | 7,2  | 4,8  |
| PAR-Index Verbesserung ungewichtet | 81 | 0,0  | 19,0  | 6,8  | 4,1  |
| PAR-Index Verbesserung gewichtet   | 81 | -2,0 | 36,0  | 11,3 | 8,8  |
| Little-Index AM OK                 | 81 | 2,9  | 12,3  | 6,4  | 1,9  |
| Little-Index AM UK                 | 81 | 2,1  | 13,5  | 6,5  | 2,3  |

|                                 |    |      |      |     |     |
|---------------------------------|----|------|------|-----|-----|
| Little Index SM OK              | 81 | 1,6  | 6,7  | 3,5 | 1,1 |
| Little-Index SM UK              | 81 | 1,3  | 5,6  | 2,9 | 0,9 |
| Little-Index Verbesserung<br>OK | 81 | -0,4 | 9,4  | 2,8 | 1,9 |
| Little-Index Verbesserung<br>UK | 81 | -0,7 | 10,5 | 3,6 | 2,3 |

## 4.2 Überprüfung der Testvoraussetzungen

Eine vergleichbare Gruppengröße wurde für beide abhängigen Variablen als gegeben akzeptiert. Der Behandler B therapierte 30 Patienten (37,0 %), Behandler M 22 Patienten (27,2 %) und Behandler U 29 Patienten (35,8 %). Der Behandlungsbeginn lag bei 23 Patienten (28,4 %) im Zeitraum T0 (2013-2014), ebenfalls bei 23 Patienten (28,4 %) im Zeitraum T1 (2015-2016) und bei 35 Patienten (43,2 %) im Zeitraum T3 (2017-2018).

Levene-Tests ergaben für alle abhängigen Variablen mit drei Ausnahme Varianzhomogenität; dies waren Anzahl der SOS-Termine ( $p = 0,012$ ), PAR-Index gewichtet SD ( $p = 0,015$ ), PAR-Index Verbesserung ( $p = 0,010$ ). Die Verletzung der Testvoraussetzungen einer MANOVA wurde als gering gewertet und eine hinreichende Varianzhomogenität als gegeben angesehen.

Die Evaluation der Daten mithilfe von Q-Q Plots zeigte eine Normalverteilung aller abhängigen Variablen.

### Reliabilitätstest

Um die Model+ Software in Ihrer Zuverlässigkeit der Messpunkteerkennung und PAR-Wert Berechnung zu überprüfen, wurden 25 Modellpaare der digitalen Modelle (N = 50 Einzelkiefermodelle) durch den Verfasser vier Wochen nach der Ausgangsmessung erneut nachgemessen.

Die Erfassung der Retest-Reliabilität mithilfe der Pearson Korrelation ergab einen Wert von 1,00. Dies entspricht einer identischen Übereinstimmung zwischen den Messvorgängen.

**Tabelle 2: P-Werte der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit den Variablen „Behandlungsbeginn“ und „Behandler“ sowie deren Interaktionseffekt.**

| Variable                  |                                    | Sig.  |
|---------------------------|------------------------------------|-------|
| Behandlungsbeginn         | PAR Index AM                       | 0,243 |
|                           | PAR Index AM gewichtet             | 0,644 |
|                           | PAR Index SM                       | 0,666 |
|                           | PAR Index SM gewichtet             | 0,845 |
|                           | 1. PAR-Indexverbesserung           | 0,115 |
|                           | 2. PAR-Indexverbesserung gewichtet | 0,467 |
|                           | LittleIndexAM_OK                   | 0,209 |
|                           | LittleIndexAM_UK                   | 0,237 |
|                           | LittleIndexSM_OK                   | 0,299 |
|                           | LittleIndexSM_UK                   | 0,424 |
|                           | LittleIndex_Verbesserung_OK        | 0,192 |
|                           | LittleIndex_Verbesserung_UK        | 0,453 |
|                           | Behandlungsdauer in Wochen         | 0,152 |
|                           | Anzahl der Schienensätze gesamt    | 0,066 |
|                           | Anzahl SOS gesamt                  | 0,104 |
| Anzahl Behandlungstermine | 0,063                              |       |
| Behandler                 | PAR Index AM                       | 0,090 |
|                           | PAR Index AM gewichtet             | 0,120 |

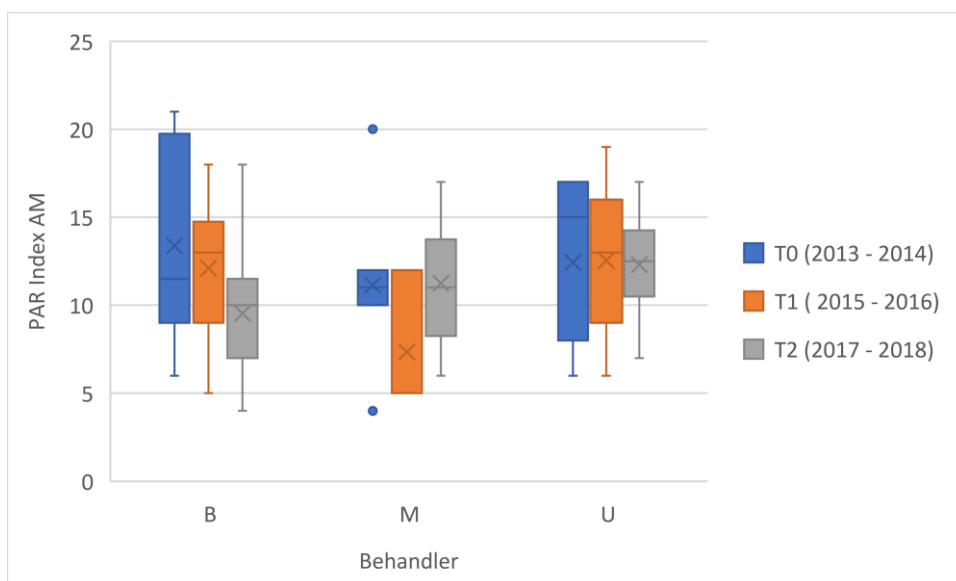
|                    |                                    |       |
|--------------------|------------------------------------|-------|
|                    | PAR Index SM                       | 0,419 |
|                    | PAR Index SM gewichtet             | 0,623 |
|                    | 1. PAR-Indexverbesserung           | 0,335 |
|                    | 2. PAR-Indexverbesserung gewichtet | 0,227 |
|                    | LittleIndexAM_OK                   | 0,344 |
|                    | LittleIndexAM_UK                   | 0,431 |
|                    | LittleIndexSM_OK                   | 0,901 |
|                    | LittleIndexSM_UK                   | 0,914 |
|                    | LittleIndex_Verbesserung_OK        | 0,343 |
|                    | LittleIndex_Verbesserung_UK        | 0,546 |
|                    | Behandlungsdauer in Wochen         | 0,149 |
|                    | Anzahl der Schienensätze gesamt    | 0,513 |
|                    | Anzahl SOS gesamt                  | 0,646 |
|                    | Anzahl Behandlungstermine          | 0,291 |
| Interaktionseffekt | PAR Index AM                       | 0,408 |
|                    | PAR Index AM gewichtet             | 0,323 |
|                    | PAR Index SM                       | 0,422 |
|                    | PAR Index SM gewichtet             | 0,602 |
|                    | 1. PAR-Indexverbesserung           | 0,536 |
|                    | 2. PAR-Indexverbesserung gewichtet | 0,619 |
|                    | LittleIndexAM_OK                   | 0,555 |
|                    | LittleIndexAM_UK                   | 0,283 |
|                    | LittleIndexSM_OK                   | 0,292 |
|                    | LittleIndexSM_UK                   | 0,571 |

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| LittleIndex_Verbesserung_OK     | 0,507 |
| LittleIndex_Verbesserung_UK     | 0,655 |
| Behandlungsdauer in Wochen      | 0,833 |
| Anzahl der Schienensätze gesamt | 0,614 |
| Anzahl SOS gesamt               | 0,820 |
| Anzahl Behandlungstermine       | 0,513 |

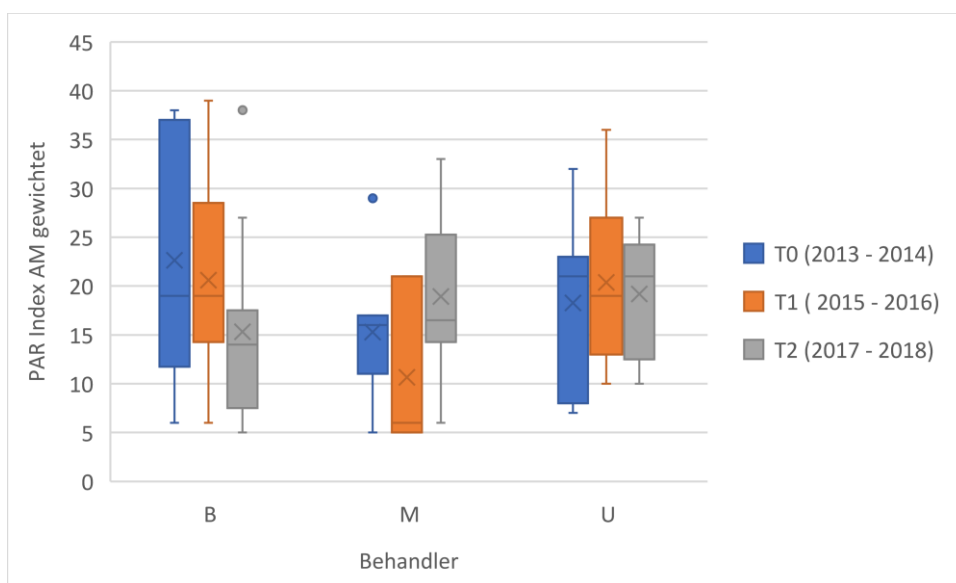
### 4.3 PAR-Index der Anfangsmodelle (AM) ungewichtet und gewichtet

Der mittlere PAR-Index der AM lag ungewichtet bei  $11,6 \pm 4,0$ . Der geringste ungewichtete PAR-Wert betrug 4, der höchste 21, der geringste gewichtete PAR-Wert betrug 5, der höchste 39 (Abb. 5, Seite 32). Die Werte der Behandler B ( $11,6 \pm 6,6$ ), M ( $10,5 \pm 3,7$ ) und U ( $12,5 \pm 3,6$ ) zeigten zu Behandlungsbeginn keine signifikanten Unterschiede zueinander ( $p = 0,090$ ). Der Behandlungsbeginn hatte ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf den PAR-Wert ( $p = 0,243$ ), es zeigte sich jedoch eine Tendenz zu einer geringeren Fehlstellung bei später begonnenen Behandlungen ( $T = 12,3 \pm 4,8$ ;  $T1 = 12,1 \pm 3,9$ ;  $T2 = 10,8 \pm 3,3$ ). Zwischen den Variablen Behandlungsbeginn und Behandler zeigte sich kein Interaktionseffekt ( $p = 0,408$ ).

Die Betrachtung des gewichteten PAR-Indexes zeigt ebenfalls eine große Homogenität, obgleich hier wegen der Gewichtung eine zu erwartende stärkere Abweichung des Mittelwertes und der Standardabweichung vorlagen (Abb. 6, Seite 32). Gewichtet zeigte sich ein mittlerer PAR-Wert von  $18,6 \pm 8,7$ . Auch hier zeigte weder der Behandler ( $p = 0,120$ ), noch der Behandlungsbeginn ( $p = 0,644$ ) einen signifikanten Einfluss. Ein Interaktionseffekt zwischen beiden Variablen bestand nicht ( $p = 0,323$ ).



**Abbildung 5: Darstellung des ungewichteten PAR-Index der Anfangsmodelle in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**



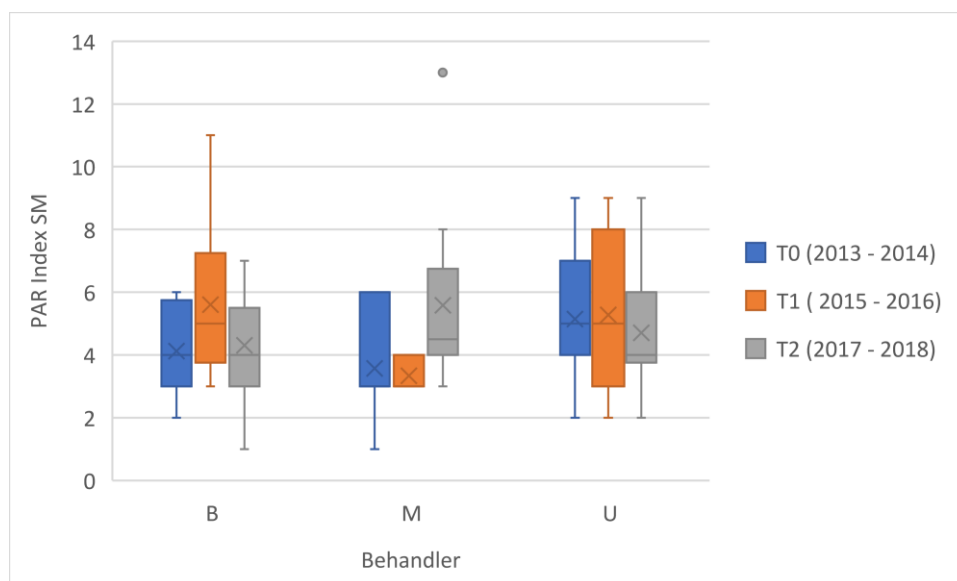
**Abbildung 6: Darstellung des gewichteten PAR-Index der Anfangsmodelle in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**



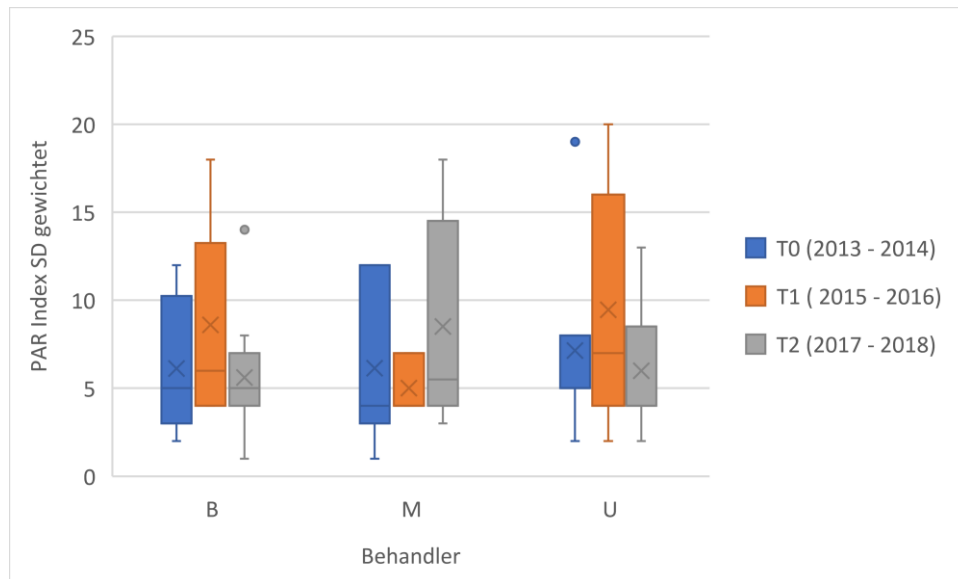
#### 4.4 PAR-Index der Endmodelle (SD) ungewichtet und gewichtet

Die mittlere ungewichtete PAR-Wert der Schlussmodelle betrug  $4,8 \pm 2,2$ . Die Werte des ungewichteten PAR-Index zeigten vergleichbare Ergebnisse der Behandler B ( $4,7 \pm 2,0$ ), M ( $4,5 \pm 2,5$ ) und U ( $5,1 \pm 2,2$ ) zueinander ( $p = 0,419$ ). Über alle betrachteten Zeiträume hinweg zeigte sich kein signifikanter Unterschied ( $p=0,666$ ) und auch kein Interaktionseffekt zwischen beiden Variablen ( $p = 0,422$ ) (Abb. 7).

Ebenso zeigte die Betrachtung des gewichteten PAR-Indexes hier eine sehr große Homogenität trotz der zu erwartenden stärkeren Abweichungen des Mittelwertes und der Standardabweichung aufgrund der Gewichtung (Abb. 8, Seite 34). Nur im Zeitraum T1 ist eine Vergrößerung der PAR-Werte sowohl für die gewichteten als auch ungewichteten Modelle zu beobachten gewesen, der sich aber im Zeitraum T2 wieder an den Wert von T0 annäherte. Diese Abweichung war wahrscheinlich durch die geringe Probandenzahl ( $n=1$ ) des Behandlers M in diesem Zeitraum T1 bedingt und daher nicht aussagekräftig.



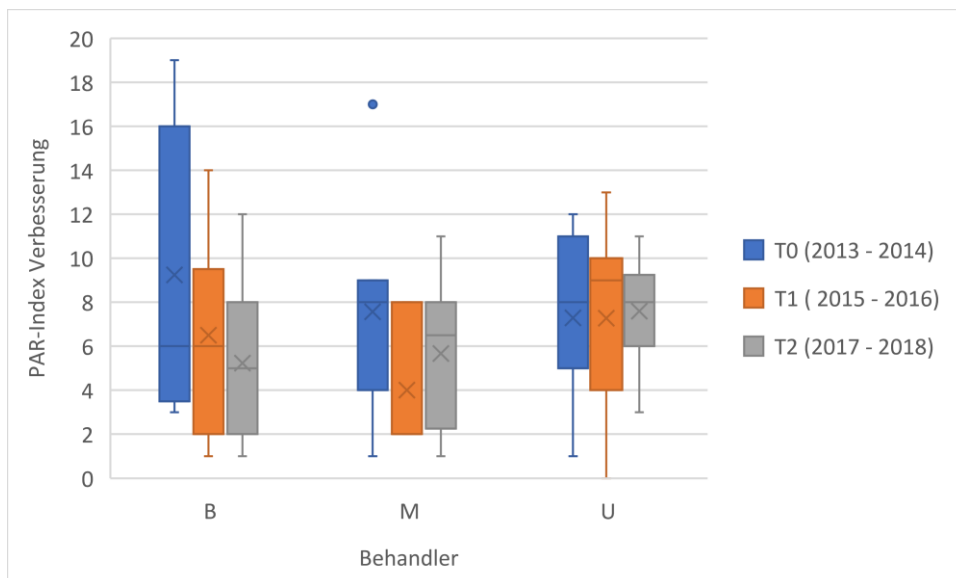
**Abbildung 7: Darstellung des ungewichteten PAR-Index der Schlussmodelle in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**



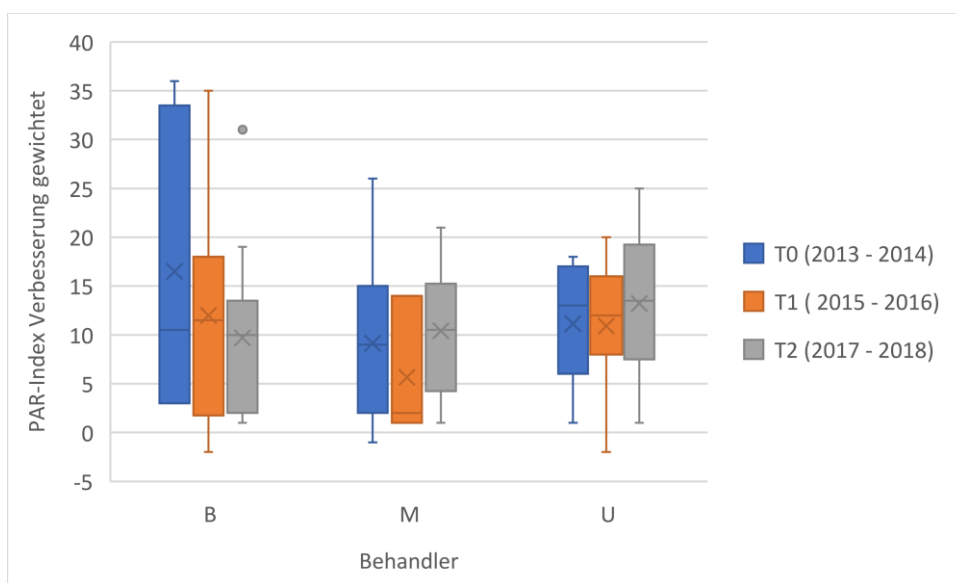
**Abbildung 8: Darstellung des gewichteten PAR-Index der Schlussmodelle in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**

#### 4.5 PAR-Indexverbesserung ungewichtet und gewichtet:

Es gab keine signifikanten Unterschiede im Ausmaß der Zahnstellungsverbesserung zwischen den Behandlern ( $p = 0,335$ ). Alle Behandler erreichten mit einem Mittelwert von  $6,8 \pm 4,1$  des ungewichteten PAR-Werts ein gutes Behandlungsergebnis (Abb. 9, Seite 35). Dies entspricht einer durchschnittlichen Verbesserung um 59 % verglichen mit den Anfangsmodellen. Ebenso machte der Behandlungsbeginn keinen signifikanten Unterschied in der Verbesserung ( $P = 0,115$ ) (Abb. 10, Seite 35). Lediglich im Zeitraum T1 lässt sich eine etwas geringere Verbesserung feststellen, was erneut mit der geringen Gruppengröße von  $N.=1$  des Behandlers M im Zeitraum T1 erklärbar ist. Da zusätzlich gerade bei diesem Patienten eine geringe Verbesserung der Zahnstellung im Sinne des PAR-Indexes stattgefunden hat, schlägt sich die geringe PAR-Wertverbesserung hier stark nieder. Ebenso zeigte sich kein signifikanter Einfluss von Behandler und Behandlungsbeginn beim gewichteten PAR-Wert.



**Abbildung 9: Darstellung der PAR-Indexverbesserung der ungewichteten Modelle in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**



**Abbildung 10: Darstellung der PAR-Indexverbesserung der gewichteten Modelle in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**

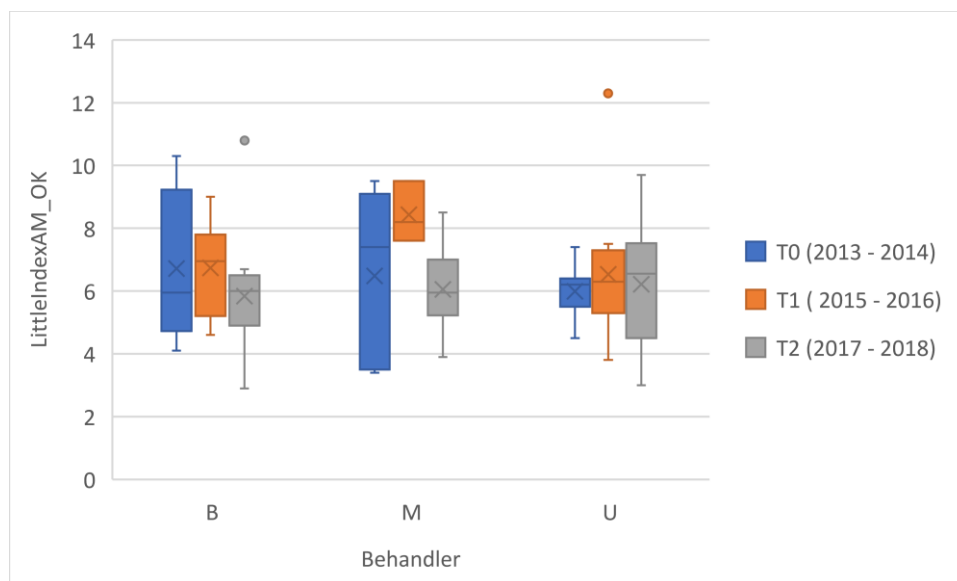
## 4.6 Little-Index der Anfangsmodelle im Ober- und Unterkiefer

Der Little-Index beschränkt sich ausschließlich auf die Vermessung der Oberkiefer- und Unterkieferfronten. Das Ausmaß der Frontzahnfehlstellung der Anfangsmodelle war im Oberkiefer ( $6,3 \pm 1,9$ ) und im Unterkiefer ( $6,5 \pm 2,3$ ) im Mittel fast identisch (Abb. 11).

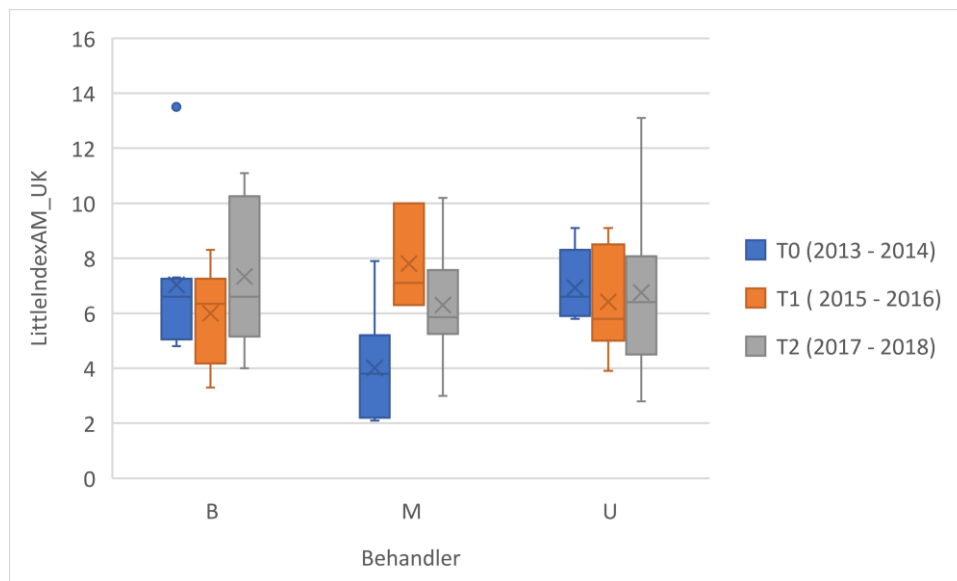
Es gab keine signifikanten Unterschiede im Ausmaß der Ausgangsfehlstellung der Frontzähne zwischen den Patienten der Behandler (OK:  $p=0,344$ ; UK:  $p=0,431$ ).

Der Behandlungsbeginn hatte keinen signifikanten Einfluss auf das Ausmaß der Ausgangsfehlstellung der Frontzähne (OK:  $p=0,209$ ; UK:  $p=0,237$ ). Die Fehlstellung in der Unterkieferfront wurde aber tendenziell größer, je später die Behandlung begonnen wurde (Abb. 12, Seite 37).

Es gab keinen Interaktionseffekt zwischen Behandlungsbeginn und Behandler.



**Abbildung 11: Darstellung des Little-Index der Anfangsmodelle im Oberkiefer in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**



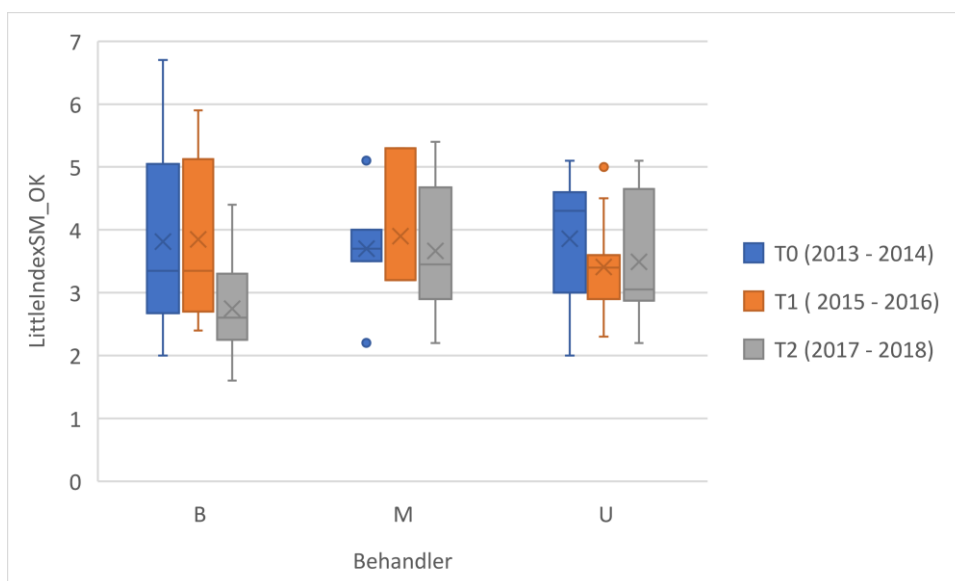
**Abbildung 12: Darstellung des Little-Index der Anfangsmodelle im Unterkiefer in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**

#### 4.7 Little-Index der Endmodelle im Ober- und Unterkiefer

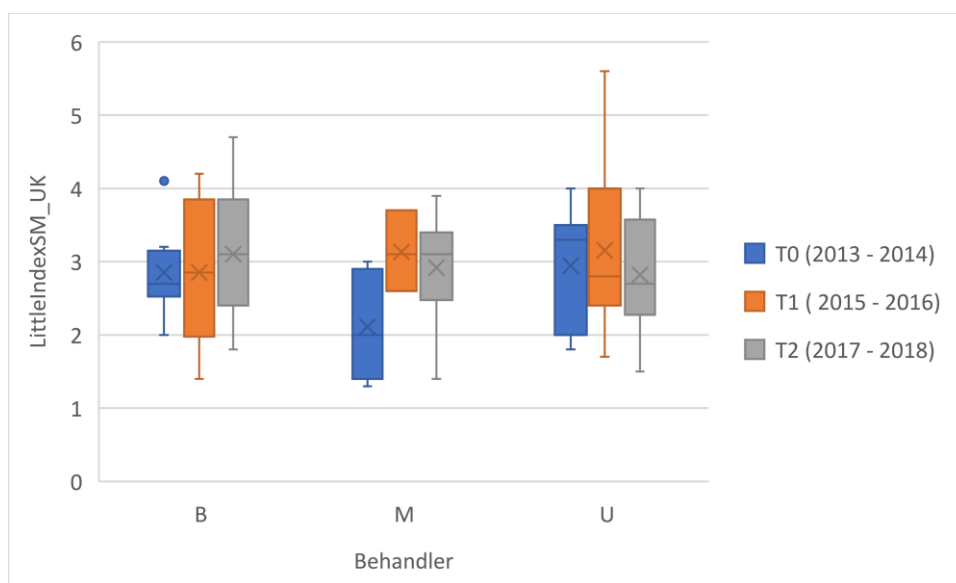
Es gab keine signifikanten Unterschiede im Ausmaß der Endstellung der Frontzähne zwischen den Patienten der Behandler (OK:  $p = 0,901$ ; UK:  $p = 0,914$ ). Die Zähne standen im Unterkiefer ( $2,9 \pm 0,9$ ) aber im Mittel nach der Behandlung gerader, als im Oberkiefer ( $3,6 \pm 1,1$ ).

Ebenso hatte der Behandlungsbeginn keinen signifikanten Einfluss auf das Ausmaß der Endstellung der Frontzähne (OK:  $P = 0,299$ ; UK:  $P = 0,424$ ). Die Unterkieferfronten wurden aber tendenziell besser ausgeformt, je später die Behandlung begonnen wurde. Auffällig war jedoch erneut der Zeitraum T1 bedingt durch die erwähnte kleine Gruppengröße von Behandler M mit  $N = 1$ . Hier wurde durch den Behandler M gerade bei diesem einen Patienten eine erhebliche Verbesserung der Zahnstellung im Oberkiefer erreicht (Abb. 13 und 14, Seite 36).

Es gab keinen Interaktionseffekt zwischen Behandlungsbeginn und Behandler.



**Abbildung 13: Darstellung des Little-Index der Schlussmodelle im Oberkiefer in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**



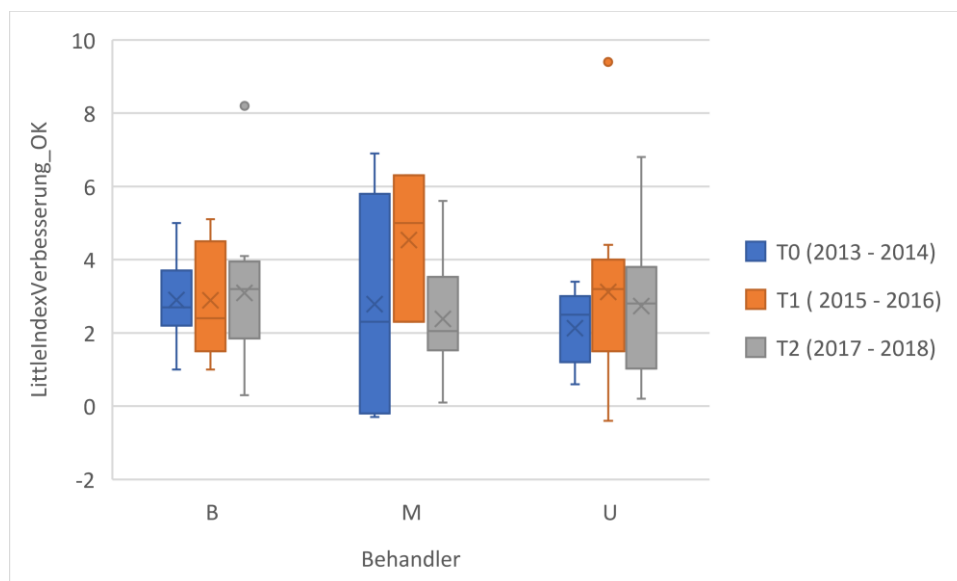
**Abbildung 14: Darstellung des Little-Indexes der Schlussmodelle im Unterkiefer in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**

## 4.8 Little-Index-Verbesserung im Ober- und Unterkiefer

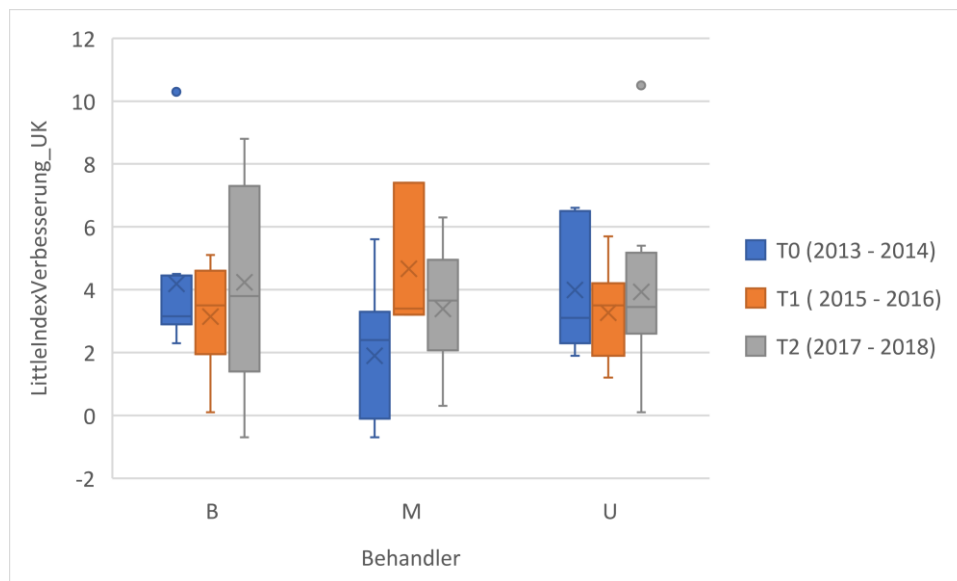
Deskriptiv war eine größere Verbesserung der Zahnstellung im Unterkiefer ( $3,6 \pm 2,3$ ) als im Oberkiefer ( $2,8 \pm 1,9$ ) festzustellen (Abb. 15 und Abb. 16, Seite 40). Wie sich aus der Auswertung der Anfangs- und Endmodelle ableiten lässt, zeigte die Verbesserung des Little-Indexes eine große Homogenität zwischen den Behandlern (OK:  $p = 0,343$ ; UK:  $p = 0,546$ ).

Ebenso hatte der Behandlungsbeginn keinen statistisch signifikanten Einfluss auf das Ausmaß der Zahnstellungsverbesserung (OK:  $p = 0,192$ ; UK:  $p = 0,453$ ). Tendenziell wurde die Zahnstellungsverbesserung der Frontzähne aber größer, je später die Behandlung begonnen wurde.

Es gab keinen Interaktionseffekt zwischen Behandlungsbeginn und Behandler.



**Abbildung 15: Darstellung der Little-Indexverbesserung im Oberkiefer in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**



**Abbildung 16: Darstellung der Little-Indexverbesserung im Unterkiefer in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**

## 4.9 Behandlungsdauer

Die kürzeste Behandlung dauerte 21 Wochen, die längste 177 Wochen bei einer mittleren Behandlungsdauer von  $84 \pm 40$  Wochen oder knapp einem Jahr und sieben Monate (Abb. 17, Seite 41). In allen drei betrachteten Zeiträumen zeigte Behandler M die geringfügig längste Behandlungsdauer und Behandler U tendenziell die kürzeste. Die Unterschiede in der Behandlungszeit sind aber nicht signifikant ( $p = 0,352$ ).

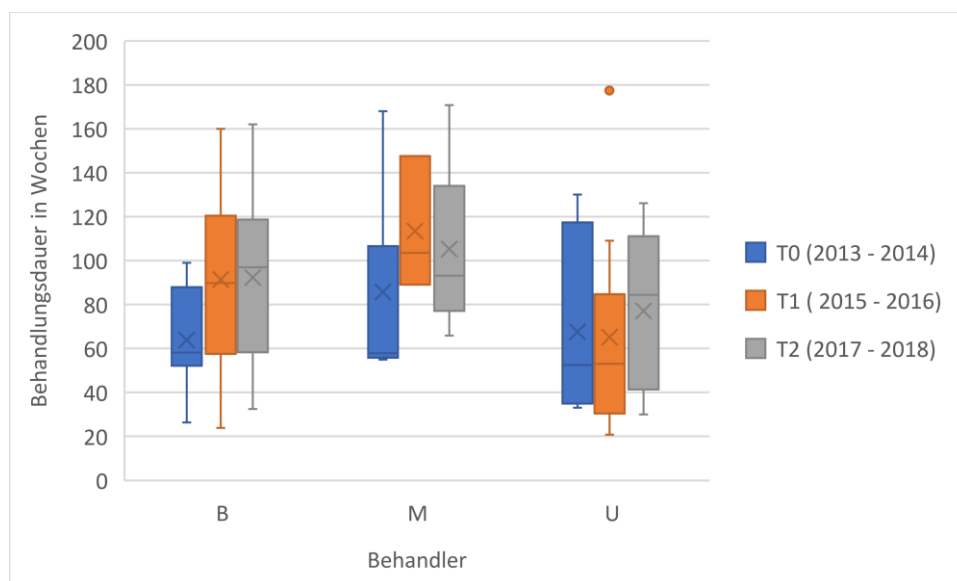
In der Aufschlüsselung der Behandlungsdauer zeigte sich sowohl eine recht homogene Größe der Mittelwerte in den verschiedenen Untersuchungszeiträumen T0-T2 als auch bei den Behandlern B, M und U trotz der stärkeren Abweichungen des Mittelwertes (arithmetisches Mittel) in einzelnen Gruppen. Hier gab es etwas auffallendere Abweichungen in der Behandlungsdauer in T1 bei Behandler M und U.

### Ergebnis:

1. Der Behandler hat keinen signifikanten Einfluss auf die Behandlungsdauer. In allen drei betrachteten Zeiträumen weist aber Behandler M die längste Behandlungsdauer auf und Behandler U tendenziell die kürzeste. Die Unterschiede in der Behandlungszeit sind aber nicht signifikant, die Behandlungsdauer betrug durchschnittlich 83,3 Wochen.



2. Der Behandlungsbeginn korreliert zur Erfahrung des Behandlers hat ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf die Behandlungsdauer. In der Betrachtung der Mittelwerte T0 bis T2 zeigt sich jedoch eine (nicht signifikante) Tendenz zu einer länger werdenden Behandlung bei späterem Behandlungsbeginn. Behandlungen die in T2 begonnen wurden, dauerten im Schnitt 21 Wochen länger, als die Behandlungen, die in T0 begonnen wurden.
3. Es gab keinen Interaktionseffekt zwischen Behandlungsbeginn und Behandler.



**Abbildung 17: Darstellung der Behandlungsdauer in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppiertes Boxplot.**

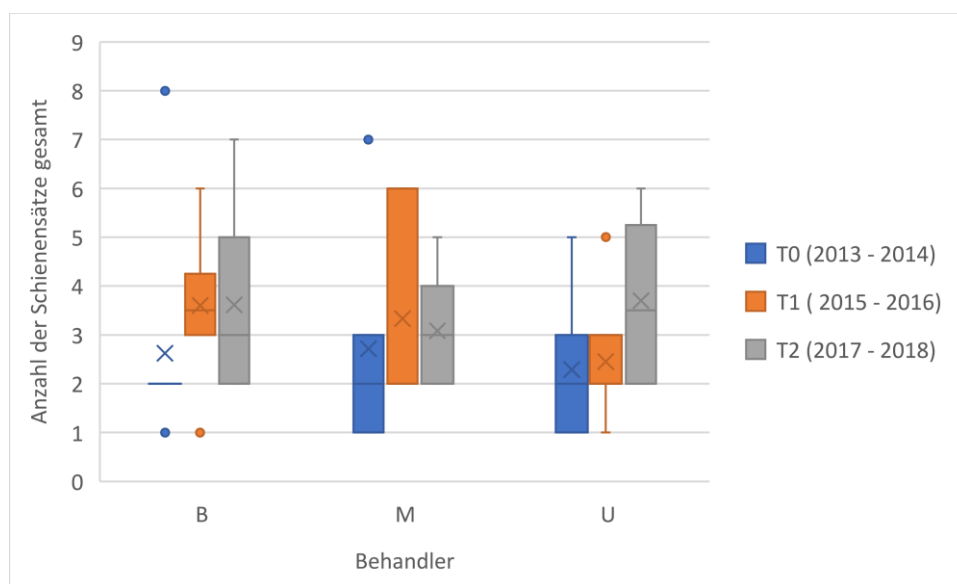
#### 4.10 Anzahl der Schienensätze

In der Anzahl der für die Behandlung benötigten Schienensätze zeigte sich wiederum sowohl eine Homogenität der Mittelwerte in den verschiedenen Untersuchungszeiträumen T0 - T2 als auch zwischen den Behandlern B, M und U (Abb. 18, Seite 42). Die größte Anzahl von benötigten Schienensätzen war 8, und die niedrigste Anzahl war 1. Etwas auffälliger war nur die Differenz in T1 der Mittelwerte von Behandler B mit 3,6 und Behandler U mit 2,5. Behandler M hatte in dem Zeitraum T1 die niedrigste Anzahl der Schienen-sätze, was aber wegen der kleinen Gruppengröße von  $N = 1$  in diesem Zeitraum nicht näher betrachtet wurde.

Es zeigte sich eine Einwicklung zu mehr benötigten Schienensätzen bei späterem Behandlungsbeginn bei allen Behandlern.

### Ergebnis:

1. Der Behandler hat keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der benötigten Schienensätze.
2. Der Behandlungsbeginn hat einen kleinen, wenn auch nicht signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Schienensätze. Es zeigte sich, dass je später eine Behandlung begonnen wurde, im Mittel mehr Schienensätze benötigt wurden. Im Zeitraum T1 benötigte Behandler U 1,1 Schienensätze mehr als Behandler B.
3. Es gab auch hier keinen Interaktionseffekt zwischen Behandlungsbeginn und Behandler.



**Abbildung 18: Darstellung der Anzahl der verwendeten Schienensätze in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**

#### 4.11 Anzahl der Termine und Notfalltermine (SOS-Termine)

In der deskriptiven statistischen Auswertung der Behandlungstermine zeigte sich ebenfalls keine große Schwankung der Standardabweichung, die Anzahl der Behandlungstermine und Notfalltermine war homogen zwischen den Zeiträumen T0 - T2 und den Behandlern verteilt. Hiervon nur auszunehmen sind die Notfalltermine im Zeitraum T0, wo sowohl eine starke Abweichung des Mittelwertes als auch der Standardabweichung im Vergleich zu den Zeiträumen T1 und T2 zu beobachten war. Diese Abweichung betraf in diesem Zeitraum alle drei Behandler. Die größte Anzahl an Behandlungsterminen war 32 und die niedrigste war 5; die höchste Anzahl an SOS-Terminen war 7 und die niedrigste war 0.

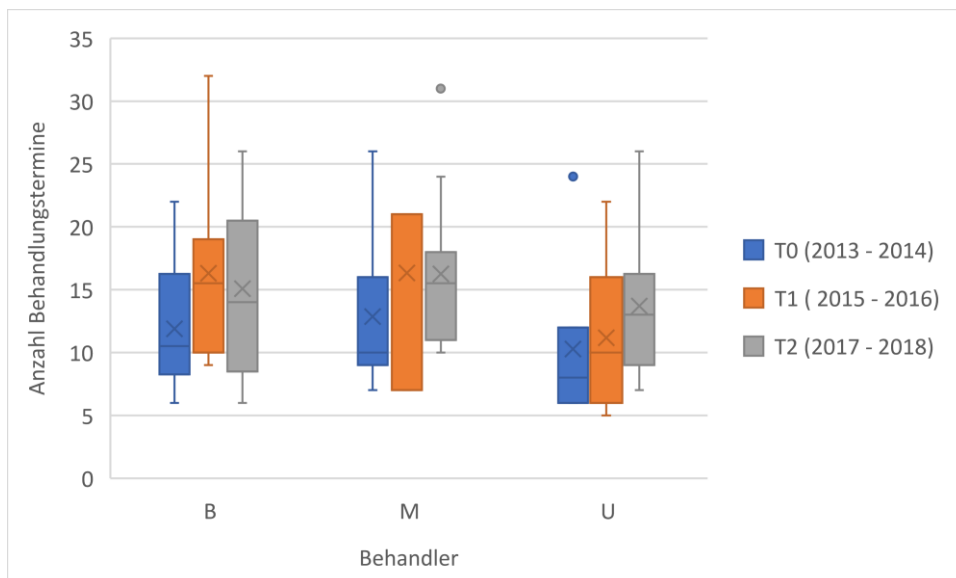
Der Levene-Test zeigte hier weiterhin eine leicht signifikante Inhomogenität der Daten (basierend auf dem getrimmten Mittelwert) von  $p = 0,015$  auf, was unter der für die Zahnmedizin üblichen Signifikanzschwelle von  $p = 0,050$  liegt. Da die Unterschreitung des Schwellenwertes relativ gering war und der Fokus der Fragestellung jedoch auf der Behandlungsqualität insgesamt lag, die durch 16 andere Faktoren mitbestimmt wurde, ist das Studiendesign der Statistik nicht verändert worden.

Es zeigte sich eine Einwicklung zu mehr benötigten Terminen bei späterem Behandlungsbeginn bei allen Behandlern.

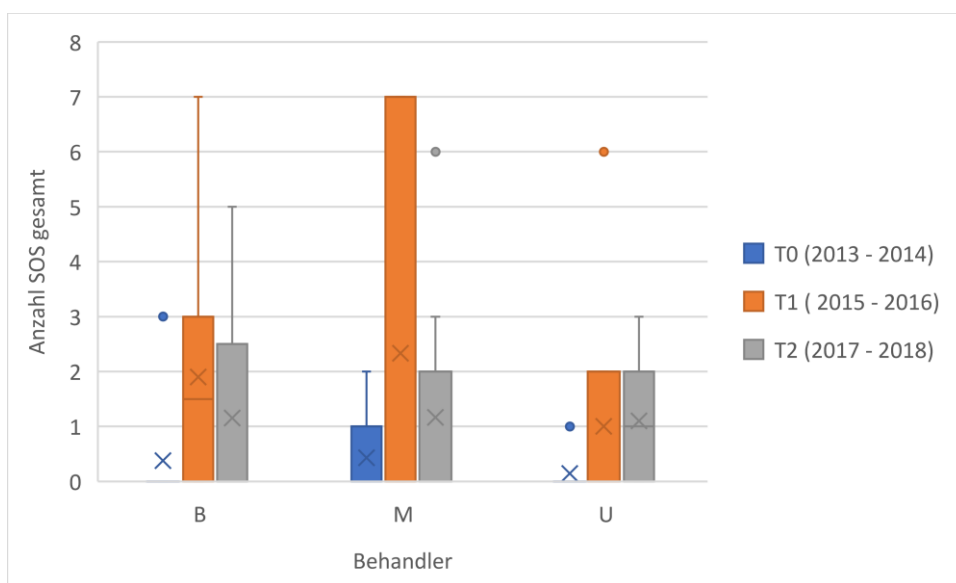
Wie bereits zuvor zeigte sich im Levene-Test eine Gleichheit der Varianzen.

##### Ergebnis:

1. Der Behandler hat keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der benötigten Termine und Notfalltermine.
2. Der Behandlungsbeginn hat keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der benötigten Termine und Notfalltermine. Es ist jedoch eine Tendenz zu mehr notwendigen Behandlungsterminen bei späterem Behandlungsbeginn zu erkennen.
3. Es gab auch hier keinen Interaktionseffekt zwischen Behandlungsbeginn und Behandler.



**Abbildung 19: Darstellung der Anzahl der benötigten Behandlungstermine in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**



**Abbildung 20: Darstellung der Anzahl der SOS-Termine in Abhängigkeit von Behandler und Behandlungsbeginn als gruppierter Boxplot.**

## 5 Diskussion

Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob Kieferorthopäden mit unterschiedlicher Berufserfahrung in derselben Praxis bei gleicher Struktur und gleichen Protokollen die gleiche Zahnstellungsverbesserung erreichen, ob sich dabei die Behandlungsdauer unterscheidet, und ob sie eine gleiche Zahl an Behandlungsgeräten sowie gleichviele Behandlungstermine benötigen.

Im Sinne des Qualitätsmodells nach Donabedian führte das Durchführen der Untersuchung an nur einem Praxisstandort dazu, dass die Struktur („Structure“) und die Prozesse („Process“) konsistent waren (35). Das galt ebenso für die einleitend beschriebenen Qualitätsmerkmale „Features“ und „Perceived Quality“ (46). Es kann also kein Zweifel daran bestehen, dass die Patientenklientel, das Praxisteam und die Praxisausstattung nahezu identisch waren. Unterschiedlich waren lediglich die generelle Berufserfahrung und die spezielle Erfahrung mit dem Behandlungssystem Invisalign.

Eine standardisierende Wirkung hatten zusätzlich die routinemäßigen morgens und mittags durchgeführten Teamtreffen, die eine sehr gute Abstimmung und damit Kommunikation gewährleisteten. Inhomogenes Handeln hätte durch unterschiedliche Festlegung von Terminintervallen, Beratungen und Behandlungen Einfluss auf alle untersuchten Faktoren nehmen können. Dass die kumulative Erfahrung des Teams im Zusammenspiel mit der Erfahrung des Arztes einen entscheidenden Einfluss auf ein Behandlungsergebnis haben, konnten ElBardissi et al. 2013 zeigen (38).

Entscheidend waren ferner die konkreten Vorgaben für alle Behandlungsschritte. Voraussetzung dafür war seit 2012 das Einhalten von QM-Normen und Checklisten, so dass von einer Konsistenz der Prozesse auszugehen ist.

Trotz dieser nahezu idealen Rahmenbedingungen konnten individuelle Prozessfehler nicht völlig ausgeschlossen werden, wie Einschränkungen bei der Patientenauswahl zeigten.

## 5.1 Material

### 5.1.1 Fehleranalyse

Ein Nachteil dieser Studie ist ihr retrospektiver Charakter. Durch die sehr strenge Patientenselektion wurde versucht, die Voreingenommenheit (Bias) maximal zu reduzieren. Das hatte allerdings zur Folge, dass das  $n$  insgesamt relativ klein wurde. Ein extremes Beispiel dafür ist die Gruppengröße von  $n=1$  zum Zeitpunkt T1 bei Behandler M, was eine gewisse Verzerrung der Ergebnisse bewirkt haben kann. Dennoch sind die Ergebnisse dieser Studie vergleichbar, denn die jeweiligen Teilergebnisse lagen im Bereich der Resultate ähnlicher Studien (14, 74, 70, 72).

### 5.1.2 Behandlungsgeräte

Wegen der angestrebten Homogenität der untersuchten Patientengruppe beschränkte sich diese Untersuchung ausschließlich auf das Behandlungssystem Invisalign. Invisalignpatienten waren allgemein erwachsene, privat-versicherte oder selbstzahlende Patienten, so dass wachstumsbedingte oder sozioökonomische Effekte auf die Ergebnisse nicht zu beachten waren. Weiterhin gibt es bei dieser Behandlungsmethode strikte Rahmenbedingungen für den Verlauf der Therapie. So sind sowohl die für den Bestellprozess notwendigen diagnostischen Unterlagen verbindlich, aber auch mögliche Hilfsmittelanwendungen (Attachments, Buttons, Bite Ramps etc.) ist nur eingeschränkt wählbar. Eine freie Entfaltung des Behandlers war daher nur in der eigentlichen Planung der Zahn- und Kieferbewegung möglich, wo sich die fachzahnärztliche Erfahrung am stärksten niederschlägt (50, 57, 83, 88). De Oliveira et al. beschrieben darüber hinaus, dass die Erfahrung des Behandlers beim Anbringen von Attachments gleichfalls einen positiven Effekt habe (32).

Für eine Untersuchung zum Invisalign-System war schließlich noch entscheidend, dass ausreichend viele Studien vorliegen, die ein kontextuales Einordnen dieser Untersuchungsergebnisse ermöglichten (14, 54, 74, 91).

### 5.1.3 Behandler

Alle drei untersuchten Behandler waren Fachzahnärzte für Kieferorthopädie, die nach dem Zahnmedizinstudium an einer deutschen Universität mindestens ein Jahr als Ausbildungsassistent und drei Jahre als Weiterbildungsassistent für Kieferorthopädie gearbeitet hatten. Alle haben ihre universitäre Weiterbildung an der zahnmedizinischen Fakultät der Charité Berlin abgeschlossen und eine Fachzahnarztprüfung an der Zahnärztekammer Berlin abgelegt.

Wenn auch der Ausbildungshorizont sehr gut vergleichbar war, hatten alle drei Ärzte zum Beginn von T0 eine unterschiedliche lange Berufserfahrung (B=12 Jahre, M=10 Jahre, U=1 Jahr). Dass die Berufserfahrung einen Einfluss auf die Behandlungsqualität haben kann, zeigten Burt et al. 2015 (16).

Neben der Berufserfahrung spielt jedoch ebenso die Persönlichkeit des Behandlers eine entscheidende Rolle in der durch den Patienten wahrgenommenen Behandlungsqualität und folglich möglicherweise auch für dessen Mitarbeit (42, 66), was die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung beeinflusst haben könnte.

### 5.1.4 Patienten

Wie bereits im Abschnitt „Material und Methode“ geschildert, verblieben von den ursprünglich 2.046 Invisalign-Patienten unter Berücksichtigung aller Ein- und Ausschlusskriterien 82. Da sie ausnahmslos mit der Align-Kategorie Full/Comprehensive therapiert wurden, belegt das, dass es sich um relativ schwierige/komplexe Therapien handelte. Damit war die Hoffnung verbunden, dass der international weit verbreitete, aber verhältnismäßig „großzügige“ PAR-Index eine deutliche Verbesserung der Zahn- und Kieferstellung anzeigen würde.

Alle eingeschlossenen Patienten wurden fast ausschließlich von nur jeweils einem Arzt, ihrem Stammbehandler, betreut. In diesem Zusammenhang zeigten Alsaeed et al., dass sich das Behandlungsergebnis verschlechtert und mehr Behandlungstermine (Verlängerung der Behandlungszeit) erforderlich werden, wenn zwei Behandler für die Therapie eines Patienten verantwortlich sind (3). Gerade das Kriterium „Stammbehandler“ reduzierte die Patientenzahl stark (von 627 auf 240). Alsaeed et al. hatten in Ihrer Studie noch strengere Auswahlkriterien angelegt, denn alle Therapien mussten zu 100 % von nur einem Behandler erfolgen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen,

dass dort im Gegensatz zu hier drei unterschiedliche Praxisstandorte verglichen wurden, von denen zwei Einzelpraxen waren, während für die dritte Praxis Voraussetzung war, dass ein Arzt zumindest 30 % der Kontrolltermine wahrgenommen hatte.

Noch einmal ist darauf hinzuweisen, dass hier alle Patienten Erwachsene waren, so dass ein behandlungsbeschleunigender Einfluss durch Wachstum ausgeschlossen werden konnte. Ebenso wurden Patienten nicht berücksichtigt, die mehrere Behandlungstermine verpasst hatten sowie schlecht bei ihrer Therapie mitarbeiteten, denn dies hätte zu einer Verzerrung der Parameter „Behandlungsdauer“ und „Behandlungstermine“ geführt (34). Außerdem wurden alle Patienten ausgeschlossen, deren Therapie nach dem März 2018 gestartet wurde, da sichergestellt werden sollte, dass alle Behandlungen bis zum Beginn dieser Studie im März 2021 abgeschlossen waren. Das bestätigte sich fast so, denn lediglich ein Patient musste eliminiert werden, da bei ihm noch kein Endmodell zur Analyse vorlag.

Weiterhin konnten 138 Patienten nicht untersucht werden. Gründe dafür waren zum Beispiel teilweise fehlende diagnostische Unterlagen oder auch Behandlungsabbrüche wegen Umzugs oder finanzieller Gründe.

Problematisch mag es erscheinen, dass schlechte Mitarbeit ebenfalls ein Ausschlusskriterium war. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass dieser Parameter bei einem herausnehmbaren Therapiemittel alle untersuchten Variablen stark beeinflussen würde. Natürlich kann man aus mangelhafter Mitarbeit auf eine unzureichende Kompetenz des Arztes bei der Kommunikation mit seinem Patienten schließen (42, 66, 77). Der Fokus dieser Studie lag aber auf dem Behandlungsergebnis im Sinne von Zahnstellungsverbesserung, Behandlungsdauer und -terminen und nicht in der Kommunikationskompetenz der Behandler. Verblieben nach dem Anwenden aller oben genannten Ausschlusskriterien 81 Patienten, so war diese Gruppe jedoch ausgesprochen homogen und versprach somit sehr zuverlässige Aussagen.

### **5.1.5 Scanner, Drucker, Modelle**

Alle Patienten wurden für die Herstellung der Anfangs- und Endmodelle intraoral mit einem Iteroscanner Element 2 gescannt. Aus den STL-Daten wurden mit der Software OnyxCeph gesockelte digitale Kiefermodelle hergestellt und in der digitalen Patientenakte archiviert. Solche digitalen Modelle sind valide, zuverlässig reproduzierbar (28,



64) und eignen sich gut für digitale Analysen (53). Dennoch wurden alle Modelle nach Export mit einem Prusa MK3S mit Extruder GreentecPro Filament 3D-gedruckt, um mit dem Intraoralscanner CS 3600 erneut eingescannt zu werden, denn nur so konnten sie mit der Analysesoftware CS Model+ weiterverarbeitet werden.

Trotz dieses sehr umständlichen Vorganges war die Modellqualität vermutlich ausreichend gut (7,52, 59, 64, 67, 72, 92). Darüber hinaus wären etwaige minimale Dimensionsveränderungen als systematisch homogen zu betrachten, das heißt, sie hätten sich grundsätzlich nicht auf das Ergebnis der Studie ausgewirkt.

### **5.1.6 Vermessungssoftware**

Wie oben ausgeführt setzt die CS Model+ Software ein manuelles Ausrichten der Messrichtung für die Bestimmung der maximalen mesio-distalen Breite der klinischen Krone voraus. Eine Unzulänglichkeit des Analyseprogramm CS Model+ war, dass es bei Kontaktpunktabweichungen von  $> 4,0$  mm, also bei extremen Engständen, eine Unterzahl/Impaktion erkannte (Abb. 20), was fälschlicherweise den PAR-Score auf den Wert 5 (statt korrekterweise 3) erhöhte. Diese Fehldiagnose trat bei 15 Anfangsmodellen in der Unterkieferfront auf, so dass hier manuell nachgemessen werden musste. Dieses Softwareproblem sollte in späteren Versionen behoben sein, denn es disqualifizierte die Model+ Software Version 5 für einen generellen semi-automatisierten Einsatz zur PAR-Indexbestimmung. Während nicht jede Software ausreichend zuverlässige Ergebnisse beim Analysieren von Modellen liefert (55), sind Luqmani et al. 2019 der Meinung, dass die PAR-Ermittlung mit der Model+ Software 2.0.5 valide ist (70). Allerdings bemängeln sie die längere Dauer im Vergleich zum manuellen Vorgehen dem PAR-Lineal.



*Abbildung 21: Beispiel für einen Engstand, der eine manuelle Nachmessung erforderlich machte.*

Bei der Berechnung des Little-Indexes durch die CS Model+ Software trat dieser Fehler nicht auf, da dieser Index keine Sonderregelung für impaktierte Zähne aufweist, sondern nur die Abweichungen der Approximalkontakte zueinander kennt (69).

## **5.2 Methode**

### **5.2.1 Das Behandlungsprotokoll für Invisalign bei ADENTICS**

Wenn das Ende eines Schienensatzes erreicht war, oder Aligner eines Schienensatzes nicht mehr genau passten, wurde ein neuer Scan und neue Fotos angefertigt und ein neuer Behandlungsplan (ClinCheck) angefordert. Bis zum Eintreffen dieses ClinChecks und der erforderlichen Überarbeitungen (durchschnittlich 3,7 Reviews) durch den Behandler, aber auch Align Technology, verstrichen mehrere Tage, wenn nicht gar Wochen. Aus den genannten Gründen konnte sich somit die Behandlungszeit in Einzelfällen um mehrere Monate verlängern.

## 5.2.2 Patienteninstruktionen

Selbst wenn ausnahmsweise einzelne Patienten bei einem Termin nicht von ihrem Stammbehandler betreut wurden, so bestand Einigkeit über die grundlegenden Trageinstruktionen (einschließlich damaligem 14-tägigen Wechselintervall und Verhalten bei scheuernden oder schlecht passenden Schienen). Das allein scheint die Anzahl der Notfalltermine einer etwa 1,5 Jahre dauernden Behandlung auf durchschnittlich eins reduziert zu haben.

## 5.2.3 Messverfahren

Je 25 Anfangs- und Endmodelle wurden vier Wochen nach der Erstmessung durch den gleichen Untersucher erneut analysiert, um die Reliabilität des Messverfahrens zu ermitteln. Eine Scheinreliabilität durch Erinnerungs-, Lern- oder Übungseffekte konnte somit ausgeschlossen werden.

Eine Standardabweichung von nur 0,002 für die Retest-Reliabilität sowie der Wert von 1 in der Cronbach Analyse bestätigten die hohe Reproduzierbarkeit der Messungen (Tabelle 3).

**Tabelle 3: Retest-Reliabilität**

|                           | Mean    | Std. Deviation | N  |
|---------------------------|---------|----------------|----|
| Ausgangsmessung gewichtet | 14.7000 | 10.19654       | 50 |
| Nachmessung gewichtet     | 14.7000 | 10.19854       | 50 |

## 5.2.4 Untersuchungszeitraum und Gruppengröße

Durch das Aufteilen sämtlicher Patienten auf drei Untersuchungszeiträume und drei Behandler ergaben sich relativ homogene Gruppengrößen (Tabelle 4).

**Tabelle 4: Unterteilung der Patientengruppe auf drei Zeiträume T1, T2 und T3**

| <b>Between-Subjects Factors</b> |   |             |    |
|---------------------------------|---|-------------|----|
|                                 |   | Value Label | N  |
| Behandlungsbeginn               | 1 | 2013-2014   | 23 |
|                                 | 2 | 2015-2016   | 23 |
|                                 | 3 | 2017-2018   | 35 |
| Behandler                       | 1 | B           | 30 |
|                                 | 2 | M           | 22 |
|                                 | 3 | U           | 29 |

### 5.2.5 Ergebnisqualität

Zahlreiche andere Studien validierten den PAR-Index bereits als geeignetes Messinstrument, um Zahn- und Kieferstellungsverbesserungen zu erfassen (12, 30, 31, 43, 81, 87). Im Gegensatz dazu ist der Little-Index fehleranfällig in der Reproduktion von Ergebnissen (71), allerdings ist er leicht anwendbar (6) und eignet sich zumindest als ein Indikator für eine ästhetische Frontzahnstellung.

### PAR-Index und LII der Anfangs- und Endmodelle

Hier gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlern oder zwischen den Zeitpunkten T0, T1 und T2. Die leichte Tendenz zu höheren (gewichteten) PAR-Werten bei den zwei späteren Behandlungszeiträumen erklärt sich wahrscheinlich durch die gestiegene Erfahrung und Sicherheit in der Behandlung mit dem Invisalign-System und somit einer Ausweitung des Behandlungsspektrums. Diese Annahme wird durch die tendenzielle Zunahme des LII gestützt.

Bei den Endmodellen zeigte sich sowohl für den PAR-Index als auch den LII keine Verbesserung der Werte für T0, T1 und T2. Der generell erreichte (gewichtete) PAR-Wert von durchschnittlich 7 war gut, aber nicht herausragend. So entspräche ein PAR-Wert von < 5 einem sehr guten Ergebnis, während ein Wert von < 10 als akzeptables Ergebnis gewertet werden kann.

Somit stellen sich zwei Fragen:

1. Warum war die Behandlungsqualität der drei Behandler nur ausreichend?

2. Warum erfolgte keine Verbesserung der Behandlungsqualität von T0 zu T3?  
Fand somit kein Lernprozess statt und kam es zu keinem Erfahrungsgewinn?

Um diese beiden Fragen zu beantworten, muss kurz das Invisalign-Konzept von ADENTICS vorgestellt werden. Normalerweise werden während einer „Full/Comprehensive“-Behandlung alle Zähne bewegt und auch die Bisslage korrigiert, was zu einer Behandlungsdauer von 1 ½ bis 2 Jahren führen kann. War das für einen Patienten zu lange, hatte er die Möglichkeit, auf eine Bisskorrektur zu verzichten, so dass dann über eine approximale Schmelzpolitur lediglich die horizontale Schneidezahnstufe verkleinert wurde. Es bestand also die Möglichkeit für den Patienten, die Bisslagekorrektur im Sinne einer kürzeren Behandlungsdauer abzuwählen, wenn der Arzt es für medizinisch vertretbar hielt. Diese Art von Behandlungen wurde bei 23 der untersuchten 81 Patienten beispielsweise angewendet. Die bei einer solchen Behandlung verbleibende inzisale Stufe (Overjet) führte jedoch zu einem erheblichen Malus bei den PAR-Auswertungen, da dieser Parameter 6fach gewichtet wird. Auch wenn eine vollständige Bisslagekorrektur und Overjetreduktion zu besseren PAR-Werten geführt hätte, sollte man jedoch bedenken, dass nach Feldmann sowie Larsson und Bergström Patienten ihre Behandlung umso positiver bewerten, je mehr sie ihre Therapie mitbeeinflussen können (42, 66).

Weiterhin gab es in der untersuchten Gruppe einen Patienten mit einer Nichtanlage im Frontzahnbereich im Unterkiefer, sowie einen Patienten, bei dem eine präprothetische Lückenöffnung geplant war. Solche Sonderfälle haben ebenfalls einen negativen Einfluss auf das PAR-Ergebnis der Schlussmodelle und - wenn auch geringer - für die PAR-Wertverbesserung.

### **PAR- und Little-Indexverbesserung**

Die durchschnittliche PAR-Indexverbesserung von 19 auf 7 lag somit bei 63,2% was geringfügig niedriger, als in anderen Studien ist (10, 51).

In der Drei-Gruppen-Analyse der verschiedenen Behandlungszeiträume (T0, T1 und T2) zeigte sich kein Trend zur Verbesserung der Behandlungsqualität, sondern eher tendenziell eine Verschlechterung. Erklären lässt sich das zum einen mit grundsätzlichen Problemen bei der Überbissbehandlung, Okklusionseinstellung, Dehnung des Zahnbogens und bei bestimmten Bewegungen einzelner Zähne mit dem Invisalign-

System (14, 23, 25, 34, 56). Hinzu kam die patientenwunschorientierte Behandlungsplanung, die oben bereits erläutert wurde. Schließlich sollte nicht unerwähnt bleiben, dass das Invisalign-System spezifische Schwierigkeiten hat, die Okklusion einzustellen und spezielle Zahnbewegungen durchzuführen (51, 54).

## **5.2.6 Prozessqualität**

Zur Beurteilung der Qualität des Behandlungsprozesses der drei untersuchten Ärzte wurde hier die Behandlungsdauer, die Anzahl der Behandlungstermine, die Anzahl der Behandlungsgeräte (Invisalign-Schienensätze) sowie die Anzahl der Notfalltermine getrennt betrachtet.

### **5.2.6.1 Behandlungsdauer**

Buschang et al. und Gu et al. stellten fest, dass die Behandlungsdauer mit Invisalign grundsätzlich kürzer ist als mit festsitzenden Apparaturen (14, 51). So betrug bei Buschang et al. die durchschnittliche Aligner-Behandlungszeit 11,5 Monate im Vergleich zu 19,1 in dieser Studie. Die längere Behandlungszeit hier erklärt sich daraus, dass Buschang et al. nur leichte bis moderate Fehlstellungen behandelt hatten, während in dieser Untersuchung vorwiegend komplexere Behandlungen erfolgten.

Dass Behandler U tendenziell die kürzesten und Behandler M die längsten Behandlungen hatte, könnte sich aus Unterschieden in der Patientenkommunikation und -führung erklären. Ein klares Herausstellen der Wichtigkeit von guter Mitarbeit und ständige Motivation des Patienten sind zwei Punkte, die sicherlich die Behandlungsdauer positiv beeinflussen.

### **5.2.6.2 Anzahl der Behandlungsgeräte**

Durchschnittlich benötigten alle Behandler 3,1 Schienensätze pro Behandlung. Auch hier machte sich die Erfahrung des Behandlers nicht in einer sinkenden Anzahl von Schienensätzen bemerkbar. Stattdessen wurden von allen Behandlern tendenziell eher mehr Schienensätze benötigt, je später der Behandlungsbeginn war. Dieses Phänomen lässt sich vielleicht dadurch erklären, dass die Indikation einer Behandlung mit Invisalign mit der Zeit erweitert wurde (51, 54). Im Zeitraum T3 war eine Zunahme der Engstände in der Unterkieferfront der Anfangsmodelle zu erkennen.

### 5.2.6.3 Anzahl der Termine und Notfalltermine

Mit einer durchschnittlichen Anzahl von 13,8 Behandlungsterminen pro Patient lag die Anzahl der Termine in dieser Studie deutlich höher als in der Untersuchung von Buschang et al. mit 8 Terminen (14). Berücksichtigt man aber die durch die komplexeren Behandlungen bedingte längere Behandlungsdauer von 19,1 Monaten, kämen bei Buschang et al. 13,3 Behandlungstermine/Behandlung heraus. Somit ist dann die Anzahl der Termine wieder gut vergleichbar.

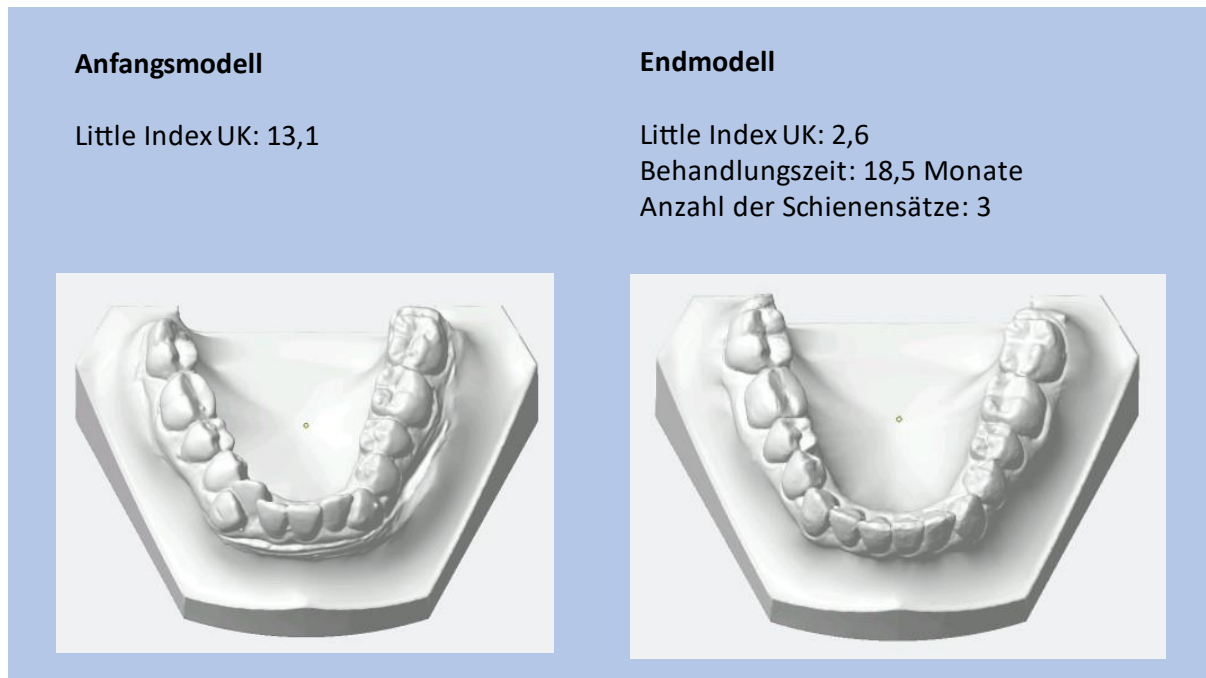
#### Anzahl der Notfalltermine

Das letzte und vielleicht naheliegendste Kriterium für die Prozessqualität ist die Anzahl der Notfalltermine (SOS-Termine), die in mehrfacher Hinsicht schlecht sind, da sie Ausdruck einer mangelhaften Behandlungsqualität sein können. Zum einen sind oft Beschwerden oder Schmerzen Ursache eines Sondertermins, was das Vertrauensverhältnis zum Behandler und die gefühlte Behandlungsqualität negativ beeinflussen kann (42,66). Zum anderen erfordert jeder Notfalltermin Zeit und verursacht somit zusätzliche Kosten. Außerdem verlängert sich die Behandlungszeit, wenn durch abgefallene Hilfsmittel oder defekte Behandlungsgeräte Zahnbewegungen nicht wie geplant voranschreiten.

Mit einer durchschnittlichen Anzahl von 1,3 Notfallterminen pro Behandlung liegt die Anzahl der SOS-Termine dieser Studie über der Angabe von Buschang et al. (14). Dort betrug der Anteil der Notfalltermine von allen Terminen 3,8 %, während es in dieser Studie 9,7 % waren. Dieser höhere Anteil an Notfallterminen erklärt sich wahrscheinlich aus der größeren Komplexität der hier untersuchten Behandlungen (ausschließlich „Full/Comprehensive“-Therapien). Sie erfordern in aller Regel das Tragen von Gummizügen, was das Anbringen von Knöpfchen oder Häkchen (Buttons, Hooks) nötig macht, die wiederum verloren gehen können. Dies wird von Casinelli et al. bestätigt (21). Knöpfchen oder Häkchen gehen vor allem dann eher verloren, wenn sie auf künstlichen Zahnoberflächen (Kronen, Brücken) befestigt sind (4), was gerade bei älteren Patienten gehäuft erforderlich wird. In dieser Studie wurden ausschließlich erwachsene Patienten untersucht.

Ein Trainingseffekt oder eine Lernkurve beim Anbringen von Hilfsmitteln ließ sich hier nicht erkennen, was vielleicht nach mindestens vier Jahren Fachzahnarztausbildung

und allgemeinzahnärztlicher Tätigkeit, die alle Behandler in dieser Studie aufwiesen, im Grunde auch nicht überraschend ist, da sich alle diese Personen wahrscheinlich bereits in einem sehr flachen Bereich der Lernkurve befanden, in dem Unterschiede vielleicht kaum noch messbar sind (48).



**Abbildung 22: Beispiel für die Korrektur eines extremen Engstandes im Unterkiefer aus der Untersuchungsgruppe T3.**



## 6 Schlussfolgerung, klinische Konsequenzen und Ausblick

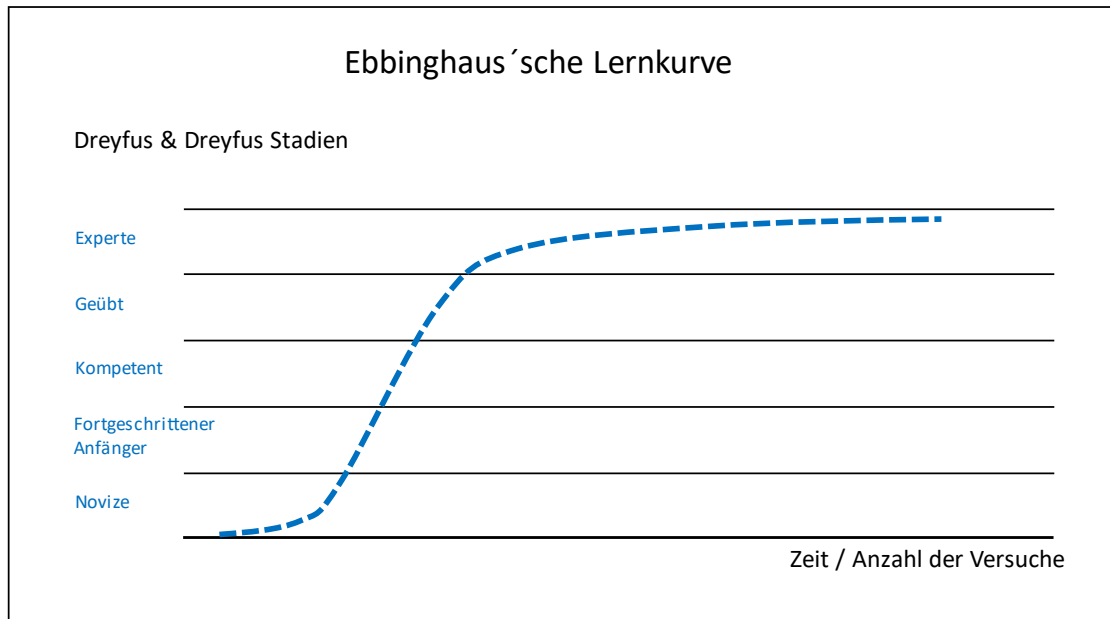
Diese Studie lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

1. Das Analysieren von Behandlungsqualität erfordert eine Betrachtung der Behandlungsergebnisse im Kontext mit der Praxisstruktur und den Praxisprozessen.
2. Eine gleichwertige fachzahnärztliche Ausbildung und allgemein verbindliche Behandlungsprotokolle ermöglichen es Kieferorthopäden mit unterschiedlicher Berufserfahrung, bei der Behandlung mit Invisalign zu gleich guten Therapieergebnissen zu kommen.
3. Die computerunterstützten Modellanalysen der Model+-Software liefern sowohl für den PAR-Index als auch für den weniger genau reproduzierbaren LII verlässliche Ergebnisse.

### **Klinische Konsequenzen:**

Die in dieser Studie sehr ähnliche Ergebnisqualität von Kieferorthopäden mit unterschiedlich langer Berufserfahrung legt nahe, dass eine Therapie mit Invisalign es auch weniger erfahrenen Behandlern ermöglicht, eine sehr gute Behandlungsqualität zu liefern. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass sich alle hier untersuchten Behandler durch ihre Ausbildung bereits auf einem gleichen fachlichen Niveau befanden, wozu beitragen mag, dass ihre Ausbildung in der selben Hochschule stattfand. Auch Cook et al. kamen zu sehr ähnlichen Ergebnissen, wenn sie Indizes und Therapiedauer bei Behandlungen an Universtäten und kieferorthopädischen Praxen verglichen (26).

Nach Dreyfus und Dreyfus ist weiterhin anzunehmen, dass sich die hier untersuchten Behandler bereits auf einem relativ hohen Niveau der Lernkurve (Abbildung 22) befunden hatten und dadurch bereits das Stadium eines „Experten“ erreichen konnten (37), womit sich nach Grange (48) ein Zuwachs an Erfahrung in den Therapieergebnissen kaum noch niederschlägt.



**Abbildung 23:** Die Lernkurve nach Ebbinghaus mit den von Dreyfus und Dreyfus definierten fünf Stadien.

Da Invisalign in seinen therapeutischen Möglichkeiten stärker limitiert ist als andere Therapiemittel (15, 23, 25, 34, 56, 60), bedarf es unbedingt des umfangreichen Wissens um alternative kieferorthopädische Behandlungsmöglichkeiten, um den richtigen Indikationskorridor für Invisalign zu finden.

Hier ist die Frage zu diskutieren, ob nur Fachzahnärzte mit dem Invisalign-System behandeln sollten oder auch Allgemeinzahnärzte (29) und was mit B2C-Firmen ist, die entsprechende Behandlungsgeräte direkt an Patienten verkaufen? Betrachtet man die einzelnen Qualitätsbausteine wie Strukturqualität (Praxisorganisation), Prozessqualität (Behandlungsprotokolle) und Ergebnisqualität (Behandlungsergebnisse) und vor allem die Limitationen des Invisalign-Systems, so spricht vor allem seine umfassende Ausbildung für den Fachzahnarzt. Denn nur dieser kann mit seiner im Rahmen der Ausbildung erworbenen Erfahrung mit verschiedenen kieferorthopädischen Behandlungsgeräten die richtige Indikation für eine Behandlung mit Alignern stellen und das Behandlungsergebnis mit möglichen Ergebnissen anderer Therapiemöglichkeiten vergleichen.

**Ausblick:**

Mit dem derzeit zu beobachtenden stark ansteigenden Interesse von erwachsenen Patienten an einer kieferorthopädischen Zahnstellungskorrektur ist eine immer eigenständigere Einbeziehung der Patienten in die Behandlungsplanung notwendig, da sie durch verschiedene Kommunikationsmedien meist bereits gut vorinformiert sind.

Doch lässt man den Patienten bei der Auswahl des Behandlungsgerätes und des Behandlungsumfanges weitgehend mitentscheiden, erhöht das die (fach-) zahnärztliche Verantwortung, den Patienten über Vor- und Nachteile einer Therapiemethode umfangreich aufzuklären. Nur wenn ein Patient sowohl über Behandlungsaufwand, -risiken und -alternativen als auch über die nachfolgenden Retentionsmaßnahmen ausreichend informiert wurde, wird er die Behandlungsqualität auch als ausreichend gut wahrnehmen und vor Schäden im stomatognathen System durch eine falsche Behandlung oder noch mehr durch die Auswahl des falschen Behandlungsgerätes bewahrt bleiben.

Die entsprechende Facherfahrung kann nicht durch eine wie auch immer gestaltete Zertifizierung, sondern nur durch eine fundierte Fachzahnarztausbildung erworben werden.

## 7 Literaturverzeichnis

1. Abbate GM, Caria MP, Montanari P, Mannu C, Orrù G, Caprioglio A, Levrini L. Periodontal health in teenagers treated with removable aligners and fixed orthodontic appliances. *J Orofac Orthop*. 2015 May;76(3):240-250.
2. Aljehani D, Baeshen HA. Effectiveness of the American Board of Orthodontics Discrepancy Index in predicting Treatment Time. *J Contemp Dent Pract*. 2018 Jun 1;19(6):647-650.
3. Alsaeed SA, Kennedy DB, Aleksejuniene J, Yen EH, Pliska BT, Flanagan DC. Outcomes of orthodontic treatment performed by individual orthodontists vs 2 orthodontists collaborating on treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2020 Jul;158(1):59-67.
4. Alzainal AH, Majud AS, Al-Ani AM, Mageet AO. Orthodontic Bonding: Review of the Literature. *Int J Dent*. 2020 Jul 14.
5. Andrews L. F. The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod* 1972;62: 296–309.
6. Antoszewska-Smith J, Bohater M, Kawala M, Sarul M, Rzepecka-Skupień M. Treatment of Adults with Anterior Mandibular Teeth Crowding: Reliability of Little's Irregularity Index. *Int J Dent*. 2017.
7. 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):429-434.
8. Berufsverband der Deutschen Kieferorthopäden, Weißbuch Kieferorthopädie: Stand und Perspektiven der Qualitätssicherung in der Kieferorthopädie für die vertragszahnärztliche Versorgung. BDK, 1993.

9. Best AD, Shroff B, Carrico CK, Lindauer SJ. Treatment management between orthodontists and general practitioners performing clear aligner therapy. *Angle Orthod.* 2017 May;87(3):432-439.
10. 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):279-288.
11. Bräscher AK, Zuran D, Feldmann RE Jr, Benrath J. Patient survey on Invisalign® treatment comparing the SmartTrack® material to the previously used aligner material. *J Orofac Orthop.* 2016 Nov;77(6):432-438.
12. 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.
13. Bundeszahnärztekammer. Gebührenordnung für Zahnärzte (GOZ). BZAEK 2011 Dec.
14. Buschang PH, Ross M, Shaw SG, Crosby D, Campbell PM. Predicted and actual end-of-treatment occlusion produced with aligner therapy. *Angle Orthod.* 2015 Sep;85(5):723-727.
15. Buschang PH, Shaw SG, Ross M, Crosby D, Campbell PM. Comparative time efficiency of aligner therapy and conventional edgewise braces. *Angle Orthod.* 2014 May;84(3):391-396.
16. Burt BM, ElBardissi AW, Huckman RS, Cohn LH, Cevasco MW, Rawn JD, Aranki SF, Byrne JG. Influence of experience and the surgical learning curve on long-term patient outcomes in cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2015 Nov;150(5):1061-1067, 1068.e1-3.
17. Calderón JL, Beltrán RA. Pitfalls in health communication: healthcare policy, institution, structure, and process. *MedGenMed.* 2004 Jan 7;6(1):9.

18. Cangialosi TJ, Riolo ML, Owens SE Jr, Dykhouse VJ, Moffitt AH, Grubb JE, Greco PM, English JD, James RD. The ABO discrepancy index: a measure of case complexity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 Mar;125(3):270-278.
19. Cansunar HA, Uysal T. (2014) Relationship between pretreatment case complexity and orthodontic clinical outcomes determined by the American Board of Orthodontics criteria. *Angle Orthod.* 84(6):974-979.
20. Cardoso PC, Espinosa DG, Mecnas P, Flores-Mir C, Normando D. Pain level between clear aligners and fixed appliances: a systematic review. *Prog Orthod.* 2020 Jan 20;21(1):3.
21. 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.
22. Casko JS, Vaden JL, Kokich VG, Damone J, James RD, Cangialosi TJ, Riolo ML, Owens SE Jr, Bills ED. Objective grading system for dental casts and panoramic radiographs. American Board of Orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998 Nov;114(5):589-599.
23. Castroflorio T, Garino F, Lazzaro A, Debernardi C. Upper-Incisor Root Control with Invisalign Appliances *JCO XLVII June2013;346–351.*
24. Chowdhury MM, Dagash H, Pierro A. A systematic review of the impact of volume of surgery and specialization on patient outcome. *Br J Surg.* 2007 Feb;94(2):145-161.
25. Christou T, Abarca R, Christou V, Kau CH. Smile outcome comparison of Invisalign and traditional fixed-appliance treatment: A case-control study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020 Mar;157(3):357-364.

26. Cook DR, Harris EF, Vaden JL. Comparison of university and private-practice orthodontic treatment outcomes with the American Board of Orthodontics objective grading system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 Jun;127(6):707-712.
27. Cons NC, Jenny J, Kohout FJ, Songpaisan Y, Jotikastira D. Utility of the dental aesthetic index in industrialized and developing countries. *J Public Health Dent.* 1989 Summer;49(3):163-166.
28. Czarnota J, Hey J, Fuhrmann R (2016) Measurements using orthodontic analysis software on digital models obtained by 3D scans of plaster casts: Intrarater reliability and validity. *J Orofac Orthop* 77:22–30.
29. d'Apuzzo F, Perillo L, Carrico CK, Castroflorio T, Grassia V, Lindauer SJ, Shroff B. Clear aligner treatment: different perspectives between orthodontists and general dentists. *Prog Orthod.* 2019 Mar 11;20(1):10.
30. Deguchi T, Honjo T, Fukunaga T, Miyawaki S, Roberts WE, Takano-Yamamoto T. Clinical assessment of orthodontic outcomes with the peer assessment rating, discrepancy index, objective grading system, and comprehensive clinical assessment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 Apr;127(4):434-443.
31. DeGuzman L, Bahiraei D, Vig KW, Vig PS, Weyant RJ, O'Brien K. The validation of the Peer Assessment Rating index for malocclusion severity and treatment difficulty. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995 Feb;107(2):172-176.
32. De Oliveira NS, Rossouw E, Lages EMB, Macari S, Pretti H. Influence of clinical experience on accuracy of virtual orthodontic attachment bonding in comparison with the direct procedure. *Angle Orthod.* 2019 Sep;89(5):734-741.
33. DIN EN ISO 9000:2015-11, Beuth Verlag 2015.

34. Djeu G, Shelton C, Maganzini A. Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system. *AmJ Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:292–298.
35. Donabedian A. The quality of care. How can it be assessed? *JAMA*. 1988 Sep 23-30;260(12):1743-1748.
36. Dowling AH, Burns A, Macauley D, Garvey TM, Fleming GJP (2013) Can the intra-examiner variability of Little's Irregularity Index be improved using 3D digital models of study casts? *J Dent* 41:1271–1280.
37. Dreyfus SE, Dreyfus HL: A five-stage model of the mental activities involved in directed skill acquisition. California Univ Berkeley Operations Research Center, Berkeley, CA, February 1980.
38. Elbardissi AW, Duclos A, Rawn JD, Orgill DP, Carty MJ. Cumulative team experience matters more than individual surgeon experience in cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013 Feb;145(2):328-333.
39. Elhaddaoui R, Qoraich HS, Bahije L, Zaoui F. Orthodontic aligners and root resorption: A systematic review. *Int Orthod*. 2017 Mar;15(1):1-12.
40. El Saghir NS, Keating NL, Carlson RW, Khoury KE, Fallowfield L. Tumor boards: optimizing the structure and improving efficiency of multidisciplinary management of patients with cancer worldwide. *Am Soc Clin Oncol Educ Book*. 2014:e461-6.
41. Fang X, Qi R, Liu C. Root resorption in orthodontic treatment with clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2019 Nov;22(4):259-269.
42. Feldmann I. Satisfaction with orthodontic treatment outcome. *Angle Orthod*. 2014 Jul;84(4):581-587.



43. 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 Dento-facial Orthop.* 2002;122(5):463-9.
44. Galbreath RN, Hilgers KK, Silveira AM, Scheetz JP. Orthodontic treatment provided by general dentists who have achieved master's level in the Academy of General Dentistry. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006 May;129(5):678-686.
45. Gao M, Yan X, Zhao R, Shan Y, Chen Y, Jian F, Long H, Lai W. Comparison of pain perception, anxiety, and impacts on oral health-related quality of life between patients receiving clear aligners and fixed appliances during the initial stage of orthodontic treatment. *Eur J Orthod.* 2021 Jun 8;43(3):353-359.
46. Garvin DA. What does „product quality” really mean? *Sloan Management Review* 1984.
47. Gemeinsamer Bundesausschuss. Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses über grundsätzliche Anforderungen an ein einrichtungsinternes Qualitätsmanagement für Vertragsärztinnen und Vertragsärzte, Vertragspsychotherapeutinnen und Vertragspsychotherapeuten, medizinische Versorgungszentren, Vertragszahnärztinnen und Vertragszahnärzte sowie zugelassene Krankenhäuser. Banz AT 2020 Dec.
48. Grange P, Mulla M. Learning the "learning curve". *Surgery.* 2015 Jan;157(1):8-9.
49. Grewal H, Sapawat P, Modi P, Aggarwal S. Psychological impact of orthodontic treatment on quality of life - A longitudinal study. *Int Orthod.* 2019 Jun;17(2):269-276.
50. Grünheid T, Loh C, Larson BE. How accurate is Invisalign in nonextraction cases? Are predicted tooth positions achieved? *Angle Orthod.* 2017 Nov;87(6):809-815.

51. Gu J, Tang JS, Skulski B, Fields HW Jr, Beck FM, Firestone AR, Kim DG, Deguchi T. Evaluation of Invisalign treatment effectiveness and efficiency compared with conventional fixed appliances using the Peer Assessment Rating index. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017 Feb;151(2):259-266
52. 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):151-158.
53. Hannebauer A (2020) A Comparison of the PAR Index based on analog plaster and plastic models respectively, as well as digital models in OnyxCeph and OrthoAnalyzer respectively. Charité Berlin.
54. Haouili N, Kravitz ND, Vaid NR, Ferguson DJ, Makki L. Has Invisalign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020 Sep;158(3):420-425.
55. Hildebrand JC, Palomo JM, Palomo L, Sivik M, Hans M. Evaluation of a software program for applying the American Board of Orthodontics objective grading system to digital casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008 Feb;133(2):283-289.
56. Houle JP, Piedade L, Todescan R Jr, Pinheiro FH. The predictability of transverse changes with Invisalign. *Angle Orthod.* 2017 Jan;87(1):19-24.
57. Izhar A, Singh G, Goyal V, Singh R, Gupta N, Pahuja P. Comparative Assessment of Clinical and Predicted Treatment Outcomes of Clear Aligner Treatment: An in Vivo Study. *Turk J Orthod.* 2019 Dec 1;32(4):229-235.
58. Jiang Q, Li J, Mei L, Du J, Levrini L, Abbate GM, Li H. Periodontal health during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: A meta-analysis. *J Am Dent Assoc.* 2018 Aug;149(8):712-720.e12.

59. Kamimura E, Tanaka S, Takaba M, Tachi K, Baba K. In vivo evaluation of interoperator reproducibility of digital dental and conventional impression techniques. *PLoS One*. 2017;12(6):e0179188.
60. Kassam SK, Stoops FR. Are clear aligners as effective as conventional fixed appliances? *Evid Based Dent*. 2020 Mar;21(1):30-31.
61. Ke Y, Zhu Y, Zhu M. BMC. A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies. *Oral Health*. 2019 Jan 23;19(1):24
62. Kesling HD. The philosophy of tooth positioning appliance. *AmJ Orthod* 1945;31:297–304
63. Kiyak HA. Does orthodontic treatment affect patients' quality of life? *J Dent Educ*. 2008 Aug;72(8):886-894.
64. 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):3387-3396.
65. Krieger E, Seiferth J, Marinello I, Jung BA, Wriedt S, Jacobs C, Wehrbein H. Invisalign® treatment in the anterior region: were the predicted tooth movements achieved? *J Orofac Orthop*. 2012 Sep;73(5):365-376.
66. Larsson BW, Bergström K. Adolescents' perception of the quality of orthodontic treatment. *Scand J Caring Sci*. 2005 Jun;19(2):95-101.
67. 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.

68. Liu S, Oh H, Chambers DW, Baumrind S, Xu T. Validity of the American Board of Orthodontics Discrepancy Index and the Peer Assessment Rating Index for comprehensive evaluation of malocclusion severity. *Orthod Craniofac Res.* 2017 Aug;20(3):140-145. doi: 10.1111/ocr.12195. Epub 2017 Jul 3. PMID: 28670875.
69. Little RM (1975) The Irregularity Index: A quantitative score of mandibular anterior alignment. *Am J Orthod.* 68:554-563.
70. 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):148-155 e1.
71. MacAuley D, Garvey TM, Dowling AH, Fleming GJP (2012) Using Little's Irregularity Index in orthodontics: Outdated and inaccurate? *J Dent* 40:1127–1233.
72. Mayers M, Firestone AR, Rashid R, Vig KWL (2005) Comparison of peer assessment rating (PAR) index scores of plaster and computer-based digital models. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 128:431–434.
73. Miethke RR, Brauner K. A Comparison of the periodontal health of patients during treatment with the Invisalign system and with fixed lingual appliances. *J Orofac Orthop.* 2007 May;68(3):223-231. English, German.
74. Miethke RR, Wronski C. What can be achieved with removable orthodontic appliances? *J Orofac Orthop.* 2009 May;70(3):185-99. English, German.
75. Miller KB, McGorray SP, Womack R, et al. A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:302.e1–302.e9
76. Nanda RS, Kierl MJ. Prediction of cooperation in orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992 Jul;102(1):15-21.

- 
77. Nedwed V, Miethke RR. Motivation, acceptance and problems of invisalign patients. *J Orofac Orthop*. 2005 Mar;66(2):162-173.
  78. Onyeaso CO, Begole EA. Relationship between index of complexity, outcome and need, dental aesthetic index, peer assessment rating index, and American Board of Orthodontics objective grading system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007 Feb;131(2):248-252.
  79. Parrish LD, Roberts WE, Maupome G, Stewart KT, Bandy RW, Kula KS. The relationship between the ABO discrepancy index and treatment duration in a graduate orthodontic clinic. *Angle Orthod*. 2011 Mar;81(2):192-187
  80. Plaza SP, Aponte CM, Bejarano SR, Martínez YJ, Serna S, Barbosa-Liz DM. Relationship between the Dental Aesthetic Index and Discrepancy Index. *J Orthod*. 2020 Sep;47(3):213-222.
  81. 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):125-139.
  82. 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):180-187.
  83. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL (2016) Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *AmJ Orthod Dentofac Orthop* 149:161–170
  84. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod*. 2015 Sep;85(5):881-889.

85. Rosvall MD, Fields HW, Ziuchkovski J, Rosenstiel SF, Johnston WM. Attractiveness, acceptability, and value of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135:276.e1–276.e12; discussion 276–277.
86. Scheibe K, Ruf S. Lower bonded retainers: survival and failure rates particularly considering operator experience. *J Orofac Orthop*. 2010 Jul;71(4):300-307.
87. Shaw WC, Richmond S, O'Brien KD. The use of occlusal indices: a European perspective. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1995 Jan;107(1):1-10.
88. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health*. 2014 Jun 11; 14:68.
89. Vicéns J, Russo A. Comparative use of Invisalign by orthodontists and general practitioners. *Angle Orthod*. 2010 May;80(3):425-434.
90. Vu CQ, Roberts WE, Hartsfield JK Jr, Ofner S. Treatment complexity index for assessing the relationship of treatment duration and outcomes in a graduate orthodontics clinic. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008 Jan;133(1):9.e1-13.
91. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J*. 2017 Mar;62 Suppl 1:58-62.
92. Wesemann C. Genauigkeit von digitalisierten und gedruckten Ganzkiefermodellen: Charité -Universitätsmedizin Berlin; 2018.
93. White DW, Julien KC, Jacob H, Campbell PM, Buschang PH. Discomfort associated with Invisalign and traditional brackets: A randomized, prospective trial. *Angle Orthod*. 2017 Nov;87(6):801-808.
94. Wolsky SL, McNamara JA Jr. Orthodontic services provided by general dentists. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1996 Aug;110(2):211-217.

95. Wright TP. Factors Affecting the Cost of Airplanes:J. Aero. Sc., Feb. 1936
  
96. Zhou Y, Wang Y, Wang X, Volière G, Hu R. The impact of orthodontic treatment on the quality of life a systematic review. BMC Oral Health. 2014 Jun 10;14:66.

## 8 Eidesstattliche Versicherung

Ich, Woo-Ttum Bittner, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema:

Untersuchung der Behandlungsqualität von Kieferorthopäden mit unterschiedlicher Berufserfahrung bei einer Behandlung mit dem Invisalign®-System

Examination of the treatment quality of orthodontists with different work experience in treatments with the Invisalign® System

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.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

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](http://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



## 9 Lebenslauf

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

## 10 Danksagung

Diese Arbeit widme ich meinen Eltern Duck-Hie und Dr. Walter Bittner †, meiner Frau Sylke sowie meinen Kindern Tamino und Talita.

Diese Arbeit entstand von Januar 2021 bis Januar 2022 mit Daten aus der eigenen Praxis.

Ich bedanke mich besonders bei:

- Meiner Frau für die große Unterstützung zu Hause und in der Praxis
- Meinem Erstbetreuer Univ.-Prof. Dr. Dr. Ralf-J. Radlanski für den Optimismus und die Möglichkeit der Promotion
- Meinem Zweitbetreuer, Ausbilder und Mentor Univ.-Prof. em. Dr. Rainer-Reginald Miethke für die permanente Erinnerung, „dranzubleiben“.
- Dr. Christian Wesemann für die Hilfe bei der statistischen Auswertung
- Dr. Julie Angrick für die Unterstützung mit der Software und bei den Probeläufen für die Messungen
- Dr. Ayse Safaltin für die Unterstützung bei der Literaturrecherche
- Alex Theilmann bei der Unterstützung mit Excel

Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Stefan Haupt der Firma Carestream für das Bereitstellen des Scanners und der Software, bei meinen Partnern und meinem gesamten Praxisteam, das mir beim Zusammenstellen der Daten und beim Drucken der Modelle tatkräftig geholfen hat.

# 11 Bescheinigung Statistik



CharitéCentrum für Human- und Gesundheitswissenschaften

Charité | Campus Charité Mitte | 10117 Berlin

Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBikE)

Direktor: Prof. Dr. Geraldine Rauch

**Name, Vorname:** Bittner, Woo-Ttum  
**Emailadresse:** wtbt@adentics.de  
**Matrikelnummer:** 2630747  
**PromotionsbetreuerIn:** Prof. Dr. Dr. Radlanski  
**Promotionsinstitution / Klinik:** Charité, Abt. Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie

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 Herr Woo-Ttum Bittner innerhalb der Service Unit Biometrie des Instituts für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBikE) bei mir eine statistische Beratung zu einem Promotionsvorhaben wahrgenommen hat. Folgende Beratungstermine wurden wahrgenommen:

- Termin 1: 28.01.2021
- Termin 2: 14.01.2022

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

- Prüfung der Normalverteilungsannahme durch Q-Q Plots
- Der Levene-Test bei kleinen Fallanzahlen
- Darstellung von Daten in Boxplots

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: 11.03.2022

Name des Beraters: Konrad Neumann

DR. Konrad  
Neumann

Digital unterschrieben von DR.  
Konrad Neumann  
Datum: 2022.03.11 09:54:06 +0100

Unterschrift BeraterIn, Institutsstempel

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