

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie

Klinik der Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

**Untersuchung**  
**eines digitalen Registrierverfahrens der Kieferbewegung**  
**zur Herstellung von adjustierten Aufbisschienen**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Josefa Müller

aus Gräfelfing

2023

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. Karin C. Huth, MME

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Steffen Peldschus

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter:

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 25.05.2023

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>3</b>
1.1	Bruxismus.....	4
1.1.1	Definition.....	4
1.1.2	Prävalenz.....	5
1.1.3	Klinische Befunde.....	6
1.1.4	Ätiologie.....	9
1.1.5	Diagnostik.....	11
1.1.6	Behandlung.....	15
1.2	Schientherapie bei Bruxismus.....	17
1.2.1	Einordnung der Stabilisierungsschiene.....	17
1.2.2	Gestaltung von Stabilisierungsschienen bei Bruxismus.....	18
1.3	Elektronisches Registriersystem im digitalen Herstellungsprozess.....	20
1.3.1	Grundlagen zur patientenindividuellen Bewegungssimulation.....	20
1.3.2	Patientenindividuelle Bewegungssimulation im digitalen Workflow.....	20
1.3.3	Bewegungsaufzeichnung mittels extraoraler elektronischer Messsysteme.....	21
1.3.4	Methodische Ansätze der Scharnierachsbestimmung.....	23
<b>2.</b>	<b>Ziel der Studie.....</b>	<b>25</b>
<b>3.</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>26</b>
3.1	Studiendesign.....	26
3.2	Patientenkollektiv.....	26
3.3	Studienort und -zeitraum.....	27
3.4	Screening.....	27
3.5	Erstsitzung (Baseline).....	28
3.6	Schienenherstellung im zahntechnischen Labor.....	33
3.7	Einsetzen der Schienen.....	36
3.8	Recall.....	36
3.9	Datenmanagement und statistische Auswertung.....	37
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>38</b>
4.1	Patientenkollektiv.....	38
4.2	Patientenkomfort der Gesichtsbögen.....	39
4.3	Tragekomfort der Schienen.....	40

---

4.3.1	Tragekomfort nach Adjustierung .....	40
4.3.2	Tragekomfort nach drei Monaten.....	41
4.4	Schienenpassung .....	42
4.4.1	Schienenpassung im Artikulator .....	42
4.4.2	Schienenpassung im Patientenmund .....	43
4.5	Einschleifzeit.....	44
4.5.1	Einschleifzeit im Artikulator .....	44
4.5.2	Einschleifzeit im Patientenmund .....	45
<b>5.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>46</b>
5.1	Diskussion der Methoden .....	46
5.2	Interpretation und Diskussion der Ergebnisse .....	51
5.2.1	Diskussion des Patientenkomforts der Gesichtsbögen.....	51
5.2.2	Diskussion des Tragekomforts der Schienen.....	53
5.2.3	Diskussion der Kontaktpunktzahl.....	54
5.2.4	Diskussion der Einschleifzeit.....	56
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>58</b>
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>60</b>
<b>8.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>70</b>
<b>9.</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>71</b>
<b>10.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>72</b>
<b>11.</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>73</b>
<b>12.</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>85</b>

## 1. Einleitung

Der Einzug der Digitalisierung in die Zahnmedizin ebnete nicht nur den Weg dafür, einzelne Arbeitsschritte zu digitalisieren, sondern auch einen digitalen Herstellungsprozess zahntechnischer Arbeiten umzusetzen. Neben der Entwicklung und in-vitro Evaluation digitaler Verfahren, gilt es auch, ihre klinische Anwendung zu untersuchen.

Ein Arbeitsschritt, der sich digitalisieren lässt, ist beispielweise die Erfassung von Funktionsparametern bei der Unterkieferbewegung des Patienten. Solche Bewegungsparameter können dazu dienen, die Okklusion bei der Herstellung zahntechnischer Arbeiten möglichst patientenindividuell zu simulieren. Durch den Einsatz eines Gesichtsbogens bei der Herstellung zahntechnischer Arbeiten kann der Fehler in der statischen Okklusion infolge veränderter vertikaler Modellbeziehung im Artikulator verringert werden (Morneburg und Pröschel, 2011). Laut Morneburg und Pröschel (2011) muss dadurch die zahntechnische Arbeit weniger nachbearbeitet werden. Mittels eines elektronischen Registriersystems lässt sich der Arbeitsschritt des konventionell verwendeten arbiträren Gesichtsbogens digitalisieren. Darüber hinaus können vereinfacht patientenindividuelle Daten der Kieferbewegung wie eine individualisierte Scharnierachse gesammelt und in den digitalen Workflow integriert werden (DGFDT und DGZMK, 2019). Laut aktueller Leitlinie zur instrumentellen zahnärztlichen Funktionsanalyse bedarf es noch Forschung zu der Frage, ob die Realisierung eines digitalen Herstellungsprozesses mit analogem Vorgehen gleichzusetzen ist (DGFDT und DGZMK, 2015). Klinische Studien zur virtuellen Modellmontage im Artikulator werden benötigt (Lepidi *et al.*, 2021).

In dieser Studie wird die Integration eines elektronischen Registriersystems in den digitalen Herstellungsprozess anhand von Okklusionsschienen klinisch untersucht. Die angefertigten Schienen wurden zur Behandlung von Bruxismus eingesetzt. Bevor auf die Individualisierung der statischen Okklusion und das elektronische Registriersystem eingegangen wird, soll aktuelle Literatur zu Bruxismus und dessen Behandlung mit Okklusionsschienen zusammengetragen werden.

## 1.1 Bruxismus

### 1.1.1 Definition

In der aktuellen S3-Leitlinie zur Diagnostik und Behandlung von Bruxismus wird die Definition eines vielfach zitierten Konsens-Bericht sowie dessen spätere Aktualisierung aufgeführt (DGFDT und DGZMK, 2019; Lobbezoo *et al.*, 2013; Lobbezoo *et al.*, 2018). Die Beschreibungen der internationalen Expertengruppe werden im Folgenden herangezogen, um Bruxismus zu definieren.

Lobbezoo und Kollegen (2013) beschäftigen sich mit der Definition und Diagnostik von Bruxismus infolge unterschiedlicher Begriffsbestimmungen in der Fachliteratur. Dabei wird Bruxismus wie folgt definiert: „repetitive jaw-muscle activity characterised by clenching or grinding of the teeth and/or by bracing or thrusting of the mandible“ (Lobbezoo *et al.*, 2013). Unter Bruxismus wird wörtlich das Zähneknirschen verstanden. Die Konsens-Definition geht jedoch über die Kieferbewegung des Knirschens hinaus und impliziert das Zusammenpressen der Zähne sowie das Anspannen und Verschieben des Unterkiefers. Lobbezoo und Kollegen (2013) beabsichtigen mit letzteren beiden Begriffen den Einschluss von Muskelaktivitäten, die dem Bewegungsmuster von Knirschen und Pressen gleichen, jedoch im zahnlosen Kiefer stattfinden. Bruxismus kann demnach sowohl mit als auch ohne Zahnkontakt vorliegen (Lobbezoo *et al.*, 2013). Unter Anspannen wird das erzwungene Verharren des Unterkiefers in einer bestimmten Position verstanden, unter Verschieben die Bewegung des Unterkiefers in Vorwärts- oder Lateralrichtung (Lobbezoo *et al.*, 2018).

Bruxismus wird hinsichtlich seiner zirkadianen Manifestation in Schlaf- und Wach-Bruxismus unterschieden (Lobbezoo *et al.*, 2013). Diese Begriffe sind nach Meinung der Konsens-Gruppe der damit verwandten Benennung nach Tageszeit (nocturnaler und diurnaler Bruxismus) zu bevorzugen, da es sich um eine Beschreibung des Bewusstseinszustandes unabhängig von der Tageszeit handelt. Außerdem wird empfohlen, auch bei Untersuchung des Bruxismus eindeutig hinsichtlich der zirkadianen Manifestation zu unterscheiden (Lobbezoo *et al.*, 2013). Bei Betrachtung der verfügbaren Fachliteratur scheinen Untersuchungen explizit zum Schlaf-Bruxismus zu überwiegen (DGFDT und DGZMK, 2019). So wird im Rahmen der aktuellen Leitlinie zur Diagnostik und Behandlung von Bruxismus durch DGFDT und DGZMK (2019) festgehalten, dass es mehr differenzierter Studien bedarf, wie z.B. zur Diagnostik des Wach-Bruxismus mittels Elektromyographie (EMG).

Im späteren Konsens-Beitrag wird sogar vorgeschlagen, zwei verschiedene Definitionen für Schlaf- und Wach-Bruxismus zu verwenden (Lobbezoo *et al.*, 2018). Dementsprechend ist Schlaf-Bruxismus nach Typ der Muskelaktivität im EMG charakterisiert. Merkmal von Wach-Bruxismus ist nach Lobbezoo und Kollegen (2018) wiederholter oder anhaltender Zahnkontakt und/oder Verspannen oder Verschieben des Unterkiefers.

Es wird angemerkt, dass Bruxismus unter gesunden Personen nicht als Bewegungsstörung eingeordnet werden sollte und im Falle des Schlaf-Bruxismus auch keine Schlafstörung darstellt (Lobbezoo *et al.*, 2018). Die Abgrenzung von Bewegungs- und Schlafstörungen trifft die Konsens-Gruppe vor dem Hintergrund, dass der Begriff Störung eine schädliche Dysfunktion impliziert (Wakefield, 1992). Lobbezoo und Kollegen (2018) nehmen jedoch an, dass Bruxismus ein Verhalten mit Risiko- und/oder auch Schutzfaktor darstellen kann. Dabei wird darauf Bezug genommen, dass Bruxismus einerseits die Luftzufuhr über die oberen Atemwege bei schlafbezogenen Atmungsstörungen unterstützen kann (Lavigne *et al.*, 2003; Manfredini *et al.*, 2015c). Andererseits führen Lobbezoo und Kollegen (2018) einen Beleg an, dass Bruxismus die Zähne vor Magensäure durch Anregung des Speichelflusses bei Refluxkrankheit schützen kann (Ohmure *et al.*, 2011).

### 1.1.2 Prävalenz

In Bezug auf Schlaf-Bruxismus wurde unter Erwachsenen eine Prävalenz von 12,8 % ± 3,1 % festgestellt (Manfredini *et al.*, 2013b). Die von Manfredini und Kollegen (2013b) berichtete Prävalenz zum Wach-Bruxismus (22,1 – 31 %) ist weniger eindeutig, sie übersteigt jedoch jene des Schlaf-Bruxismus. Im Widerspruch dazu steht eine Studie, die eine Befragung unter der niederländischen Bevölkerung durchführte (Wetselaar *et al.*, 2019b). Hierbei erwies sich Wach-Bruxismus mit einer Prävalenz von 5 % seltener als Schlaf-Bruxismus.

Die meisten epidemiologischen Untersuchungen beruhen auf Selbst- bzw. Fremdbeobachtung des Bruxismus (vgl. Kapitel 1.1.5). Als alleinige diagnostische Methode scheint sie jedoch unzuverlässige Ergebnisse zu liefern, was die Ursache für divergierende Ergebnisse hinsichtlich der Prävalenz sein könnte (Koyano *et al.*, 2008).

Es wird davon ausgegangen, dass Frauen häufiger von Bruxismus betroffen sind (Lavigne *et al.*, 2008). Bislang kann keine abschließende Aussage zum geschlechtsspezifischen Auftreten von Bruxismus getroffen werden (DGFDT und DGZMK, 2019). Es gibt Studien, die einen Zusammenhang zwischen Bruxismus und Geschlecht feststellten (Wetselaar *et al.*,

2019b). Dieser konnte in einer Literaturübersicht jedoch nicht bestätigt werden (Manfredini *et al.*, 2013b).

Mit steigendem Alter zeigt sich eine abnehmende Prävalenz von Bruxismus (Manfredini *et al.*, 2013b). Eine Studie, basierend auf Selbstauskunftsdaten, erfasste bei Patienten zwischen 15 und 23 Jahren dennoch eine zum jungen Erwachsenenalter zunehmende Prävalenz (Strausz *et al.*, 2010). Im Vergleich zum adulten Bruxismus liegen zum juvenilen weniger aussagekräftige Daten hinsichtlich der Prävalenz vor. Anhand von Berichten der Eltern wurde unter Kindern eine Prävalenz des Schlaf-Bruxismus von 3,5 - 40,6 % festgestellt (Manfredini *et al.*, 2013a). Die hohe Variabilität wird von Manfredini und Kollegen (2013a) auf die Untersuchung verschiedener Altersgruppen sowie auf die Diagnose durch Selbstbericht zurückgeführt. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird ausschließlich auf adulten Bruxismus eingegangen.

### **1.1.3 Klinische Befunde**

#### **1.1.3.1 Dentale und restaurative Befunde**

Aus Studienergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass Bruxismus mit erhöhter Zahnabnutzung assoziiert ist (Wetselaar *et al.*, 2019a). Im Rahmen des Tooth Wear Evaluation Systems (TWES) wird die Einteilung der Zahnabnutzung hinsichtlich seiner Ursache wie folgt beschrieben (Wetselaar und Lobbezoo, 2016):

- Mechanisch-intrinsisch (Attrition), z.B. Bruxismus,
- Mechanisch-extrinsisch (Abrasion), z.B. Nägelkauen,
- Chemisch-intrinsisch (Erosion), z.B. Magensäure,
- Chemisch-extrinsisch (Erosion), z.B. säurehaltige Getränke.

Laut Wetselaar und Lobbezoo (2016) handelt es sich bei Bruxismus im genaueren um Attrition. Diese wird durch funktionellen und/oder parafunktionellen Zahn-zu-Zahn-Kontakt verursacht, also intrinsisch-mechanisch (Wetselaar und Lobbezoo, 2016). Unter mögliche klinische Zeichen von mechanischen Einflüssen zählen Schliffacetten, kongruente Abnutzung der antagonistischen Kauflächen sowie Abnutzung von Dentin und Schmelz in gleichem Maße (Wetselaar *et al.*, 2020). Verschiedene Abnutzungsprozesse (Attrition, Abrasion, Erosion) scheinen interagierend aufzutreten, wie beispielsweise die Verstärkung der Abrasion durch erosive Prozesse (Shellis und Addy, 2014). Attrition zeigt sich zunehmend mit steigendem Alter (Rees und Somi, 2018). TWES soll nach Wetselaar und Lobbezoo (2016)

nicht nur dem Erkennen von Zahnabnutzung dienen, sondern auch seiner quantitativen Beurteilung (z.B. im Rahmen einer Verlaufsbeurteilung). Im dazugehörigen Klassifikationssystem der Zahnabnutzung wird die Verteilung (lokal/generalisiert), Schwere (mild, moderat, schwer, extrem) und Ätiologie (mechanisch/chemisch, extrinsisch/intrinsisch) berücksichtigt (Wetselaar und Lobbezoo, 2016). Im Rahmen von TWES 2.0 wurde die Klassifikation der Zahnabnutzung weiterentwickelt, wobei Kriterien zur Einstufung pathologischer Zahnabnutzung formuliert wurden (Wetselaar *et al.*, 2020).

Als weitere Ursache von Zahnhartsubstanzverlust im Zusammenhang mit Bruxismus wurden Abfraktionen untersucht (Michael *et al.*, 2009). Abfraktionen werden als zervikale keilförmige Defekte beschrieben, die infolge übermäßiger mechanischer Biegebelastung entstehen (Rees *et al.*, 2003). In einer Literaturübersicht konnte kein kausaler Zusammenhang zwischen Abfraktionen und Bruxismus sowie okklusalen Faktoren nachgewiesen werden (Michael *et al.*, 2009). Der überwiegende Anteil der Literatur deutet jedoch darauf hin, dass Abfraktionen und okklusaler Stress zusammenhängen (Duangthip *et al.*, 2017).

Kaumuskelaktivitäten wie Bruxismus können die Lebenserwartung von feststehendem und herausnehmbarem Zahnersatz verkürzen (Alharby *et al.*, 2018). Unter Bruxismus scheint das Risiko für mechanische bzw. technische Komplikationen prothetischer Versorgungen erhöht (Johansson *et al.*, 2011). In einer aktuellen Studie zeigten Feldspat-Veneers unter Bruxismus jedoch vergleichbare Überlebensraten, wenn die Patienten eine Okklusionsschiene trugen (Faus-Matoses *et al.*, 2020).

### **1.1.3.2 Schmerzen und muskuläre Befunde**

Folgende Schmerzen, die sich hinsichtlich ihrer Lokalisation unterscheiden, werden im Zusammenhang mit Bruxismus aufgeführt: Kopfschmerzen, Schmerzen in der Kau- bzw. Nackenmuskulatur, Schmerzen in den Kiefergelenken und Zahnüberempfindlichkeit (Murali *et al.*, 2015). Eine Studie zum Vergleich von bloßem Zahnkontakt und Aufeinanderpressen der Zähne kam zu dem Ergebnis, dass beide Verhaltensweisen signifikant mit Kopfschmerzen assoziiert sind (Glaros und Williams, 2012). Durch Bewertung der verfügbaren Literatur bestätigte sich, dass Bruxismus mit Schmerzen und nicht-schmerzhaften muskuloskelettalen Symptomen verbunden sein kann (Baad-Hansen *et al.*, 2019). Baad-Hansen und Kollegen (2019) verdeutlichen jedoch gleichzeitig, dass der Zusammenhang von Bruxismus und den genannten Symptomen nicht abschließend geklärt ist und andere Risikofaktoren zu berücksichtigen sind.

Des Weiteren wird hypertrophe Kaumuskulatur als Hinweis auf Bruxismus aufgezählt (vgl. Kapitel 1.1.5). In den nachfolgenden Studien wurde mittels Ultraschalls die Vergrößerung der Kaumuskulatur gemessen. Eine aktuelle Untersuchung zeigte unter Patienten mit Bruxismus eine erhöhte Dicke an *Musculus masseter* und *temporalis* (Goller Bulut *et al.*, 2020). Es gibt jedoch auch Studien, die keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Muskeldicke von Patienten mit und ohne Schlaf-Bruxismus feststellen konnten (Palinkas *et al.*, 2016).

### 1.1.3.3 Parodontale und implantologische Befunde

Es gibt Hinweise darauf, dass Bruxismus die Schwelle parodontaler Empfindungen herabsetzen kann (Ono *et al.*, 2008). Trotz begrenzter Studienlage wird vermutet, dass die Entstehung parodontaler Schäden allein durch Bruxismus unwahrscheinlich ist (Manfredini *et al.*, 2015a). Bei einer aktuelleren Untersuchung zeigten Parodontitis-Patienten mit selbstberichtetem Bruxismus im Mittel sogar signifikant niedrigere Werte bezüglich Sondierungstiefe und Attachmentverlust als jene ohne selbstberichtetem Bruxismus (Botelho *et al.*, 2019). Botelho und Kollegen (2019) schlussfolgern, dass das Parodontitis-Risiko bei Schlaf-Bruxismus reduziert ist, jedoch weitere Forschung für die Klärung dieser negativen Assoziation benötigt wird. Demgegenüber steht ein Fallbericht, bei dem unter 174 Parodontitis-Patienten eine signifikant erhöhte Rate an parodontalbedingten Zahnverlusten bei selbstberichtetem Bruxismus beobachtet wurde (Martinez-Canut *et al.*, 2017). Auch der Blick auf neuere Studien erlaubt demnach keine abschließende Beurteilung, inwiefern gewisse parodontale Befunde mit Bruxismus verknüpft sind.

Um Anhaltspunkte für den Zusammenhang zwischen Bruxismus und Parodontitis zu liefern, soll im folgenden Absatz ein Konsensbericht zur neuen Klassifikation parodontaler und periimplantärer Erkrankungen in Bezug auf traumatische okklusale Kräfte herangezogen werden (Jepsen *et al.*, 2018). Traumatische okklusale Kraft wird durch Jepsen und Kollegen (2018) als „okklusale Kraft, die zu einer Verletzung des Zahnes und/oder des parodontalen Halteapparates führt“, beschrieben. Dem Konsensbericht zufolge konnte nicht belegt werden, dass traumatische okklusale Kräfte parodontalen Attachmentverlust, nichtkariöse zervikale Läsionen oder gingivale Rezessionen verursachen. Es zeigte sich jedoch, dass sich die Beweglichkeit der jeweiligen Zähne bei normalem Stützgewebe anpasst und die Lockerung bei reduziertem Stützgewebe zunimmt (Jepsen *et al.*, 2018).

Bruxismus könnte einen Risikofaktor für mechanische Komplikationen von Implantaten und deren Suprakonstruktionen darstellen (Manfredini *et al.*, 2014). Manfredini und Kollegen (2014) beurteilen dagegen biologische Komplikationen wie beispielsweise marginaler

Knochenverlust und Implantatmobilität als unwahrscheinlich. Im Rahmen der neuen Klassifikation für parodontale und periimplantäre Erkrankungen und Zustände wird es als ungeklärt eingestuft, ob Überlastung das Risiko für Periimplantitis erhöht (Berglundh *et al.*, 2018). In der klinischen Praxis kann bei prothetischer Planung von implantatgetragenen Versorgungsmöglichkeiten die Möglichkeit einer okklusalen Entlastung berücksichtigt werden, wie z.B. durch höhere Zahl der Implantate und Vermeidung einer verkürzten Einheilzeit (Manfredini, 2013).

#### 1.1.3.4 Weitere inspektorische Befunde

Im Zusammenhang mit Bruxismus werden zahlreiche weitere klinische Beobachtungen beschrieben (Murali *et al.*, 2015). Nachfolgende Studien überprüften Zungen- und Wangenimpressionen als klinische Zeichen des Pressens (Takagi und Sakurai, 2003; Yanagisawa *et al.*, 2007). Die bukkalen Schleimhautveränderungen könnten jedoch auf den ausgeübten bukkalen Druck während des Schluckens zurückzuführen zu sein (Takagi und Sakurai, 2003). Daneben gibt es Hinweise, dass Zungenimpressionen mit der Zungenbreite zusammenhängen (Yanagisawa *et al.*, 2007). Auch wenn diese Befunde in der klinischen Praxis teilweise mit Bruxismus in Verbindung gebracht werden, sollten sie demnach nur unter Vorbehalt als klinische Zeichen für Bruxismus verwendet werden (Giannakopoulos und Schmitter, 2013). Das Vorhandensein von anormalem Zahnverschleiß könnte die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines Torus palatinus und vor allem eines Torus mandibularis erhöhen (Bertazzo-Silveira *et al.*, 2017). Bertazzo-Silveira und Kollegen (2017) merken jedoch an, dass die Evidenz für den Zusammenhang von Bruxismus und dem Vorliegen eines Torus gering ist und unter Diagnose durch Selbstbericht sogar widersprüchlich.

#### 1.1.4 Ätiologie

Die Ätiologie des Bruxismus ist nicht abschließend geklärt. Angenommen wird eine multifaktorielle Entstehung, die hauptsächlich auf zentrale und weniger auf periphere Faktoren (vgl. Tabelle 1) zurückgeführt wird (Lobbezoo und Naeije, 2001).

Es wurde ein statistisch bedeutsamer Zusammenhang zwischen Bruxismus und **Stress bzw. Angststörungen** nachgewiesen (Kuhn und Türp, 2018). Insbesondere Wach-Bruxismus wird mit psychosozialen Faktoren in Zusammenhang gebracht (Machado *et al.*, 2020; Manfredini und Lobbezoo, 2009).

Tabelle 1: Mögliche Ursachen für Bruxismus (eigene Darstellung angelehnt an Yap und Chua, 2016)

Zentrale Faktoren	Periphere Faktoren
Psychosoziale: z.B. Stress, Angst, geringe soziale Unterstützung  Pathophysiologische: z.B. Zugeführte Substanzen, Genetik, Schlafstörungen	Anatomische Faktoren:  v.a. Okklusion und Artikulation

Legale Stimulantien wie **Alkohol, Tabak und Kaffee** gehören zu zentralen, pathophysiologischen Faktoren (Yap und Chua, 2016). Diese wurden in verschiedenen Studien als Risikofaktoren für Bruxismus bestätigt (Bertazzo-Silveira *et al.*, 2016; Kuhn und Türp, 2018; Rintakoski und Kaprio, 2013).

In einer Meta-Analyse zum Zusammenhang von **Medikamenten** und Bruxismus wurde festgestellt, dass es wenig Forschung abseits von Fallberichten gibt, sodass keine abschließende Aussage getroffen werden konnte (Winocur *et al.*, 2003). Medikamente im Wirkungsbereich der Neurotransmitter, wie z.B. Antidepressiva und Antihistaminika, könnten Bruxismus begünstigen (Falisi *et al.*, 2014). Die Befundlage zum Zusammenhang von Schlaf-Bruxismus und psychotropen Medikamenten ist insgesamt als wenig gesichert zu bewerten (Melo *et al.*, 2018).

Zum Zusammenhang von illegalen **Drogen** und Bruxismus liegen kaum empirische Befunde vor (Enguelberg-Gabbay *et al.*, 2016). Enguelberg-Gabbay und Kollegen (2016) stellten jedoch einen Zusammenhang von Methadon und Wach- sowie Schlaf-Bruxismus fest. Es könnte zudem einen Zusammenhang von Ecstasy-Konsum und Bruxismus geben (Milosevic *et al.*, 1999).

Außerdem scheint das Auftreten des Bruxismus durch **genetische Faktoren** beeinflusst zu sein (Lobbezoo *et al.*, 2014). Des Weiteren konnte bei **gastroösophagealer Refluxkrankheit** sowie **Schlafapnoe** ein Zusammenhang mit Bruxismus nachgewiesen werden (Castroflorio *et al.*, 2017; Kuhn und Türp, 2018; Nota *et al.*, 2022). Es gibt Hinweise darauf, dass auch andere Schlafprobleme in Beziehung mit Bruxismus stehen könnten (Ahlberg *et al.*, 2008). Bruxismus trat außerdem gehäuft bei Patienten mit Bewegungsstörungen auf (Ella *et al.*, 2017).

Okklusion und Artikulation zählen zu den anatomischen Faktoren und werden als peripher eingestuft (vgl. Tabelle 1). Eine Bewertung der verfügbaren Literatur ergab, dass Bruxismus ursächlich nicht auf Okklusion und Artikulation zurückgeführt werden konnte (Lobbezoo *et al.*, 2012). In der aktuellen Leitlinie zu Bruxismus wird diese Aussage bekräftigt, jedoch an anderer Stelle angefügt, dass „bestimmte okklusale Parameter [...] in Kombination mit Bruxismus ein Risiko für CMD zu sein [scheinen]“ (DGFDT und DGZMK, 2019).

Neben der Einteilung nach Schlaf- und Wach-Zustand wird Bruxismus häufig auch hinsichtlich seiner Ätiologie unterschieden (Kryger *et al.*, 2010; Yap und Chua, 2016). Unter primärem Bruxismus wird dabei eine Entstehung durch unklare Ursache verstanden (idiopathisch). Mit sekundärem Bruxismus ist die Entstehung als Folge von Drogen bzw. Medikamenten (iatrogen) oder einer gesundheitlichen Störung (psychisch oder neurologisch Erkrankungen, Schlaf- oder Bewegungsstörungen) gemeint (Kryger *et al.*, 2010; Yap und Chua, 2016).

### 1.1.5 Diagnostik

Untersuchte Methoden zur Diagnostik von Bruxismus sind Selbst- bzw. Fremdanamnese, klinische Untersuchung, Elektromyographie (EMG) und zusätzlich Polysomnographie (PSG) im Fall von Schlaf-Bruxismus (Casett *et al.*, 2017). Weitere diagnostische Möglichkeiten ergeben sich durch Beurteilung des Bruxismus anhand von eingefärbten Schienen und die Unterstützung der Selbstbeobachtung durch mobile Applikationen (DGFDT und DGZMK, 2019).

Im zweiten Konsens-Beitrag der internationalen Expertengruppe wird ein aktualisiertes Grading-System zur Einschätzung der Bruxismus-Wahrscheinlichkeit vorgeschlagen (Lobbezoo *et al.*, 2018):

1. *Possible sleep/awake bruxism is based on a positive self-report only.*
2. *Probable sleep/awake bruxism is based on a positive clinical inspection, with or without a positive self-report.*
3. *Definite sleep/awake bruxism is based on a positive instrumental assessment with or without a positive self-report and/or a positive clinical inspection.*

Die Unterteilung in instrumentelle und nicht-instrumentelle Methoden soll im Folgenden übernommen werden.

### 1.1.5.1 Instrumentelle Methoden

Zu den instrumentellen Methoden gehört die **Polysomnographie** (PSG). Dabei werden verschiedene Funktionsparameter während des Schlafes meist in einem Schlaflabor gemessen (Psyhyrembel online, 2020). Eingesetzt werden dabei beispielsweise Elektroenzephalographie (EEG), Elektrookulographie (EOG), Elektromyographie (EMG), Elektrokardiographie (EKG) und Pulsoxymetrie. Auch wenn PSG als Goldstandard unter den diagnostischen Methoden des Schlaf-Bruxismus gesehen wird, stellen hohe Kosten und die Beeinflussung durch die unnatürliche Schlafumgebung Nachteile dieser Methode dar (Koyano *et al.*, 2008). In der aktuellen Bruxismus-Leitlinie wird PSG ausschließlich für Studien und zur Diagnose von Schlafstörungen empfohlen (DGFDt und DGZMK, 2019).

Die häufig herangezogenen Diagnosekriterien für Schlaf-Bruxismus (sog. Sleep bruxism research diagnostic criteria, SB-RDC) stammen aus einer Studie von Lavigne und Kollegen (1996). Diese beschreiben EMG-Werte und die Anzahl an Knirschgeräuschen. Sie wurden mit einer Sensitivität von 83,3 % und einer Spezifität von 81,3 % angegeben (Lavigne *et al.*, 1996). Später wurden sie erneut validiert und eine weitere Gruppe mit Schlaf-Bruxismus unterhalb der SB-RDC festgestellt (Rompré *et al.*, 2007).

Im Vergleich zur Referenzmethode PSG zeigten tragbare **EMG-Diagnosegeräte**, insbesondere vierkanalige EMG/EKG-Geräte, gegenüber Fragebögen und klinischer Beurteilung die höchste Validität (Casett *et al.*, 2017). Tragbare EMG-Geräte haben den Vorteil, dass sie vom Patienten zuhause angewendet werden können und die diagnostische Anwendung kostengünstiger ist (Giannakopoulos und Schmitter, 2013).

### 1.1.5.2 Nicht-instrumentelle Methoden

Der PSG und EMG sind nicht-instrumentelle Methoden gegenüberzustellen (Lobbezoo *et al.*, 2018). Eine einfache und häufig verwendete diagnostische Methode ist die **Befragung** der Patienten hinsichtlich eines positiven Selbstberichts von Bruxismus, welcher jedoch rein subjektiv ist und dadurch zu Fehleinschätzung führen kann (Koyano *et al.*, 2008). Es gibt Studien, in denen sich eine Zusammenstellung an möglichen Fragen finden lässt (Paesani *et al.*, 2013; Pintado *et al.*, 1997). Diese Fragebögen sollen an dieser Stelle beispielhaft aufgeführt werden, da sie auch in anderen Studien aufgegriffen werden (Beddis *et al.*, 2018; Giannakopoulos und Schmitter, 2013; Koyano *et al.*, 2008).

Paesani und Kollegen (2013) formulierten folgende Fragen:

- 1[.] [...] *Are you aware of the fact that you grind your teeth during sleep?*
- 2[.] [...] *Did anyone tell you that you grind your teeth during sleep?*
- 3[.] [...] *On morning awakening or on awakenings during the night, do you have your jaws thrust or braced?*
- 4[.] [...] *Do you clench your teeth whilst awake?*
- 5[.] [...] *Do you grind your teeth whilst awake?*

Pintado und Kollegen (1997) beurteilten dagegen Bruxismus anhand des folgenden Fragebogens:

1. *Has anyone heard you grinding your teeth at night?*
2. *Is your jaw ever fatigued or sore on awakening in the morning?*
3. *Are your teeth or gums ever sore on awakening in the morning?*
4. *Do you ever experience temporal headaches on awakening in the morning?*
5. *Are you ever aware of grinding your teeth during the day?*
6. *Are you ever aware of clenching your teeth during the day?*

Die Fragen nach Muskelermüdung und Schläfenkopfschmerz erscheinen geeignet für das Screening nach Schlaf-Bruxismus, die Fragen nach Kaumuskelschmerz und Kieferöffnungsbehinderung dagegen weniger (Palinkas *et al.*, 2015). Geräusche beim Knirschen können zwar im Rahmen der PSG zur Diagnose von Bruxismus herangezogen werden (Lavigne *et al.*, 2008). Es wird jedoch angenommen, dass sich Knirschgeräusche mehrheitlich nicht eignen, um Bruxismus bei sich selbst zu identifizieren (Koyano *et al.*, 2008; Palinkas *et al.*, 2015). Auch eine Diagnose über Fremdbeobachtung von Knirschgeräuschen wird als unsicher eingeschätzt (DGFDT und DGZMK, 2019).

Eine weitere nicht-instrumentelle diagnostische Methode ist die Untersuchung von subjektiven und objektiven **klinischen Befunden** (vgl. Kapitel 1.1.3). Auch wenn unter Bruxismus erhöhter Zahnverschleiß festzustellen ist, erwies sich die Aussagekraft von Zahnverschleiß für die Diagnostik von Bruxismus als gering (Abe *et al.*, 2009). Laut Abe und Kollegen (2009) sollte anhand des Zahnverschleißes insbesondere keine Aussage über den Schweregrad des Bruxismus getroffen werden. Zahnverschleiß kann zwar grundsätzlich objektiv

erfasst werden, entsteht jedoch kumulativ durch Funktion und Parafunktion und aus einem Zusammenspiel verschiedener Formen von Zahnhartsubstanzverlust (Koyano *et al.*, 2008). Laut Koyano und Kollegen (2008) lässt sich durch Betrachtung des Zahnverschleißes überdies weder aktiver Bruxismus, noch das Zusammenpressen der Zähne belegen.

Palpationsschmerzen der Kaumuskulatur können zwar ein diagnostisches Kriterium für Bruxismus darstellen, sind jedoch unspezifisch, da sie z.B. auch bei einer Craniomandibulären Dysfunktion auftreten können (Costa *et al.*, 2016). In einer Studie korrelierte die Diagnose von Schlaf-Bruxismus mittels klinischer Untersuchung wenig mit der Diagnose durch ein portables EMG/EKG-Gerät (Castroflorio *et al.*, 2015). Für die klinische Diagnose musste in der Studie von Castroflorio und Kollegen (2015) mindestens eines der folgenden Zeichen bzw. Symptome vorliegen: Kaumuskelschmerzen am Morgen, Muskelermüdung beim Aufwachen, Masseter-Hypertrophie, Zahn-/Restaurationsabnutzung.

Zusammengefasst erscheinen nicht-instrumentelle Methoden für das Screening von Bruxismus geeignet, vor allem um Patienten ohne Bruxismus zu erkennen (Casett *et al.*, 2017). Zum Screening können die Kriterien der American Academy for Sleep Medicine (AASM) verwendet werden (DGFDT und DGZMK, 2019; Palinkas *et al.*, 2015). Die ermittelte Sensitivität liegt bei 58 % (Palinkas *et al.*, 2015).

Die Kriterien der AASM zur Diagnostik von Schlaf-Bruxismus sind (AASM, 2005, zitiert nach Koyano *et al.*, 2008):

*The patient reports or is aware of tooth-grinding sounds or  
tooth-clenching during sleep*

*One or more of the following is present:*

*Abnormal wear of the teeth*

*Jaw muscle discomfort, fatigue, or pain and jaw lock upon awakening*

*Masseter muscle hypertrophy upon voluntary forceful clenching*

*Jaw muscle activity is not better explained by another current sleep disorder, medical or neurological disorder, medication use or substance use disorder*

Eine klinische Untersuchung, möglicherweise anamnestisch ergänzt, kann Schlaf- und Wach-Bruxismus lediglich als wahrscheinlich einstufen (DGFDT und DGZMK, 2019; Lobbezoo *et al.*, 2018). Das Potenzial nicht-instrumenteller Methoden, das sich durch die einfache Integration in die klinische Praxis ergibt, könnte durch ihre Präzisierung besser genutzt werden (Koyano *et al.*, 2008).

### 1.1.6 Behandlung

Es muss angemerkt werden, dass über die Behandlung von Wach-Bruxismus bisher nur wenige empirische Befunde vorliegen (Goldstein und Auclair Clark, 2017). Die nachfolgenden Studien beziehen sich überwiegend auf Schlaf-Bruxismus. Generell konzentriert sich die Behandlung von Bruxismus darauf, Attrition, Schmerzen und Muskelaktivität zu lindern (Yap und Chua, 2016).

Okklusale zahnärztliche Maßnahmen stellen eine beliebte Behandlungsmethode des Bruxismus dar (Lobbezoo *et al.*, 2008). Es können reversible und irreversible okklusale Maßnahmen unterschieden werden, wobei eine **Okklusionsschiene** als reversibel einzuordnen ist (DGFDT und DGZMK, 2019). Okklusionsschienen liegen den Zähnen okklusal auf und können dadurch vor Zahnabnutzung schützen (Lobbezoo *et al.*, 2008; Macedo *et al.*, 2007). Die Evidenz dieser Methode wird in einer neueren Literaturübersicht jedoch hinterfragt (Riley *et al.*, 2020). Schienen werden daneben zur Linderung von Beschwerden eingesetzt (DGFDT und DGZMK, 2019). Es wurde festgestellt, dass myofaziale Schmerzen mit Schienen verbessert werden können (Dao und Lavigne, 1998). Zudem zeigten **Massagen neben der Therapie mit Okklusionsschienen** eine positive Wirkung auf Beschwerden wie Schmerzen (Bussadori *et al.*, 2020; Gomes *et al.*, 2014). Untersuchungen zur Therapie von Schlaf-Bruxismus zeigten, dass durch Okklusionsschienen die EMG-Aktivität der Kaumuskelatur reduziert werden kann (Jokubauskas *et al.*, 2018; Lobbezoo *et al.*, 2008). Ein Erklärungsansatz für die therapeutische Wirkung von Okklusionsschienen ist, dass es durch vertikale Lageveränderung der Kiefer zu einer muskulären Umstrukturierung kommt (Terebesi *et al.*, 2016). Es gibt einen Bedarf an Studien, die die langzeitige Wirkung von Schienen untersuchen (DGFDT und DGZMK, 2019).

Eine weitere okklusale Behandlungsmöglichkeit ergibt sich durch **definitive Restaurationen**, welche jedoch irreversibel sind. Es zeigte sich, dass die aktuelle Studienlage keine Schlussfolgerung bezüglich der definitiven Versorgung von generalisiertem Zahnverschleiß erlaubt (Muts *et al.*, 2014). Eine europäische Expertengruppe empfiehlt, auch schwere Zahnabnutzung möglichst zurückhaltend definitiv zu versorgen (Loomans *et al.*, 2017). Es lässt sich dementsprechend zusammenfassen, dass definitive Versorgungen von Zahnverschleiß infolge von Bruxismus grundsätzlich in Erwägung gezogen werden können. Von einer kausalen Bruxismus-Therapie durch definitive Restaurationen wird jedoch abgeraten (DGFDT und DGZMK, 2019).

Aus der aktuellen Studienlage wird geschlussfolgert, dass eine Indikation für Botulinumtoxin-Injektion zur Therapie von Bruxismus gegeben ist, insbesondere bei schwerer Ausprägung (Fernández-Núñez *et al.*, 2019). Die Injektion von **Botulinumtoxin** in die Kaumuskulatur zeigt sowohl in Hinblick auf die Bruxismus-Aktivität als auch auf Schmerzen positive Effekte (Bussadori *et al.*, 2020). Es wird empfohlen, den Einsatz von Botulinumtoxin jedoch erst nach Ausschöpfung anderer Behandlungsmethoden in Erwägung zu ziehen (Patel *et al.*, 2019). Eine aktuelle Untersuchung liefert einen Beleg dafür, dass bei Botulinumtoxin-Injektion in Hinblick auf die Schmerzsymptomatik auch auf eine Okklusionsschiene verzichtet werden könnte (Yurttutan *et al.*, 2019). Die Evidenz der Studien zur Therapie mit anderen Pharmazeutika wird als unzureichend beurteilt (Macedo *et al.*, 2014).

Des Weiteren kann sich eine **Biofeedback-Therapie** positiv auf die EMG-Aktivität unter Schlaf-Bruxismus auswirken (Jokubauskas und Baltrušaitytė, 2018). In der aktuellen Leitlinie Bruxismus wird nach Durchsicht aktueller Literatur empfohlen, Patienten zum **Selbstmanagement** (Wahrnehmung, Achtsamkeit, Entspannung) zu instruieren (DGFDT und DGZMK, 2019).

## 1.2 Schienentherapie bei Bruxismus

Bei der Therapie von Bruxismus wird in der Regel eine Stabilisierungsschiene in einem der beiden Kiefer eingesetzt (Lobbezoo *et al.*, 2008; Manfredini *et al.*, 2015b). Es kommen grundsätzlich auch andere Schienen, wie zum Beispiel partielle Schienen und bimaxilläre Schienen, zum Einsatz. Wird eine Schiene nicht über alle Zähne eines Kiefers extendiert, sind Zahnstellungsveränderungen nicht auszuschließen (Peroz, 2009). Partielle Schienen werden daher für den langzeitigen Einsatz nicht empfohlen (DGFDT und DGZMK, 2019). Eine bimaxilläre Unterkiefer-Protrusionsschiene kann in Erwägung gezogen werden, wenn neben Bruxismus eine schlafbezogene Atmungsstörung wie obstruktive Schlafapnoe vorliegt (DGFDT und DGZMK, 2019). Im Folgenden soll die Stabilisierungsschiene zuerst unter Okklusionsschienen eingeordnet werden und danach auf ihre Gestaltung speziell zur Therapie von Bruxismus eingegangen werden.

### 1.2.1 Einordnung der Stabilisierungsschiene

Die Einordnung von Schienen ist dadurch erschwert, dass einige Bezeichnungen unterschiedliche Bedeutungen aufweisen und gleichzeitig viele Synonyme existieren (Ordelheide und Bernhardt, 2009). Eine mögliche Einteilung der Okklusionsschienen ist, in erster Linie zwischen adjustierten und nicht-adjustierten Schienen zu unterscheiden (Wiesner, 2010a). Unter Adjustierung wird das patientenindividuelle Anpassen der Schiene im okklusalen Bereich mittels Einschleifen verstanden, wodurch die Schienen auch für die langzeitige Therapie vorgesehen sind (DGFDT, 2013). Schienen ohne adjustierte Oberfläche werden in der Einteilung von Wiesner (2010a) als Reflexschienen bezeichnet. Darunter können auch Schienen mit partiellem Aufbiss gezählt werden (Peroz, 2009). Peroz (2009) beschreibt Reflexschienen im Allgemeinen als „Schienen mit reduziertem Aufbiss für den Gegenkiefer“. Da sich diese Arbeit mit adjustierten Schienen befasst, soll im Folgenden weiter auf die Einteilung der adjustierten Schienen eingegangen werden. Wiesner (2010a) veranschaulichte die Einteilung der adjustierten Okklusionsschienen anhand der internationalen sowie deutschsprachigen Literatur (vgl. Abbildung 1). In der internationalen Literatur werden laut Wiesner (2010a) abseits der *Partial coverage appliances* häufig die Sammelbegriffe *repositioning and stabilization appliances* gegenübergestellt (Yap, 1998). Vorteilhaft an der analogen Einteilung im Deutschen (Stabilisierungs- und Repositionsschienen) ist laut Wiesner (2010a), dass sie auch international Verwendung finden würden. Wiesner (2010a) zieht dabei jedoch den Oberbegriff „Positionierungsschienen“ nach Freesmeyer vor (Freesmeyer, 2004).

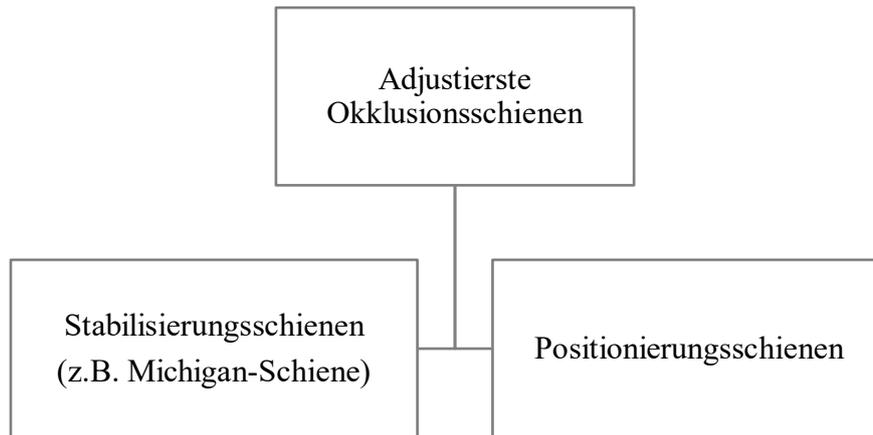


Abbildung 1: Einteilung der Okklusionsschienen (eigene Darstellung angelehnt an Wiesner, 2010a)

Anstelle des Begriffs Stabilisierungsschiene wird in der deutschsprachigen Literatur häufig auch die Bezeichnung Äquilibrationsschiene verwendet (Peroz, 2009). Wesentlicher Unterschied zwischen Stabilisierungs- und Positionierungsschienen ist, dass bei Stabilisierungsschienen die zentrische Kondylenposition wiedergegeben werden soll, während bei Repositionsschienen auf eine therapeutische Position der Kondylen abgezielt wird (Peroz, 2009). Weitere Merkmale der Stabilisierungsschienen sind, dass sie in der Regel mit allen Zähnen des Gegenkiefers gleichmäßig in Kontakt gestellt und häufig mit einer Eckzahnführung gestaltet werden (Yap und Chua, 2016).

### 1.2.2 Gestaltung von Stabilisierungsschienen bei Bruxismus

Mehrere Veröffentlichungen zur Behandlung von Bruxismus liefern für die Schienengestaltung genauere Anhaltspunkte, auf die im Folgenden genauer eingegangen werden soll (DGFDT und DGZMK, 2019; Lobbezoo *et al.*, 2008; Manfredini *et al.*, 2015b):

- **Material und Materialhärte:** Während Kunststoff sich als Fertigungsmaterial für Schienen bewährt, schützen Metallschienen die Zähne nicht vor Attrition (Peroz, 2009). Nach Lobbezoo und Kollegen (2008) sind harte Schienen weichen vorzuziehen, da in einer Studie mit zehn Patienten durch harte Schienen mehrheitlich eine Reduzierung der Muskelaktivität erzielt werden konnte (Okeson, 1987). Okeson (1987) stellte durch weiche Schienen bei der Hälfte der Patienten eine Steigerung der Muskelaktivität fest. Eine aktuelle Studie liefert einen weiteren Beleg für den Vorteil harter gegenüber weicher Schienen, da insbesondere harte Okklusionsschienen gegenüber weichen die Kaumuskelaktivität im EMG bei Schlaf-Bruxismus verminderten (Akat *et al.*, 2020).

- **Schienendicke:** Eine Studie untersuchte die Auswirkung von Schienen unterschiedlicher Dicken (3 mm und 6 mm) auf die EMG-Aktivität bei Bruxismus (Abekura *et al.*, 2008). Bei den dünnen Schienen nahm die EMG-Aktivität im Gegensatz zu den dicken Schienen ab. Abekura und Kollegen (2008) beurteilen die dünnen (3 mm) gegenüber den dicken Schienen (6 mm) daher als überlegen.
- **Trageintervall:** Üblicherweise werden Okklusionsschienen in der Nacht getragen. In einer Studie wurde überprüft, wie sich das Trageintervall der Okklusionsschiene auf die EMG-Aktivität auswirkt (Matsumoto *et al.*, 2015). Gegenüber dem kontinuierlichen Tragen einer Okklusionsschiene in der Nacht zeigte eine intermittierende Trageweise längerfristige Effekte. Bei der intermittierenden Trageweise wurde die Anwendung der Okklusionsschiene nach sieben Nächten eine Woche lang pausiert. Das heißt, dass die Schienen im Verlauf von 29 Nächten in der ersten und dritten Woche sowie in der 29. Nacht getragen wurden (Matsumoto *et al.*, 2015).
- **Okklusion:** In Untersuchungen zur dynamischen Okklusion bei Stabilisierungsschienen konnte kein Unterschied durch die Führung von entweder den Eckzähnen oder den Molaren bei Seitwärtsbewegungen festgestellt werden (Lobbezoo *et al.*, 2008).

## 1.3 Elektronisches Registriersystem im digitalen Herstellungsprozess

### 1.3.1 Grundlagen zur patientenindividuellen Bewegungssimulation

Artikulatoren sind Geräte zur Simulation der Kieferbewegung. Konventionelle Artikulatoren können nach ihrer Individualisierbarkeit unterschieden werden (Okkludator, Mittelwertartikulator, individueller Artikulator). Im folgenden Abschnitt werden wesentliche Möglichkeiten nach Kordaß und Hugger (2010) zusammengefasst, wie die Bewegungssimulation im konventionellen Artikulator individualisiert werden kann:

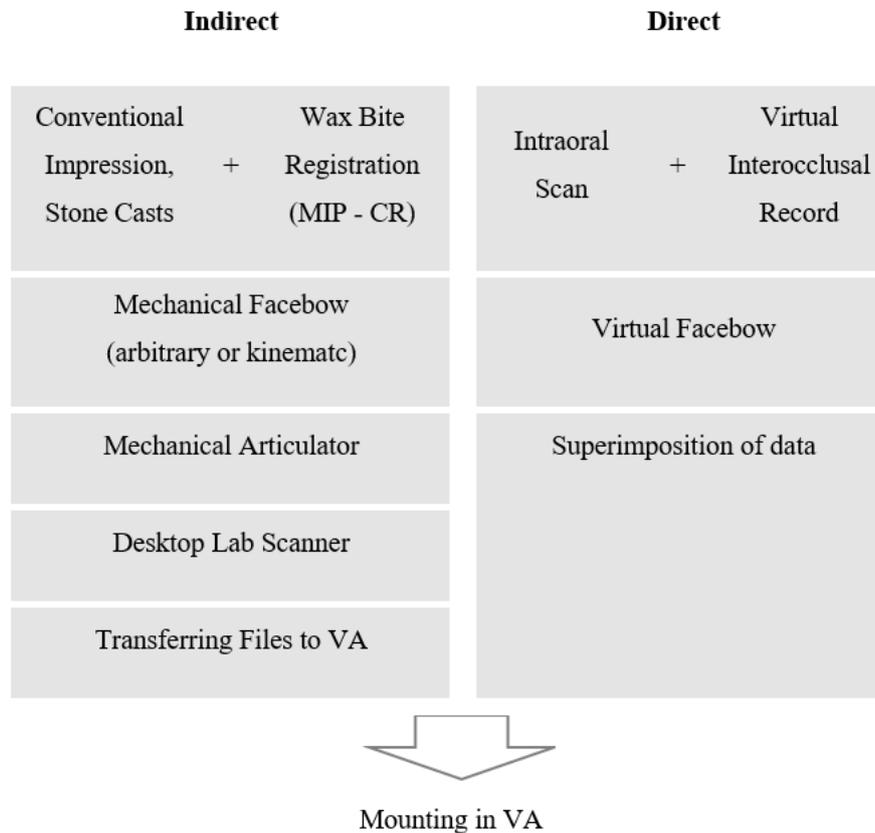
Die patientenindividuelle Einstellung kann mit Hilfe sogenannter artikulatorbezogener Funktionsparameter erfolgen, welche hinsichtlich statischer und dynamischer Okklusion differenziert werden können (Kordaß und Hugger, 2010). Zu den **dynamischen Parametern** werden verschiedene Winkel gezählt, die sich durch Betrachtung der Unterkiefer-Bewegungen in den drei Körperebenen (Frontal-, Horizontal- und Sagittalebene) ergeben. Sie können durch exzentrische Bissregistratur, mechanische Aufzeichnungsgeräte (Axiographie, Pantographie) oder elektronische Registriersysteme bestimmt werden. **Statische Parameter** werden durch die Abformung der Kiefer und die Kieferrelationsbestimmung festgelegt. Zusätzlich kann das Oberkiefermodell mit Hilfe eines Gesichtsbogens im Artikulator individualisiert ausgerichtet werden, wobei die sogenannte Scharnierachse (vgl. Kapitel 1.3.4) als posteriore Referenz dient (Kordaß und Hugger, 2010).

In einer wissenschaftlichen Mitteilung der DGPro zum Gesichtsbogen wird geschlussfolgert, dass die Abweichung der statischen Okklusion durch die Anwendung eines Gesichtsbogens verringert werden kann, wenn die vertikale Modellbeziehung im Artikulator nach Kieferrelationsbestimmung verändert wird (Morneburg *et al.*, 2010). Um die Abweichung in der dynamischen Okklusion gering zu halten, sollten laut Morneburg und Kollegen (2010) neben der Gesichtsbogenübertragung weitere Bewegungsmaße, wie z.B. sagittaler Gelenkbahnneigungswinkel und Bennett-Winkel, verwendet werden.

### 1.3.2 Patientenindividuelle Bewegungssimulation im digitalen Workflow

Durch den Einzug der Digitalisierung in die Zahnmedizin kann die Kieferbewegung nicht nur manuell im konventionellen Artikulator, sondern auch computergestützt in Form eines Software-Tools, im sog. Virtuellen Artikulator, simuliert werden (Lepidi *et al.*, 2021). Dem virtuellen Artikulator sind digitale Arbeitsabläufe vorgeschaltet (vgl. Abbildung 2). Dabei wird zwischen einem direkten und indirekten digitalen Workflow unterschieden. Letzterer

beinhaltet nach Lepidi und Kollegen (2021) während der Datenerfassung und -übertragung neben digitalen Schritten auch analoge.



*Abkürzungen: VA = virtual articulator, MIP = maximum intercuspitation position, CR = centric relation*

*Abbildung 2: Indirekter und direkter Workflow (eigene Darstellung nach Lepidi et al., 2021)*

Die Individualisierung statischer Parameter in Form von Abformung, okklusaler Registrierung und Gesichtsbogen (vgl. Kapitel 1.3.1) lässt sich digitalisiert wiederfinden (vgl. Abbildung 2). Je nachdem, ob der digitale Workflow indirekt oder direkt umgesetzt wird, findet die digitale Abformung dabei als Labor-Scan oder Intraoral-Scan statt. Außerdem wird zwischen einem analogen Registrat oder einer digitalen Aufzeichnung der Okklusion sowie zwischen einem mechanischem oder virtuellen Gesichtsbogen unterschieden (Lepidi *et al.*, 2021).

### 1.3.3 Bewegungsaufzeichnung mittels extraoraler elektronischer Messsysteme

Mittels elektronischer, meist extraoraler Messsysteme kann die Unterkieferbewegung aufgezeichnet werden (DGFDT und DGZMK, 2015). Extraorale elektronische Messsysteme

werden im Wesentlichen hinsichtlich der Lokalisierung des Messensors (gelenknah, okklusionsebenennah oder inzisalnah) sowie hinsichtlich des Messprinzips (berührungshaft oder berührungslos) unterschieden (Hugger und Kordaß, 2018; vgl. Tabelle 2).

*Tabelle 2: Einteilung extraoraler elektronischer Messverfahren (eigene Darstellung angelehnt an Hugger und Kordaß, 2018)*

gelenknah, berührungshaft	Gelenknah, berührungslos	Okklusionsebenen- nah, berührungslos	inzisalnah, berührungslos
Messtaster auf Widerstandsfolie, Spannungsteilungsverfahren	optoelektronisch	Ultraschall	Magnetfeld- änderung

Nach Mehl (2018a) scheint eine gelenknahe Messung die genauesten Ergebnisse hinsichtlich der Scharnierachsbestimmung zu liefern. Zur Anwendung elektronischer Registriersysteme wird kritisch angemerkt, dass es nur wenige Herstellerangaben zu ihrer Programmierung gibt (Mehl, 2018a).

Die Bewegungsdaten können im Anschluss an die Aufzeichnung analysiert werden, was als instrumentelle Bewegungsanalyse bezeichnet wird (DGFDT und DGZMK, 2015). Diese liefert nach DGFDT und DGZMK (2015) Bewegungsdaten sowohl zur Funktionsdiagnostik und Dokumentation als auch Bewegungsparameter zur Artikulatorprogrammierung bzw. individuellen Artikulatoreinstellung. Letztere sind für diese Arbeit entscheidend.

In Bezug auf die Validität der elektronischen Bewegungsaufzeichnung wird unterschieden, ob die Messgenauigkeit innerhalb der Untersuchung (z.B. Montagefehler, Störungen) oder durch das System an sich (z.B. Systemvoraussetzungen) beeinflusst wird (Hugger und Kordaß, 2018). Auch wenn die Unterkieferbewegung verlässliche Ergebnisse liefert, unterliegt sie, vor allem bei Vergleich unterschiedlicher Sitzungen, gewissen Schwankungen (DGFDT und DGZMK, 2015). Laut DGFDT und DGZMK (2015) wird diese Schwankung durch die Anleitung sowie Vorbereitung des Patienten durch den Behandler, die Erfahrung des Behandlers und durch den funktionellen Zustand des Patienten beeinflusst. Die Werte streuen nach Beurteilung der DGFDT und DGZMK (2015) bei Mundöffnung und -schluss stärker als bei Bewegungen, die durch die Zähne vorgegeben werden (Protrusion,

Laterotrusion). Messwiederholungen werden daher in der aktuellen Leitlinie zur instrumentellen zahnärztlichen Funktionsanalyse empfohlen, um Abweichungen zu erkennen (DGFDT und DGZMK, 2015).

Als elektronisches Messsystem wurde in der vorliegenden Studie der JMAlyser+ (JMAlyser+, Zebris Medical GmbH, Isny, Deutschland), ein gebräuchliches elektronisches Registriersystem im deutschsprachigen Raum, verwendet (Ahlers *et al.*, 2015). Bei diesem System wird ein Ultraschall-Messsensor über ein sog. Attachment mit den Vestibulärflächen der Unterkieferzähne verbunden. Das Registriersystem wird daher als berührungslos und okklusionsebenennah eingeordnet (Hugger und Kordaß, 2018).

### 1.3.4 Methodische Ansätze der Scharnierachsbestimmung

Grundlegend werden die dreidimensionalen Kieferbewegungen in einem Koordinatensystem anhand von Referenzebenen, abhängig von gewissen Referenzpunkten, registriert (Hugger und Kordaß, 2018). Laut Hugger und Kordaß (2018) ergibt sich durch zwei posteriore und einen anterioren Referenzpunkt eine geeignete Bezugsebene. Als **anterioren Referenzpunkt** können der Infraorbitalpunkt (Bezugspunkt der Bezugsebene Frankfurter Horizontale) oder der Nasospinalpunkt (Bezugspunkt der Bezugsebene Camper Ebene) dienen (Hugger und Kordaß, 2018).

Scharnierachspunkte dienen als **posteriore Referenzpunkte** bei der Aufzeichnung der Kieferbewegung (Ahlers *et al.*, 2015). Die Scharnierachse ist dabei die „dem Unterkiefer zugeordnete, funktionelle Drehachse bei Öffnungs- und Schließbewegungen des Unterkiefers“ (DGFDT und DGZPW, 2005). In Form der arbiträren Scharnierachspunkte können die posterioren Bezugspunkte anatomisch festgelegt werden, indem sie mittelwertig in Bezug zum Tragus jedes Ohres bestimmt werden (Hugger und Kordaß, 2018). Die posterioren Bezugspunkte lassen sich nach Hugger und Kordaß (2018) jedoch auch anhand patientenindividueller Kieferbewegungen, d.h. kinematisch, ermitteln. Dabei werden drei verschiedene kinematische Methoden aufgeführt: individuelle (zentrische) Achspunkte, kinematische Achspunkte (später: kinematisches Zentrum) und neuromuskuläre Achspunkte (Hugger und Kordaß, 2018).

Da in der Forschungsliteratur immer wieder der Begriff „kinematisch“ zu finden ist, er jedoch zu Verwechslung führen kann, soll ein wesentlicher Unterschied in seiner Verwendung genauer beschrieben werden. Zum einen wird der Begriff übergeordnet dafür verwendet, dass die Achspunkte durch patientenindividuelle Kieferbewegungen bestimmt wurden

(Hugger und Kordaß, 2018). Zum anderen wird er in Bezug auf die Methode der kinematischen Achspunkte bzw. des kinematischen Zentrums verwendet (Ahlers *et al.*, 2015; Hugger und Kordaß, 2018). Letztere soll im Folgenden näher beschrieben werden. Das kinematische Zentrum wurde aus den kinematischen Achspunkten abgeleitet (Hugger und Kordaß, 2018; Kohno, 1972; Yatabe *et al.*, 1997). Es bezieht sich auf einen kondylären Punkt, bei dem sich Öffnungs- und Protrusionsbewegungsbahn decken (Yatabe *et al.*, 1997). Daneben ist die Bestimmung der individuellen Achspunkte gebräuchlich (Ahlers *et al.*, 2015). Sie werden bei ausschließlich rotativer Öffnungs- und Schließbewegung bestimmt und heutzutage aus der zentrischen Okklusion statt der retrudierten Kontaktposition ausgeführt (Hugger und Kordaß, 2018). Somit ist die zentrische Scharnierachse die „in zentrischer Kondylenposition bestimmte geometrische Scharnierachse bei rein rotatorischen Öffnungs- und Schließbewegungen“ (DGFDT und DGZPW, 2005).

In der aktuellen Forschungsliteratur zur Scharnierachse findet sich auch der Begriff „terminale Scharnierachse“. Es wird jedoch empfohlen, den Begriff „terminale Scharnierachse“ durch den Begriff „zentrische Scharnierachse“ abzulösen (DGFDT und DGZPW, 2005). In der deutschsprachigen Literatur wird oft lediglich zwischen arbiträrer und individueller bzw. zentrischer Scharnierachse unterschieden (DGFDT und DGZPW, 2005; Morneburg *et al.*, 2010). Obwohl die arbiträre Scharnierachsbestimmung im Gegensatz zur kinematisch bestimmten alltäglicher Bestandteil der zahnärztlichen Praxis in Deutschland ist, wird deren Vorteil gegenüber der mittelwertigen Modellmontage international diskutiert (Farias-Neto *et al.*, 2013).

## 2. Ziel der Studie

Durch die voranschreitende Digitalisierung in der Zahnmedizin eröffnete sich die Möglichkeit, die Registrierung der Unterkieferbewegung zu digitalisieren und in den digitalen Workflow zu integrieren. Das Ziel dieser prospektiven klinischen Studie (randomisiert, doppelt verblindet) bestand darin, ein elektronisches Messsystem der Unterkieferbewegung (JMAlyser+, Zebris Medical GmbH, Isny, Deutschland) bei der computergestützten Herstellung von Okklusionsschienen zu evaluieren. Es wurde angenommen, dass bei Untersuchung der Schienenherstellung mit Hilfe des elektronischen Messsystems (Interventionsgruppe) anstelle eines analog-arbiträren Gesichtsbogens (Kontrollgruppe) Unterschiede hinsichtlich der Ergebnisse festzustellen sind. Basierend auf bisherigen empirischen Befunden kann davon ausgegangen werden, dass

1. der Komfort bei Anwendung des elektronischen Messsystems von den Patienten besser im Vergleich zu einem analog-arbiträren Gesichtsbogen bewertet wird,
2. der Tragekomfort der Okklusionsschienen von den Patienten in der Interventionsgruppe besser als in der Kontrollgruppe bewertet wird,
3. die Okklusionsschienen der Interventionsgruppe eine bessere initiale Passung im Artikulator und im Patientenmund aufweisen als in der Kontrollgruppe und
4. die Okklusionsschienen in der Interventionsgruppe weniger Zeit zum Einschleifen benötigen als in der Kontrollgruppe.

## 3. Material und Methoden

### 3.1 Studiendesign

Es handelt sich um eine prospektive klinische Studie (randomisiert, doppelt verblindet). Bei allen Patienten wurde sowohl ein elektronisches Messsystem zur Aufzeichnung der Unterkieferbewegung (JMAlyser+, Zebris Medical GmbH, Isny, Deutschland) als auch ein analog-arbiträrer Gesichtsbogen (Artex Facebow, Amann Girrback GmbH, Pforzheim, Deutschland) angewendet. Zur Schienenfertigung wurde jedoch nur eines der beiden Geräte herangezogen. In der Interventionsgruppe wurden die Schienen mittels JMAlyser+ gefertigt, in der Kontrollgruppe mittels Artex Facebow. Der Studie ging die Prüfung durch die Ethikkommission der zugehörigen Medizinischen Fakultät voraus (Nr. 18-643).

### 3.2 Patientenkollektiv

Die Patienten wurden über die Hochschulambulanz der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität München rekrutiert. **Einschlusskriterium** für die Teilnahme an der Studie war möglicher oder wahrscheinlicher Bruxismus (Lobbezoo *et al.*, 2018; vgl. Kapitel 1.1.5). Die Befragung der Patienten erfolgte anhand eines Screening-Bogens (vgl. Anhang). Sie wurde durch die klinische Untersuchung ergänzt. Als klinische Zeichen von Bruxismus galten nicht-kariöser Zahnhartsubstanzverlust, Verlust von Restaurationsmaterialien und/oder Kaumuskelbeschwerden.

Um die Indikation der Aufbisschiene zu sichern, wurden folgende **Ausschlusskriterien** festgelegt:

- Operationen im Bereich der Kiefergelenke, Frakturen und/oder anderweitige Verletzungen im Bereich der Kiefer und Kiefergelenke;
- Pathologien im Bereich des Discus articularis (z.B. anteriore Diskusverlagerung);
- Allergien gegen verwendete zahnärztliche Kunststoffe;
- fehlende Zähne und/oder herausnehmbarer Zahnersatz.

Die Gruppenzuteilung erfolgte mittels Block-Randomisierung (Schulz und Grimes, 2002). Durch zwei Gruppen ergeben sich bei einer Blockgröße von vier Teilnehmern sechs Blockpermutationen. Die Verteilung erfolgte über computergenerierte Zufallszahlen. Diese wurde gegenüber Prüfarzten sowie Studienteilnehmern bis Abschluss der Schienentherapie

verblindet. Für die Herstellung der Schiene nach zufällig zugeteilter Gruppe (vgl. Abbildung 3) wurde das zahntechnische Labor von einer weiteren Klinikmitarbeiterin beauftragt.

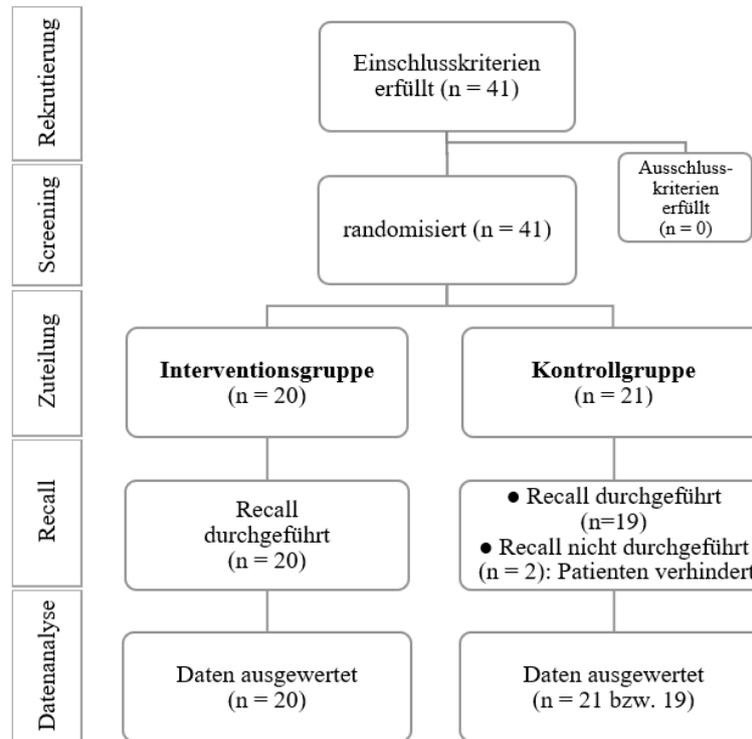


Abbildung 3: Flussdiagramm zur Darstellung der Stichprobe

### 3.3 Studienort und -zeitraum

Die klinische Durchföh rung erfolgte von August 2018 bis September 2019 monozentrisch an der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Ludwig-Maximilians-Universität in München. Für die Herstellung der Schienen wurde ein externes zahntechnisches Labor beauftragt.

### 3.4 Screening

Im Rahmen von Routineuntersuchungen (intraoraler Befund, allgemeine und spezielle Anamnese) wurden potenzielle Studienteilnehmer hinsichtlich des Einschlusskriteriums möglicher oder wahrscheinlicher Bruxismus ausgewählt. Nach Aufklärung über die Studie wurde das Einverständnis der Patienten zur Studienteilnahme eingeholt. Der Dokumentationsbogen zum Screening (vgl. Anhang) enthält die herangezogenen anamnestischen Fragen. Die Eignungsbeurteilung wurde nach Prüfung der Ausschlusskriterien abgeschlossen.

### 3.5 Erstsitzung (Baseline)

Zu Beginn der Erstsitzung wurde eine klinische Funktionsuntersuchung entsprechend dem Dokumentationsbogen Baseline durchgeführt (vgl. Anhang). Es handelt sich um eine Modifikation des CMD-Kurzbefundes nach Ahlers und Jaktstat (Ahlers und Jakstat, 2015; Wiesner, 2010b).

Anschließend wurde ein zentrisches Bissregistrat hergestellt (vgl. Abbildung 4). Zur Anfertigung eines frontalen Jigs wurde das verwendete thermoplastische Material (Impression Compound, Kerr GmbH, Biberach, Deutschland) erwärmt und auf die mittleren Schneidezähne des Unterkiefers aufgebracht. Durch Schließbewegung des Unterkiefers wurde die Position der mittleren, oberen Schneidezähne als Einbiss registriert. Nach Abkühlung des thermoplastischen Materials wurde die Reproduzierbarkeit des frontalen Jigs im Rahmen von wiederholten Schließbewegungen überprüft. Danach wurde der Seitenzahnbereich mit Hilfe eines A-Silikons verschlüsselt (Regisil PB, Dentsply Sirona Deutschland GmbH, Bensheim, Deutschland).



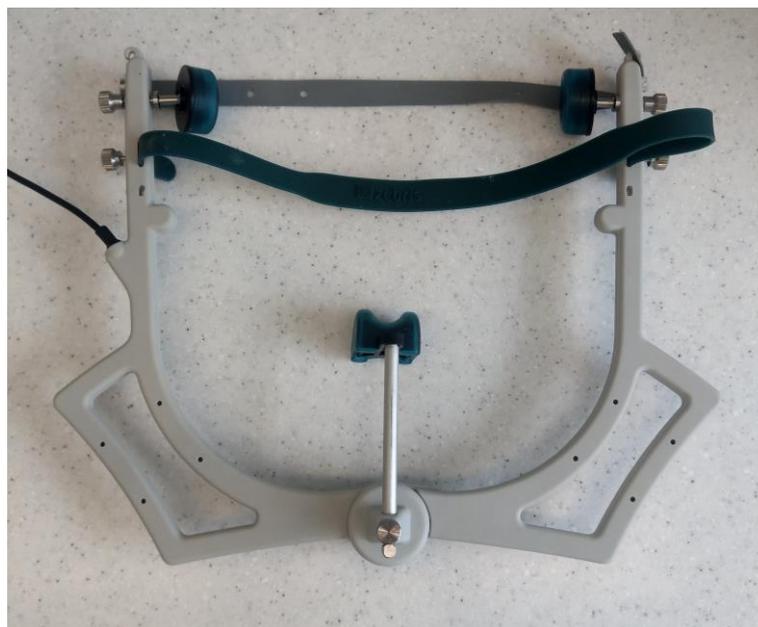
*Abbildung 4: Zentrisches Bissregistrat*

Es folgte die Anwendung beider Gesichtsbögen unabhängig von der Studiengruppe. Im Folgenden wird zuerst die Anwendung des elektronischen Messsystems (JMAlyser+, Zebris Medical GmbH, Isny, Deutschland) beschrieben. Der **JMAlyser+** ist ein elektronisches Messsystem basierend auf 3D-Ultraschallmessungen. Es beinhaltet einen Unterkiefersensor (Sendersensor, vgl. Abbildung 7) und einen Kopfbogen (Empfängersensor, vgl. Abbildung 6). Beide Bestandteile werden über ihre Anschlusskabel mit dem zugehörigen Messgerät (vgl. Abbildung 5) verbunden. Das Messgerät ermöglicht eine Bluetooth-Verbindung mit dem PC.



*Abbildung 5: Messgerät des JMA analyser+*

Nachdem das Messgerät mit dem Nackenband an den Patienten angelegt worden war, wurde der Kopfbogen (vgl. Abbildung 6) über das elastische Hinterkopfband und die Nasenstütze sicher am Kopf des Patienten angebracht. Der Unterkiefersensor (vgl. Abbildung 7) kann zur Erfassung anatomischer Referenzpunkte, wie z.B. dem Intraorbitalpunkt, mit einem Zeigerstift versehen werden (vgl. Abbildung 10). Außerdem kann er zur Kieferregistrierung magnetisch mit Registrierbehelfen gekoppelt werden (vgl. Abbildung 8 und Abbildung 9).



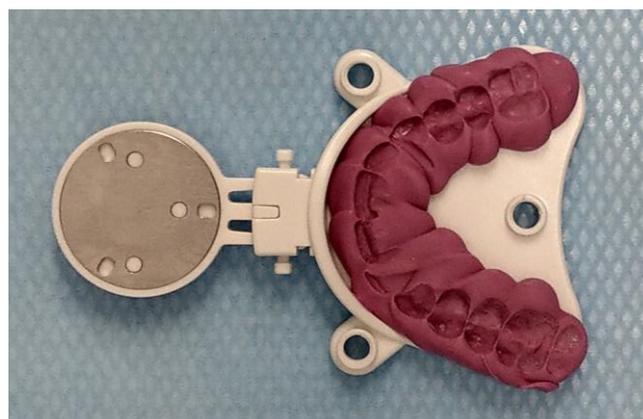
*Abbildung 6: Kopfbogen des JMA analyser+*



*Anmerkung: grüner Bereich = magnetischer Kopplungsbereich*

*Abbildung 7: Unterkiefersensor des JMAlyser+*

Vor Beginn der Bewegungsaufzeichnung wurden die Registrierbehelfe für Ober- und Unterkiefer vorbereitet. Die Verschlüsselung mit den Oberkieferzähnen erfolgte über einen Kopplungslöffel (vgl. Abbildung 8). Dieser ermöglicht zusammen mit dem Unterkiefersensor (vgl. Abbildung 7), die Oberkieferlage aufzunehmen. Der Kopplungslöffel wurde mit einem A-Silikon an die Oberkieferzähne adaptiert (Regisil PB, Dentsply Sirona Deutschland GmbH, Bensheim, Deutschland). Nach dem Aushärten wurde eine störungsfreie Repositionierung überprüft.



*Abbildung 8: Individualisierter Kopplungslöffel des JMAlyser+*



Abbildung 9: Individualisiertes Attachment des JManalyser+

Im Unterkiefer wurde ein individualisiertes Attachment (T-Attachment, para-okklusales Attachment) zur Registrierung der Unterkieferlage und -bewegung angewendet (vgl. Abbildung 9). Das Attachment für den Unterkiefer wurde zunächst durch Biegung an den vestibulären Zahnverlauf angepasst. Daraufhin wurde es mit Hilfe eines Acrylharzes individualisiert (LuxaBite, DMG Chemisch-Pharmazeutische Fabrik GmbH, Hamburg, Deutschland). Ein Vestibulumhaken erleichterte den Materialauftrag. Um die Kieferbewegung nicht zu beeinflussen, muss eine rein para-okklusale Befestigung ohne okklusale Störstellen realisiert werden. Hierfür verblieben die Patienten während der Aushärtung im Schlussbiss. Dabei wurde das Attachment mit einem Sicherheitsabstand zu den Antagonisten positioniert. Besonders bei tiefen Bissen musste auf eine Positionierung ohne Störstellen geachtet werden. Überschüssiges Material wurde im Anschluss extraoral mit einem Skalpell zurückgeschnitten. Anschließend wurde der störungsfreie und sichere Sitz in statischer und dynamischer Position überprüft und bei Bedarf korrigiert. Das vorbereitete Attachment wurde dann mit einer dünnen Schicht weiteren Registriermaterials (LuxaBite, DMG Chemisch-Pharmazeutische Fabrik GmbH, Hamburg, Deutschland) versehen und an den Unterkieferzähnen temporär fixiert. Vor Eingliederung wurden die Zähne unter Einsatz eines Vestibulumhakens trocken gepustet.

Anschließend wurde die Messung mit dem Unterkiefersensor nach Anweisung der Software entsprechend den Messeinstellungen gestartet (vgl. Tabelle 3). Das Messprogramm wurde mit einem Infrarot-Fußschalter angesteuert. Die Software Winjaw+ zum JManalyser+ verfügt über verschiedene Messprogramme, die in der Modalauswahl eingesehen werden können. Zu dieser gelangt man über den Modus „Messen“. Die Messung wurde im Artikulatormodul durchgeführt und über „Messeinstellungen“ konfiguriert.

Tabelle 3: Wahl der Messeinstellungen im Artikulatormodul

Messmodus	Die Messung erfolgte im Modus „Artikulator und Datenexport“.
Referenzsystem	Der „Orbitalpunkt mit Zeiger“ wurde hinzugeführt. Als Kondylenposition wurde der „Tragus superior mit Zeiger“ gewählt. Zur Achsbestimmung diente die „Scharnierachse“.
Gesichtsvermessung	Hier wurden keine Einstellungen vorgenommen.
Unterkieferpositionen	Die Ruheschwebelage wurde zur Annäherung an einen gesperrten Biss hinzugefügt.
Kieferbewegungen	Jede Bewegung wurde mehrfach aufgezeichnet. Neben der Testbewegung wurden jeweils drei Ausführungen der Laterotrusion links, der Laterotrusion rechts, der Protrusion und der Öffnungsbewegung berücksichtigt.
EMG	Die Einstellungen wurden abgewählt.

Zuerst wurde der Unterkiefersensor mit dem Zeiger (vgl. Abbildung 10) verbunden und die anatomischen Referenzpunkte (Orbitalpunkt und Tragus superior beider Ohren) erfasst. Die Festlegung des Orbitalpunkts erfolgte durch Palpation der knöchernen Augenhöhle. Die Festlegung des Tragus superior erfolgte mittelwertig (10 - 12 mm ventral des Oberrandes am Tragus des Ohres).



Abbildung 10: Zeiger des JMAlyser+

Nach Entfernen des Zeigers wurde der Unterkieferbogen in Verbindung mit dem Kopplungs-löffel (vgl. Abbildung 8) vorübergehend an die Oberkieferzähne angebracht. Auf diese Weise wurde die Position des Oberkiefers registriert. Anschließend wurden beide Elemente abgenommen. Der Unterkiefersensor wurde nun auf das bereits zuvor im Unterkiefer befestigte Attachment gewechselt. Durch kleine Öffnungs- und Schließbewegungen wurde die Scharnierachse bestimmt. Schließlich wurde die Ruheschwebelage phonetisch (Summen des Buchstaben „M“) bestimmt. Nach einer Testbewegung wurden die einzelnen Kieferbewegungen (Laterotrusion links/rechts, Protrusion, Öffnungsbewegung) jeweils dreimal bis zum Zurückführen in die Ausgangssituation aufgenommen.

Nach Abschluss der Bewegungsaufzeichnung wurden die Bewegungsdaten für das zahntechnische Labor vorbereitet. Um die Bewegungsdaten in CAD-Programme integrieren zu können, wird eine Exportschnittstelle zum Austausch zwischen Registrier- und CAD-Software benötigt. Über den Modus „Ansicht“ gelangt man zur Exportdatei („zebris real Movement Export“). Exportiert wurde im XML-Format. Zur manuellen Nachbearbeitung wurden außerdem die individuellen Bewegungswerte der Artikulatoreinstellung benötigt sowie die Modellposition im Artikulator. Nach Auswahl des Artex als gewünschten Artikulator wurde ein Report („zebris Amann GIRRbach Artex Articulator Report“) in Form einer PDF-Datei erstellt.

Der **arbiträre Gesichtsbogen** (Artex Facebow, Amann GIRRbach GmbH, Pforzheim, Deutschland) wurde den Patienten über beidseitige Ohrenstöpsel und eine Nasenstütze im Liegen angelegt. Die Bissgabel wurde mit einem A-Silikon (Regisil PB, Dentsply Sirona Deutschland GmbH, Bensheim, Deutschland) an die Oberkieferzähne angebracht. Das zugehörige Verbindungsstück zwischen Bogen und Bissgabel, der sog. Gelenksupport, wurde entsprechend der Patientensituation verschlüsselt.

Daraufhin wurden die Patienten zu beiden Systemen hinsichtlich Patientenkomfort und Zeitökonomie entsprechend dem Dokumentationsbogen Baseline befragt (vgl. Anhang). Abschließend wurden beide Zahnbögen konventionell abgeformt. Im Oberkiefer wurde ein Polyether-Abformmaterial verwendet (Impregum, 3M Deutschland GmbH, Neuss, Deutschland), im Unterkiefer ein Alginat (Blueprint-Cremix, Dentsply Sirona Deutschland GmbH, Bensheim, Deutschland).

### 3.6 Schienenherstellung im zahntechnischen Labor

Die Herstellung der Schienen erfolgte in einem externen zahntechnischen Labor. Für jeden Studienteilnehmer erhielt das Labor die Abformung von Ober- und Unterkiefer, das Bissregistriergest, den individualisierten Gelenksupport des arbiträren Gesichtsbogens mit Bissgabel, den individualisierten Kopplungsöffel des elektronischen Registrierersystems sowie die XML-Datei und den PDF-Report („zebris Amann GIRRbach Artex Articulator Report“). Nach Anfertigung der Gipsmodelle (Exakto-Rock S, Bredent GmbH & Co. KG, Senden, Deutschland) erfolgte die Modellmontage im Artikulator mit Hilfe eines Artikulationsgipses (Artifix, Amann GIRRbach GmbH, Pforzheim, Deutschland). Zuerst wurde das Oberkiefermodell im Artikulator abhängig von der zufällig zugeteilten Studiengruppe montiert.

In der Interventionsgruppe wurden zur Modellübertragung drei Positionierungsschrauben und ein Positionierungstisch mit Schablone benötigt. Auf diese Weise konnte das Oberkiefermodell zusammen mit dem Kopplungslöffel einartikuliert werden. Die dreidimensionale Lage des Oberkiefers wird anhand von Lageparametern der drei Positionierungsschrauben (blau, rot, grün) bestimmt. Diese sind der Tabelle im Report zu entnehmen und umfassen je Schraube die Position auf X- und Y-Achse der Tischschablone sowie die Einstelllänge (vgl. Abbildung 11).

	6	34	-16
X	6	34	-16
Y	56	28	23
Schraubenlänge	34	35	31

*Abbildung 11: Beispielhafte Tabelle zur Modellübertragung (eigene Darstellung nach einem „zebris Amann GIRRbach Artex Articulator Report“)*

In der Kontrollgruppe wurde die Position des Oberkiefermodells durch Gesichtsbogen und Gelenksupport vorgegeben. Die Fixierung wurde durch eine zugehörige Übertragungshilfe unterstützt.

In beiden Studiengruppen wurde daraufhin das Unterkiefermodell in Relation zum Oberkiefermodell im Artikulator positioniert. Dies erfolgte mit Hilfe des Registrates. Das Unterkiefermodell wurde in der entsprechenden Position mit Artikulationsgips befestigt.

Über eine Scan-Software (CoILab, MeditCorp., Seoul, Korea) wurden anschließend vier Scans durchgeführt. Gescannt wurde die vestibuläre Modellbeziehung, das Oberkiefermodell ohne und mit Kopplungslöffel sowie das Unterkiefermodell. Für die Konstruktion der Schiene wurde eine CAD-Software (exocad DentalCad, ExoCad GmbH, Darmstadt, Deutschland) verwendet. Das Design der Unterkieferschiene wurde dabei durch den Zahn-techniker verfeinert, wie z.B. die Ausdehnung der Schiene und die Einstellung der Schienendicke. Die Bewegungsdaten des JManalysers+ in Form des „Real Movement Export“ wurden ausschließlich bei der Interventionsgruppe berücksichtigt (vgl. Abbildung 12). Dabei wurden die Bewegungsaufnahmen eingesehen und die Wiederholungsaufnahmen einer Bewegung verglichen. Zufällig entstandene Bewegungsverläufe wurden aus der Auswahl entfernt.

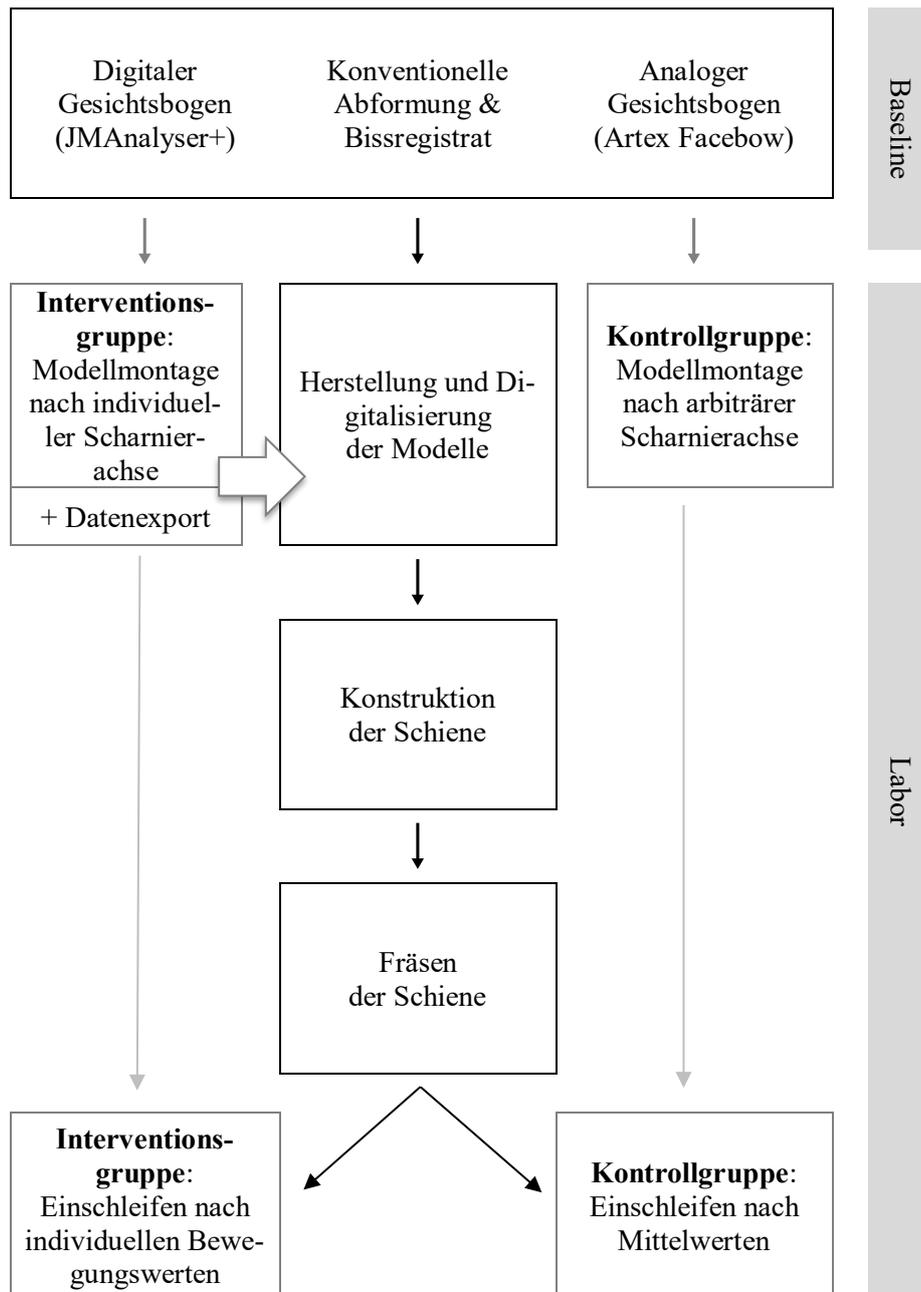


Abbildung 12: Zahntechnischer Arbeitsablauf zur Herstellung der Aufbissschiene

An der Schnittstelle zwischen Konstruktion und Fertigung der Schiene steht ein STL-Datensatz. Mittels CAM-Software (DS CAM, Dental Softworks GmbH, Wesertal, Deutschland) wurden die Schienen in einer Fräsmaschine (CORiTEC 350i, imes-icore GmbH, Eiterfeld, Deutschland) aus einem vorpolymerisierten PMMA-Materialrohling (Astron Clearsplint, Astron Dental Corporation, Lake Zurich, IL, USA) gefertigt. Nach Ausarbeitung wurden die Schienen im Artikulator okklusal kontrolliert und angepasst. Hierfür wurden je nach Studiengruppe entweder die Artikulatorwerte aus dem Report verwendet oder Mittelwerte herangezogen (vgl. Abbildung 12). In der Interventionsgruppe wurden die individuellen

Reportwerte im Rahmen der technischen Daten des Artex CR Artikulators (Amann Girschbach GmbH, Pforzheim, Deutschland) übernommen:

- sagittale Kondylenbahnneigung (20 bis 60°),
- Bennettwinkel (-5 bis 30°),
- Immediate-Side-Shift (0 bis 1,5 mm pro Seite),
- Retrusion (0 bis 2 mm).

In der Kontrollgruppe wurden Mittelwerte zur Einstellung des Artikulators herangezogen: eine sagittale Kondylenbahnneigung von 33 Grad und ein Bennettwinkel von 10 Grad. Die Politur erfolgte manuell mit Polierbürste und -mittel (Polibims, Benzer-Dental AG, Zürich, Schweiz) sowie Polierschwabbel. Vor und nach dem Einschleifen wurden die Kontaktpunkte mit Okklusionsfolie markiert (Bausch Arti-Fol, Dr. Jean Bausch GmbH & Co. KG, Köln, Deutschland) und ausgezählt. Die zum Einschleifen benötigte Zeit wurde ebenso erfasst. Die Werte wurden später im Dokumentationsbogen Einsetzen (vgl. Anhang) festgehalten.

### **3.7 Einsetzen der Schienen**

Der Termin zum Einsetzen der Schiene wurde etwa zwei Wochen nach Erstsitzung eingeplant, was dem Zeitraum zur Schienenherstellung im Labor entspricht. Die Aufbisssschienen wurden am Patienten basal angepasst und okklusal adjustiert. Wie im Labor wurde auch hier die okklusale Einschleifzeit erhoben. Zusätzlich wurde die Anzahl der Kontaktpunkte vor und nach dem Einschleifen mit Okklusionsfolie (Bausch Arti-Fol, Dr. Jean Bausch GmbH & Co. KG, Köln, Deutschland) markiert und dokumentiert. Die Dicke der Schienen wurde an den Einbissen der tragenden Höcker der Zähne 14, 16, 24 und 26 mit einem Tastzirkel gemessen. Die Schienen wurden sowohl durch den Behandler als auch durch die Patienten beurteilt. Die Dokumentation erfolgte nach dem Dokumentationsbogen Einsetzen (vgl. Anhang). Abschließend wurden die Patienten über die nächtliche Anwendung und die Pflege der Schiene aufgeklärt.

### **3.8 Recall**

Drei Monate nach dem Einsetzen der Schiene fand der Recall mit dem Spielraum einer Woche statt. Im Recall wurde die Schienentherapie im Rahmen eines weiteren Dokumentationsbogens reevaluiert (vgl. Anhang). Dabei wurde die Schienendicke und die Funktionsuntersuchung des stomatognathen Systems erneut erfasst. Außerdem wurde die Symptomatik

durch den Patienten neu bewertet. Zudem wurde die Tragehäufigkeit abgefragt und die Schienentherapie abschließend evaluiert. Bei Bedarf wurde okklusal eingeschliffen.

### **3.9 Datenmanagement und statistische Auswertung**

Im Rahmen dieser Studie wurden einerseits metrische Variablen wie Einschleifzeit und Anzahl der Kontaktpunkte erhoben. Andererseits wurden die Patienten mittels verschiedener Bewertungsskalen zu Symptomatik und Therapie befragt. Der Datensatz wurde mittels Microsoft Excel (Microsoft Excel 2019, Microsoft Corporation, Redmond, Vereinigte Staaten) gesammelt und deskriptiv ausgewertet. Die schließende Statistik erfolgte mithilfe von SPSS (IBM SPSS Statistics 27, IBM, New York, Vereinigte Staaten). Zur Überprüfung der Normalverteilung wurde der Shapiro-Wilk-Test verwendet. Als nichtparametrischer Test wurde abhängig von der Stichprobe der Mann-Whitney-U-Test oder der Wilcoxon-Test verwendet. Darüber hinaus wurde der t-Test angewendet. Dabei wurde zur Überprüfung der Varianzen der Levene-Test verwendet.

## 4. Ergebnisse

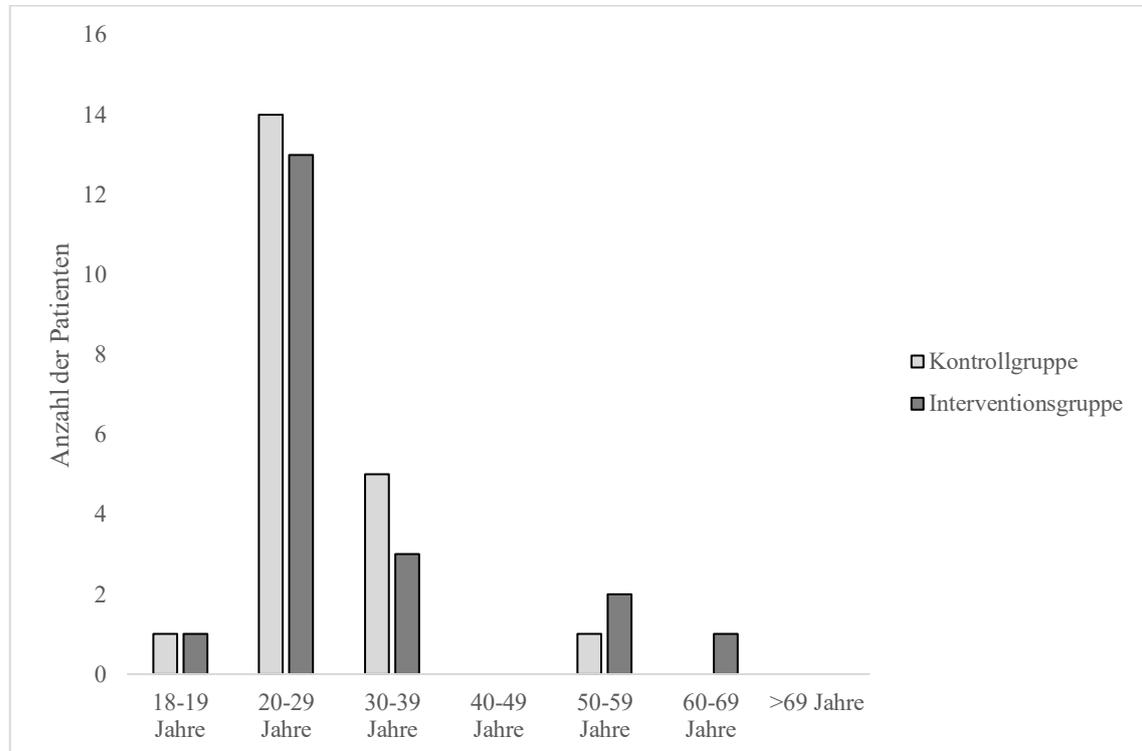
### 4.1 Patientenkollektiv

An der Untersuchung nahmen 41 Patienten teil ( $n = 41$ ). Das Patientenkollektiv wurde randomisiert in eine Interventions- und eine Kontrollgruppe aufgeteilt. Dabei wurden 21 Patienten der Interventionsgruppe zugeteilt und 20 Patienten der Kontrollgruppe. Die Teilnehmer waren überwiegend weiblich und im frühen Erwachsenenalter (vgl. Tabelle 4).

*Tabelle 4: Geschlechterverhältnis und Patientenalter*

Studiengruppe	<i>n</i>	Männlich	Weiblich	Alter ( $M \pm SD$ )
Interventionsgruppe	21 (51 %)	8 (38 %)	13 (62 %)	29 $\pm$ 8 Jahre
Kontrollgruppe	20 (49 %)	4 (20 %)	16 (80 %)	30 $\pm$ 11 Jahre
Gesamt	41 (100 %)	12 (29 %)	29 (71 %)	29 $\pm$ 10 Jahre

Es nahmen Patienten in einer Altersspanne zwischen 19 und 61 Jahren teil. Patienten im Alter von 20 bis 29 Jahren sind sowohl in der Interventions- als auch in der Kontrollgruppe am stärksten vertreten (vgl. Abbildung 13).



*Abbildung 13: Altersverteilung*

## 4.2 Patientenkomfort der Gesichtsbögen

Bei allen Studienteilnehmern wurde sowohl der analog-arbiträre als auch digital-individuelle Gesichtsbogen angewendet. Es wurde angenommen, dass die Patienten das Anlegen beider Gesichtsbögen unterschiedlich komfortabel empfinden. Anhand einer fünfstufigen Bewertungsskala (sehr gut, gut, mäßig, schlecht, sehr schlecht; codiert mit 1-5) wurde der Komfort der Gesichtsbögen durch die Patienten beurteilt (vgl. Abbildung 14). Obwohl der Artex Gesichtsbogen im Mittel besser bewertet wurde ( $1,80 \pm 0,72$ ) als der JMAlyser+ ( $1,93 \pm 0,61$ ), ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (Wilcoxon,  $p = 0,297$ ).

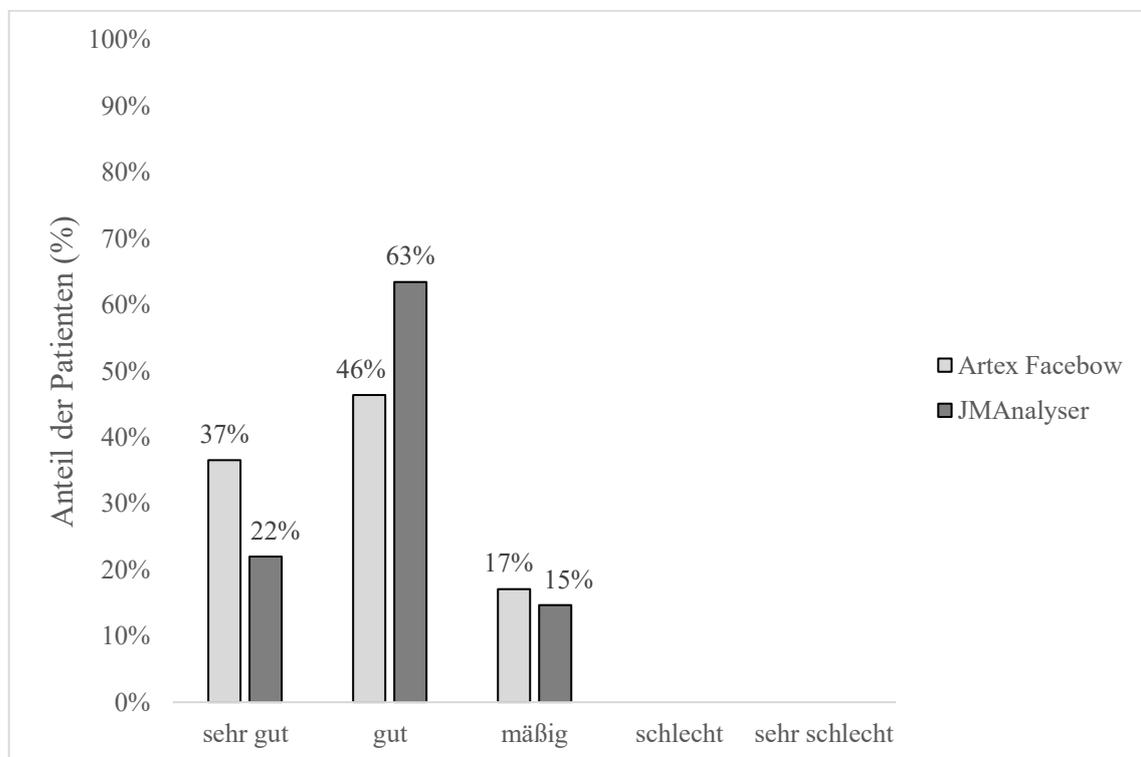


Abbildung 14: Durch den Patienten bewerteter Komfort der Gesichtsbögen

### 4.3 Tragekomfort der Schienen

#### 4.3.1 Tragekomfort nach Adjustierung

In beiden Studiengruppen wurden die Schienen an den Patienten angepasst (Adjustierung). Der Komfort der Schienen wurde durch die Patienten auf einer fünfstufigen Bewertungsskala (Sehr gut, gut, mäßig, schlecht, sehr schlecht; codiert mit 1-5) bewertet (vgl. Abbildung 15). Die Schienenpassung nach Adjustierung wurde in der Kontrollgruppe besser bewertet ( $1,30 \pm 0,46$ ) als in der Interventionsgruppe ( $1,38 \pm 0,49$ ), der Unterschied wurde jedoch nicht signifikant (Mann-Whitney-U,  $p = 0,589$ ).

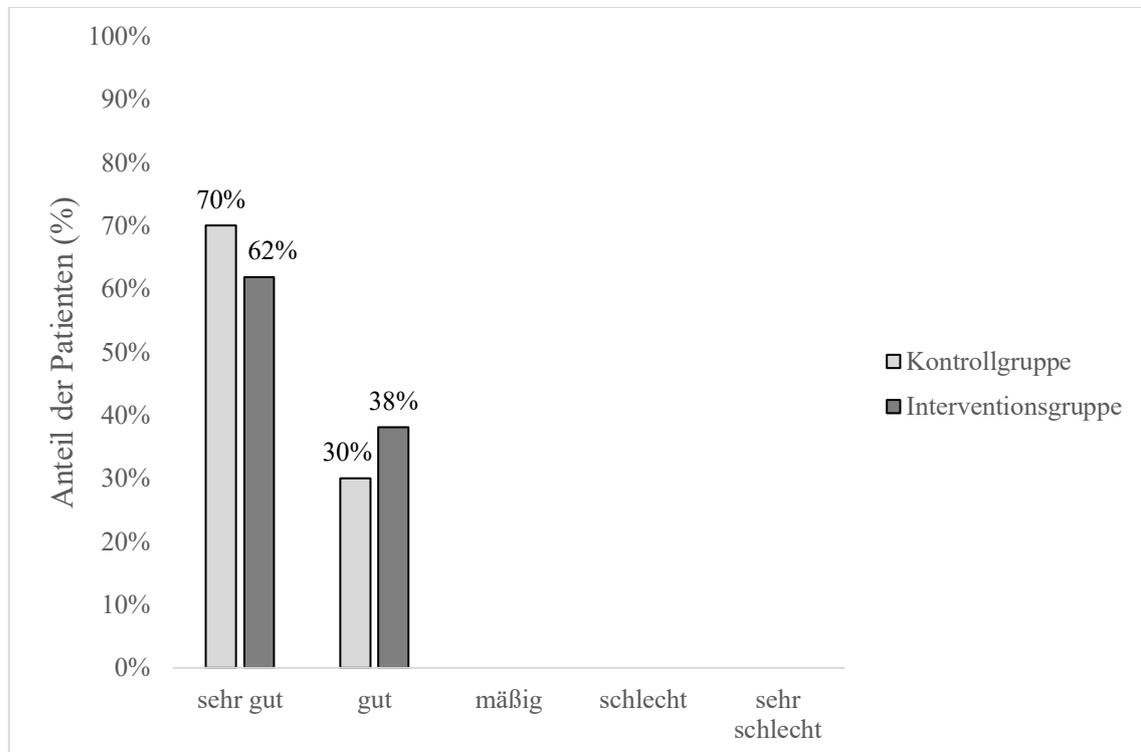


Abbildung 15: Patientenbewertung des Schienenkomforts nach dem Einsetzen

### 4.3.2 Tragekomfort nach drei Monaten

Nach dem Einsetzen der Schiene sollte sie von den Probanden für drei Monaten nachts getragen werden. Danach wurden die Patienten erneut zum Tragekomfort der Schienen befragt (vgl. Abbildung 16). Obwohl der Schienekomfort im Recall in der Kontrollgruppe ( $1,60 \pm 0,75$ ) schlechter bewertet wurde als in der Interventionsgruppe ( $1,47 \pm 0,51$ ), ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied (Mann-Whitney-U,  $p = 0,776$ ).

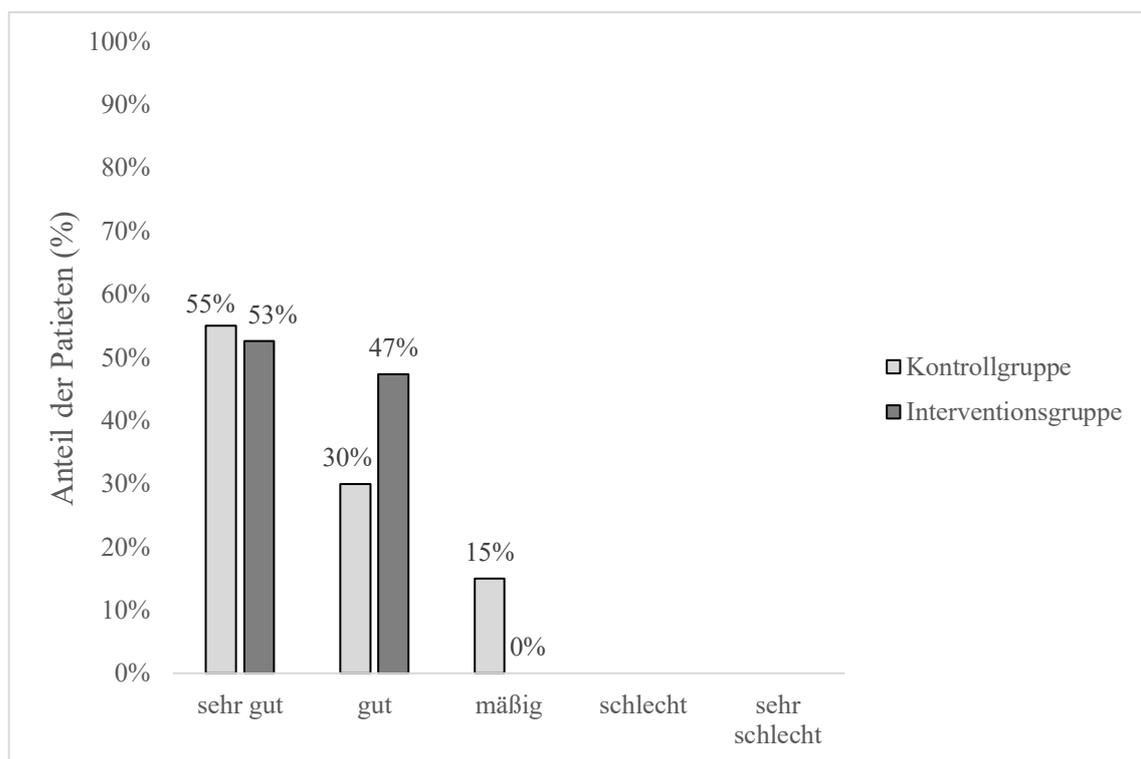


Abbildung 16: Patientenbewertung des Schienekomforts im Recall

## 4.4 Schienenpassung

Die Passung der Schienen wurde anhand der Anzahl statischer Kontaktpunkte erhoben. Die Annahme war hierbei, dass die Schienen bei der Herstellung mit digital-individuellem Gesichtsbogen mehr Kontaktpunkte aufweisen. Da die Schienen nach computergestützter Herstellung manuell im Artikulator nachbearbeitet wurden, wurden die Kontaktpunkte nicht nur initial im Patientenmund gezählt, sondern auch im Artikulator vor Adjustierung.

### 4.4.1 Schienenpassung im Artikulator

Vor dem Einschleifen der Schienen im Artikulator wurden die statischen Kontaktpunkte gezählt (vgl. Abbildung 17). Die Kontaktpunktzahl unterschied sich zwischen der Interventions- ( $4,71 \pm 1,15$ ) und Kontrollgruppe ( $5,90 \pm 2,59$ ) nicht signifikant (Mann-Whitney-U,  $p = 0,303$ ). Bei Betrachtung der Mediane ergab sich kein Unterschied zwischen den Studiengruppen ( $Mdn = 5,00$ ).

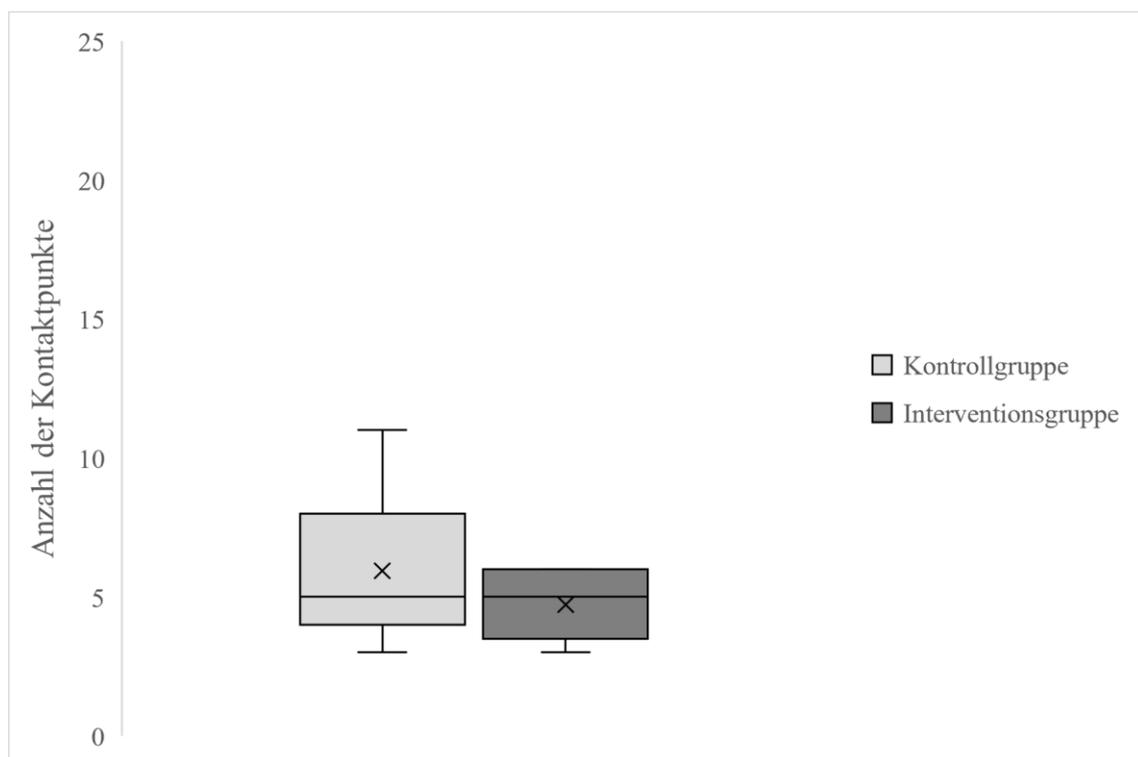


Abbildung 17: Initiale Schienenpassung im Artikulator

#### 4.4.2 Schienenpassung im Patientenmund

Deskriptiv lag die Anzahl der Kontaktpunkte im Patientenmund (vgl. Abbildung 18) in der Kontrollgruppe ( $8,50 \pm 4,16$ ) unter dem Ergebnis der Interventionsgruppe ( $10,10 \pm 4,11$ ), der Unterschied zwischen beiden Studiengruppen war jedoch statistisch nicht bedeutsam (t-Test,  $p = 0,997$ ).

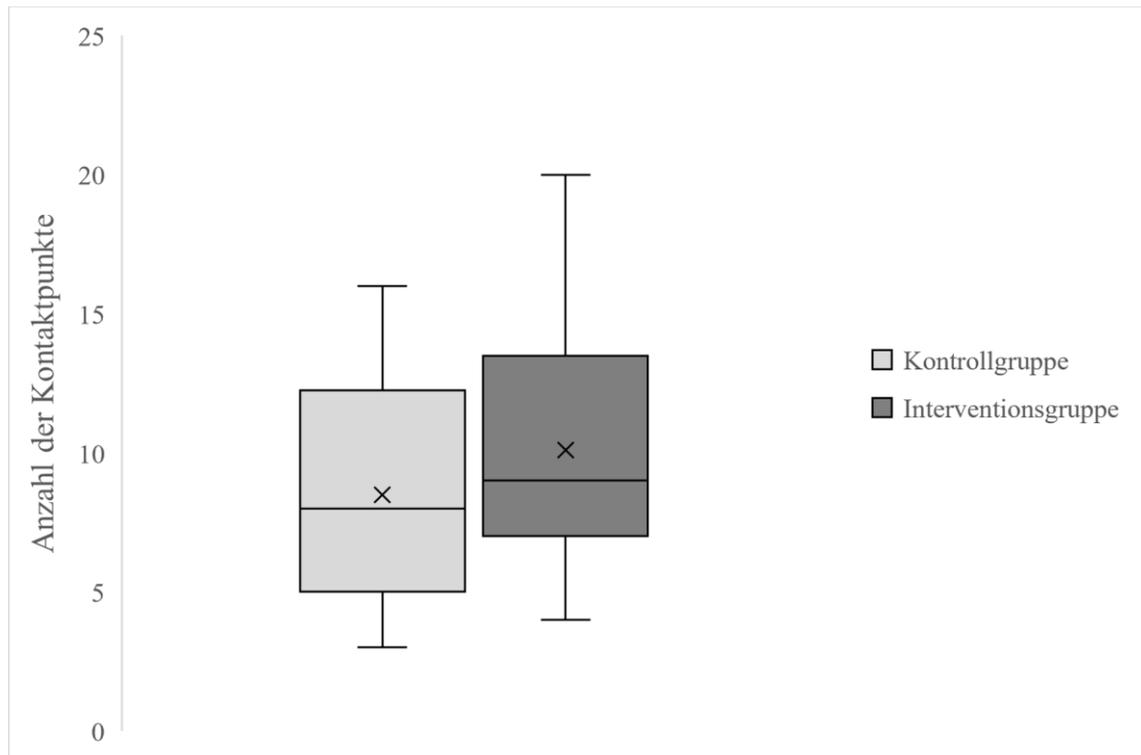


Abbildung 18: Initiale Schienenpassung im Patientenmund

## 4.5 Einschleifzeit

Es wurde angenommen, dass sich durch das digitale Registriersystem auch die benötigte Zeit für die Adjustierung, im weiteren Verlauf als Einschleifzeit bezeichnet, verringert. Da die Schienen sowohl im Artikulator als auch im Patientenmund adjustiert wurden, wurde die Einschleifzeit in beiden Fällen erfasst.

### 4.5.1 Einschleifzeit im Artikulator

Die Einschleifzeit im Artikulator dauerte in der Interventionsgruppe ( $4,27 \pm 1,52$  Minuten in Dezimal) im Mittel kürzer als in der Kontrollgruppe ( $4,49 \pm 1,96$  Minuten in Dezimal). Die beschriebenen Unterschiede hinsichtlich der Einschleifzeit erwiesen sich jedoch als nicht signifikant (Mann-Whitney-U,  $p = 0,958$ ). Bei Untersuchung der Einschleifzeit im Artikulator (vgl. Abbildung 19) war die Streuung der benötigten Zeit zum Einschleifen in der Kontrollgruppe größer als in der Interventionsgruppe.

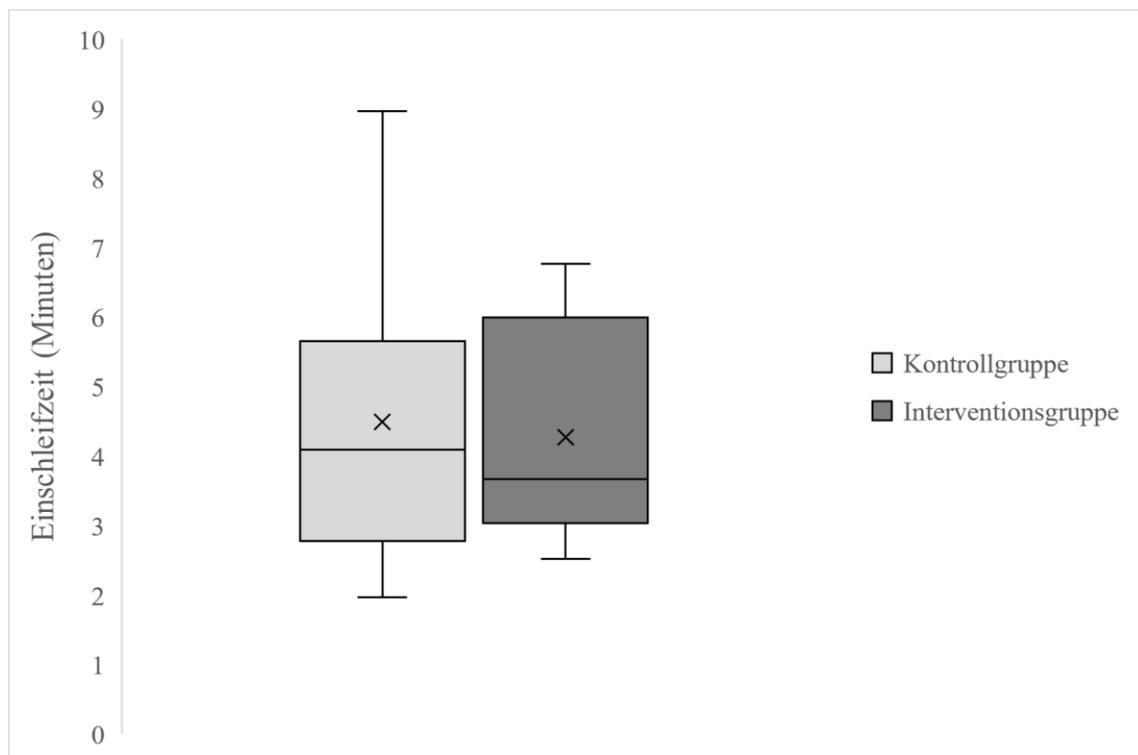


Abbildung 19: Einschleifzeit im Artikulator

#### 4.5.2 Einschleifzeit im Patientenmund

Im Patientenmund wurde in der Interventionsgruppe ( $2,74 \pm 1,13$  Minuten in Dezimal) mehr Zeit für das Einschleifen benötigt als in der Kontrollgruppe ( $3,16 \pm 2,26$  Minuten in Dezimal). Die beschriebenen Unterschiede hinsichtlich der Einschleifzeit waren jedoch nicht signifikant (Mann-Whitney-U,  $p = 0,938$ ). Bei Untersuchung der Einschleifzeit am Patienten traten in der Kontrollgruppe spezielle Abweichungen von 7:40 Minuten und 9:00 Minuten auf (vgl. Abbildung 20).

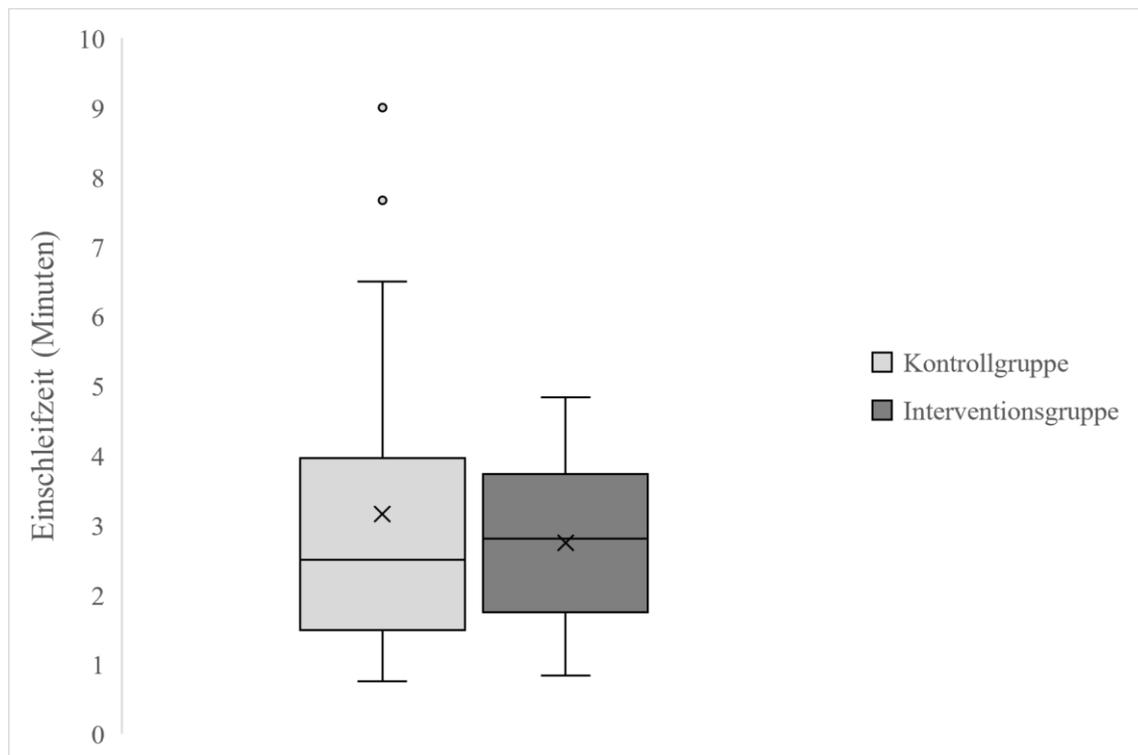


Abbildung 20: Einschleifzeit im Patientenmund

## 5. Diskussion

### 5.1 Diskussion der Methoden

Bevor in diesem Abschnitt das Studienverfahren diskutiert wird, soll im Folgenden zuerst das Patientenkollektiv betrachtet werden. Neben Alters- und Geschlechtsverteilung sowie der Fallzahl soll auf die Wahl der Ein- und Ausschlusskriterien eingegangen werden.

Mit zunehmendem Alter wurde eine Abnahme der Prävalenz von Bruxismus festgestellt (Manfredini *et al.*, 2013b; Shetty *et al.*, 2010). Daher überrascht es nicht, dass jüngere Bruxismus-Patienten im Vergleich zu älteren in dieser Studie überrepräsentiert sind. Außerdem ist das Auftreten eines Zahnverlustes, dessen Risiko mit dem Alter steigt, ein Ausschlusskriterium für die Teilnahme an dieser Studie. Auch in anderen Studien lässt sich dieses Kriterium finden (Shodadai *et al.*, 2001).

Außerdem ist darauf hinzuweisen, dass Frauen in dieser Studie überrepräsentiert sind. Obwohl kein Zusammenhang von Bruxismus und Geschlecht nachgewiesen werden konnte, gibt es Hinweise, dass Bruxismus gehäuft bei Frauen vorkommen könnte (Lavigne *et al.*, 2008; Manfredini *et al.*, 2013b; Wetselaar *et al.*, 2019b). Die Geschlechterverteilung innerhalb der Studie würde zwar für diese Annahme sprechen, es ist jedoch anzumerken, dass diese Studie nicht zur Beurteilung der geschlechterspezifischen Prävalenz verwendet werden sollte. Da keine instrumentelle Methode zur Diagnostik von Bruxismus angewendet wurde, ist die Diagnose als möglich bzw. wahrscheinlich und nicht als definitiv anzusehen (Lobbezoo *et al.*, 2018).

Das Patientenkollektiv umfasst mit 41 Patienten eine niedrige Fallzahl. Es überschreitet dennoch die Probandenzahl der klinischen Schienenstudien, die in der weiteren Diskussion herangezogen werden (Alqutaibi *et al.*, 2021; Dedem und Türp, 2016; Shodadai *et al.*, 2001). Interessant wäre eine Untersuchung, die eine größere Stichprobe untersucht, um gesicherte empirische Befunde zur Fragestellung zu finden.

In dieser Studie wurden Patienten mit möglichem oder wahrscheinlichem Bruxismus eingeschlossen. Gemäß dem Grading-System zur Einschätzung der Bruxismus-Wahrscheinlichkeit ist die Diagnose nur als definitiv anzusehen, wenn zusätzlich instrumentelle Methoden herangezogen werden, wie z.B. die Elektromyographie (Lobbezoo *et al.*, 2018). Das Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung eines elektronischen Messsystems. Der Eigenbericht von Bruxismus und eine klinische Untersuchung erschienen daher als ausreichende

diagnostische Mittel. Auch vergleichbare klinische Studien verwendeten keine instrumentellen Diagnostikmethoden (Alqutaibi *et al.*, 2021; Shodadai *et al.*, 2001). Alqutaibi und Kollegen (2021) beziehen sich auf einen standardisierten Fragebogen. Dieser unterscheidet bei der Frage nach Selbst- oder Fremdbeobachtung nach zirkadianer Manifestation (Gámez C *et al.*, 2013). Es wird empfohlen zwischen Wach- und/oder Schlafbruxismus zu unterscheiden (Lobbezoo *et al.*, 2013). Die Integration dieses Aspekts in den Screeningbogen wäre eine einfach durchzuführende Maßnahme, die das Patientenkollektiv bei beobachtetem Bruxismus näher charakterisieren könnte. Dies war jedoch nicht Ziel der vorliegenden Arbeit.

Schmerzen werden im Rahmen von Bruxismus-Screenings abgefragt und zur Diagnosefindung herangezogen (vgl. Kapitel 1.1.5). In der vorliegenden Studie galten Schmerzen daher nicht als Ausschlusskriterium. Es gibt jedoch Hinweise, dass Kaumuskelschmerzen die Bewegungsaufzeichnung in Form des gotischen Bogens beeinflussen können (Obrez und Stohler, 1996). In Schienenstudien zur Evaluation eines arbiträren Gesichtsbogens, die unter Bruxismus-Patienten durchgeführt wurden, wird ebendieser Aspekt hinsichtlich der Ergebnisse diskutiert (Alqutaibi *et al.*, 2021; Shodadai *et al.*, 2001).

Nach Diskussion des Patientenkollektivs soll nun das Studienverfahren näher ausgeführt werden. Es folgt neben der prüfenden Beurteilung des Labor-Scans auch eine differenzierte Betrachtung des Interventionsverfahrens.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen indirektem und direktem Workflow ergibt sich durch die Wahl des Scanners (Lepidi *et al.*, 2021; vgl. Kapitel 1.3.2). Die Entscheidung in dieser Studie fiel auf einen Labor-Scan von Gipsmodellen nach konventioneller Abformung (indirektes Verfahren). Hintergrund war, dass beim Scan ganzer Zahnbögen in einigen Studien verfügbare Labor- gegenüber Intraoralscannern hinsichtlich der Präzision überzeugten (Treesh *et al.*, 2018; Wesemann *et al.*, 2017). Eine aktuelle Literaturübersicht kann dagegen eine Empfehlung für den Intraoralscan ganzer Zahnbögen aussprechen (Lepidi *et al.*, 2021). Da sich Interventions- und Kontrollgruppe hinsichtlich des Scansystems nicht unterscheiden, würde ein nachteiliger Effekt durch die Wahl des Scansystems jedoch beide Studiengruppen gleichermaßen betreffen.

Auch wenn die Reliabilität elektronischer Bewegungsaufzeichnungen als ausreichend bewertet wird, so kann sie einer gewissen Variabilität unterliegen (DGFDT und DGZMK, 2015, vgl. Kapitel 1.3.3). DGFDT und DGZMK (2015) empfehlen daher zur Beurteilung von Bewegungsabläufen (zufällig vs. konstant), mehrere Aufzeichnungen hintereinander

durchzuführen. Diese Empfehlung wurde in der vorliegenden Studie umgesetzt. Trotzdem ist es nicht auszuschließen, dass natürliche Gegebenheiten weniger konstante Bewegungsabläufe bedingen und damit die Bewegungsaufzeichnung limitieren (DGFDT und DGZMK, 2015).

Durch die Digitalisierung des Herstellungsprozesses ergeben sich neue Fehlerquellen im Vergleich zum konventionellen Ablauf. Die Untersuchung digitaler Verfahren setzt neue Kenntnisse von Behandlern und Zahntechnikern voraus und geht über das konventionelle Arbeitsfeld hinaus. Die Einsicht in Softwareberechnungen könnte besseren Aufschluss über die Scharnierachsbestimmung mittels elektronischer Registriersysteme geben (Mehl, 2018a). Laut Mehl (2018a) wird dies durch Angaben der Hersteller nicht ausreichend gewährleistet.

Die Scharnierachse wird beschrieben als die „dem Unterkiefer zugeordnete, funktionelle Drehachse bei Öffnungs- und Schließbewegungen des Unterkiefers“ (DGFDT und DGZPW, 2005). Mehrere Studien zeigten, dass die Rotation bei Kieferöffnung und -schluss nie allein auftritt, sondern immer zusammen mit translatorischen Einflüssen (Ferrario *et al.*, 1996; Mapelli *et al.*, 2009). Ferrario und Kollegen (1996) stellten daher das Konzept der Scharnierachse in Frage. Es wurde festgestellt, dass sich die Position der Scharnierachse bereits durch kleine translatorische Bewegungen verändern kann (Mehl, 2018b). Mehl (2018b) regt in diesem Zusammenhang zu einer Neubeurteilung von Verfahren der Scharnierachsbestimmung an. Vor diesem Hintergrund erscheint eine Studie besonders interessant, bei der mit Hilfe eines Gesichtsscans vestibuläre Marker während Kieferöffnung und -schluss aufgezeichnet wurden (Kim *et al.*, 2017). Daraufhin wurden sie mit dem Scan der Zahnbögen zusammengeführt. Weitere Anregungen könnten in Studien gesammelt werden, die die Modellübertragung des Oberkiefers in den virtuellen Artikulator mittels Gesichtsfotos oder -scans zumindest statisch umsetzen (Lepidi *et al.*, 2021).

In der vorliegenden Studie wurden kritische Anmerkungen der Patienten zur Unterkiefer-Apparatur mit Attachment und darauf abgestütztem Gewicht des Sensors verzeichnet (vgl. Anhang). Diesbezüglich gibt es mittlerweile jedoch eine Weiterentwicklung der Firma Zebri, der sog. Tizian JMA Optic (Zebri Medical GmbH, Isny, Deutschland). Der dazugehörige Unterkiefersensor ist laut Hersteller sehr leicht, kabellos und vor allem viel kleiner als der des JMAlyzers+.

Zu guter Letzt soll hinsichtlich der verwendeten Methodik das Ausmaß der im Artikulator veränderten vertikalen Modellrelation diskutiert werden. Bei einer Veränderung der

vertikalen Modellbeziehung im Artikulator, wie beispielsweise im Falle eines Zentrikregistrats, konnte ein Fehler in der statischen Okklusion festgestellt werden (Morneburg und Pröschel, 2011). Dabei verhielt sich dieser Fehler proportional zur erforderlichen vertikalen Änderung. Er konnte durch einen arbiträren Gesichtsbogen im Vergleich zur mittelwertigen Modellmontage gesenkt werden (Morneburg und Pröschel, 2011). Während in Deutschland die Übertragung der Modelle in den Artikulator mit Hilfe eines arbiträren Gesichtsbogens gebräuchlich ist (Morneburg *et al.*, 2010), wird der Vorteil dieser Methode international viel diskutiert (Farias-Neto *et al.*, 2013; Khan *et al.*, 2018). Khan und Kollegen (2018) kommen im Rahmen eines Reviews zu dem Ergebnis, dass eine Verbesserung von Passung und Komfort bei Schienen und Totalprothesen durch die Verwendung eines arbiträren Gesichtsbogens nicht belegt werden kann. Eine darin zitierte Studie soll im Folgenden genauer betrachtet werden, da sie sich mit der Herstellung von Schienen befasst und genauere Angaben zur vertikalen Relationsänderung macht (Shodadai *et al.*, 2001). Shodadai und Kollegen (2001) untersuchten die Herstellung von Michigan-Schienen mithilfe eines arbiträren Gesichtsbogens im Vergleich zur mittelwertigen Modellmontage. Hierfür erhielten 20 Bruxismus-Patienten jeweils zwei unterschiedliche Michigan Schienen. Hinsichtlich der „Anzahl an Kontaktpunkten“ und der „Einschleifzeit“ konnte jedoch kein klinisch relevanter Unterschied festgestellt werden (Shodadai *et al.*, 2001). An dieser Studie wird es als vorteilhaft beurteilt, dass der einzige methodische Unterschied zwischen den Stichproben durch die Verwendung des Gesichtsbogens definiert ist (Morneburg *et al.*, 2010). Dagegen wird es von Morneburg und Kollegen (2010) als einschränkend angemerkt, dass in der Studie das vertikale Verhältnis nur wenig verändert wurde. In einer aktuellen Studie sind ebenso keine Angaben zur vertikalen Änderung zu finden (Alqutaibi *et al.*, 2021). Vor diesem Hintergrund erscheint es interessant, bei der Evaluation eines Gesichtsbogens den Umfang der vertikalen Relationsänderung anzugeben. Darüber hinaus könnten diese Daten in die Untersuchung der Okklusion miteinbezogen werden. Eine Anregung soll hier eine Studie zum arbiträren Gesichtsbogen bei der sekundären Remontage von Totalprothesen bieten (von Stein-Lausnitz *et al.*, 2018). In dieser Studie wurde in der Vergleichsgruppe die mittelwertige Modellmontage herangezogen. Es erfolgte eine Auswertung des Zusammenhangs zwischen der vertikalen Änderung im Artikulator und der Kontaktpunkt-Anzahl. Dabei konnte jedoch nur wenig Korrelation nachgewiesen werden (von Stein-Lausnitz *et al.*, 2018).

Zusammenfassend beschränkt sich diese Studie auf ein einziges elektronisches Messgerät und das beschriebene Interventionsverfahren zur Herstellung der Okklusionsschienen.

Alternative Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Kieferbewegung (z.B. andere Messgeräte oder -verfahren) und die Übertragbarkeit in andere Behandlungsbereiche (z.B. festsitzende Prothetik, orthognathe Chirurgie) sind jedoch auf unabhängige Weise zu prüfen. International von Bedeutung könnte sein, inwiefern sich durch die Integration patientenindividueller Bewegungsdaten auch Unterschiede im Vergleich zu vereinfachten Herstellungsverfahren (mittelwertige Modellmontage) ergeben (vgl. Kapitel 1.3.4).

## 5.2 Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Die Eingliederung eines elektronischen Messsystems in den digitalen Herstellungsprozess wurde bisher noch wenig klinisch untersucht. Trotzdem ließen sich in der internationalen Forschungsliteratur ähnliche Untersuchungsmethoden finden (Alqutaibi *et al.*, 2021; Dedem und Türp, 2016; Farias-Neto *et al.*, 2013; Shodadai *et al.*, 2001). Bei diesen Studien handelt es sich nicht nur um Untersuchungen an Schienen, sondern auch an Totalprothesen. Die genannten Untersuchungen dienten jedoch der Evaluation eines arbiträren Gesichtsbogens.

### 5.2.1 Diskussion des Patientenkomforts der Gesichtsbögen

In der vorliegenden Studie wurde das Anlegen des verwendeten analog-arbiträren Gesichtsbogens im Vergleich zum elektronischen von den Patienten als komfortabler bewertet. Der Unterschied wird als klinisch wenig relevant bewertet. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied. Das Ergebnis konnte die angenommenen Unterschieden hinsichtlich des Patientenkomforts der Gesichtsbögen nicht stützen. Eine Studie, die diesen Unterschied ebenso untersuchte, wurde nicht gefunden.

Obwohl die Gründe durch den Patienten nicht angegeben werden mussten, wurden freiwillige Anmerkungen der Patienten bei der Anwendung der Gesichtsbögen notiert (vgl. Anhang). Im Folgenden soll betrachtet werden, inwiefern sich die Gesichtsbögen in der Anwendung gleichen oder unterscheiden (vgl. Tabelle 5). In diesen Zusammenhang sollen die Angaben der Patienten anschließend eingeordnet werden.

*Tabelle 5: Unterscheidungsmerkmale zwischen Artex Facebow und JMAlyser+*

Artex Facebow	JMAlyser+
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Liegeposition</li> <li>- Einführung der Porusknöpfe in den Gehörgang</li> <li>- Manuelle Einstellung des Gelenksupports</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sitzposition</li> <li>- Spannung des Kopfbands</li> <li>- Befestigung des Attachments mit Sensor an den Unterkieferzähnen</li> <li>- Bewegungsaufzeichnung und deren Zeitbedarf</li> </ul>

Während der Artex-Gesichtsbogen laut Hersteller im Liegen angelegt werden soll, wird der JMAlyser+ im Sitzen verwendet. Beide Gesichtsbögen weisen eine Nasenstütze auf. Der Artex-Gesichtsbogen wird dabei über sog. Porusknöpfe, die in die Gehörgänge eingeführt

werden, stabilisiert. Dagegen erfolgt die Fixierung beim JMAlyser+ zusammen mit einem Band am Hinterkopf.

Eine weitere Gemeinsamkeit der Gesichtsbögen ist die anschließende Anbringung einer Oberkieferplatte. In dieser Studie erfolgte sie bei beiden Systemen mit einem A-Silikon (Regisil PB, Dentsply Sirona Deutschland GmbH, Bensheim, Deutschland). Mit dem Artex-Gesichtsbogen wird diese Oberkieferplatte über einen Gelenksupport verbunden. Dieser wird vor dem Gesicht des Patienten manuell eingestellt. Beim JMAlyser+ genügt jedoch das Anlegen der Platte am Oberkiefer zusammen mit dem Sensorbogen, welcher eine Verbindung zum Kopfbogen über Ultraschall herstellt.

Im Gegensatz zum Artex-Gesichtsbogen folgt beim JMAlyser+ nun die Bewegungsaufzeichnung, welche ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen den Gesichtsbögen in dieser Studie darstellt. Dazu wird eine Einheit aus Unterkiefer-Sensor und Bissgabel (sog. Attachment) an den Unterkieferzähnen befestigt. Die Befestigung an den Unterkieferzähnen, das daraufliegende Gewicht des Sensors und die Verdrängung der Unterlippe durch das Attachment könnten die Bewertung des Komforts beeinflussen. Dabei ist der Zeitbedarf für die Anwendung des digitalen Gesichtsbogens am Patienten aufgrund der Bewegungsaufzeichnungen höher.

Die freiwilligen Anmerkungen der Patienten bei der Beurteilung des elektronischen Messsystems lassen annehmen, dass ein wesentlicher Bewertungseinfluss durch die Unterkiefer-Apparatur mit Befestigungsmaterial, Attachment und Sensor gegeben ist (vgl. Anhang). Hervorzuheben sind der Geschmack des verwendeten Befestigungsmaterials (LuxaBite, DMG Chemisch-Pharmazeutische Fabrik GmbH, Hamburg, Deutschland) und das Gewicht der Unterkiefer-Apparatur aus Attachment und Sensor. Durch einen Austausch des Befestigungsmaterials und einer technischen Weiterentwicklung des JMAlyser+ kann diesbezüglich Abhilfe geschaffen werden. Eine neue Entwicklung der Firma Zebris ist der Tizian JMA Optic (vgl. Kapitel 5.1). An dieser Stelle soll auch die Möglichkeit genannt werden, das Attachment computergestützt zu fertigen (Krey *et al.*, 2017).

Außerdem könnte die Erhebung des Patientenkomforts in Form der gewählten Skala Einfluss auf das Ergebnis der Untersuchung genommen haben. Dies wird im darauffolgenden Abschnitt anhand der Untersuchung des Tragekomfort der Schienen näher diskutiert (vgl. Kapitel 5.2.2).

### 5.2.2 Diskussion des Tragekomforts der Schienen

Hinsichtlich des Tragekomforts der Schienen zeigte sich in der Kontrollgruppe unmittelbar nach Adjustierung eine bessere Bewertung als in der Interventionsgruppe. Nach drei Monaten Tragedauer jedoch fiel die Beurteilung in der Kontrollgruppe schlechter aus als in der Interventionsgruppe. Die Unterschiede waren nicht signifikant. Dieses Ergebnis konnte die Annahme, dass sich der Tragekomfort der Schienen zwischen den Studiengruppen unterscheidet, nicht bestätigen. Auch wenn sich im Mittel Unterschiede abzeichneten, sind diese gering und werden als klinisch nicht relevant bewertet.

*Patient satisfaction* wird international häufig zur Beurteilung von Zahnprothesen und Okklusionsschienen verwendet (Alqutaibi *et al.*, 2021; Khan *et al.*, 2018; Farias-Neto *et al.*, 2013). Diejenigen Studien, in denen eine Untersuchung von *patient satisfaction* gefunden werden konnte, wurden im Zusammenhang mit einem arbiträren Gesichtsbogen durchgeführt. Alqutaibi und Kollegen (2021) verglichen beispielsweise die Okklusionsschienen von Kontroll- und Interventionsgruppe hinsichtlich der *patient satisfaction* anhand einer visuellen Analogskala (vgl. Abbildung 21). Im Gegensatz zu anderen Studien, zeigte jene von Heydecke und Kollegen (2008) hinsichtlich *patient satisfaction* signifikante Unterschiede bei der Herstellung von Totalprothesen auf (Farias-Neto *et al.*, 2013). Es wird jedoch angemerkt, dass sich die Stichproben nicht ausschließlich hinsichtlich des Gesichtsbogens unterscheiden (Morneburg *et al.*, 2010).

Außerdem lassen sich Studien finden, in denen neben der generellen Patientenzufriedenheit bei Behandlung mit Totalprothesen auch Unterkategorien beurteilt wurden (Kimoto *et al.*, 2013). So erscheint es auch bei der Untersuchung von Schienen interessant, Differenzierungen zu formulieren, wie z.B. die Unterscheidung in okklusalen und basalen Tragekomfort. Dies könnte deutlichere Unterschiede zeigen.

Während der Patientenkomfort in der vorliegenden Studie anhand einer fünfstufigen Bewertungsskala erfasst und analysiert wurde, wird in der Fachliteratur häufig eine visuelle Analogskala (vgl. Abbildung 21) verwendet (Alqutaibi *et al.*, 2021; Farias-Neto *et al.*, 2013). Eine Studie, die die Frage nach *patient satisfaction* untersuchte, beurteilte die visuelle Analogskala besser als eine Likert-Skala, da sie weniger Störfaktoren unterlag (Voutilainen *et al.*, 2016). Dies könnte Einfluss auf die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung haben.



Abbildung 21: Beispiel einer visuellen Analogskala mit einem Abstand von 10 cm zwischen beiden Extremen (eigene Darstellung nach Wakabayashi *et al.*, 1998)

### 5.2.3 Diskussion der Kontaktpunktzahl

Die Schienenpassung wurde in dieser Studie anhand der Anzahl statischer Kontaktpunkte vor Schienenadjustierung jeweils im Artikulator sowie im Patientenmund gemessen. Während sich hinsichtlich der Kontaktpunkte im Artikulator wenig Unterschiede zwischen den Studiengruppen erkennen ließen, zeigte die Untersuchung im Patientenmund im Mittel eine höhere Anzahl an Kontaktpunkten in der Interventionsgruppe. Die Unterschiede werden klinisch als gering bewertet und erwiesen sich als nicht signifikant. Demnach konnten die vorliegenden Daten die Annahme, dass sich Unterschiede hinsichtlich der initialen Schienenpassung zwischen den Studiengruppen ergeben, nicht stützen.

Um die Schienenpassung zu überprüfen, wurden in der vorliegenden Studie statische Kontaktpunkte gezählt. Ein Blick in die Forschungsliteratur erlaubt die Aussage, dass dies eine gängige Methode in Untersuchungen von Schienen und Totalprothesen ist (Dedem und Türp, 2016; Shodadai *et al.*, 2001; von Stein-Lausnitz *et al.*, 2018). Der arbiträre Gesichtsbogen zeigte im Rahmen der Schienenherstellung ähnliche Ergebnisse wie die mittelwertige Modellmontage (Shodadai *et al.*, 2001).

In einer Studie zum Einfluss der arbiträren Gesichtsbogenübertragung auf die Okklusion von Totalprothesen, wurde nicht nur die Anzahl an Kontaktpunkten an sich erhoben, sondern auch die Anzahl der Kontaktzähne bzw. die Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn (von Stein-Lausnitz *et al.*, 2018). An dieser Stelle kann diskutiert werden, ob die zahnbezogene Erfassung der Kontaktpunkte auch bei der Evaluation von Okklusionsschienen geeignet ist. Ein Vorteil daran ist, dass dadurch untersucht werden kann, wie die Kontaktpunkte im Zahnbogen verteilt sind.

Es kann außerdem wichtig sein, die Methodik hinsichtlich der Kauflächengestaltung zu präzisieren. Wiesner (2010a) beschreibt für Stabilisierungsschienen zwei mögliche

Gestaltungen im Bereich der Seitenzähne: die Plateaugestaltung mit Kontakt zur Höcker-  
spitze des tragenden Höckers und die Höcker-Fossa-Gestaltung mit ABC-Kontakten. Bei  
Gestaltung von ABC-Kontakten werden dabei mehrere Kontaktpunkte pro Zahn angestrebt,  
bei Stabilisierungsschienen mit Plateaugestaltung dagegen nur der Kontakt mit der Spitze  
des tragenden Höckers (Wiesner, 2010a). Im Falle der Plateaugestaltung zeigt eine erhöhte  
Anzahl an Kontaktpunkten pro Zahn auf, dass es nicht erwünschte Kontaktpunkte gibt, wie  
z.B. am Scherhöcker. Das heißt, dass die Okklusion an diesem Zahn eingeschliffen werden  
muss. Doch auch bei einem einzelnen Kontakt kann es sich bereits um einen Kontakt han-  
deln, der nicht am tragenden Höcker liegt. Bei einer Plateaugestaltung erscheint daher auch  
eine Unterscheidung zwischen erwünschten und nicht erwünschten Kontaktpunkten (Stör-  
kontakten) als einfach umsetzbar. Dies macht deutlich, dass präzise Angaben zur Adjustie-  
rung für die Bewertung der Kontaktpunkt-Anzahl erforderlich sind. Dies ist jedoch nicht bei  
allen Studien der Fall. Anders dagegen bei Dedem und Türp (2016), die in ihrer Studie die  
Herstellung von Michigan-Schienen untersuchten. Vorteilhaft erscheint dabei, dass die Mi-  
chigan Schiene klar definierte Charakteristika aufweist und sich so vereinfacht mit anderen  
Studien vergleichen lässt (Dedem und Türp, 2016).

In einer Studie zum arbiträren Gesichtsbogen bei Totalprothesen wurden die Kontaktpunkte  
mit dem sog. GEDAS 2 Reader (Greifswald Digital Analyzing System, Ernst Moritz Arndt  
University Greifswald, Germany) visualisiert (von Stein-Lausnitz *et al.*, 2018). Das Prinzip  
des GEDAS Readers soll an dieser Stelle kurz beschrieben werden. Zuerst wird der Aufbiss  
mit Silikon registriert, dann erfolgt der Scan des Registrats mit Durch- sowie Auflicht und  
das anschließende Zusammenführen der Daten (Kordaß, 2010). Das GEDAS-System zielt  
laut Kordaß (2010) darauf ab, die Kontaktpunkte nicht nur zu lokalisieren, sondern auch die  
Stärke und Ausdehnung zu dokumentieren. Ein ähnliches Gerät ist der T-Scan Novus  
(Tekscan, Boston, MA, USA), wobei ein Aufbissensor die relative Aufbissstärke erfasst  
und die Okklusion im zeitlichen Verlauf darstellten kann (Qadeer *et al.*, 2021). In jedem Fall  
erlauben solche Analysegeräte eine detailliertere Betrachtung der Okklusion.

In einer Studie von Dedem und Türp zur digitalen Michigan Schiene wird auch die dyna-  
mische Okklusion dokumentiert und ausgewertet (Dedem und Türp, 2016). Es erscheint viel-  
versprechend auch die dynamischen Kontaktpunkte zu erfassen und auszuwerten.

Es lässt sich zusammenfassen, dass weitere Untersuchungsmethoden gefunden werden kön-  
nen, die eine differenziertere Analyse der okklusalen Schienenpassung erlauben. Zum einen  
existieren weitere Möglichkeiten zur quantitativen Beurteilung der Okklusion (Anzahl der

Kontaktzähne, Kontaktpunkte pro Zahn, Anzahl der dynamischen Kontaktpunkte). Zum anderen könnten die Kontaktpunkte qualitativ untersucht werden, insbesondere hinsichtlich Verteilung, Gleichmäßigkeit und Zeitfolge.

#### 5.2.4 Diskussion der Einschleifzeit

Hinsichtlich der Einschleifzeit konnten in dieser Studie weder im Artikulator noch im Patientenmund signifikante Unterschiede zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe nachgewiesen werden. Die Annahme, dass sich die Einschleifzeit beim Vergleich der Studiengruppen unterscheidet, konnte durch die vorliegenden Daten nicht belegt werden. Die Unterschiede der mittleren Einschleifzeit sind klinisch nicht relevant.

Bei der Untersuchung der Einschleifzeit im Patientenmund zeigten sich Abweichungen. Auffällig war, dass diese nur in der Kontrollgruppe und nicht in der Interventionsgruppe auftraten. Außerdem waren die Streubreiten der Ergebnisse zur Einschleifzeit in der Kontrollgruppe größer als in der Interventionsgruppe. Das heißt, die Einschleifzeit derjenigen Schienen, die mit elektronischem Messsystem hergestellt wurden, unterlagen sowohl im Artikulator als auch im Patientenmund geringerer Schwankungen. Endpunkt beim Adjustieren der Schiene war in der vorliegenden Studie einerseits eine gleichmäßige Verteilung der statischen Kontaktpunkte mit Front-Eckzahn-Führung. Andererseits wurde die Passung durch den Patienten beurteilt und anschließend ggf. durch den Zahnarzt weiter verfeinert. Der Endpunkt wurde demnach nicht rein objektiv definiert, sondern wurde subjektiv beeinflusst. Dies kann eine Erklärung für die auftretenden Abweichungen bei den Ergebnissen sein. Auffällig bleibt jedoch, dass die Schwankungen in der Interventionsgruppe geringer ausfallen. Sollte sich der Trend von geringeren Schwankungen der Einschleifzeit bei Verwendung eines elektronischen Messsystems verfestigen, so könnte dies einen Vorteil der Schienentherapie nach Interventionsverfahren darstellen, da die benötigte Zeit zum Einschleifen zuverlässiger vorhergesagt werden könnte.

In der Forschungsliteratur lassen sich Studien finden, die den Zeitbedarf bei Anpassung der Schienen als *adjustment time* (auch: *time (needed for / for) adjustment*) untersuchten (Alqutaibi *et al.*, 2021; Shodadai *et al.*, 2001). Beide aufgezählten Studien evaluierten einen arbiträren Gesichtsbogen zur Schienenherstellung. Alqutaibi und Kollegen (2021) konnten keinen signifikanten Unterschied zur Vergleichsgruppe hinsichtlich der Einschleifzeit feststellen. Bei Shodadai und Kollegen (2001) waren die Ergebnisse der Einschleifzeit mit und ohne Gesichtsbogen ähnlich.

Es wird angenommen, dass eine verbesserte Okklusion von indirekten Restaurationen weniger Anpassung sowie zahnärztlichen Aufwand erforderlich macht und somit die zahntechnische Funktionsgestaltung erhalten werden kann (Morneburg *et al.*, 2010). Vor diesem Hintergrund überrascht es nicht, dass es auch Studien gibt, die den generellen Zeitbedarf für den Zahnarzt (*assessment of clinician's time, Clinician's labor time*) bewerteten (Farias-Neto *et al.*, 2013; Kawai *et al.*, 2010). Kawai und Kollegen (2010) untersuchten neben der Arbeitszeit des Zahnarztes auch die Produktionskosten bei der Herstellung von Totalprothesen. Sie stellten der Standardtechnik eine vereinfachte Methode gegenüber. Die Ergebnisse sprechen für die vereinfachte Technik (Kawai *et al.*, 2010). Auch Dedem und Türp diskutieren in ihrer Studie die Kosten- und Zeiteffizienz CAD/CAM-gefertigter Michigan Schienen (Dedem und Türp, 2016). Dies macht deutlich, dass bei der Interpretation der Einschleifzeit ein Augenmerk auf die Zeitökonomie gelegt wird. Im Folgenden soll der zahnärztliche Zeitaufwand bei der Herstellung von Okklusionsschienen diskutiert werden. Der Zeitbedarf für die Anwendung des elektronischen Messsystems ist aufgrund der Bewegungsaufzeichnung höher als beim arbiträren Gesichtsbogen. Der zusätzliche Zeitbedarf kann später durch eine verbesserte Passung beim Einsetzen ausgeglichen werden. Wenn die Einschleifzeit jedoch nicht reduziert werden kann, so könnte sich eine Herstellung mit elektronischem Registrierungssystem hinsichtlich der Zeitökonomie als ungünstiger herausstellen. Auch durch Betrachtung der Herstellungskosten kann dies nicht relativiert werden, da beim elektronischen Messsystem zum einen etwas mehr Material benötigt wird, nämlich zur Befestigung des Unterkiefer-Attachments, zum anderen aber vor allem die Anschaffungskosten höher liegen als beim analog-arbiträren Gesichtsbogen.

In Anbetracht dieser Diskussionsinhalte erscheint es interessant, die Zeitökonomie bei der Herstellung zahntechnischer Arbeiten mittels elektronischem Messsystem umfassender zu untersuchen. Neben der Einschleifzeit kann die zahnärztliche Behandlungszeit über alle Patientensitzungen hinweg betrachtet werden. Außerdem kann die Zeitökonomie nicht nur durch Auswertung der benötigten Zeit untersucht, sondern auch die Planung von Arbeitsabläufen bewertet werden. In den vorliegenden Ergebnissen zeigten sich geringere Schwankungen der Einschleifzeit bei der Schienenherstellung mittels elektronischem Messsystem. Dies könnte die Behandlungsdauer zuverlässiger vorhersagen lassen und dadurch einen Vorteil für das alltägliche Zeitmanagement darstellen.

## 6. Zusammenfassung

Um zahntechnische Arbeiten entsprechend den funktionellen Gegebenheiten im Patientenmund zu gestalten, wird die Kieferbewegung möglichst patientenindividuell simuliert. Dadurch kann die Passung verbessert und der Zeitbedarf zum Anpassen reduziert werden. Elektronische Messsysteme der Kieferbewegung ermöglichen, patientenindividuelle Bewegungsdaten digital zu registrieren. Durch die Weiterentwicklung des digitalen Workflows lässt sich die Integration dieser Bewegungsdaten bei computergestützter Gestaltung und Fertigung zahntechnischer Arbeiten realisieren. Ziel dieser randomisierten kontrollierten Studie war es, ein elektronisches Messsystem (JMAlyser+, Zebris Medical GmbH, Isny, Deutschland) bei der computergestützten Herstellung von Okklusionsschienen klinisch zu untersuchen. Es wurde angenommen, dass die Schienen in der Interventionsgruppe gegenüber dem Kontrollverfahren mit analog-arbiträrem Gesichtsbogen (Artex Facebow, Amann Girsch GmbH, Pforzheim, Deutschland) eine bessere initiale Passung in Form einer höheren Kontaktpunktzahl aufweisen sowie weniger Zeit zum Einschleifen benötigen. Weitere Annahme war, dass sich die Verfahren hinsichtlich des Patientenkomforts unterscheiden.

An der Untersuchung nahmen 41 Bruxismus-Patienten teil. Die diagnostische Beurteilung von Bruxismus erfolgte anhand eines Fragebogens und einer klinischen Untersuchung. Ausschlusskriterien waren Operationen im Bereich der Kiefergelenke, Frakturen und/oder anderweitige Verletzungen im Bereich der Kiefer und Kiefergelenke, Pathologien im Bereich des Discus articularis, Allergien gegen zahnärztliche Kunststoffe, fehlende Zähne und/oder herausnehmbarer Zahnersatz. In der Erstsitzung wurden beide Registrierverfahren angewendet, um die Zuteilung gegenüber Patienten und Behandlern unkenntlich zu machen. Der Komfort bei Anwendung beider Registriersysteme wurde anhand einer fünfstufigen Bewertungsskala (sehr gut, gut, mäßig, schlecht, sehr schlecht; codiert mit 1-5) durch die Patienten beurteilt. Daraufhin wurden die Stabilisierungsschienen für den Unterkiefer abhängig von der randomisiert zugeteilten Studiengruppe in einem externen zahntechnischen Labor angefertigt. Es wurde ein indirekter Herstellungsprozess gewählt, bei dem der Scan der Zahnbögen im Labor anhand von Gipsmodellen nach konventioneller Abformung durchgeführt wurde. Nach Herstellung der Schienen wurden sie sowohl im Artikulator als auch im Patientenmund okklusal durch Einschleifen adjustiert. Vor dem Einschleifen wurden die statischen Kontaktpunkte markiert und gezählt. Die benötigte Zeit zum Einschleifen wurde sowohl im Artikulator als auch im Patientenmund in Minuten gemessen. Unmittelbar nach

Adjustierung als auch nach dreimonatiger nächtlicher Tragedauer wurden die Patienten zum Tragekomfort der Schienen anhand der fünfstufigen Bewertungsskala befragt.

Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Studiengruppen nachgewiesen werden. Dies betraf sowohl den Tragekomfort der Schienen (nach Adjustierung: Mann-Whitney-U,  $p = 0,589$ ; nach drei Monaten: Mann-Whitney-U,  $p = 0,776$ ) als auch die initiale Schienenpassung (im Artikulator: Mann-Whitney-U,  $p = 0,303$ ; im Patientenmund: t-Test,  $p = 0,997$ ) und die Einschleifzeit (im Artikulator: Mann-Whitney-U,  $p = 0,958$ ; im Patientenmund: Mann-Whitney-U,  $p = 0,938$ ). Der Shapiro-Wilk-Test diente der Überprüfung der Normalverteilung. Die Varianz wurde mittels Levene-Test geprüft. Zwischen Interventions- und Kontrollgruppe zeigten sich hinsichtlich Tragekomfort der Schienen (nach Adjustierung: Note  $1,38 \pm 0,49$  vs.  $1,30 \pm 0,46$ ; nach drei Monaten: Note  $1,47 \pm 0,51$  vs.  $1,60 \pm 0,75$ ), initialer Schienenpassung (im Artikulator:  $4,71 \pm 1,15$  vs.  $5,90 \pm 2,59$  statische Kontaktpunkte; im Patientenmund:  $10,10 \pm 4,11$  vs.  $8,50 \pm 4,16$  statische Kontaktpunkte) und Einschleifzeit (im Artikulator:  $4,27 \pm 1,52$  vs.  $4,49 \pm 1,96$  Minuten in Dezimal; im Patientenmund:  $2,74 \pm 1,13$  vs.  $3,16 \pm 2,26$  Minuten in Dezimal) im Mittel ähnliche Ergebnisse ( $M \pm SD$ ). Die Untersuchung des Patientenkomforts bei Anwendung der Gesichtsbögen lieferte vergleichbare Ergebnisse (JMAlyser+: Note  $1,93 \pm 0,61$ ; Artex Facebow: Note  $1,80 \pm 0,72$ ; Wilcoxon,  $p = 0,297$ ). Die vorliegenden Daten konnten die angenommenen Unterschiede zwischen den Studienverfahren nicht stützen. Dabei weisen die Ergebnisse darauf hin, dass das Interventionsverfahren für die Herstellung von Stabilisierungsschienen geeignet sein könnte. Auffällig ist am Ergebnis der Einschleifzeit, dass der Zeitbedarf zum Adjustieren in der Interventionsgruppe geringer schwankte als in der Kontrollgruppe.

In der zahnärztlichen Praxis könnten geringere Schwankungen beim Einschleifen der Schienen für die zeitliche Planung vorteilhaft sein, da sich der Zeitbedarf zum Einschleifen auf diese Weise zuverlässiger einschätzen lassen könnte. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie legitimieren eine größer angelegte klinische Studie. Eine differenziertere Betrachtung der Schienenpassung abhängig vom Ausmaß der vertikalen Veränderung im Artikulator erscheint interessant. Daneben bedarf es einer Vielfalt an Studien, um verschiedene Verfahren zur Integration von Bewegungsdaten in den digitalen Herstellungsprozess sowie verschiedene zahnmedizinische Einsatzmöglichkeiten beurteilen zu können. Die Ergänzung des digitalen Workflows durch ein elektronisches Registriersystem erscheint vielversprechend vor dem Hintergrund stetiger Weiterentwicklung digitaler Verfahren und zunehmender Digitalisierung in der Zahnmedizin.

## 7. Literaturverzeichnis

1. AASM. International classification of sleep disorders (2005). 2. Auflage. American Academy of Sleep Medicine.
2. Abe S, Yamaguchi T, Rompré PH, De Grandmont P, Chen YJ, Lavigne GJ. Tooth wear in young subjects: a discriminator between sleep bruxers and controls? (2009). *Int J Prosthodont* 22: 342-350.
3. Abekura H, Yokomura M, Sadamori S, Hamada T. The initial effects of occlusal splint vertical thickness on the nocturnal EMG activities of masticatory muscles in subjects with a bruxism habit (2008). *Int J Prosthodont* 21: 116-120.
4. Ahlberg K, Jahkola A, Savolainen A, Könönen M, Partinen M, Hublin C, Sinisalo J, Lindholm H, Sarna S, Ahlberg J. Associations of reported bruxism with insomnia and insufficient sleep symptoms among media personnel with or without irregular shift work (2008). *Head Face Med* 4: 4.
5. Ahlers MO, Bernhardt O, Jakstat HA, Kordaß B, Türp JC, Schindler HJ, Hugger A. Motion analysis of the mandible: guidelines for standardized analysis of computer-assisted recording of condylar movements (2015). *Int J Comput Dent* 18: 201-223.
6. Ahlers MO, Jakstat HA. CMD-Screening mit dem CMD-Kurzbefund (2015). *Quintessenz* 66: 1399-1409.
7. Akat B, Görür SA, Bayrak A, Eren H, Eres N, Erkecan Y, Kılıçarslan MA, Orhan K. Ultrasonographic and electromyographic evaluation of three types of occlusal splints on masticatory muscle activity, thickness, and length in patients with bruxism (2020). *Cranio*.
8. Alharby A, Alzayer H, Almahlawi A, Alrashidi Y, Azhar S, Sheikho M, Alandijani A, Aljohani A, Obied M. Parafunctional Behaviors and Its Effect on Dental Bridges (2018). *J Clin Med Res* 10: 73-76.
9. Alqutaibi AY, Algabri R, Ibrahim WI, Borzangy S. Does the facebow affect the outcome of CAD/CAM occlusal splint. Randomized clinical trial (2021). *Saudi Dent J* 33: 628-634.
10. Baad-Hansen L, Thymi M, Lobbezoo F, Svensson P. To what extent is bruxism associated with musculoskeletal signs and symptoms? A systematic review (2019). *J Oral Rehabil* 46: 845-861.
11. Beddis H, Pemberton M, Davies S. Sleep bruxism: an overview for clinicians (2018). *Br Dent J* 225: 497-501.
12. Berglundh T, Armitage G, Araujo MG, Avila-Ortiz G, Blanco J, Camargo PM, Chen S, Cochran D, Derks J, Figuero E, Hämmerle CHF, Heitz-Mayfield LJA, Huynh-Ba G, Iacono V, Koo KT, Lambert F, McCauley L, Quirynen M, Renvert S, Salvi GE,

- Schwarz F, Tarnow D, Tomasi C, Wang HL, Zitzmann N. Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions (2018). *J Periodontol* 89 (Suppl 1): 313-318.
13. Bertazzo-Silveira E, Kruger CM, Porto De Toledo I, Porporatti AL, Dick B, Flores-Mir C, De Luca Canto G. Association between sleep bruxism and alcohol, caffeine, tobacco, and drug abuse: A systematic review (2016). *J Am Dent Assoc* 147: 859-866.
  14. Bertazzo-Silveira E, Stuginski-Barbosa J, Porporatti AL, Dick B, Flores-Mir C, Manfredini D, De Luca Canto G. Association between signs and symptoms of bruxism and presence of tori: a systematic review (2017). *Clin Oral Investig* 21: 2789-2799.
  15. Botelho J, Machado V, Proença L, Rua J, Martins L, Alves R, Cavacas MA, Manfredini D, Mendes JJ. Relationship between self-reported bruxism and periodontal status: Findings from a cross-sectional study (2019). *J Periodontol* 91: 1049–1056.
  16. Bussadori SK, Motta LJ, Horliana A, Santos EM, Martimbianco ALC. The Current Trend in Management of Bruxism and Chronic Pain: An Overview of Systematic Reviews (2020). *J Pain Res* 13: 2413-2421.
  17. Casett E, Réus JC, Stuginski-Barbosa J, Porporatti AL, Carra MC, Peres MA, de Luca Canto G, Manfredini D. Validity of different tools to assess sleep bruxism: a meta-analysis (2017). *J Oral Rehabil* 44: 722-734.
  18. Castroflorio T, Bargellini A, Rossini G, Cugliari G, Deregibus A, Manfredini D. Agreement between clinical and portable EMG/ECG diagnosis of sleep bruxism (2015). *J Oral Rehabil* 42: 759-764.
  19. Costa YM, Porporatti AL, Calderon PD, Conti PC, Bonjardim LR. Can palpation-induced muscle pain pattern contribute to the differential diagnosis among temporomandibular disorders, primary headaches phenotypes and possible bruxism? (2016). *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 21: 59-65.
  20. Dao TT, Lavigne GJ. Oral splints: the crutches for temporomandibular disorders and bruxism? (1998). *Crit Rev Oral Biol Med* 9: 345-361.
  21. Dedem P, Türp JC. Digital Michigan splint - from intraoral scanning to plasterless manufacturing (2016). *Int J Comput Dent* 19: 63-76.
  22. DGFDT (2013). Behandlung: Aufklärung über die Zusammenhänge. [online] <https://www.dgfdt.de/behandlung1> [22.01.2021].
  23. DGFDT, DGZMK (2015). Instrumentelle zahnärztliche Funktionsanalyse. [online] [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/083-0171\\_S2k\\_Funktionsanalyse\\_2015-12.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/083-0171_S2k_Funktionsanalyse_2015-12.pdf) [27.06.2022].
  24. DGFDT, DGZMK (2019). Diagnostik und Behandlung von Bruxismus. [online] [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/083-0271\\_S3\\_Bruxismus-Diagnostik-Behandlung\\_2019-06.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/083-0271_S3_Bruxismus-Diagnostik-Behandlung_2019-06.pdf) [20.06.2022].

25. DGFDT, DGZPW (2005). Terminologieliste der DGFDT und DGZPW. [online] [https://www.dgfdt.de/documents/266840/266917/06\\_Stellungnahme\\_Terminologie](https://www.dgfdt.de/documents/266840/266917/06_Stellungnahme_Terminologie) [20.06.2022].
26. Duangthip D, Man A, Poon PH, Lo ECM, Chu CH. Occlusal stress is involved in the formation of non-carious cervical lesions. A systematic review of abfraction (2017). *Am J Dent* 30: 212-220.
27. Ella B, Ghorayeb I, Burbaud P, Guehl D. Bruxism in Movement Disorders: A Comprehensive Review (2017). *J Prosthodont* 26: 599-605.
28. Enguelberg-Gabbay JV, Schapir L, Israeli Y, Hermesh H, Weizman A, Winocur E. Methadone treatment, bruxism, and temporomandibular disorders among male prisoners (2016). *Eur J Oral Sci* 124: 266-271.
29. Falisi G, Rastelli C, Panti F, Maglione H, Quezada Arcega R. Psychotropic drugs and bruxism (2014). *Expert Opin Drug Saf* 13: 1319-1326.
30. Farias-Neto A, Dias AH, de Miranda BF, de Oliveira AR. Face-bow transfer in prosthodontics: a systematic review of the literature (2013). *J Oral Rehabil* 40: 686-692.
31. Faus-Matoses V, Ruiz-Bell E, Faus-Matoses I, Özcan M, Salvatore S, Faus-Llácer VJ. An 8-year prospective clinical investigation on the survival rate of feldspathic veneers: Influence of occlusal splint in patients with bruxism (2020). *J Dent* 99: 103352.
32. Fernández-Núñez T, Amghar-Maach S, Gay-Escoda C. Efficacy of botulinum toxin in the treatment of bruxism: Systematic review (2019). *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 24: 416-424.
33. Ferrario VF, Sforza C, Miani A, Jr., Serrao G, Tartaglia G. Open-close movements in the human temporomandibular joint: does a pure rotation around the intercondylar hinge axis exist? (1996). *J Oral Rehabil* 23: 401-408.
34. Freesmeyer W. Okklusionsschienen (2004). *Zahnärztliche Mitteilungen* 22: 2950–2960.
35. Gámez C J, Dib K A, Espinosa de S IA. Face bows in the development of Michigan occlusal splints (2013). *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia* 25: 117-131.
36. Giannakopoulos NN, Schmitter M. Diagnostik von Bruxismus (2013). *Zahnmedizin up2date* 7: 155-167.
37. Glaros AG, Williams K. Tooth contact versus clenching: oral parafunctions and facial pain (2012). *J Orofac Pain* 26: 176-180.
38. Goldstein RE, Auclair Clark W. The clinical management of awake bruxism (2017). *J Am Dent Assoc* 148: 387-391.

39. Goller Bulut D, Avci F, Özcan G. Ultrasonographic evaluation of jaw elevator muscles in young adults with bruxism and with and without attrition-type tooth wear: A pilot study (2020). *Cranio* 38: 248-255.
40. Gomes CA, El Hage Y, Amaral AP, Politti F, Biasotto-Gonzalez DA. Effects of massage therapy and occlusal splint therapy on electromyographic activity and the intensity of signs and symptoms in individuals with temporomandibular disorder and sleep bruxism: a randomized clinical trial (2014). *Chiropr Man Therap* 22: 43.
41. Hugger A, Kordaß B. Handbuch instrumentelle Funktionsanalyse und funktionelle Okklusion (2018). Quintessenz.
42. Jepsen S, Caton JG, Albandar JM, Bissada NF, Bouchard P, Cortellini P, Demirel K, de Sanctis M, Ercoli C, Fan J, Geurs NC, Hughes FJ, Jin L, Kantarci A, Lalla E, Madianos PN, Matthews D, McGuire MK, Mills MP, Preshaw PM, Reynolds MA, Sculean A, Susin C, West NX, Yamazaki K. Periodontal manifestations of systemic diseases and developmental and acquired conditions: Consensus report of workgroup 3 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions (2018). *J Clin Periodontol* 45 (Suppl 20): 219-229.
43. Johansson A, Omar R, Carlsson GE. Bruxism and prosthetic treatment: a critical review (2011). *J Prosthodont Res* 55: 127-136.
44. Jokubauskas L, Baltrušaitytė A. Efficacy of biofeedback therapy on sleep bruxism: A systematic review and meta-analysis (2018). *J Oral Rehabil* 45: 485-495.
45. Jokubauskas L, Baltrušaitytė A, Pileičikienė G. Oral appliances for managing sleep bruxism in adults: a systematic review from 2007 to 2017 (2018). *J Oral Rehabil* 45: 81-95.
46. Kawai Y, Murakami H, Takanashi Y, Lund JP, Feine JS. Efficient resource use in simplified complete denture fabrication (2010). *J Prosthodont* 19: 512-516.
47. Khan FR, Ali R, Sheikh A. Utility of facebow in the fabrication of complete dentures, occlusal splints and full arch fixed dental prostheses: A systematic review (2018). *Indian J Dent Res* 29: 364-369.
48. Kim JE, Kwon JH, Kim JH, Shim JS. Recording the trajectory of mouth opening and closing for the fabrication of an occlusal splint (2017). *J Prosthet Dent* 117: 597-600.
49. Kimoto S, Kimoto K, Kitamura A, Saita M, Iijima M, Kawai Y. Effect of dentist's clinical experience on treatment satisfaction of a complete denture (2013). *J Oral Rehabil* 40: 940-947.
50. Kohno S. Analyse der Kondylenbewegung in der Sagittalebene (Analysis of condyle movements in the sagittal plane) (1972). *Dtsch Zahnärztl Z* 27: 739-743.
51. Kordaß B (2010). Funktion und CAD/CAM - Teil 2. [online] [https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/digitale-praxis/story/funktion-und-cadcam--teil-2\\_\\_3939.html](https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/digitale-praxis/story/funktion-und-cadcam--teil-2__3939.html) [07.01.2022].

52. Kordaß B, Hugger A. Instrumentelle Verfahren zur Berücksichtigung der Unterkieferfunktion. In: Marxkors R (Hrsg.). Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik (2010). 5. Auflage. Deutscher Ärzteverlag. S. 283-304.
53. Koyano K, Tsukiyama Y, Ichiki R, Kuwata T. Assessment of bruxism in the clinic (2008). *J Oral Rehabil* 35: 495-508.
54. Krey KF, Kordaß B, Ruge S. A completely CAD/CAM individual transmission device for electronic mandible movement registration (2017). *Int J Comput Dent* 20: 193-199.
55. Kryger M, Roth T, Dement W. Principles and Practice of Sleep Medicine (2010). 5. Auflage. Elsevier Health Sciences.
56. Kuhn M, Türp JC. Risk factors for bruxism (2018). *Swiss Dent J* 128: 118-124.
57. Lavigne GJ, Kato T, Kolta A, Sessle BJ. Neurobiological mechanisms involved in sleep bruxism (2003). *Crit Rev Oral Biol Med* 14: 30-46.
58. Lavigne GJ, Khoury S, Abe S, Yamaguchi T, Raphael K. Bruxism physiology and pathology: an overview for clinicians (2008). *J Oral Rehabil* 35: 476-494.
59. Lavigne GJ, Rompré PH, Montplaisir JY. Sleep bruxism: validity of clinical research diagnostic criteria in a controlled polysomnographic study (1996). *J Dent Res* 75: 546-552.
60. Lepidi L, Galli M, Mastrangelo F, Venezia P, Joda T, Wang HL, Li J. Virtual Articulators and Virtual Mounting Procedures: Where Do We Stand? (2021). *J Prosthodont* 30: 24-35.
61. Lobbezoo F, Ahlberg J, Glaros AG, Kato T, Koyano K, Lavigne GJ, de Leeuw R, Manfredini D, Svensson P, Winocur E. Bruxism defined and graded: an international consensus (2013). *J Oral Rehabil* 40: 2-4.
62. Lobbezoo F, Ahlberg J, Manfredini D, Winocur E. Are bruxism and the bite causally related? (2012). *J Oral Rehabil* 39: 489-501.
63. Lobbezoo F, Ahlberg J, Raphael KG, Wetselaar P, Glaros AG, Kato T, Santiago V, Winocur E, De Laat A, De Leeuw R, Koyano K, Lavigne GJ, Svensson P, Manfredini D. International consensus on the assessment of bruxism: Report of a work in progress (2018). *J Oral Rehabil* 45: 837-844.
64. Lobbezoo F, Naeije M. Bruxism is mainly regulated centrally, not peripherally (2001). *J Oral Rehabil* 28: 1085-1091.
65. Lobbezoo F, van der Zaag J, van Selms MK, Hamburger HL, Naeije M. Principles for the management of bruxism (2008). *J Oral Rehabil* 35: 509-523.
66. Lobbezoo F, Visscher CM, Ahlberg J, Manfredini D. Bruxism and genetics: a review of the literature (2014). *J Oral Rehabil* 41: 709-714.
67. Loomans B, Opdam N, Attin T, Bartlett D, Edelhoff D, Frankenberger R, Benic G, Ramseyer S, Wetselaar P, Sterenborg B, Hickel R, Pallesen U, Mehta S, Banerji S,

- Lussi A, Wilson N. Severe Tooth Wear: European Consensus Statement on Management Guidelines (2017). *J Adhes Dent* 19: 111-119.
68. Macedo CR, Macedo EC, Torloni MR, Silva AB, Prado GF. Pharmacotherapy for sleep bruxism (2014). *Cochrane Database Syst Rev*: 1465-1858.
69. Macedo CR, Silva AB, Machado MA, Saconato H, Prado GF. Occlusal splints for treating sleep bruxism (tooth grinding) (2007). *Cochrane Database Syst Rev*: 1465-1858.
70. Machado NAG, Costa YM, Quevedo HM, Stuginski-Barbosa J, Valle CM, Bonjardim LR, Garib DG, Conti PCR. The association of self-reported awake bruxism with anxiety, depression, pain threshold at pressure, pain vigilance, and quality of life in patients undergoing orthodontic treatment (2020). *J Appl Oral Sci* 28: e20190407.
71. Manfredini D. Bruxismus und Implantate (2013). *Zahnmedizin up2date* 7: 247-268.
72. Manfredini D, Ahlberg J, Mura R, Lobbezoo F. Bruxism is unlikely to cause damage to the periodontium: findings from a systematic literature assessment (2015a). *J Periodontol* 86: 546-555.
73. Manfredini D, Ahlberg J, Winocur E, Lobbezoo F. Management of sleep bruxism in adults: a qualitative systematic literature review (2015b). *J Oral Rehabil* 42: 862-874.
74. Manfredini D, Guarda-Nardini L, Marchese-Ragona R, Lobbezoo F. Theories on possible temporal relationships between sleep bruxism and obstructive sleep apnea events. An expert opinion (2015c). *Sleep Breath* 19: 1459-1465.
75. Manfredini D, Lobbezoo F. Role of psychosocial factors in the etiology of bruxism (2009). *J Orofac Pain* 23: 153-166.
76. Manfredini D, Poggio CE, Lobbezoo F. Is bruxism a risk factor for dental implants? A systematic review of the literature (2014). *Clin Implant Dent Relat Res* 16: 460-469.
77. Manfredini D, Restrepo C, Diaz-Serrano K, Winocur E, Lobbezoo F. Prevalence of sleep bruxism in children: a systematic review of the literature (2013a). *J Oral Rehabil* 40: 631-642.
78. Manfredini D, Winocur E, Guarda-Nardini L, Paesani D, Lobbezoo F. Epidemiology of bruxism in adults: a systematic review of the literature (2013b). *J Orofac Pain* 27: 99-110.
79. Mapelli A, Galante D, Lovecchio N, Sforza C, Ferrario VF. Translation and rotation movements of the mandible during mouth opening and closing (2009). *Clin Anat* 22: 311-318.
80. Martinez-Canut P, Llobell A, Romero A. Predictors of long-term outcomes in patients undergoing periodontal maintenance (2017). *J Clin Periodontol* 44: 620-631.
81. Matsumoto H, Tsukiyama Y, Kuwatsuru R, Koyano K. The effect of intermittent use of occlusal splint devices on sleep bruxism: a 4-week observation with a portable electromyographic recording device (2015). *J Oral Rehabil* 42: 251-258.

82. Mehl A. The determination of the terminal hinge axis: a fundamental review and comparison of known and novel methods (2018a). *Int J Comput Dent* 21: 201-214.
83. Mehl A. Hinge axis determination of the temporomandibular joint and its interpretation: what do we really measure? (2018b). *Int J Comput Dent* 21: 295-303.
84. Melo G, Dutra KL, Rodrigues Filho R, Ortega AOL, Porporatti AL, Dick B, Flores-Mir C, De Luca Canto G. Association between psychotropic medications and presence of sleep bruxism: A systematic review (2018). *J Oral Rehabil* 45: 545-554.
85. Michael JA, Townsend GC, Greenwood LF, Kaidonis JA. Abfraction: separating fact from fiction (2009). *Aust Dent J* 54: 2-8.
86. Milosevic A, Agrawal N, Redfearn P, Mair L. The occurrence of toothwear in users of Ecstasy (3,4-methylenedioxymethamphetamine) (1999). *Community Dent Oral Epidemiol* 27: 283-287.
87. Morneburg T, Hugger A, Türp J, Schmitter M, Utz K, Freesmeyer W, Rammelsberg P. Wissenschaftliche Mitteilung der DGPro: Anwendung des Gesichtsbogens beim funktionsgesunden Patienten im Rahmen restaurativer Maßnahmen (2010). *Dtsch Zahnärztl Z* 65: 690-694.
88. Morneburg TR, Pröschel PA. Impact of arbitrary and mean transfer of dental casts to the articulator on centric occlusal errors (2011). *Clin Oral Investig* 15: 427-434.
89. Murali RV, Rangarajan P, Mounissamy A. Bruxism: Conceptual discussion and review (2015). *J Pharm Bioallied Sci* 7: 265-270.
90. Muts EJ, van Pelt H, Edelhoff D, Krejci I, Cune M. Tooth wear: a systematic review of treatment options (2014). *J Prosthet Dent* 112: 752-759.
91. Nota A, Pittari L, Paggi M, Abati S, Tecco S. Correlation between Bruxism and Gastroesophageal Reflux Disorder and Their Effects on Tooth Wear. A Systematic Review (2022). *J Clin Med* 11: 1107.
92. Obrez A, Stohler CS. Jaw muscle pain and its effect on gothic arch tracings (1996). *J Prosthet Dent* 75: 393-398.
93. Ohmure H, Oikawa K, Kanematsu K, Saito Y, Yamamoto T, Nagahama H, Tsubouchi H, Miyawaki S. Influence of experimental esophageal acidification on sleep bruxism: a randomized trial (2011). *J Dent Res* 90: 665-671.
94. Okeson JP. The effects of hard and soft occlusal splints on nocturnal bruxism (1987). *J Am Dent Assoc* 114: 788-791.
95. Ono Y, Suganuma T, Shinya A, Furuya R, Baba K. Effects of sleep bruxism on periodontal sensation and tooth displacement in the molar region (2008). *Cranio* 26: 282-286.
96. Ordelleide A, Bernhardt O. The effectiveness of occlusal splints for the treatment of craniomandibular dysfunctions—an overview of national and international publications (2009). *Journal of Craniomandibular Function* 1: 323-338.

97. Palinkas M, Bataglion C, de Luca Canto G, Machado Camolezi N, Theodoro GT, Siéssere S, Semprini M, Regalo SC. Impact of sleep bruxism on masseter and temporalis muscles and bite force (2016). *Cranio* 34: 309-315.
98. Palinkas M, De Luca Canto G, Rodrigues LA, Bataglion C, Siéssere S, Semprini M, Regalo SC. Comparative Capabilities of Clinical Assessment, Diagnostic Criteria, and Polysomnography in Detecting Sleep Bruxism (2015). *J Clin Sleep Med* 11: 1319-1325.
99. Patel J, Cardoso JA, Mehta S. A systematic review of botulinum toxin in the management of patients with temporomandibular disorders and bruxism (2019). *Br Dent J* 226: 667-672.
100. Peroz I. Okklusionsschienen und ihre Indikationen (2009). *Zahnmedizin up2date* 3: 267-280.
101. Pintado MR, Anderson GC, DeLong R, Douglas WH. Variation in tooth wear in young adults over a two-year period (1997). *J Prosthet Dent* 77: 313-320.
102. Pschyrembel online (2020). Polysomnografie. [online] <https://www.pschyrembel.de/Polysomnografie/A06CJ> [11.11.2020].
103. Qadeer S, Özcan M, Edelhoff D, Van Pelt H. Accuracy, Reliability and Clinical Implications of Static Compared to Quantifiable Occlusal Indicators (2021). *Eur J Prosthodont Restor Dent* 29: 130-141.
104. Rees JS, Hammadeh M, Jagger DC. Abfraction lesion formation in maxillary incisors, canines and premolars: a finite element study (2003). *Eur J Oral Sci* 111: 149-154.
105. Rees JS, Somi S. A guide to the clinical management of attrition (2018). *Br Dent J* 224: 319-323.
106. Riley P, Glenny AM, Worthington HV, Jacobsen E, Robertson C, Durham J, Davies S, Petersen H, Boyers D. Oral splints for patients with temporomandibular disorders or bruxism: a systematic review and economic evaluation (2020). *Health Technol Assess* 24: 1-224.
107. Rintakoski K, Kaprio J. Legal psychoactive substances as risk factors for sleep-related bruxism: a nationwide Finnish Twin Cohort study (2013). *Alcohol Alcohol* 48: 487-494.
108. Rompré PH, Daigle-Landry D, Guitard F, Montplaisir JY, Lavigne GJ. Identification of a sleep bruxism subgroup with a higher risk of pain (2007). *J Dent Res* 86: 837-842.
109. Schulz KF, Grimes DA. Generation of allocation sequences in randomised trials: chance, not choice (2002). *Lancet* 359: 515-519.
110. Shellis RP, Addy M. The interactions between attrition, abrasion and erosion in tooth wear (2014). *Monogr Oral Sci* 25: 32-45.
111. Shetty S, Pitti V, Satish Babu CL, Surendra Kumar GP, Deepthi BC. Bruxism: a literature review (2010). *J Indian Prosthodont Soc* 10: 141-148.

112. Shodadai SP, Türp JC, Gerds T, Strub JR. Is there a benefit of using an arbitrary facebow for the fabrication of a stabilization appliance? (2001). *Int J Prosthodont* 14: 517-522.
113. Strausz T, Ahlberg J, Lobbezoo F, Restrepo CC, Hublin C, Ahlberg K, Könönen M. Awareness of tooth grinding and clenching from adolescence to young adulthood: a nine-year follow-up (2010). *J Oral Rehabil* 37: 497-500.
114. Takagi I, Sakurai K. Investigation of the factors related to the formation of the buccal mucosa ridging (2003). *J Oral Rehabil* 30: 565-572.
115. Terebesi S, Giannakopoulos NN, Brüstle F, Hellmann D, Türp JC, Schindler HJ. Small vertical changes in jaw relation affect motor unit recruitment in the masseter (2016). *J Oral Rehabil* 43: 259-268.
116. Treesh JC, Liacouras PC, Taft RM, Brooks DI, Raiciulescu S, Ellert DO, Grant GT, Ye L. Complete-arch accuracy of intraoral scanners (2018). *J Prosthet Dent* 120: 382-388.
117. von Stein-Lausnitz M, Sterzenbach G, Helm I, Zorn A, Blankenstein FH, Ruge S, Kordaß B, Beuer F, Peroz I. Does a face-bow lead to better occlusion in complete dentures? A randomized controlled trial: part I (2018). *Clin Oral Investig* 22: 773-782.
118. Voutilainen A, Pitkäaho T, Kvist T, Vehviläinen-Julkunen K. How to ask about patient satisfaction? The visual analogue scale is less vulnerable to confounding factors and ceiling effect than a symmetric Likert scale (2016). *J Adv Nurs* 72: 946-957.
119. Wakefield JC. The concept of mental disorder. On the boundary between biological facts and social values (1992). *Am Psychol* 47: 373-388.
120. Wesemann C, Muallah J, Mah J, Bumann A. Accuracy and efficiency of full-arch digitalization and 3D printing: A comparison between desktop model scanners, an intraoral scanner, a CBCT model scan, and stereolithographic 3D printing (2017). *Quintessence Int* 48: 41-50.
121. Wetselaar P, Lobbezoo F. The tooth wear evaluation system: a modular clinical guideline for the diagnosis and management planning of worn dentitions (2016). *J Oral Rehabil* 43: 69-80.
122. Wetselaar P, Manfredini D, Ahlberg J, Johansson A, Aarab G, Papagianni CE, Reyes Sevilla M, Koutris M, Lobbezoo F. Associations between tooth wear and dental sleep disorders: A narrative overview (2019a). *J Oral Rehabil* 46: 765-775.
123. Wetselaar P, Vermaire EJH, Lobbezoo F, Schuller AA. The prevalence of awake bruxism and sleep bruxism in the Dutch adult population (2019b). *J Oral Rehabil* 46: 617-623.
124. Wetselaar P, Wetselaar-Glas MJM, Katzer LD, Ahlers MO. Diagnosing tooth wear, a new taxonomy based on the revised version of the Tooth Wear Evaluation System (TWES 2.0) (2020). *J Oral Rehabil* 47: 703-712.

125. Wiesner J. Ein systematisches Konzept für die Schienentherapie. In: Stelzenmüller W, Wiesner J (Hrsg.). Therapie von Kiefergelenkschmerzen (2010a). Georg Thieme Verlag. S. 277-312.
126. Wiesner J. Grundlagen der zahnärztlichen Diagnostik bei CMD. In: Stelzenmüller W, Wiesner J (Hrsg.). Therapie von Kiefergelenkschmerzen (2010b). Georg Thieme Verlag. S. 70-88.
127. Winocur E, Gavish A, Voikovitch M, Emodi-Perlman A, Eli I. Drugs and bruxism: a critical review (2003). *J Orofac Pain* 17: 99-111.
128. Yanagisawa K, Takagi I, Sakurai K. Influence of tongue pressure and width on tongue indentation formation (2007). *J Oral Rehabil* 34: 827-834.
129. Yap AU. Effects of stabilization appliances on nocturnal parafunctional activities in patients with and without signs of temporomandibular disorders (1998). *J Oral Rehabil* 25: 64-68.
130. Yap AU, Chua AP. Sleep bruxism: Current knowledge and contemporary management (2016). *J Conserv Dent* 19: 383-389.
131. Yatabe M, Zwijnenburg A, Megens CC, Naeije M. Movements of the mandibular condyle kinematic center during jaw opening and closing (1997). *J Dent Res* 76: 714-719.
132. Yurttutan ME, Tütüncüler Sancak K, Tüzüner AM. Which Treatment Is Effective for Bruxism: Occlusal Splints or Botulinum Toxin? (2019). *J Oral Maxillofac Surg* 77: 2431-2438.

## 8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einteilung der Okklusionsschienen (eigene Darstellung angelehnt an Wiesner, 2010a).....	18
Abbildung 2: Indirekter und direkter Workflow (eigene Darstellung nach Lepidi et al., 2021) .....	21
Abbildung 3: Flussdiagramm zur Darstellung der Stichprobe .....	27
Abbildung 4: Zentrisches Bissregistrat .....	28
Abbildung 5: Messgerät des JMAlyser+ .....	29
Abbildung 6: Kopfbogen des JMAlyser+.....	29
Abbildung 7: Unterkiefersensor des JMAlyser+ .....	30
Abbildung 8: Individualisierter Kopplungsöffel des JMAlyser+ .....	30
Abbildung 9: Individualisiertes Attachment des JMAlyser+ .....	31
Abbildung 10: Zeiger des JMAlyser+ .....	32
Abbildung 11: Beispielhafte Tabelle zur Modellübertragung (eigene Darstellung nach einem „zebris Amann Girrbach Artex Articulator Report“) .....	34
Abbildung 12: Zahntechnischer Arbeitsablauf zur Herstellung der Aufbissschiene.....	35
Abbildung 13: Altersverteilung .....	38
Abbildung 14: Durch den Patienten bewerteter Komfort der Gesichtsbögen.....	39
Abbildung 15: Patientenbewertung des Schienenkomforts nach dem Einsetzen.....	40
Abbildung 16: Patientenbewertung des Schienenkomforts im Recall.....	41
Abbildung 17: Initiale Schienenpassung im Artikulator.....	42
Abbildung 18: Initiale Schienenpassung im Patientenmund.....	43
Abbildung 19: Einschleifzeit im Artikulator .....	44
Abbildung 20: Einschleifzeit im Patientenmund .....	45
Abbildung 21: Beispiel einer visuellen Analogskala mit einem Abstand von 10 mm zwischen beiden Extremen (eigene Darstellung nach Wakabayashi et al., 1998) .....	54

## 9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mögliche Ursachen für Bruxismus (eigene Darstellung angelehnt an Yap und Chua, 2016) .....	10
Tabelle 2: Einteilung extraoraler elektronischer Messverfahren (eigene Darstellung angelehnt an Hugger und Kordaß, 2018) .....	22
Tabelle 3: Wahl der Messeinstellungen im Artikulatormodul .....	32
Tabelle 4: Geschlechterverhältnis und Patientenalter .....	38
Tabelle 5: Unterscheidungsmerkmale zwischen Artex Facebow und JMANalyser+ .....	51

## 10. Abkürzungsverzeichnis

AASM	American Academy of Sleep Medicine
DGFDT	Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
DGPro	Deutsche Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien e.V.
DGZPW	Deutschen Gesellschaft für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Name 2009 zu „DGPro“ abgeändert
EMG	Elektromyogramm
M	Mittelwert
Mdn	Median
mm	Millimeter
SD	Standardabweichung
Vs.	Versus
PSG	Polysomnographie

# 11. Anhang

## Anhang A (Screening)



CAMPUS INNENSTADT  
 POLIKLINIK FÜR ZAHNERHALTUNG  
 UND PARODONTOLOGIE  
 PROF. DR. REINHARD HICKEL



AG Dr. Kollmuß / Prof. Dr. Huth

### Untersuchung eines digitalen Registriergeräts für Kieferbewegungen anhand von adjustierten Aufbisschienen

#### PATIENTENSCREENING

(CODEAUFKLEBER)

Datum: \_\_\_\_\_

#### Teil 1: Allgemeines

	Nein	ja	Falls ja...
Wurden Sie in der Vergangenheit am Kiefergelenk oder am Kiefer operiert und/oder hatten sie dort eine Verletzung?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Was wurde behandelt? _____ Wann wurde die Behandlung durchgeführt? _____
Sind bei Ihnen Allergien gegen zahnärztliche Materialien bekannt (Kunststoffe, Abformmaterialien etc.)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Welche? _____
Nehmen Sie bei Kieferbewegung ein Gelenkgeräusch (Knacken, Reiben) wahr?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Welche? _____
Konnten bei Familienmitgliedern Erkrankungen der Kiefergelenke festgestellt werden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Welche? _____

Direktor der Klinik: Prof. Dr. Reinhard Hickel

Das Klinikum der Universität München ist eine Anstalt des Öffentlichen Rechts

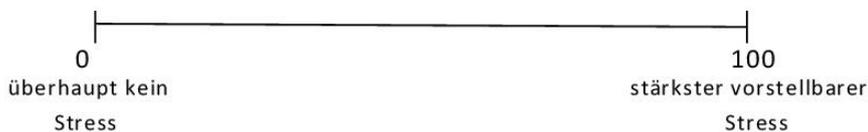
Vorstand: Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. Karl-Walter Jauch (Vorsitz), Kaufmännischer Direktor: Markus Zendler  
 Pflegedirektor: Marcus Huppertz, Vertreter der Medizinischen Fakultät: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel (Dekan)  
 Institutionskennzeichen: 260 914 050, Umsatzsteuer-Identifikationsnummer gemäß §27a Umsatzsteuergesetz: DE813536017

**Teil 2: Schmerzen**

	Nein	Ja	Falls ja ...
Haben Sie oft Kopf- oder Nackenschmerzen und/oder leiden Sie häufig unter Zahn- und Muskelschmerzen im Gesicht?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>Um welche Schmerzen handelt es sich?</p> <p>_____</p> <p>Gibt es einen anderweitigen Auslöser für diese Schmerzen?</p> <p><input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, nämlich _____</p> <p>Wie stufen Sie den Schmerz auf einer Skala von 1-10 ein?</p> <p>_____</p> <p>Wie stark belastet Sie dieser Schmerz auf einer Skala von 1-10?</p> <p>_____</p>

**Teil 3: Alltagsbelastung**

Auf einer Skala von 1 bis 100, wie stressig empfinden Sie Ihren Alltag?  
(1: gar keinen Stress, 100: extremer Stress)

**Teil 4: Knirschen und Pressen**

	Nein	Ja	Falls ja ...
Beobachteten Sie in der Vergangenheit oder aktuell Knirschen oder Pressen mit Ihren Zähnen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>Wie stark sind <u>aktuell</u> die Probleme mit den Folgen des Knirschen/Pressens (Schliffacetten, Schmerzen etc.)?</p> <p><input type="checkbox"/> keine Probleme  <input type="checkbox"/> wenige Probleme  <input type="checkbox"/> mäßige Probleme  <input type="checkbox"/> starke Probleme  <input type="checkbox"/> extreme Probleme</p> <p>Wie macht sich das Knirschen bzw. Pressen bemerkbar?</p> <p>_____</p>

**Teil 5: Schienentherapie**

	Nein	Ja	Falls ja ...
Wurden Sie in der Vergangenheit bereits mit einer Schiene behandelt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>In welchem Kiefer war diese Schiene?</p> <p>-----</p> <p>Wann war diese Behandlung?</p> <p>-----</p> <p>War die Behandlung aus Ihrer Sicht erfolgreich?</p> <p><input type="checkbox"/> nein   <input type="checkbox"/> ja</p>

## Anhang B (Baseline)



CAMPUS INNENSTADT  
POLIKLINIK FÜR ZAHNERHALTUNG  
UND PARODONTOLOGIE  
PROF. DR. REINHARD HICKEL



AG Dr. Kollmuß / Prof. Dr. Huth

## Untersuchung eines digitalen Registriergeräts für Kieferbewegungen anhand von adjustierten Aufbiss- schienen

### Dokumentationsbogen BASELINE

(CODEAUFKLEBER)

Datum: \_\_\_\_\_

#### A) klinische Funktionsuntersuchung

	Nein	Ja	Anmerkung
Mundöffnung asymmetrisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Mundöffnung eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Gelenkgeräusche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Kiefergelenkschmerz bei maximaler Mundöffnung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Palpation der Kiefergelenke schmerzhaft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Muskelpalpation schmerzhaft (M. temporalis li/re, M. masseter li/re, M. sternocleidomastoideus li/re)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Falls ja: wo?
traumatische habituelle Okklusion (nicht altersgemäße Abrasionen und/oder Balan- cekontakte auf der Nicht-Arbeitsseite)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

---

 Direktor der Klinik: Prof. Dr. Reinhard Hickel

Das Klinikum der Universität München ist eine Anstalt des Öffentlichen Rechts

Vorstand: Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. Karl-Walter Jauch (Vorsitz), Kaufmännischer Direktor: Markus Zendler  
 Pflegedirektor: Marcus Huppertz, Vertreter der Medizinischen Fakultät: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel (Dekan)  
 Institutionskennzeichen: 260 914 050, Umsatzsteuer-Identifikationsnummer gemäß §27a Umsatzsteuergesetz: DE813536017

## B) Evaluation der Registrierverfahren durch den Patienten

### 1) Patientenkomfort

Wie beurteilen Sie den Patientenkomfort beim jeweiligen Verfahren?

Analog:

Sehr gut       Gut       Mäßig       Schlecht       Sehr schlecht

Digital:

Sehr gut       Gut       Mäßig       Schlecht       Sehr schlecht

### 2) Zeitökonomie

Wie beurteilen Sie den Zeitaufwand des digitalen Verfahrens im Vergleich zum analogen Verfahren

digital viel aufwendiger       digital aufwendiger       gleich       analog aufwendiger       analog viel aufwendiger

## Anhang C (Einsetzen)



CAMPUS INNENSTADT  
POLIKLINIK FÜR ZAHNERHALTUNG  
UND PARODONTOLOGIE  
PROF. DR. REINHARD HICKEL



AG Dr. Kollmuß / Prof. Dr. Huth

**Untersuchung eines digitalen Registriergeräts für Kieferbewegungen anhand von adjustierten Aufbissschienen**

**Dokumentationsbogen EINSETZEN**

(CODEAUFKLEBER)

Datum: \_\_\_\_\_

**A) Beurteilung durch den Patienten**

1) Wie beurteilen Sie den Sitz Ihrer Schiene?

sehr gut     gut     mäßig     schlecht     sehr schlecht

Bemerkung: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2) Wie beurteilen Sie den Zeitbedarf für die okklusale Anpassung der Schiene?

sehr gut     gut     mäßig     schlecht     sehr schlecht

Bemerkung: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3) Wie beurteilen Sie den Tragekomfort nach Anpassung der Schiene?

sehr gut     gut     mäßig     schlecht     sehr schlecht

Bemerkung: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Direktor der Klinik: Prof. Dr. Reinhard Hickel

Das Klinikum der Universität München ist eine Anstalt des Öffentlichen Rechts

Vorstand: Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. Karl-Walter Jauch (Vorsitz), Kaufmännischer Direktor: Markus Zendler  
Pflegedirektor: Marcus Huppertz, Vertreter der Medizinischen Fakultät: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel (Dekan)  
Institutionskennzeichen: 260 914 050, Umsatzsteuer-Identifikationsnummer gemäß §27a Umsatzsteuergesetz: DE813536017

**B) Zielparameter Eingliederung**

1) Anzahl der initialen Kontakte im Artikulator

Fotografische Dokumentation erledigt

Anzahl: \_\_\_\_\_

2) Einschleifzeit im Labor

\_\_\_\_\_ Minuten

3) Anzahl der angepassten Kontakte im Artikulator

Fotografische Dokumentation erledigt

Anzahl: \_\_\_\_\_

4) Basale Passung

sehr gut     gut     mäßig     schlecht     sehr schlecht

5) Anzahl initialer Kontakte am Patienten

Fotografische Dokumentation erledigt

Anzahl: \_\_\_\_\_

6) Einschleifzeit am Patienten

\_\_\_\_\_ Minuten

7) Anzahl der angepassten Kontakte am Patienten

Fotografische Dokumentation erledigt

Anzahl: \_\_\_\_\_

8) Dicke der Schiene (Einbisse der tragenden Höcker)

14 (p): \_\_\_\_\_ 16 (mp): \_\_\_\_\_

24 (p): \_\_\_\_\_ 26 (mp): \_\_\_\_\_

## Anhang D (Recall)



CAMPUS INNENSTADT  
POLIKLINIK FÜR ZAHNERHALTUNG  
UND PARODONTOLOGIE  
PROF. DR. REINHARD HICKEL



**Untersuchung eines digitalen Registriergeräts  
für Kieferbewegungen anhand von  
adjustierten Aufbisschienen**

**Dokumentationsbogen RECALL 3 MONATE**

(CODEAUFKLEBER)

Datum: \_\_\_\_\_

**1) Neu auftretende Schmerzen**Stellten im Verlauf der Schienentherapie neu auftretende Schmerzen fest?

nein       ja

**Falls ja ...**

a) Um welche Schmerzen handelt es sich?

\_\_\_\_\_

b) Gab es einen anderweitigen Auslöser für diese Schmerzen?

**Nein**       **ja**, nämlich: \_\_\_\_\_

c) Wie stufen Sie diese Schmerzen auf einer Skala von 1-10 ein?

\_\_\_\_\_

**2) Bereits bestehende Schmerzen**

Falls Sie vor Beginn der Therapie Schmerzen hatten, wie haben sich diese entwickelt?

                         
**negativ**      **Eher negativ**      **unverändert**      **Eher positiv**      **positiv**

Direktor der Klinik: Prof. Dr. Reinhard Hickel

Das Klinikum der Universität München ist eine Anstalt des Öffentlichen Rechts

Vorstand: Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. Karl-Walter Jauch (Vorsitz), Kaufmännischer Direktor: Markus Zendler  
Pflegedirektor: Marcus Huppertz, Vertreter der Medizinischen Fakultät: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel (Dekan)  
Institutionskennzeichen: 260 914 050, Umsatzsteuer-Identifikationsnummer gemäß §27a Umsatzsteuergesetz: DE813536017

### 3) Gelenkgeräusche

Nehmen Sie aktuell Gelenkgeräusche bei Kieferöffnung wahr (z.B. Reiben, Knacken)?

- nein**                       **ja**

### 4) Zähneknirschen und -pressen

a) Wie stark sind aktuell die Probleme mit den Folgen des Knirschen/Pressens (Schliffacetten, Schmerzen etc.)?

- keine Probleme  
 wenige Probleme  
 mäßige Probleme  
 starke Probleme  
 extreme Probleme

b) Wie hat sich das Zähneknirschen und -pressen (inkl. der Folgen) im Verlauf der Therapie entwickelt?

- negativ**                       **Eher negativ**                       **unverändert**                       **Eher positiv**                       **positiv**

c) Bezeichnen Sie sich bezüglich Zähneknirschen und -pressen als beschwerdefrei?

- nein**                       **ja**

### 5) Ergänzungen

Welche weiteren Veränderungen konnten Sie durch diese Schienentherapie registrieren?

---

---

## 6) Tragehäufigkeit

Wie oft haben Sie diese Schiene getragen?

- täglich
- fast täglich (5-6x/Woche)
- mehrmals wöchentlich (2-4x/Woche)
- < als zweimal pro Woche
- nie

## 7) Allgemeine Bewertung

a) Wie beurteilen Sie den Tragekomfort dieser Schiene?

- Sehr gut**       **Gut**       **Mäßig**       **Schlecht**       **Sehr schlecht**

b) Wie bewerten Sie die im Rahmen dieser Studie durchgeführte Schienentherapie im Gesamten?

- Sehr gut**       **Gut**       **Mäßig**       **Schlecht**       **Sehr schlecht**

Bemerkungen:

---

---

**8) klinische Funktionsuntersuchung**

	Nein	Ja	Anmerkung
Mundöffnung asymmetrisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Mundöffnung eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Gelenkgeräusche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Kiefergelenkschmerz bei maximaler Mundöffnung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Palpation der Kiefergelenke schmerzhaft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Muskelpalpation schmerzhaft (M. temporalis li/re, M. masseter li/re, M. sternocleidomastoideus li/re)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Falls ja: wo?
traumatische habituelle Okklusion (nicht altersgemäße Abrasionen und/oder Balan- cekontakte auf der Nicht-Arbeitsseite)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

**9) Kontrolle Laborparameter**

1) Dicke der Schiene (Einbisse der tragenden Höcker)

14 (p): \_\_\_\_\_ 16 (mp): \_\_\_\_\_

24 (p): \_\_\_\_\_ 26 (mp): \_\_\_\_\_

2) Wie stark wurde die Schiene okklusal eingeschliffen?

stark       mittel       gering       gar nicht

3) Bemerkungen:

---



---

## Anhang E (Patientenanmerkungen zur Anwendung des Artex Facebow)

Grund der Anmerkung	Häufigkeit
Porusknöpfe	1

## Anhang F (Patientenanmerkungen zur Anwendung des JMAlyser+)

Grund der Anmerkung	Häufigkeit
Unterkieferapparatur (z.B. Sensorgewicht)	4
Attachments im Unterkiefer	2
Befestigungsmaterial des Attachments (bitterer Geschmack)	1
Durchführung der Bewegungswiederholungen	2
Kopfapparatur	1

## 12. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich im Rahmen dieser Arbeit begleitet und wesentlich dazu beigetragen haben. An erster Stelle danke ich Frau Prof. Dr. Karin Huth für die Bereitstellung des Themas und dabei besonders für die wertvollen Rückmeldungen zur Fertigstellung dieser Arbeit. Mein übergeordneter Dank gilt zudem Herrn PD Dr. Maximilian Kollmuß für die Betreuung dieser Dissertation. Durch die Zusammenarbeit in den Patientensitzungen wurde diese Arbeit überhaupt möglich. Ausdrücklich möchte ich mich auch für das Korrekturlesen dieser Arbeit bedanken. Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr. Reinhard Hickel für die Möglichkeit, die Studie in der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität München durchführen zu können. Vielen Dank außerdem an das zuständige Dentallabor für die zahntechnische Unterstützung und an alle Patienten für die Teilnahme an dieser Studie. Darüber hinaus möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die ein offenes Ohr für diese Arbeit hatten und mir mit fachlichem Rat sowie lieben Worten zur Seite standen. Meinen Freundinnen, mit denen ich mich austauschen konnte und die sich dem Korrekturlesen widmeten, gilt ein besonderer Dank. Auch an meine Familienmitglieder, die mich uneingeschränkt unterstützen, möchte ich meinen Dank aussprechen, insbesondere an meinen Partner für sein Verständnis im Zusammenhang dieser Arbeit. Aus ganzem Herzen danke ich allen liebevollen Menschen um mich herum.



LUDWIG-  
MAXIMILIANS-  
UNIVERSITÄT  
MÜNCHEN

Promotionsbüro  
Medizinische Fakultät



## Eidesstattliche Versicherung

Müller, Josefa

---

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel:

**Untersuchung eines digitalen Registrierverfahrens der Kieferbewegung  
zur Herstellung von adjustierten Aufbissschienen**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 25.05.2023

Josefa Müller

---

Ort, Datum

---

Unterschrift Doktorandin bzw. Doktorand