

**Aus der
Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der
Ludwig-Maximilians-Universität München**

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

**Evaluation dreier Herstellungsmethoden für
adjustierte Aufbisschienen zur Behandlung
von Parafunktionen des stomatognathen
Systems**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Lisa Marlena Erhard

aus Aschaffenburg

Jahr
2023

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Karin Christine Huth, MME

Mitberichterstatter: PD Dr. Felicitas Mayinger

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen
Prüfung: 20.12.2023

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Parafunktionen des stomatognathen Systems und der Unterschied zwischen Bruxismus und craniomandibulärer Dysfunktion	6
1.2	Definition des Bruxismus	7
1.3	Klassifikationen des Bruxismus	8
1.4	Ätiologie und Prävalenz von Bruxismus	9
1.5	Pathomechanismus des Bruxismus	11
1.6	Diagnostik und Symptomatik bei Bruxismus	12
1.7	Therapiemöglichkeiten	16
1.7.1	Psychotherapeutische Ansätze	17
1.7.2	Pharmakotherapie	17
1.7.3	Physiotherapie und weitere manuelle Therapie	18
1.7.4	Hypnotherapie	19
1.7.5	Biofeedback	19
1.7.6	Definitive okklusale Maßnahmen	20
1.7.7	Aufbissbehelfe	20
1.8	Klassifikation der Aufbissbehelfe nach Anwendungsgebiet	23
1.9	Herstellungsarten von Okklusionsschienen	25
1.9.1	Konventionelle Tiefziehschienen mit adjustiertem Aufbiss	26
1.9.2	CAD/CAM gefräste Aufbissschienen (CLEARsplint®)	27
1.9.3	3D-gedruckte Aufbissschienen	29
2	Fragestellung und Studienziel	32
3	Material und Methode	33
3.1	Patientenkollektiv	33
3.2	Anamneseerhebung und Befundung	34
3.3	Abformung und Gesichtsbogen	34

3.4	Herstellungsarten und -materialien.....	37
3.4.1	Herstellung und Material der konventionell tiefgezogenen Schiene mit adjustiertem Aufbiss.....	37
3.4.2	Herstellung und Materialien der CLEARsplint®-Schiene.....	38
3.4.3	Herstellung und Material des 3D-gedruckten Aufbissbehelfes	38
3.5	Fertigstellung des Aufbissbehelfs im hauseigenen Labor	39
3.6	Eingliederung des Aufbissbehelfs	40
3.7	Kontrolle bei Beschwerden.....	41
3.8	Kontrolle nach 3 Monaten	41
3.9	Statistische Auswertung	42
4	Ergebnisse.....	43
4.1	Deskriptive Ergebnisse der klinischen Untersuchung	43
4.1.1	Deskriptive Ergebnisse der Anamnesebögen	44
4.1.2	Deskriptive Ergebnisse der Laborbögen	47
4.1.3	Deskriptive Ergebnisse der Eingliederungsbögen	51
4.1.4	Deskriptive Ergebnisse der Kontrollbögen	54
4.2	Signifikanztestung der erhobenen Parameter	61
5	Diskussion.....	64
6	Zusammenfassung	71
7	Literaturverzeichnis	74
8	Abbildungsverzeichnis	88
9	Tabellenverzeichnis	90
10	Abkürzungsverzeichnis	91
11	Danksagung	92
12	Affidavit.....	93
	Anhang 1 (Votum der Ethikkommission).....	94
	Anhang 2 (Patienteninformation und -einwilligungserklärung)	95
	Anhang 3 (Anamnesebogen).....	100

Anhang 4 (Kontrollbogen Labor)	102
Anhang 5 (Kontrollbogen Eingliederung)	104
Anhang 6 (Kontrollbogen nach 3-monatiger Tragezeit)	106

1 Einleitung

Durch immer höhere Anforderungen im Beruf und im Alltag leiden viele Menschen unter Stress. Dieser psychosoziale Stress kann unter anderen zu Parafunktionen des stomatognathen Systems führen (Bae et al. 2017, Feu et al. 2013, Polmann et al. 2021). Diese Parafunktionen können sich zum Beispiel als Verspannungen in Nacken- und Rückenmuskulatur, als Überbelastung des Zahnhalteapparates mit Folge von schmerzenden Zähnen, als Abrieb der Zahnhartsubstanz oder als Schmerzen in den Kiefergelenken darstellen (Lavigne et al. 2008). Eine mögliche und häufig genutzte Therapieform ist die Behandlung mittels Okklusionsschiene, obgleich ihre Effizienz noch nicht belegt werden konnte (Hardy et al. 2021).

In der Zahntechnik gibt es mittlerweile verschiedene Herstellungstechniken, die sich auch klinisch bewährt haben. In dieser Studie sollen drei Herstellungsmethoden (Tiefziehschiene mit adjustiertem Aufbiss, CAD/CAM gefräste Schienen, 3D-gedruckte Schienen) auf Basis diverser Parameter untersucht und miteinander verglichen werden. Hierbei sollen Vor- und Nachteile der Herstellungsmethoden über einen kurz- bzw. mittelfristigen Zeitrahmen evaluiert werden.

1.1 Parafunktionen des stomatognathen Systems und der Unterschied zwischen Bruxismus und craniomandibulärer Dysfunktion

Der Begriff Parafunktion beschreibt eine Nebenfunktion im craniomandibulären System, wie Knirschen, Pressen, Lippenbeißen oder Zungenpressen (Ahlers et al. 2005). Diese Habits traumatisieren die beteiligten Gewebe und schädigen sie nachhaltig, wodurch es zu Schmerzen im Nacken-, Kopf- und Halsbereich kommen kann (Graber 1995).

Den Begriff Bruxismus muss man zur craniomandibulären Dysfunktion (CMD) abgrenzen. Eine CMD geht mit Schmerzen und / oder Dysfunktion im Bereich der Kaumuskulatur und/oder der Kiefergelenke einher, häufig auch mit Zahnschmerzen bedingt durch die funktionelle Überbelastung des gesamten Kauapparates. Hierbei kann es auch zu Limitationen in der Kieferöffnung, Hypermobilität oder Koordinationsstörungen kommen (Hugger et al. 2016). Einige Studien legen einen Zusammenhang zwischen Bruxismus und CMD nahe. Bei

Patienten mit Bruxismus besteht eine höhere Prävalenz von Symptomen einer CMD wie Muskelverspannungen, Kopfschmerzen, Schmerzen in den Kiefergelenken und der Kaumuskulatur (Jimenez-Silva et al. 2017). Jedoch wird auch darauf hingewiesen, dass der Zusammenhang zwischen Bruxismus, CMD und myofazialen Schmerzen komplex ist und dass unspezifische Symptome ebenfalls ein starker Indikator für myofaziale Schmerzen sein können (Ohlmann et al. 2020). Bruxismus wird als Risikofaktor für die Entstehung einer CMD gesehen. Bestehen bei Patienten Symptome einer CMD, sollte nach Anzeichen für Bruxismus gesucht werden (Peroz et al. 2019).

1.2 Definition des Bruxismus

Bruxismus ist eine sich wiederholende Kiefer-Muskel-Aktivität, die durch Zusammenpressen oder Knirschen der Zähne und / oder durch Anspannen oder Verschieben des Unterkiefers gekennzeichnet ist. Der Bruxismus hat zwei unterschiedliche zirkadiane Manifestationen: Er kann im Schlaf (als Schlaf-Bruxismus bezeichnet) oder im Wachzustand (als Wach-Bruxismus bezeichnet) auftreten (Lobbezoo et al. 2013).

Im Jahr 2018 wurde die Definition überarbeitet, um die Unterschiede zwischen Wach- und Schlafbruxismus besser darzustellen:

1. Schlafbruxismus ist eine Aktivität der Kaumuskulatur während des Schlafs. Schlafbruxismus wird charakterisiert als rhythmisch (phasisch) oder nicht-rhythmisch (tonisch) und ist keine Bewegungsstörung oder eine Schlafstörung bei ansonsten gesunden Individuen.
2. Wachbruxismus ist eine Aktivität der Kaumuskulatur während des Wachzustandes. Wachbruxismus wird charakterisiert als wiederholter oder dauerhafter Zahnkontakt und/oder als Anspannen oder Verschieben des Unterkiefers ohne Zahnkontakt. Bei ansonsten gesunden Individuen handelt es sich dabei nicht um eine Bewegungsstörung (Lobbezoo et al. 2018).

1.3 Klassifikationen des Bruxismus

Wie in der oben genannten Definitionen lässt sich Bruxismus in Wach- und Schlafbruxismus unterteilen (Lobbezoo et al. 2013). Diese Unterteilung gibt nur einen Zustand an, in dem die Bruxismusaktivität stattfindet.

Ätiologisch kann man zwei Formen von Bruxismus unterscheiden: den primären Bruxismus ohne erkennbare Ursache und den sekundären Bruxismus (Peroz et al. 2019). Der sekundäre Bruxismus kann als Folge der Einnahme bestimmter Medikamente (Antidepressiva, Antipsychotika, Antihistaminika, kardio-aktive Medikamente, Antikonvulsiva, dopaminerge Medikamente), bei Drogenkonsum (Alkohol, Rauchen, Ecstasy, Kokain) und als Folge von Schlafstörungen entstehen (Murali et al. 2015, Shetty et al. 2010, Winocur et al. 2003).

Ebenfalls lässt sich der Typ des Bruxismus anhand der Muskelkontraktionen unterscheiden. Von einem tonischen Bruxismus spricht man bei Muskelkontraktionen von über 2 s Dauer. Liegen dagegen kurze repetitive Kontraktionen mit mehr als drei Muskelaktivitäten im Elektromyogramm von 0,25 s bis 2 s Dauer vor, spricht man von einem phasischen Bruxismus. Beide Varianten können auch kombiniert vorliegen (Peroz et al. 2019). Während des Schlafbruxismus lässt sich zu 90% der phasische oder phasisch-tonische Bruxismus nachweisen, die Phasen des Wachbruxismus sind geprägt von tonischen Muskelaktivitäten (Lavigne et al. 2008).

Bruxismus kann als Bruxismus ohne Risikofaktor (Bruxismus als harmloses Verhalten), mit Risikofaktor (Bruxismus hat negative Auswirkungen wie Attrition oder CMD-Symptome) oder als Bruxismus mit protektivem Faktor (positive Auswirkungen auf die Gesundheit wie Reduktion der Säurewirkung bei Reflux, Offenhalten der Atemwege bei OSAS) eingestuft werden (Lobbezoo et al. 2018).

Svensson und Lavigne machten 2020 den Vorschlag Bruxismus in Normo- und Pathobruxismus zu unterteilen. Dadurch wollten sie darauf hinweisen, dass Bruxismus nicht nur als pathologisches Verhalten eingestuft werden kann, sondern wie oben genannt auch physiologische Wirkung haben kann. Kliniker sollen sich bewusstwerden, dass nicht jede Art von Bruxismus eine Therapie notwendig macht (Kryger et al. 2022, Svensson et al. 2020). Einen Krankheitswert hat Bruxismus erst, wenn Folgeschäden wie unphysiologische Attritionen, Versagen von Restaurationen, Schmerzen, Verminderung der

Lebensqualität, Schlafstörungen oder Kiefergelenkserkrankungen auftreten (Vavrina et al. 2020).

1.4 Ätiologie und Prävalenz von Bruxismus

Die Ursachen des Bruxismus sind immer wieder Gegenstand diverser Studien und bis heute nicht vollumfassend geklärt (Manfredini et al. 2011, Manfredini et al. 2009, Murali et al. 2015).

Die Okklusion als auslösender Faktor ist schon oft untersucht worden. Studien kommen hier jedoch zu widersprüchlichen Ergebnissen. In einer Studie wurden die Probanden mittels Okklusionsfolie auf Frühkontakte hin untersucht. Während diese Studie keinen Unterschied zwischen Patienten mit Bruxismus und ohne Bruxismus in Bezug auf vermehrte Frühkontakte feststellen konnte, legen andere Studien einen Zusammenhang zwischen Frühkontakten und Bruxismusaktivität nahe (Baba et al. 1996, Baba et al. 2000, Lazic et al. 2006, Safari et al. 2013). Zusätzlich wurde der Einfluss eines tiefen Bisses, offenen Bisses oder eines großen Overjets auf Bruxismus untersucht. Auch hier kam man zu widersprüchlichen Ergebnissen. Einige Studien legen einen Zusammenhang zwischen den oben genannten Bissanomalien und Bruxismus nahe, die polysomnographische Studie von Lobbezoo widerlegt jedoch diese Behauptung (Lobbezoo et al. 2001, Manfredini et al. 2014, Safari et al. 2013, Sari et al. 2001). Auf Grund der vielen widersprüchlichen Ergebnisse geht man davon aus, dass die Okklusion keinen Hauptfaktor für die Entstehung von Bruxismus darstellt (Lobbezoo et al. 2012, Lobbezoo et al. 2001, Manfredini et al. 2004).

Sowohl im Kindes- als auch im Erwachsenenalter gilt emotionaler Stress als wahrscheinlicher Auslöser für die Entstehung von Bruxismus (Ahlberg et al. 2013, Polmann et al. 2021). Besondere Stressauslöser können Schichtarbeit, selbst wahrgenommener Stress, schwierige Stressverarbeitung und Ängste sein (Ahlberg et al. 2013, Ahlberg et al. 2003, Giraki et al. 2010, Karakoulaki et al. 2015). Auch psychische Erkrankungen wie Angststörungen und Depression sind Risikofaktoren für die Entstehung von Bruxismus (Bandodkar et al. 2022, Polmann et al. 2019, Smardz et al. 2019).

Bei Reflux führt die Magensäure zu einer Reizung des Ösophagus. Die Reizung führt im Schlaf zu kleinen Weckreaktionen, die wiederum eine Kaumuskelaktivität auslösen. Patienten mit der gastroösophagealen Refluxkrankheit haben eine 73,7%ige Prävalenz für Schlafbruxismus (Mengatto et al. 2013).

Es gibt Hinweise darauf, dass Bruxismus durch Ungleichgewichte im zentralen Nervensystem entstehen oder verstärkt werden kann. Störungen des dopaminergen und des GABAergen (γ -Amino-Buttersäure) System stehen im Zusammenhang mit dem Auftreten von Bruxismus (Dharmadhikari et al. 2015, Feu et al. 2013, Lobbezoo et al. 2001). Eine positive Korrelation zwischen der Aufnahme von Thrombozytenserotonin aus dem Blut und der Häufigkeit von Schlafbruxismus konnte ebenfalls nachgewiesen werden (Minakuchi et al. 2016).

Genetische Faktoren scheinen ebenfalls im Vergleich zu phänotypischen Faktoren eine Rolle beim Auftreten von Bruxismus zu spielen (Ahlberg et al. 2020, Smardz et al. 2019, Takaoka et al. 2017, Wieckiewicz et al. 2020). Bestimmte Syndrome wie das Rett-Syndrom, Prader-Willi-Syndrom oder das Angelman-Syndrom werden mit Bruxismus in Verbindung gebracht (Kuhn et al. 2018).

Es besteht ein dosisabhängiger Zusammenhang zwischen Rauchen und Bruxismus, zwischen dem Alkoholkonsum und Schlafbruxismus und ebenso zwischen dem Koffeinkonsum und Bruxismus (Bertazzo-Silveira et al. 2016, Hojo et al. 2007, Kuhn et al. 2018, Rintakoski et al. 2010, Rintakoski et al. 2013). Insgesamt gibt es je nach Substanz ein 1,4 bis 2,85-fach erhöhtes Risiko an Bruxismus zu erkranken (Peroz et al. 2019). Belegt ist, dass Drogen wie Ecstasy und die Ersatzdroge Methadon Bruxismus indizieren können (Enguelberg-Gabbay et al. 2016, Milosevic et al. 1999, Winocur et al. 2003). Medikamente wie Antidepressiva, Medikamente zur Behandlung von ADHS, Narkotika oder Antihistaminika stehen ebenfalls im Verdacht Bruxismus auszulösen (Falisi et al. 2014, Melo et al. 2018).

Auch Schlafstörungen gehören zu den möglichen Risikofaktoren für die Entwicklung von Bruxismus (Castroflorio et al. 2017, Guo et al. 2018, Kuhn et al. 2018, Yagci et al. 2020). Zu Schlafstörungen zählen Albträume, Schlaflosigkeit, Schnarchen und unterbrochener Schlaf bei Schichtarbeitern (Ahlberg et al. 2008, Alencar et al. 2017, Castroflorio et al. 2017, Maluly et al. 2013). Bei Schlafapnoe

wird Bruxismus als protektiver Faktor gewertet, da er dabei hilft die Atemwege offen zu halten (Castroflorio et al. 2017, Manfredini et al. 2015, Saito et al. 2013).

Die Prävalenz von Schlafbruxismus bei Kindern wird in der Literatur mit 5,9 - 49,6% angegeben (Machado et al. 2014). Bei Erwachsenen liegt die Anzahl der Betroffenen von Schlafbruxismus bei 9,7 – 15,9% und von Wachbruxismus bei 22,1 – 31% (Manfredini et al. 2013). Die höchste Prävalenz zeigt sich im 2.-3. Lebensjahrzehnt (Shetty et al. 2010). Einen Zusammenhang zwischen Geschlecht und Bruxismus konnte bis heute nicht eindeutig nachgewiesen werden (Manfredini et al. 2012). Einige Studien verzeichneten einen Hinweis auf eine größere Prävalenz bei Männern, andere zeigten eine höhere Prävalenz bei Frauen (Blanco Aguilera et al. 2014, Manfredini et al. 2012).

1.5 Pathomechanismus des Bruxismus

Von Bruxismus betroffene Patienten geben häufig Schmerzen in einem oder beiden Kiefergelenken, Kau- oder Nackenmuskelschmerzen bzw. Nackenverspannungen, Kopfschmerzen, überempfindliche oder schmerzende Zähne oder Schlafprobleme an. Bei der klinischen Untersuchung finden sich häufig eine oder mehrere der folgenden klinischen Anzeichen: eingeschränkte Kieferbeweglichkeit, Muskelhypertrophien, Zungen- oder Wangenimpressionen, ggf. mit dem Auftreten einer Verhornungsleiste im Planum bukkale, Gingivarezessionen, Attritionen und Chipping oder Brüche an Restaurationen (Murali et al. 2015). Es ist nicht einfach Ursachen und Symptome von Bruxismus genau zu differenzieren. So kann zum Beispiel eine Malokklusion oder auch Schlafstörungen Ursache und Folge von Bruxismus sein (Rugh 1992). Otagie kann ebenfalls aus Bruxismus resultieren. Der genaue Zusammenhang ist bis heute ungeklärt. Diskutiert werden neuromuskuläre Verbindungen zwischen Innenohr und der mimischen Muskulatur bzw. der Kaumuskulatur, Ursachen in der Embryonalentwicklung und Projektionsschmerzen auf Grund der anatomischen Nähe zu den Kiefergelenken (Ahlers 2011).

Bruxismus kann aber nicht nur kraniale Auswirkungen haben. Das craniomandibuläre System ist funktionell eng mit weiteren Bereichen des Körpers verbunden und hat somit Einfluss auf die gesamte Körperstatik (Desmedt 1980).

So kann es durch Aufbeißen auf eine Aufbissschiene zu einem stabilisierenden Effekt kommen. Daraus lässt sich folgern, dass eine Malokklusion negativen Einfluss auf die Stabilität des neuromuskulären Systems haben kann (Gangloff et al. 2000, Sakaguchi et al. 2007).

Ein häufig untersuchter Zusammenhang ist der zwischen Bruxismus und CMD. Patienten mit Symptomen einer CMD weisen zu circa 70% Anzeichen für Bruxismus auf (Lavigne 1995). Auf Grund uneinheitlicher Studiendesigns bezogen auf Diagnostik und Differenzierung zwischen Wach- und Schlafbruxismus konnte Bruxismus als prädisponierender oder unterhaltender Faktor von CMD nicht eindeutig widerlegt oder bestätigt werden (Peroz et al. 2019). Studien, bei denen Bruxismus anamnestisch und/oder klinisch diagnostiziert wurde, belegen wiederum einen Zusammenhang zwischen Bruxismus und CMD. Unter anderem wurden Schliffacetten als Indikator für Bruxismus gesehen. Schliffacetten können auch durch andere Ursachen wie natürlichen Zahnhartsubstanzverlust oder Abrasion bedingt oder schon mehrere Jahre alt sein und sind somit kein Hinweis auf ein aktuelles Bruxismusgeschehen (Jimenez-Silva et al. 2017, Manfredini et al. 2010).

1.6 Diagnostik und Symptomatik bei Bruxismus

Typische Symptome des Bruxismus sind Schmerzen im Nacken - und / oder Schläfenbereich - vor allem nach dem Aufstehen - Schmerzen in den Kiefergelenken, Schmerzen in der Kaumuskulatur, Kopfschmerzen und eine Beeinträchtigung der Lebensqualität (Lavigne et al. 2008, Svensson et al. 2008). Mit Hilfe eines speziellen Anamnesebogens können Patienten gezielt nach dieser Symptomatik befragt werden (Murali et al. 2015). Beantwortet der Patient einige der Fragen positiv, so ist ein Bruxismus "möglich". Werden zusätzlich klinische Parameter berücksichtigt, wie Attritionen, Zungen- bzw. Wangenimpressionen, Hypertrophie der Kaumuskeln, eingeschränkte Kieferöffnung, Gingivarezessionen und häufiges technisches Versagen von Rekonstruktionen oder Füllungen, gilt ein Bruxismus als „wahrscheinlich“ (Lobbezoo et al. 2013, Lobbezoo et al. 2018, Murali et al. 2015). Um den Grad und das Voranschreiten der Attritionen zu bestimmen sind Zahnverschleiß-Screenings ein guter Indikator. Eine mögliche Screening Methode, die besonders für attritionsbedingten

Zahnhartsubstanzverlust geeignet ist, ist das „Tooth Wear Evaluation System“ (TWES). Hier wird vereinfacht erklärt sechstantenweise beurteilt, ob Schliffacetten vorhanden sind und wenn ja, wie hoch der aktuelle höchste Zahnhartsubstanzverlust ist (für palatinale Flächen eine 3-Punkt-Ordinalskala, für okklusale Flächen eine 5-Punkt-Ordinalskala). Wird hier in einem oder mehreren Sextanten ein Grad 2 oder höher erreicht, wird eine detaillierte Untersuchung angeschlossen. Hierbei werden die Kriterien des TWES auf alle Zähne einzeln angewendet und dokumentiert. Die gewonnenen Ergebnisse dienen als Grundlage für die Entscheidungsfindung einer potenziellen Therapie und können, wenn sie regelmäßig durchgeführt werden, den Verlauf der Attritionen darstellen. Somit können auch Rückschlüsse auf den Status (akut oder ruhend) des Bruxismus gezogen werden (Wetselaar et al. 2016). Seit 2020 existiert eine überarbeitete Version des TWES, das TWES 2.0. Hier wurden einige Verbesserungen vorgenommen, unter anderem wurde aus der 3-Punkt-Ordinalskala für palatinale Flächen eine 5-Punkt-Ordinalskala, um eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Um den Verschleiß von direkten und indirekten Restaurationen ebenfalls beurteilen zu können, wurde auch hier eine Skala definiert und mit in das TWES 2.0 aufgenommen. (Wetselaar et al. 2020)

Eine weitere Möglichkeit zu erfassen, ob Patienten akut knirschen, ist die Indikatorschiene. Hierbei handelt es sich um eine im Kontaktbereich eingefärbte Schiene. Sie lässt Rückschlüsse auf das aktuelle Ausmaß der Knirschaktivität zu (Ommerborn et al. 2015). Diese birgt jedoch das Risiko einer Verfälschung der Ergebnisse auf Grund von Missempfindungen bedingt durch das Tragen der Indikatorschiene.

Die definitive Diagnostik ist aktuell immer noch mit hohem Aufwand verbunden und kann nur mit Hilfe der Polysomnographie (PSG) gestellt werden (Lobbezoo et al. 2013). In einem Schlaflabor werden über mindestens zwei Nächte verschiedene Parameter aufgezeichnet (Hasegawa et al. 2013). Hierbei werden neben einer Elektroenzephalographie (EEG), die Augenbewegungen (Okulographie) erfasst und die Kaumuskelaktivität elektromyographisch aufgezeichnet (Elektromyographie, EMG). Darüber hinaus wird der Blutdruck kontrolliert, die Herzfrequenz mittels Elektrokardiogramm (EKG) aufgezeichnet und audiovisuelle Aufzeichnungen angefertigt (Trindade Mde et al. 2014). Die

Untersuchung im Schlaflabor kann durch das Tragen einer speziellen Schiene (BruXense) unterstützt werden. Diese Schiene enthält Sensoren, die während des Tragens Daten wie Häufigkeit, Länge und Intensität der Bruxismusepisoden sammeln kann. Diese Daten können Anhaltspunkte für die Diagnose und spätere Therapie sein (Robin et al. 2022). Eine weitere Möglichkeit Schlafbruxismus zu diagnostizieren und zu überwachen, ist eine piezoelektrische Detektorschiene. Die ersten Ergebnisse sind im Vergleich zum tragbaren EMG als vielversprechend zu werten (Aoki et al. 2022).

Ein Wachbruxismus kann mit Hilfe dieser Methode jedoch nicht diagnostiziert werden. Eine Möglichkeit Hinweise auf einen bestehenden Wachbruxismus zu finden, ist die Selbstbeobachtung und -kontrolle. Diese kann z.B. auch mittels einer Brux-App stattfinden. Die gesammelten Daten dieser Apps können dann dem Zahnarzt Hinweise auf das Vorhandensein eines Wachbruxismus geben (Colonna et al. 2020).

Eine weitere Möglichkeit Wachbruxismus zu diagnostizieren, ist die Anwendung von portablen EMG-Geräten. Geräte der neueren Generation kombinieren zusätzlich die Herzfrequenz, die vor Knirschbeginn ansteigt, mit der EMG-Ableitung (Castroflorio et al. 2015). Ein weiteres Gerät zeichnet die Knirschgeräusche akustisch auf (Mizumori et al. 2009).

Wird mit Hilfe von Instrumenten, wie dem EMG, Bruxismus nachgewiesen, gilt er als definitiv (Lobbezoo et al. 2013).

Diagnoseeinteilung Wach- und Schlafbruxismus	Einstufungskriterien	Anzeichen / Symptome
möglich	Positive Hinweise aus anamnestischer Befragung	Schmerzen im Kiefergelenk/Kaumuskulatur/Nackenmuskulatur, Kopfschmerzen (v.a. im Schläfenbereich), überempfindliche Zähne, schlechte Schlafqualität, Zahnbeweglichkeit ohne parodontale Probleme
wahrscheinlich	Positive Hinweise aus klinischer Untersuchung mit oder ohne positive Hinweise aus anamnestischer Befragung	Nicht kariöser Zahnhartsubstanzverlust, Zungen- oder Wangenimpressionen, Hypertrophie der Kaumuskulatur, Gingivarezessionen, eingeschränkte Kieferöffnung, häufiges technisches Versagen von Restaurationen und Füllungen, Verhornungsleiste im Planum bukkale
definitiv	Positive instrumentelle Befunde (z.B. EMG) mit oder ohne positive Hinweise aus anamnestischer und/oder klinischer Untersuchung	Erfassung von Sauerstoffsättigung des Blutes, Unterkieferbewegungen, Knirschgeräusche, Herzfrequenz, Hirnströme, Kaumuskelaktivität, Augenbewegungen

Tabelle 1: Diagnoseeinteilung bei Wach- und Schlafbruxismus

Im Jahr 2019 wurde von der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFD) ein Bruxismus-Screening-Index entwickelt, der bei der Diagnose von Bruxismus in der Praxis helfen soll. Während des Screenings werden vier anamnestische Fragen gestellt und drei verschiedene klinische Befunde erhoben (Abbildung 1). Jede Antwort wird mit einem oder zwei Punkten bewertet. Am Schluss werden alle Punkte addiert. Ein Punktwert von eins deutet auf einen möglichen Bruxismus hin, bei einem Punktwert von zwei oder mehr liegt ein wahrscheinlicher Bruxismus vor (Ahlers et al. 2020).

BRUXISMUS-SCREENING-INDEX (BSI)
der Deutschen Gesellschaft für
Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFD)

Patientennummer	Name, Vorname	Geburtsdatum	Untersuchungsdatum
-----------------	---------------	--------------	--------------------

Anamnese (A)	ja	nein
A1 Selbstauskunft oder Bericht von Angehörigen über Knirschen oder Klappern mit den Zähnen (1 Punkt)		
A2 Beschwerden der Kaumuskulatur wie Missempfindungen, Schmerzen, Ermüdung/vorübergehende Steifigkeit (2 Punkte)		
A3 Vorübergehende Schläfenkopfschmerzen (2 Punkte)		
A4 Empfindliche Zähne (2 Punkte)		

Untersuchung (U)	ja	nein
U1 Masseterhypertrophie (2 Punkte)		
U2 Kongruente Schlißfacetten in exzentrischer Okklusion (2 Punkte)		
U3 Zungen- und/oder Wangenimpressionen von Zähnen (2 Punkte)		

Bewertung

Bruxismus unwahrscheinlich (Null Punkte, A1 bis U3 sind mit „nein“ beantwortet)

möglicher Bruxismus (1 Punkt, nur A1 wird mit „ja“ beantwortet)

wahrscheinlicher Bruxismus (ab 2 Punkte, einer der Punkte A2 bis U3 wird mit „ja“ beantwortet)

Berechnung des BSI-Wertes: Eine positive Antwort auf die Frage A1 wird mit einem Punkt bewertet; positive Antworten auf die Fragen A2, A4 sowie positive Befunde bei den Untersuchungen U1-U3 lösen die Bewertung mit jeweils 2 Punkten aus. Der höchste Einzelwert bestimmt den Gesamtwert. Der Gesamtwert sagt nichts über die Intensität des Bruxismus aus.

© Copyright: Lange | Ahlers | Mantler | Oll | Purcz | Woloski | 2019

BRUXISMUS-SCREENING-INDEX (BSI)
der Deutschen Gesellschaft für
Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFD)

Indikation

Zur Abschätzung des Bruxismusrisikos im Rahmen der zahnärztlichen Behandlungsplanung

Durchführung des Bruxismuscreening

Anamnese:

- Selbstauskunft oder Bericht von Angehörigen:**
Bei einer positiven Antwort liegt möglicherweise Bruxismus vor. Eine Absicherung erfolgt durch die Erhebung weiterer anamnestischer und klinischer Anzeichen und Symptome.
- Beschwerden der Kaumuskulatur:**
Je nach zeitlichem Auftreten Hinweise auf tageszeitlich unterschiedliche Bruxismusaktivität.
- Vorübergehende Schläfenkopfschmerzen:**
Im Zusammenhang mit lokalen myogenen Schmerzen der Mm. temporales.
- Empfindliche Zähne:**
Typischerweise mehrere Zähne in beiden Kiefern einer Seite oder im gesamten Kieferbereich.

Untersuchung:

- Masseterhypertrophie:**
Bilaterale Palpation der Muskelbäuche im entspannten Zustand und bei Kieferschluss. Häufig auch visuell erkennbar. Ein- und/oder beidseitiges Auftreten.
- Kongruente Schlißfacetten in exzentrischer Okklusion:**
Können unabhängig vom gegenwärtigen Geschehen auch auf Bruxismusaktivitäten in der Vergangenheit hindeuten. Sie sind im Gegensatz zu Erosionen mit Okklusionsfolie markierbar.
- Zungen- und/oder Wangenimpressionen von Zähnen:**
Typisch unmittelbar im Zusammenhang mit Kieferpressen. Anhaltende Aktivität kann zu Hyperkeratosen in der Wangenschleimhaut führen (Linea alba).

© Copyright: Lange | Ahlers | Mantler | Oll | Purcz | Woloski | 2019

Abbildung 1: Bruxismus-Screening-Index (BSI) der deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFD) (Ahlers et al. 2019)

Im Anschluss an die Auswertung des Screenings müssen passende Maßnahmen eingeleitet werden. Bei Vorliegen eines wahrscheinlichen Bruxismus sollte ein CMD-Screening (Abbildung 2) angeschlossen werden, um weitere Folgen des Bruxismus auszuschließen oder zu bestätigen (Ahlers et al. 2020). Hierbei wird anamnestisch der Patient nach Schmerzen im Schläfen- oder Gesichtsbereich gefragt, nach Schmerzen im Kiefer- oder Kiefergelenk oder nach Schmerzen bei

der Kieferöffnung oder beim Kauen. Außerdem wird mit dem Patienten besprochen, ob Limitationen oder Blockierungen bei der Kieferöffnung aufgefallen sind. Bei der klinischen Untersuchung werden die Kaumuskulatur und die Kiefergelenke palpiert und es wird darauf geachtet, ob Schmerzen auslösbar sind. Darüber hinaus wird kontrolliert, ob die Kieferöffnung limitiert ist, Kiefergelenksgeräusche auffallen oder ob Okklusionsstörungen vorliegen. Wird eine dieser Fragen mit ja beantwortet, kann bzw. sollte eine Funktionsanalyse angeschlossen werden (Peroz et al. 2020).

CMD-SCREENING (CMD-BASISDIAGNOSTIK)
der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFD)

Patientennummer	Name, Vorname	Geburtsdatum	Untersuchungsdatum
-----------------	---------------	--------------	--------------------

Anamnese (A)	ja	nein
A: Haben Sie einmal wöchentlich oder häufiger Schmerzen <ul style="list-style-type: none"> • im Schläfen- oder Gesichtsbereich, • im Kiefer oder Kiefergelenk, • bei der Kieferöffnung oder beim Kauen und/oder <ul style="list-style-type: none"> • Schwierigkeiten oder Blockierungen bei der Kieferöffnung? 		
Untersuchung (U)	ja	nein
U: Schmerz Kaumuskulatur?		
U: Schmerz Kiefergelenk?		
U: Limitation Kieferöffnung?		
U: Okklusionsstörungen?		
U: Kiefergelenksgeräusche?		

CMD-SCREENING (CMD-BASISDIAGNOSTIK)
der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFD)

Indikation

Vor restaurativer und/oder kieferorthopädischer Behandlungsplanung und zur Abgrenzung unilaterer Kiefer- und Gesichtsschmerzen und/oder orofazialer Dysfunktionen

Durchführung Basisdiagnostik

Untersuchung:

- 1. Schmerz Kaumuskulatur:**
bei Palpation der Referenzmuskeln M. temporalis und M. masseter superficialis (z. B. nach DC/TMD)
- 2. Schmerz Kiefergelenk:**
bei prä- oder intraaurikulärer Palpation des Kiefergelenks (z. B. nach DC/TMD) oder bei Kieferöffnung
- 3. Limitation aktive Kieferöffnung (< 40 mm):**
(wiederholte) maximale Kieferöffnung (auch bei Vorliegen von Schmerz) + Messung mit Lineal oder Beerendank-Schieblehre etc.
- 4. Okklusionsstörungen:**
Prüfung habituelle Okklusion (HO) mit Shimstock- oder Okklusionstolle oder visuell oder mittels Okklusionsgeräuschen
- 5. Kiefergelenksgeräusche (Knacken oder Reiben):**
bei prä- oder intraaurikulärer Palpation des Kiefergelenks (z. B. nach DC/TMD) oder bei Kieferöffnung

Das alleinige Auftreten von Kiefergelenksgeräuschen ohne Bestehen von Schmerzen oder Funktionseinschränkungen bedingt in der Regel keine Durchführung einer erweiterten Diagnostik.

Konsequenz für erweiterte Diagnostik
(klin. Funktionsanalyse, Bildgebung etc.)

1 x rot Kriterium ja → Erweiterte Diagnostik **solte** durchgeführt werden.

1 x gelbes Kriterium ja → Erweiterte Diagnostik **kann** durchgeführt werden.

Abbildung 2: CMD-Screening (CMD-Basisdiagnostik) der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFD) (Peroz et al. 2020)

1.7 Therapiemöglichkeiten

Zur Behandlung von Bruxismus gibt es je nach Auslöser verschiedene Ansätze und Therapieoptionen. Oft werden auch Behandlungsmethoden kombiniert. Teilweise gehen die Maßnahmen auch ineinander über und sind nicht exakt gegeneinander abzugrenzen. Die folgenden Abschnitte sollen einen Überblick über die aktuellen Therapieoptionen bei Bruxismus geben.

1.7.1 Psychotherapeutische Ansätze

Psychotherapie zur Behandlung von Bruxismus setzt vor allem auf kognitive Verhaltenstherapie. Das bedeutet, dass die Patienten lernen sich selbst zu beobachten, ihr Verhalten zu reflektieren und unerwünschte Verhaltensweisen zu unterbrechen. Kombiniert werden diese Verfahren häufig mit Entspannungstraining wie der progressiven Muskelrelaxation (PMR) nach Jacobsen (Peroz et al. 2019).

Eine Studie von Trindade und Mitarbeitern hat zwei Patientengruppen miteinander verglichen. Eine Gruppe wurde mittels einer Okklusionsschiene und kognitiver Verhaltenstherapie behandelt. Die Kontrollgruppe erhielt zur Therapie alleinig eine Okklusionsschiene. Die Gruppe, die mittels Okklusionsschiene und kognitiver Verhaltenstherapie behandelt wurde, wies eine geringere Ruheaktivität im 4-Kanal-Elektromyogram auf, als die Gruppe, die ausschließlich mittels Okklusionsschiene therapiert wurde (Trindade et al. 2015).

1.7.2 Pharmakotherapie

Verschiedene Studien haben unterschiedliche Medikamente zur Behandlung von Bruxismus auf deren Wirksamkeit hin untersucht. Mit einbezogen wurden dopaminerge Substanzen, Antidepressiva, Antikonvulsiva, Antihistaminika, Muskelrelaxantien und Alpha-1-Antagonisten (Falisi et al. 2014, Winocur et al. 2003). Besonders häufig wird die Auswirkung von Botulinumtoxininjektionen in Kaumuskeln untersucht (Tinastepe et al. 2015).

Die Studiendauer ist häufig kurz, die Designs der Studien sehr unterschiedlich und die Dosierungen der Medikamente nicht vergleichbar, sodass keine signifikanten Rückschlüsse auf die Wirksamkeit einzelner Medikamente gezogen werden können. Darüber hinaus treten häufig unerwünschte Nebenwirkungen auf. Die Medikation wird außerdem im „Off-Label-Use“ angewendet, wodurch eine strenge Indikationsstellung notwendig ist (Macedo et al. 2014, Peroz et al. 2019).

Die ultraschallkontrollierte Injektion von Botulinumtoxin in den Musculus masseter führt zur Schmerzverminderung und zur Reduktion der Intensität der Aktivität des Kaumuskels. Die Anzahl der Bruxismusepisoden bleibt jedoch unverändert (de

Mello Sposito et al. 2014, Shim et al. 2020). Laut einer Studie aus dem Jahr 2019 kann bei Patienten, die mit Botulinumtoxin behandelt werden, eine Okklusionsschiene sogar überflüssig werden (Yurttutan et al. 2019). Die Sorte des Botulinumtoxins sowie die Dosis sind noch nicht definiert. Darüber hinaus findet auch hier die Anwendung nur im „Off-Label-Use“ statt (Fernandez-Nunez et al. 2019).

1.7.3 Physiotherapie und weitere manuelle Therapie

Die Behandlung von Bruxismus mittels Physiotherapie und weiteren manuellen Maßnahmen wie Fangopackungen, Eiswendungen und Ultraschall soll dem Patienten helfen die körperlichen Auswirkungen von Bruxismus zu lindern. Dazu gehören unter anderem Kiefermuskelferspannungen, -verhärtungen, -schmerzen, -ermüdungen, ggf. kombiniert mit Kieferbewegungseinschränkungen. Dazu kommen können auch noch Schmerzen und Geräusche im Kiefergelenk, die ebenfalls mittels manueller Maßnahmen therapiert werden. Darüber hinaus kann die Physiotherapie Einfluss auf die Körperhaltung nehmen und den Patienten anleiten, sein Verhalten bewusster wahrzunehmen und gezielt zu beeinflussen. Auch Anleitungen zur Eigenmassage und das Erlernen von Entspannungstechniken tragen zur Schmerzreduktion bei (Feurer 2020, Peroz et al. 2019).

Massagetherapie trägt zu einer signifikanten Verbesserung der Funktionseinschränkungen und des Schmerzlevels bei. Eine Kombination von Massage und Schienentherapie bringt jedoch die besten Ergebnisse (Gomes et al. 2015).

Immer häufiger werden Kinesio Tapes zur Behandlung muskulärer Beschwerden eingesetzt. Eine Kombination von Kinesio Taping und manueller Therapie führt vor allem bei Patienten mit durch Bruxismus verursachten Beschwerden im Schläfenbereich zu einer stärkeren Abnahme der Schmerzen, als bei Patienten, bei denen ausschließlich manuelle Therapie angewendet wird (Volkan-Yazici et al. 2021).

1.7.4 Hypnotherapie

Häufiger Auslöser von Bruxismus ist emotionaler Stress (Ahlberg et al. 2013). Die Hypnose versucht bei der Aufarbeitung von vergangenen Traumata und Stressauslösern zu helfen und den Patienten dadurch zur Entspannung zu verhelfen. Hypnosetherapie kombiniert mit Selbstbeobachtung, Schienentherapie oder manueller Therapie führt zu einer deutlichen Abnahme von nächtlichen Knirschgeräuschen und Muskelverspannungen (Clarke et al. 1991, Dowd 2013).

1.7.5 Biofeedback

Biofeedback ist eine Technik zur Selbstregulierung. Patienten lernen bestimmte unbewusste körperliche Prozesse zu kontrollieren. Sie bekommen mittels geeigneter Medien visuelle, taktile oder auditive Hinweise, sobald sie das unerwünschte Verhalten ausführen. Somit haben sie die Möglichkeit auf ihr Verhalten zu reagieren und in die gewünschte Richtung umzulenken (Frank et al. 2010).

Die Patienten bekommen im Wachzustand mittels bestimmter Schienen oder tragbarer EMG-Biofeedback-Geräte Rückmeldung über den Grad ihrer Kaumuskelanspannung und können die Anspannung bewusst reduzieren. Hier zeigt sich jedoch bezogen auf einen kurzen Zeitraum eine deutliche Reduktion der Bruxismusaktivität (Watanabe et al. 2011). Ebenso kann ein tagsüber durchgeführtes Biofeedbacktraining, überwacht durch EMG, positive Auswirkungen auf die Regulierung der Bruxismusepisoden während des Schlafs haben (Saito-Murakami et al. 2020, Sato et al. 2015).

Die Biofeedbackschiene BruXane kann auch zur Therapie von Schlafbruxismus eingesetzt werden. Sie gibt über Vibrationen, ausgelöst durch einen integrierten Drucksensor, Rückmeldung an den Träger, wenn dieser zubeißt. Durch die Vibrationen wird der Patient unterbewusst auf seinen Bruxismus hingewiesen und der Kaudruck lässt nach. Diese Schiene wird nachts getragen. Der Patient wird dadurch nachweislich nicht in seinem Schlaf gestört. Es setzt ein Lernmechanismus ein, der den Träger darauf, trainiert weniger und kürzer zu knirschen. Die während der Nacht getragene Biofeedbackschiene zeigt im Vergleich zu adjustierten Aufbissschienen eine statistisch signifikante Reduktion

von Dauer und Anzahl der Bruxismusepisoden und verbessern das allgemeine Wohlbefinden des Patienten. Dieser Effekt hält auch über die Tragedauer hinaus an (Bergmann et al. 2020).

1.7.6 Definitive okklusale Maßnahmen

Zu den definitiven okklusalen Maßnahmen zählen Einschleifmaßnahmen und Wiederherstellung der Okklusion mittels direkter (z.B. Composite) und indirekter (z.B. Keramik) Restaurationen.

Der Versuch der okklusalen Rehabilitation mittels Einschleifmaßnahmen stellt keine sinnvolle kausale Therapie dar (Tsukiyama et al. 2001).

Hat Bruxismus zum Zahnhartsubstanzverlust und somit zu einem abgesunkenen Biss oder anderen dauerhaften okklusalen Interferenzen geführt, sollten diese dauerhaft durch konservative Maßnahmen (Füllungen) oder mit Hilfe definitiver prothetischer Versorgungen (Bisshebung mittels Onlays, Kronen, Brücken, Veneers etc.) behoben werden (Mengatto et al. 2016). Auf Grund der übermäßig starken Belastung ist die Misserfolgsrate bei Patienten mit Bruxismus erhöht (de Souza Melo et al. 2018). Die Überlebensrate der Restaurationen bei Patienten mit Bruxismus ist noch nicht ausreichend erforscht. Eine Schiene zum Schutz vor weiteren Abrasionen im Anschluss an die Rehabilitation ist empfehlenswert.

1.7.7 Aufbissbehelfe

Ein Aufbissbehelf ist ein herausnehmbares Behandlungsmittel und bedeckt die Okklusalfächen eines Zahnbogens ganz oder teilweise. Es hat unter anderem die Aufgabe die Zähne vor weiterer Attrition zu schützen (Macedo et al. 2007).

Die Wirkungsweise von Schienen ist noch nicht abschließend geklärt. Hierzu gibt es verschiedene Hypothesen. Die klassischen Hypothesen zur Wirkungsweise von Okklusionsschienen umfassen folgende Punkte: Placebowirkung, Repositionierung der Kondylen, Aktivitätsreduktion der Muskulatur durch Veränderung der vertikalen Dimension, biomechanische Entlastung der Kiefergelenke, verhaltenstherapeutische Wirkungen und die Beseitigung okklusaler Störungen / Reduzierung von Parafunktionen (Dao et al. 1998). Alle

diese Hypothesen wurden weitestgehend widerlegt (Dao et al. 1998, Rues et al. 2011, Schindler et al. 2007, Türp et al. 2012).

Aktuell werden folgende Hypothesen diskutiert (Schindler et al. 2013). Die erste Hypothese besagt, dass es im Laufe der Schienentherapie zur zeitweisen Reorganisation der muskulären Funktionsmuster und somit zu Gelenkentlastung kommen soll. Diese Hypothese ist eine mögliche Erklärung zur Wirkung der Schienentherapie (Ettlin et al. 2008, Schindler et al. 2005, Türp et al. 2003). Durch die Entspannung der Muskulatur kommt es innerhalb des Muskels zu einer besseren Durchblutung und somit zu einer besseren Versorgung mit Sauerstoff. Dies steht im Zusammenhang mit einer deutlichen Verringerung von bruxismusbedingten Kaumuskelschmerzen (Ispirgil et al. 2020). Durch die Schiene entsteht eine gleichmäßige bilaterale Belastung, die dabei hilft, die Muskulatur zu entspannen und bruxismusbedingter Abnutzung und Deformation der Kiefergelenke vorzubeugen (Gholampour et al. 2019). Darüber hinaus trägt sie dazu bei, die Anzahl und Intensität von Bruxismusepisoden während des Schlafes zu reduzieren (Guaita et al. 2016, Manfredini et al. 2015). Ebenfalls kommt es zu einer Hemmung der Kaumuskulatur durch Aktivierung nozizeptiver Leitungsbahnen. Durch die horizontale Belastung der Zähne, wie bei einer Schiene mit seitlichem Aufbiss, kommt es zu einer Zugbelastung innerhalb des Parodontiums. Dadurch kommt es zur Aktivierung der Nozizeptoren und somit zu einer Verminderung der nächtlichen Kaumuskulaturaktivität (Lund et al. 1991). Eine weitere Hypothese besagt, dass wenn Patienten durch das regelmäßige Tragen der Schiene eine Schmerzreduktion erfahren, es zu einer Herabsetzung der Aktivität in bestimmten Bereichen des Gehirns, wie zum Beispiel der rechten anterioren Insula, kommt. Diese Beeinflussung zerebraler Aktivierungsmuster durch eine Schienentherapie ist per funktioneller Magnetresonanztomographie nachgewiesen (Kordass et al. 2007, Lickteig et al. 2013, Lickteig et al. 2012, Lotze et al. 2012). Die letzte Hypothese besagt, dass es durch eine unilaterale Erhöhung der betroffenen Seite um mindestens 0,4 mm zu einer mikrodistraktiven Wirkung und somit zu einer Entlastung des betroffenen Kiefergelenkes kommt. Diese Entlastung führt wahrscheinlich zu einer Rehydrierung des Knorpelgewebes und zu einer Lageveränderung von Diskus und Kondylus. Dieser Effekt könnte Regenerationsprozesse unterstützen. Ebenfalls könnte es dadurch zu einem Zug an intrakapsulärem Gewebe kommen, der wiederum

entzündungshemmende Zytokine aktiviert (Bader et al. 2010, Bote et al. 2013, Schindler et al. 2009). Ebenfalls gibt es Hinweise darauf, dass Schienen einen positiven Einfluss auf die Anzahl der Bewegungen des Unterkiefers haben und die Position der Kondylen bei Patienten mit Bruxismus verbessern (Skaricic et al. 2020). Diese Ergebnisse stammen aus Studien mit einer geringen Anzahl an Probanden, weswegen die Ergebnisse kritisch gesehen werden sollten und noch weiterer Forschungsbedarf besteht.

Die Wirkung der Schientherapie ist noch nicht abschließend geklärt. Eine Kombination der oben genannten Hypothesen ist am wahrscheinlichsten.

Die Okklusionsschienen können aus weichem oder hartem Material hergestellt werden. Temporär haben beide Schienenvarianten den Effekt, die Kaumuskelaktivität und damit verbundene Schmerzen zu verringern. Jedoch führen weiche Schienen nach einiger Zeit erneut zu einer Erhöhung der Kaumuskelaktivität, weshalb sie zur Bruxismustherapie nicht empfohlen werden. Darüber hinaus haben harte Schienen den Vorteil, dass sie die Zahnstellung stabilisieren (Lobbezoo et al. 2008). Die vertikale Dimension der Schienen ist ebenfalls entscheidend für den Erfolg. Schienen mit einer Bisserrhöhung von 3 mm sind effektiver als Aufbissbehelfe mit einer vertikalen Dimensionserhöhung von 6 mm (Manfredini et al. 2015). Eine Studie von 2022 kam ebenfalls zu dem Schluss, dass eine Schiene mit einer Höhe zwischen 2 und 4 mm zu einer Verbesserung der stomatognathen Situation beiträgt (Bilir et al. 2022). Die durch die Schienen verursachten Bisserrhöhungen führen zu einer Umprogrammierung des neuromuskulären Systems im Bereich der Kaumuskeln und somit zu einer Neueinstellung der Muskeln. Dadurch kann man ableiten, dass ein intermittierender Gebrauch effektiver ist als ein regelmäßiges Tragen der Schiene. Wird die Schiene regelmäßig getragen, setzt eine Gewöhnung ein und der Bruxismus kann zurückkehren oder sich erneut verstärken (Jokubauskas et al. 2018).

	Wachbruxismus	Schlafbruxismus
Diagnose- möglichkeiten	Diagnostikmittel lässt keine Unterscheidung zwischen Wach- und Schlafbruxismus zu: Anamnese, klinische Untersuchung, Bruxismusscreening	
	Indikatorschiene Selbstbeobachtung Portable EMG-Geräte	Indikatorschiene Polysomnographie Piezoelektrische Detektorschiene
Therapieoptionen	Psychotherapie, Pharmakotherapie, Physiotherapie und weitere manuelle Therapie, Aufbissbehelfe	
	EMG-Biofeedback-Geräte	Hypnotherapie Biofeedbackschiene BruXane

Tabelle 2: Diagnosemöglichkeiten und Therapieoptionen bei Wach- und Schlafbruxismus

1.8 Klassifikation der Aufbissbehelfe nach Anwendungsgebiet

Je nach gewünschtem Erkrankungsbild und angestrebtem Therapieergebnis gibt es verschiedene Arten von Okklusionsschienen.

Man unterscheidet prinzipiell Relaxierungsschienen von Positionsschienen. Relaxierungsschienen haben die Entkopplung der Okklusion und eine Neuprogrammierung des neuromuskulären Systems zum Ziel, während Positionsschienen eine Veränderung gegebenenfalls auch in der horizontalen Position des Unterkiefers und damit der Kiefergelenke erreichen wollen (Ahlers 2011).

Zu den Relaxierungsschienen zählen die Reflexschiene mit reduziertem Aufbiss im Prämolarenbereich (Inzeptor), der Aqualizer und die Reflexschiene mit gleichmäßigem Aufbiss in allen Stützzonen - entweder mit Front-Eckzahn-Führung oder mit Eckzahnführung (Michigan-Schiene). Die Positionierungsschienen umfassen Dekompressionsschienen, Protrusionsschienen, Repositionierungsschienen und Vertikalisierungsschienen (Meyer et al. 2013).

Durch die Reflexschiene mit reduziertem Aufbiss im Prämolarenbereich sollen parafunktionale Okklusionskontakte aufgehoben und das neuromuskuläre System umprogrammiert werden. Die Unterbrechung des gewohnten Regelkreises führt zu einer reflektorischen Reduzierung der Muskelaktivität und somit zur Entspannung der betroffenen Muskulatur (Meyer et al. 2013).

Der Aqualizer (Dentrade International e.K., Köln, Deutschland) ist eine unkonfektionierte Schiene mit Flüssigkeitspolstern im Seitenzahnbereich. Sie dient oft nur der vorübergehenden Harmonisierung der Okklusion durch

Aufhebung von Störkontakten bis zur Fertigstellung einer konfektionierten Schiene. Sie verfolgt ebenfalls das Ziel der neuromuskulären Entspannung (Lerman 1987, Lerman 2011).

Eine Sonderform der Relaxierungsschiene stellt die Michigan-Schiene dar. Zur Herstellung wird ein Zentrikregistrat benötigt. Die Einstellung in der zentrischen Kondylenposition kombiniert mit einer Eckzahnführung und dem Okklusionsprinzip Freedom-in-centric soll zum Einstellen einer physiologischen Kondylenposition und einer Neuprogrammierung von Bewegungsmustern des Unterkiefers und somit zur Entspannung und Schmerzreduktion führen (Ash et al. 1998).

Die Dekompressionsschiene führt zur Entlastung und Distraction des betroffenen Kiefergelenks. Diese Art der Schienentherapie wird mit physiotherapeutischen Maßnahmen kombiniert. Die Physiotherapie soll das beteiligte Gewebe, Kapseln, Bänder und Muskeln dehnen und somit zur langfristigen Entlastung des Kiefergelenks führen. Während der Laufzeit der Physiotherapie wird die Schiene immer wieder an die veränderte Situation angepasst (Meyer et al. 2013).

Die Repositonierungsschiene soll den Unterkiefer in einer knackfreien Position halten und somit das Abgleiten des Diskus vom Kondylus zu verhindern. Somit kann sich das gesamte stomatognathe System stabilisieren und die beteiligten Gewebe sich an die neue Position anpassen. Das Ziel ist die Wiederherstellung einer physiologischen knackfreien Kiefergelenksposition nach der Diagnose einer anterioren Diskusverlagerung mit Reposition (Ahlers 2011).

Das Einsatzgebiet der Protrusionsschiene ist die Therapie bei Schnarchen oder leichter obstruktiver Schlafapnoe. Diese stellt den Unterkiefer ventral ein und verhindert ein Abgleiten des Unterkiefers nach dorsal während des Schlafens. Somit werden sowohl die Atemwege offen gehalten, als auch die bilaminäre Zone und das Kiefergelenk entlastet (Ash et al. 2006).

Vertikalisierungsschiene werden zur Erprobung einer neuen Bisshöhe nach abgesunkener Vertikaldimension eingesetzt. Dies geschieht oft in mehreren Schritten, sodass sich das neuromuskuläre System langsam an die neue Situation adaptieren kann. Auch hier wird häufig begleitend Physiotherapie zur Unterstützung der Dehnung und Anpassung der Muskeln, Gewebe und Ligamente eingesetzt. Nach der Erprobungsphase und bei Akzeptanz der neuen

Bisshöhe wird die definitive prothetische Versorgung eingegliedert (Meyer et al. 2013).

Der Schientyp, der auch in dieser Arbeit beschriebenen Studie genutzt wurde, ist die Relaxierungsschiene mit gleichmäßigem Aufbiss in allen Stützzonen und mit Front-Eckzahnführung. Sie gilt als klassische Knirscherschiene. Das Ziel ist, auch hier wieder eine Harmonisierung der Okklusion durch gleichmäßigen Aufbiss im Seitenzahnbereich. Der in der maximalen Interkuspitation gestaltete Aufbiss lässt keinen Bewegungsspielraum zu und somit kommt es bei einer Laterotrusionsbewegung zur Disklusion der Seitenzähne. Das Therapieziel ist ebenfalls die Reduzierung von durch Knirschen und Pressen ausgelösten Muskel- und Kiefergelenksbeschwerden (Ash et al. 2006, Meyer et al. 2013).

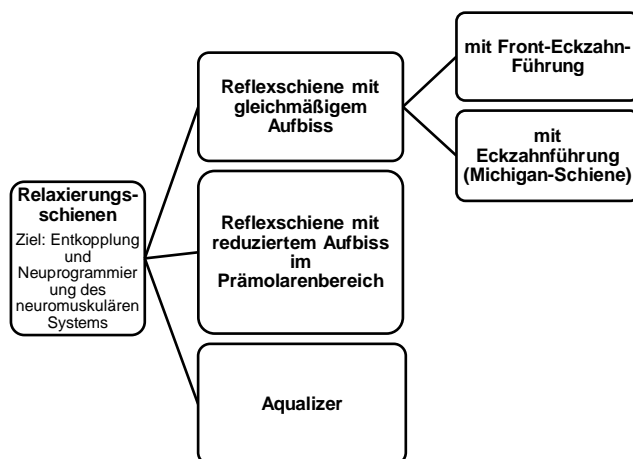


Abbildung 3: Übersicht Relaxierungsschienen

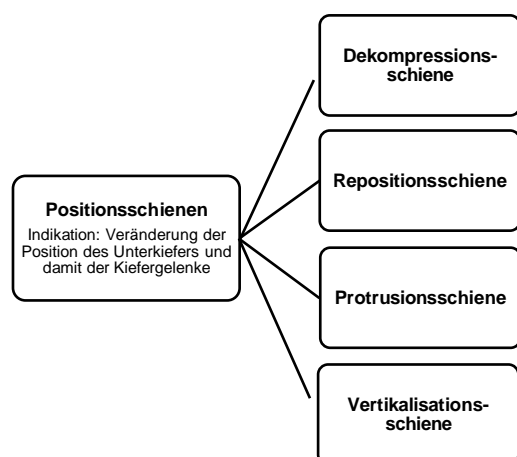


Abbildung 4: Übersicht Positionsschienen

1.9 Herstellungsarten von Okklusionsschienen

Zur Fertigung von Aufbissbehelfen existieren verschiedene Möglichkeiten. Je nach zahntechnischem Labor stehen eine oder mehrere Herstellungsarten zur Verfügung. Für die Studie wurde ein Labor ausgewählt, das über alle drei Fertigungsarten (konventionell tiefgezogen mit adjustiertem Aufbiss, CAD/CAM gefräst und 3D-gedruckt) verfügt, die in dieser Studie untersucht wurden. So sollte ein möglichst hoher und gut zu vergleichender Qualitätsstandard erreicht werden.

1.9.1 Konventionelle Tiefziehschienen mit adjustiertem Aufbiss

Nach dem Ausgießen der Abformungen mit Superhartgips (Pico-Rock 280, Picodent GmbH, Wipperfürth, Deutschland), Trimmen der Modelle und der Einartikulierung in den Artikulator (SAM 2PX, SAM Präzisionstechnik GmbH, Gauting, Deutschland) wird das Modell des Kiefers, in dem das Aufbissbehelf angefertigt werden soll, in ein Granulat (Füllgranulat gerundet, Edelstahl, Erkodent Erich Kopp GmbH, Pfalzgrafenweiler, Deutschland) im Tiefziehgerät (Erkoform-RVE, Erkodent Erich Kopp GmbH, Pfalzgrafenweiler, Deutschland; Abbildung 3) eingebettet. Dabei muss darauf geachtet werden, dass das Granulat bis zum gewünschten Rand der späteren Schiene geht und das Granulat am Ende glattgestrichen wird. Laut Herstellerangaben bedeutet das Tiefziehen über 1 cm Modell einen Stärkeverlust der Folie von 20 – 25%. Deswegen muss das Modell möglichst bis zum Rand der späteren Schiene in das Granulat (Füllgranulat gerundet, Edelstahl) einbettet werden, um den Stärkeverlust so gering wie möglich zu halten. Es darf kein Granulat in den Dichtungen liegen bleiben. Zum Tiefziehen wurde die Folie Erkodur klar, hart mit 2 mm Dicke des Herstellers Erkodent (Erkodent Erich Kopp GmbH, Pfalzgrafenweiler, Deutschland) gewählt. Diese Tiefziehfolie hat den Vorteil, dass sie sich mit Acrylaten, hier dem Kunststoff für den Aufbiss, verbindet. Während einer Vorheizzeit von 1 min und 45 s wird die Folie in den Spannring eingelegt und festgezogen. Anschließend wird der Ring mit der Folie unter die Heizung gezogen und die Folie wird 1 min und 25 s erhitzt. Im Anschluss erfolgt das Tiefziehen der erhitzten Folie über das Modell unter Vakuum.



Abbildung 3: Tiefziehgerät Erkoform-RVE (Erkodent Erich Kopp GmbH)

Die abgekühlte Schiene wird vom Modell abgenommen und die überstehenden Ränder abgeschnitten. Zur Herstellung des Aufbisses wird der Kunststoff (FuturaJet transpa, Schütz Dental GmbH, Rosbach, Deutschland) nach Herstellerangaben im Verhältnis 2:1 (Pulver:Flüssigkeit) angemischt und aufgebracht. Der Aufbiss wird am Modell im Artikulator modelliert und anschließend für 30 Minuten bei einer Temperatur von 45°C im Drucktopf (Palamat Elite, Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland) auspolymerisiert.

Die Ausarbeitung und Vorpoltur erfolgten im Anschluss. Die Herstellungsdauer einer solch konventionellen Schiene beträgt zwischen 2 bis 3 Stunden.

Diese Art der Schiene ist laut Hersteller reparaturfähig und biokompatibel. Die Reinigung erfolgt mit Wasser, Seife und einer weichen Zahnbürste. Das Aufbissbehelf darf nicht unter zu warmem Wasser (>50°C) gereinigt werden, da es sonst zu irreversiblen Verformungen kommen kann.

1.9.2 CAD/CAM gefräste Aufbisssschienen (CLEARsplint®)

CAD/CAM steht für Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing. Diese Technologie ermöglicht die computergestützte Fertigung von Werkstücken wie zum Beispiel Schienen. Aufbissbehelfe können neben der in Kapitel 1.9 beschriebenen Methode mittels subtraktiver Methoden (Fräsen) oder mittels additiver Technik (Rapid Prototyping) hergestellt werden. Die fräsende CAD/CAM-Technologie wurde von Francois Duret 1971 in die Zahnmedizin

eingeführt. Auf dem Dentalmarkt wurde erstmals 1985 das auch heute noch bekannte Cerec-System von der Firma Siemens Dental (heute Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland) vorgestellt (Schweiger et al. 2017).

Die Firma Astron (Astron Dental Corporation, Lake Zurich, Illinois, USA) bietet ihre bewährte CLEARsplint® Technologie auch als CAD/CAM-Version an. Die in dieser Studie verwendete CLEARsplint® Schiene wird mittels Frästechnik hergestellt. Das Material verfügt über eine thermoaktive Flexibilität, die eine präzise Adaptation der Schiene an den Zahnbogen erlaubt. Somit ist der Tragekomfort für den Patienten stark erhöht und Spannungen werden minimiert. Der Kunststoff ist laut Herstellerangaben Methylmethacrylat (MMA)-frei und damit hypoallergen. Das fertige Produkt ist ebenso wie bei den konventionell tiefgezogenen Schienen reparaturfähig.

Das Pulver und das Monomer (ClearSplint® CAD/CAM pro, Astron) werden laut Herstellerangaben im Verhältnis 1:0,7 angemischt und in einen vorher ausgefrästen Blank (Abbildung 4) gefüllt. Bis zur Weiterverarbeitung wird gewartet, bis sich eine matte Haut auf dem Gemisch gebildet hat. Anschließend wird der Blank für mindestens 45 min bei 2 bar Druck und einer Temperatur von 50-53°C zur Aushärtung in einen Drucktopf (Palamat Elite) gegeben. Parallel werden am Computer die vorher aus Superhartgips (Pico-Rock 280) angefertigten Modelle gescannt und die Schiene am Computer (Programm: exocad DentalCAD, exocad GmbH, Darmstadt, Deutschland) modelliert.



Abbildung 4: ausgefüllter Blank vor dem Fräsen

Nach dem Auskühlen wird der Blank in der Fräsmaschine (Imes Icore 550i, Kentzler-Kaschner Dental GmbH, Ellwangen/Jagst, Deutschland; Abbildung 4)

befestigt und die Daten der Computermodulation an die Fräsmaschine (Imes Icore 550i) geschickt. Die Maschine fräst die Schiene dann von grob nach fein aus dem Block heraus. Nach der Beendigung des Fräsvorganges wird die Schiene aus dem Blank entfernt, auf das Modell aufgepasst, ausgearbeitet und vorgepoliert. Die Herstellung dauert hier 3,5 bis 4 Stunden, wobei allein 3 Stunden auf den Fräsvorgang fallen.



Abbildung 5: Fräsmaschine Imes Icore 550i (Kentzler-Kaschner Dental GmbH)

Die Schiene muss vor dem Einsetzen vom Patienten kurz unter warmem Wasser auf 40°C bis 50°C erwärmt werden. Nur dann ist eine optimale Anpassung gewährleistet. Die CLEARsplint® Schiene darf nur schonend mit Wasser, Seife und einer weichen Zahnbürste gereinigt werden.

1.9.3 3D-gedruckte Aufbissschienen

Der 3D-Druck zählt zu den additiven Fertigungsmethoden der CAD/CAM Technik. Seit der Entwicklung der Stereolithographie (SLA), einer der relevantesten Verfahren im Bereich des 3D-Drucks, patentiert 1983 durch Charles W. Hull, hat sich der 3D-Druck immer weiterentwickelt (Raddatz et al. 2018). Da die Herstellung aber vergleichsweise zeitaufwendig ist, hat sich das Verfahren noch nicht überall durchgesetzt.

Auch bei dieser Methode werden zuerst konventionell Modelle aus Superhartgips (Pico-Rock 280) hergestellt und diese werden im Anschluss per Laserscanner (Tizian Smart Scan Plus, Schütz Dental GmbH, Rosbach, Deutschland) digitalisiert. Die Modulation erfolgt mit einem speziellen Computerprogramm

(exocad DentalCAD). Der 3D-Drucker Form 2 der Firma Formlabs (Formlabs GmbH, Berlin, Deutschland; Abbildung 6) ist ein mit SLA arbeitender 3D-Drucker.

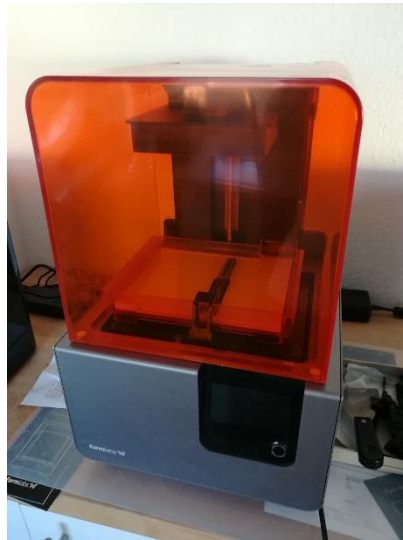


Abbildung 6: 3D-Drucker Form 2 der Firma Formlabs

Das Druckmaterial ist ein sehr lichtempfindliches Acrylharz (VarseoWax Splint, Bredent Group, Senden, Deutschland). Die Schiene wird hier auf einer Trägerschablone (Abbildung 7) schichtweise in bis zu 280 Schichten gedruckt. Jede Schicht wird einzeln polymerisiert und anschließend wird eine neue Schicht aufgetragen. Nach der Fertigstellung der Schiene wird die komplette Arbeit mit 96%-igem Ethanol gereinigt und die Schiene in einem Lichthärteofen (Formlabs Form Cure, Formlabs GmbH, Berlin, Deutschland) bei 60°C für 20 Minuten nachpolymerisiert. Anschließend wird die Schiene von der Trägerschablone getrennt, ausgearbeitet und vorpoliert.



Abbildung 7: Trägerschablone nach dem Entfernen der Schiene

Die reine Druckzeit beträgt 3 – 3,5 Stunden pro Schiene, die Zeit für Scan und Modulation umfasst nochmals ungefähr 1 Stunde. Hervorzuheben ist, dass bei dieser Art der Herstellung der Materialverbrauch sehr gering ist, da kaum Überschüsse bei beim Drucken entstehen. Auch diese Schiene kann laut Herstellerangaben repariert werden und darf nur mit Wasser, Seife und einer weichen Zahnbürste gereinigt werden. Laut Herstellerangaben ist das verwendete Material sehr schlagzäh und weist eine hohe Formstabilität auf. Die Lagerung der Schiene sollte unter Lichtausschluss erfolgen.

2 Fragestellung und Studienziel

Bruxismus ist ein Krankheitsbild, das ungefähr ein Viertel der Bevölkerung - zumindest temporär - betrifft (Manfredini et al. 2013). Zur Behandlung des Bruxismus selbst und dessen Folgen sind Aufbisssschienen aus Kunststoff lang bewährte Therapieoptionen: Sie schützen einerseits die Zähne vor weiteren Attritionen und Überbelastungen, andererseits können sie zur Entkopplung des neuro-muskulären Systems der Kaumuskulatur und damit zu einer Relaxation dieser Muskelgruppen führen (Ahlers 2011). Die Okklusion dieser Schienen wird individuell an den jeweiligen Patienten angepasst (adjustierte Aufbisssschiene). Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten der Herstellung einer solchen Schiene. Sie werden schon lange angewendet und sind im klinischen Alltag etabliert.

In dieser klinischen Studie sollen folgende drei Herstellungsarten näher betrachtet werden: konventionell tiefgezogene Schienen mit adjustiertem Aufbiss, CAD/CAM – gefräste Schienen (sogenannte CLEARsplint®-Schienen) und 3D gedruckte Schienen.

Hierbei sollen Vor- und Nachteile der Herstellungsmethoden über einen kurz- bzw. mittelfristigen Zeitrahmen untersucht werden. Diese drei Herstellungsverfahren sollen unter anderem hinsichtlich ihrer basalen Passung, der Zeit für die okklusale Adaptation, Polierbarkeit, subjektiven Passung (Patient) und ihres Tragekomforts evaluiert werden.

Die Studie soll zeigen, ob es signifikante Unterschiede hinsichtlich der untersuchten Parameter gibt und ob sich eine Herstellungsart besonders eignet, die an eine Schiene gestellten Anforderungen zu erfüllen. Ebenfalls soll die Studie aufdecken, wo es eventuell noch Defizite gibt und Verbesserungspotential besteht. Diese Studie soll somit einen Beitrag zur Verbesserung von Langlebigkeit und Patientenkomfort in der Schienentherapie leisten.

3 Material und Methode

Auf den folgenden Seiten werden alle Vorgänge erläutert, die für den klinischen und labortechnischen Teil dieser Arbeit nötig waren.

Zu Beginn wurde die aktuelle gesundheitliche Situation mit Hilfe von Anamnesebögen erfasst. In der gleichen Sitzung wurden die beiden Kiefer zur Modellherstellung abgeformt und die Gesichtsbogenübertragung vorgenommen. Diese wurden zur Herstellung des Aufbissbehelfes in ein zahntechnisches Labor geschickt. Nach Fertigstellung der Schienen wurden diese an die Klinik zurückgeschickt und im Hauslabor unter Berücksichtigung geeigneter Parameter untersucht. Um verschiedene Parameter unabhängig von der Herstellung im Labor untersuchen zu können, wurde das Einschleifen der statischen Okklusion der Aufbissbehelfe sowie die Endpolitur im hauseigenen Labor durchgeführt.

Bei der Eingliederung am Patienten wurden erneut bestimmte Parameter abgefragt. Die Kontrolle erfolgte drei Monate später.

3.1 Patientenkollektiv

Das Studienprotokoll wurde der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Universität München zur Begutachtung vorgelegt. Diese bestätigte die ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit (Nr. 17-503, Votum in Anhang 1).

Das Patientenkollektiv setzte sich im Studienzeitraum von August 2017 bis November 2018 aus Teilnehmern des Phantomkurses der Zahnerhaltung, Studenten der klinischen Semester sowie Patienten der allgemeinen Ambulanz der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität München zusammen.

Nach einer kurzen funktionsdiagnostischen Untersuchung und der Einstufung, dass Bruxismus bei den Probanden als wahrscheinlich angenommen werden kann, kamen für die Teilnahme an der Studie prinzipiell alle volljährigen Patienten mit entsprechendem Beschwerdebild in Frage. Ausschlusskriterien waren fehlende Zähne (Weisheitszähne ausgenommen), herausnehmbarer Zahnersatz, vorangegangene Operationen im Bereich der Kiefergelenke, Frakturen oder anderweitige Verletzungen im Bereich des stomatognathen Systems, starke

Symptome einer CMD, eine zu diesem Zeitpunkt bestehende Schwangerschaft sowie bekannte Allergien gegen zahnärztliche Kunststoffe.

Die Probanden wurde per Randomisierung in 3 Gruppen eingeteilt (Gruppe 1 „Tiefziehschienen mit adjustiertem Aufbiss“, Gruppe 2 „CAD/CAM gefräste Schienen“, Gruppe 3 „3D-gedruckte Schienen“).

3.2 Anamneseerhebung und Befundung

Zu Beginn des ersten Termins wurden die Patienten ausführlich in mündlicher und schriftlicher Form über die Teilnahmebedingungen der Studie aufgeklärt. Darüber hinaus musste jeder Patient seine Einwilligung über die Teilnahme an der Studie schriftlich erklären (Anhang 2). Mit Hilfe eines Anamnesebogens wurden unter anderem Vorerkrankungen des Zahnhalteapparates im Familienkreis, der aktuelle Stresslevel des Probanden und Beschwerden im Kopf- und Nackenbereich abfragt (Anhang 3). Darüber hinaus wurde der Teilnehmer gefragt, ob er selbst oder andere Personen an ihm ein Knirschen oder Pressen beobachtet hat und ob deswegen schon therapeutische Schritte (Aufbissbehelfe, Physiotherapie oder ähnliches) unternommen wurden. Anschließend wurde ein zahnärztlicher Befund erhoben, in dem kariöse Läsionen, vorhandene Füllungen und Kronen (und deren Zustand) und andere Auffälligkeiten (Rezessionen, Retainer oder ähnliches) notiert wurden.

3.3 Abformung und Gesichtsbogen

Für die Abformung der beiden Kiefer wurden verschiedene Materialien verwendet, da an die Eigenschaften der Materialien verschiedenen Anforderungen gestellt wurden.

Für den Oberkiefer reichte ein schnell aushärtendes Material mit geringerer Detailtreue aus, das für den Patienten angenehmer zu entfernen ist. Hierfür wurde Alginat (Alginoplast, Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland) verwendet. Diese Abformmasse härtet innerhalb von ca. 2 min aus. Nach dem Entfernen wurde die Abformung desinfiziert und zum Transport in das zahntechnische Labor verpackt.



Abbildung 8: Abformung mit Alginat (Oberkiefer)

Für den Unterkiefer wurde ebenfalls eine irreversibel-elastische Abformmasse verwendet, die jedoch Präzisionsabformungen zulässt. Hierbei handelt es sich um eine Präzisions silikonabformmasse mit dem Herstellernamen Aquasil Ultra (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Deutschland). Dieses benötigt eine längere Zeit (7min ab Anmischung) zum Abbinden. Zuerst wurde mit Hilfe einer Elastomer-Spritze die Kauflächen mit Aquasil Ultra benetzt, um die Bildung von Luftblasen möglichst zu vermeiden, während parallel der Abformlöffel mit der Abformmasse gefüllt wurde. Der Löffel wurde nun von posterior nach anterior vorsichtig auf den Unterkiefer des Patienten gesetzt, bis alle Zähne vollständig mit der Masse bedeckt waren, und unter möglichst drucklosem Halten aushärten gelassen. Anschließend wurde die Abformung vorsichtig aus dem Mund des Probanden entfernt, desinfiziert und zur Abholung durch das zahntechnische Labor verpackt.



Abbildung 9: Abformung mit Aquasil Ultra (Unterkiefer)

Um ein möglichst individuelles Aufbissbehelf für den Patienten herstellen zu können, muss die Lage der Maxilla im Bezug zum Gesichtsschädel bestimmt werden. Dies geschah mit Zuhilfenahme eines Gesichts- bzw. Transferbogens (SAM 2PX Axioquick Transferbogen, SAM Präzisionstechnik GmbH, Gauting, Deutschland). Dieser Gesichtsbogen ist parallel zur Frankfurter Horizontalen ausgerichtet. Der Bogen besteht aus 4 Teilen: dem Transferbogen, der Nasionstütze, dem Bissgabelträger und der Bissgabel. Zuerst wurde die Bissgabel mit Bite Tabs (Panadent Corporation, Colton CA, USA; selbstklebende Compound-Aufkleber) im Bereich der Schneidezähne und im Bereich des ersten Molaren präpariert. Die noch leicht warme Masse wurde vorsichtig an die Oberkieferzähne des Patienten gedrückt. Nach dem Aushärten der Bite Tabs wurde die Bissgabel aus dem Patientenmund entfernt. Anschließend wurden die Enden des Transferbogens in den äußeren Gehörgang des Patienten eingeführt und die Nasionstütze an der Nasenwurzel des Patienten befestigt. Danach wurde die Bissgabel wieder repositioniert, fixiert und mit Hilfe des Bissgabelträgers mit dem Transferbogen verbunden. Nach Kontrolle des korrekten Sitzes wurden alle Gelenke festgezogen und alles in einem Stück wieder aus dem Patientenmund entfernt. Die Bissgabel und der Bissgabelträger wurden desinfiziert und zum Transport in das zahntechnische Labor verpackt.

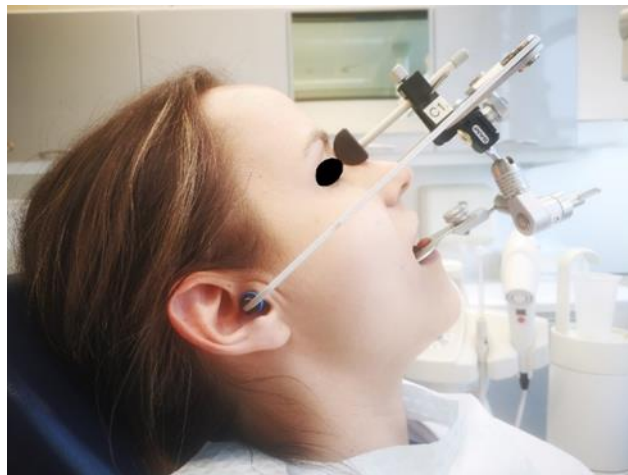


Abbildung 10: Transferbogen SAM angelegt (seitliche Ansicht)

Dort wurden die Modelle angefertigt und unter Zuhilfenahme der Bissgabel und des Bissgabelträgers in den passenden Artikulator (SAM 2PX, SAM Präzisionstechnik GmbH, Gauting, Deutschland) einartikuliert.



Abbildung 11: Modelle im SAM 2PX Artikulator (SAM Präzisionstechnik GmbH) einartikuliert

3.4 Herstellungsarten und -materialien

3.4.1 Herstellung und Material der konventionell tiefgezogenen Schiene mit adjustiertem Aufbiss

Wie in Abschnitt 1.9.1 ausführlich beschrieben, wird nach der Modellherstellung und der Einartikulierung eine Folie über das Modell tiefgezogen. Nach der groben Ausarbeitung wird der Aufbiss auf die Schiene aufgebracht. Im Anschluss wird die Schiene ausgearbeitet und poliert.

Die für die konventionell hergestellten Tiefziehschienen verwendete Tiefziehfolie Erkodur des Herstellers Erkodent besteht aus Polyethylenterephthalatglykol, im folgenden PETG genannt, einem thermoplastischen Kunststoff aus der Gruppe der Polyether. PETG ist ein mit Glykol modifiziertes Polyethylen (PET). Diese Modifikation bewirkt eine besonders hohe Transparenz und Viskosität und gleichzeitig verlängert sich die Beständigkeit des Materials. Im Vergleich zum reinem PET ist es jedoch anfälliger für Kratzer und Schäden durch UV-Strahlung. Insgesamt weist PETG eine hohe Bruchfestigkeit und eine große Formbeständigkeit auf. Die Biegefestigkeit ist vom Hersteller mit 89 MPa und das E-Modul mit 2200 MPa angegeben.

Der Kunststoff FuturaJet transpa (Schütz Dental GmbH, Rosbach, Deutschland) für den adjustierten Aufbiss ist ein Gemisch aus verschiedenen Kunststoffen und Copolymeren. Die Hauptbestandteile sind Methylmethacrylat, Polymethylmethacrylat, Vernetzer, quartäre Ammoniumverbindungen,

Lichtschutzmittel, CU(I)-Salz, Derivate der Barbitursäure und Copolymere. Die genaue Zusammensetzung wird vom Hersteller aus Gründen der Wahrung von Firmengeheimnissen nicht veröffentlicht. Der Aufbiss wird aufgestreut. Die Aushärtung erfolgt durch eine von einem Katalysator initiierte radikalische Polymerisation. Der Start der Reaktion erfolgt ohne weiteren Initiator. Die finale Aushärtung geschieht bei 45°C und einem Druck von 2 bar innerhalb von 15 Minuten in einem Drucktopf. Laut Herstellerangaben liegt die Biegefestigkeit des Materials ca. 95 MPa und das E-Modul bei ca. 2700 MPa.

3.4.2 Herstellung und Materialien der CLEARsplint®-Schiene

Die Schiene wird am Computer modelliert und im Anschluss in der Fräsmaschine aus dem Blank gefräst. Danach wird die Schiene aus dem Blank gelöst, auf die Modelle aufgepasst, ausgearbeitet und poliert.

Das Material der CLEARsplint®-Schiene (CLEARsplint® CAD/CAM pro, Astron Dental Corporation) besteht aus zwei Komponenten, einer Flüssigkeit aus 2-Ethoxyethylmethacrylat (EEMA) und einem Pulver mit dem Hauptbestandteil Ethylmethacrylat-Copolymer (EMA).

Die Synthetisierung erfolgt durch radikalische Polymerisation. Dabei entsteht ein thermoplastisches PMMA. Bei thermoplastischen Kunststoffen handelt es sich um Kunststoffe, die nach Erhitzen unter Druck verformbar sind. Diese Art von Kunststoffen benötigt keine Katalysatorsysteme. Dadurch enthält sie nach Beendigung der Reaktion wenig bis kein Restmonomer und ist sehr biokompatibel. Die Biegefestigkeit des auspolymerisierten Stoffes beträgt laut Herstellerangaben 105 MPa, das E-Modul liegt bei 3300 MPa.

3.4.3 Herstellung und Material des 3D-gedruckten Aufbissbehelfes

Nach Herstellung und Scan der Modelle erfolgt Modellation der 3D-gedruckten Schiene am Computer. Im Anschluss wird das Aufbissbehelf im Schichtverfahren im 3D-Drucker ausgedruckt. Nach der Ablösung von der Trägerschablone erfolgt eine Nachpolymerisation und im Anschluss die Ausarbeitung und Vorpolutur.

Anders als bei den konventionell tiefgezogenen Schienen und den CLEARsplint®- Schienen besteht das Material der 3D – gedruckten Schiene nicht aus einem Kunststoffgemisch, sondern aus einem Acrylharz. Das hier

verwendete Material ist das VarseoWax Splint (Firma BEGO Bremer Goldschlägerei Wilh. Herbst GmbH & Co KG). Es ist im unpolymerisiertem Zustand viskös und transparent. Das Gemisch besteht aus Methacrylsäure, Monoester mit Propan-1,2-diol, 2-Hydroxyethylmethacrylat und Diphenyl(2,4,6-triethylbenzoyl)phosphinoxid. Die Lagerung dieses Stoffes muss unter komplettem Lichtausschluss stattfinden, da es sonst durch Lichteinfall zur Aktivierung der Polymerisationsreaktion und somit zur Aushärtung des Materials kommt. Diese Art der Polymerisationsreaktion nennt man photochemische Reaktion. Im auspolymerisierten Zustand hat das Material laut Herstellerangaben eine Biegefestigkeit von ≥ 50 MPa und ein E-Modul von ≥ 1500 MPa.

3.5 Fertigstellung des Aufbissbehelfs im hauseigenen Labor

Nach der Herstellung im externen Labor kamen die Schienen ohne Hinweis über die Art der Herstellung zurück.

Zu Beginn wurde die Schiene auf unangenehme Gerüche hin überprüft und anschließend die basale Passung am Modell kontrolliert und gegebenenfalls angepasst. Bei der Beurteilung der basalen Passung wurde unter anderem auf ein komplettes Aufsitzen der Schiene auf dem Modell und auf einen kippfreien Sitz geachtet. Die Bewertung erfolgte in fünf Stufen nach den Kriterien sehr gut, gut, mäßig, schlecht und sehr schlecht aus Sicht des Behandlers.

Im Anschluss folgte die Testung der statischen Okklusion im Artikulator mittels schwarzer Okklusionsfolie. Ziel war eine gleichmäßige Okklusion auf beiden Seiten mit je einem Kontaktpunkt auf den Prämolaren und Molaren. Die Zeit von Beginn der Okklusionskontrolle bis zum Erreichen der Zielsetzung wurde gestoppt und notiert, um später Rückschlüsse auf die okklusale Passgenauigkeit der jeweiligen Herstellungsart ziehen zu können.

Nach Fertigstellung wurden alle Schienen mit Bimsstein und anschließend mit einer Polierpaste (Universal Polishing Paste, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) bei 1500 – 3000 Umdrehungen pro Minute poliert und das Endergebnis beurteilt (sehr gut bis sehr schlecht).

Auffälligkeiten in Bezug auf Farbe, Qualität des Herstellungsmaterials etc. wurden gesondert notiert.

Die Ergebnisse wurden im Kontrollbogen Labor festgehalten (Anhang 4).

3.6 Eingliederung des Aufbissbehelfs

Bei der Eingliederung beurteilte der Proband die Schiene subjektiv nach der primären Passung (sehr gut bis sehr schlecht) und ob ein unangenehmer Geschmack vorhanden war. Daraufhin folgte die Einschätzung der Passgenauigkeit durch den Behandler (sehr gut bis sehr schlecht). Auffälligkeiten im Sitz wie Kippungen oder Spannungen im Zahnbogen wurden im Kontrollbogen festgehalten. Gegebenenfalls wurden Korrekturen in der Passung vorgenommen.

Nach Aufpassung am Patienten wurde die Okklusion mit Okklusionsfolie überprüft und bei Bedarf angepasst. Die dafür benötigte Zeit wurde ebenfalls gemessen und notiert. Im Anschluss wurde die Okklusion der Schiene fotografiert, um den genauen Sitz der Kontaktpunkte zu dokumentieren. Hierbei wurde auch die Dicke des Aufbissbehelfs an den Regionen 46, 36, 44 und 34 festgehalten, um die Abrasion im Verlauf beurteilen zu können.



Abbildung 12: Okklusion nach Einschleifen

Der Proband wurde anschließend über die Handhabung und Tragedauer des Aufbissbehelfes aufgeklärt. Die Tragedauer sollte mindestens die Nachtruhe (8 h täglich) betragen und gegebenenfalls Eingliederung in stressigen zu Bruxismus neigenden Situationen wie Lernen, Sport etc. beinhalten. Der Patient wurde dazu motiviert, diese Tragedauer zur Vergleichbarkeit korrekt einzuhalten.

Zur Kontrolle wurde ein Termin nach 3-monatiger Tragezeit vereinbart. Bei Problemen oder Beschwerden sollte sich der Proband melden.

Die gewonnenen Daten wurden im Kontrollbogen Eingliederung festgehalten (Anhang 5).

3.7 Kontrolle bei Beschwerden

Musste die Okklusion innerhalb der ersten drei Monate erneut korrigiert werden, wurde dies auf dem Eingliederungsbogen inklusive der dafür benötigten Zeit vermerkt.

Kam es innerhalb der ersten drei Monate Tragezeit zu einem Bruch der Schiene, wurde dies ebenfalls notiert.

3.8 Kontrolle nach 3 Monaten

Zur Reevaluation wurde der Patient nach drei Monaten einbestellt. Die Toleranz betrug ± 1 Woche ausgehend vom Datum der Eingliederung.

In dieser Sitzung wurde der Teilnehmer nach Veränderungen im Tragekomfort und nach Veränderungen im Geruch bzw. Geschmack der Schiene befragt. Der Proband sollte angeben, ob sich seine stomatognathe Situation verbessert oder verschlechtert hatte oder ob er keine Änderung feststellen konnte.

Darüber hinaus wurde das Aufbissbehelf auf Verfärbungen, Risse und Absplitterungen hin untersucht. Bei Auffälligkeiten wurden diese mit der Region des Auftretens und dem Grad der Veränderung festgehalten. Im Anschluss wurde die statische Okklusion erneut überprüft und mit Okklusionsfolie angezeichnet. Zu Vergleichszwecken wurde erneut ein Foto angefertigt. Im Anschluss wurde falls nötig der Biss eingeschliffen und die benötigte Zeit gemessen und notiert. Danach wurde ein weiteres Foto mit angezeichneten Kontaktpunkten gemacht.

Unter Zuhilfenahme des Fotos aus der Eingliederungssitzung (Schiene mit angezeichneten Kontaktpunkten nach Einschleifen der Okklusion) wurde erneut die Dicke der Schienen an genau den gleichen Stellen gemessen. Diese zwei Messungen dienen dem Einschätzen der Abrasionsbeständigkeit der jeweiligen Herstellungsart.

Mit Beendigung dieser Sitzung war die Studie für den jeweiligen Probanden abgeschlossen.

3.9 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten aus den Anamnese- und Kontrollbögen wurden im ersten Schritt deskriptiv ausgewertet.

Um eine Aussage über die Zusammenhänge der gesammelten Daten treffen zu können, wurden die gewonnenen Daten auf Normalverteilung getestet. Die nicht normal verteilten Daten wurden mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Tests analysiert (signifikant, wenn $p < 0,05$; p zwischen $0,05 < p < 0,1$ Tendenz zur Signifikanz; nicht signifikant, wenn $p > 0,1$). Auf Basis dieses Testes lassen sich Rückschlüsse bezüglich der positiven oder negativen Korrelation der überprüften Daten zueinander ziehen. Die statistische Auswertung wurde mit Hilfe einer Statistik-Software vorgenommen (IBM SPSS Statistics, Version 28.0.0.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

4 Ergebnisse

Zu Anfang werden allgemeine Parameter der Studie wie Gesamtteilnehmer, Teilnehmer der einzelnen Gruppen, Geschlechterverteilung und ähnliches dargestellt.

Dann folgt die Darstellung der Ergebnisse der einzelnen Fragebögen (Anamnese-, Labor-, Eingliederung- und Kontrollbogen) inklusive ausgewählter graphischer Darstellungen.

Im kumulativen Teil werden verschiedene Parameter miteinander verglichen und die Ergebnisse interpretiert.

4.1 Deskriptive Ergebnisse der klinischen Untersuchung

An dieser Studie haben insgesamt 71 Probanden teilgenommen. Aus verschiedenen Gründen haben die Studie 12 Probanden ($\cong 16,9\%$) nicht beendet. Die Studie vollständig beendet haben 59 Teilnehmer ($N = 59$). Ausfallgründe waren hierbei Nichterscheinen zu Kontrolle (4 Probanden), unvollständige Datensätze (6 Teilnehmer) und andere Gründe (2 Teilnehmer).

Von 59 Probanden konnten vollständige Datensätze generiert werden. Von den 59 Teilnehmern mit vollständigen Datensätzen waren 22 Teilnehmer männlichen und 37 Teilnehmer weiblichen Geschlechts. Die Aufteilung der Teilnehmer auf die drei Gruppen erfolgte per Randomisierung. Der Gruppe, die Tiefziehschienen mit adjustiertem Aufbiss bekamen, gehörten 19 Teilnehmer an. In der Gruppe der CAD/CAM-gefrästen Schienen befanden sich 18 Teilnehmer und zur Gruppe der 3D-gedruckten Schienen gehörten 22 Teilnehmer (Abbildung 13).

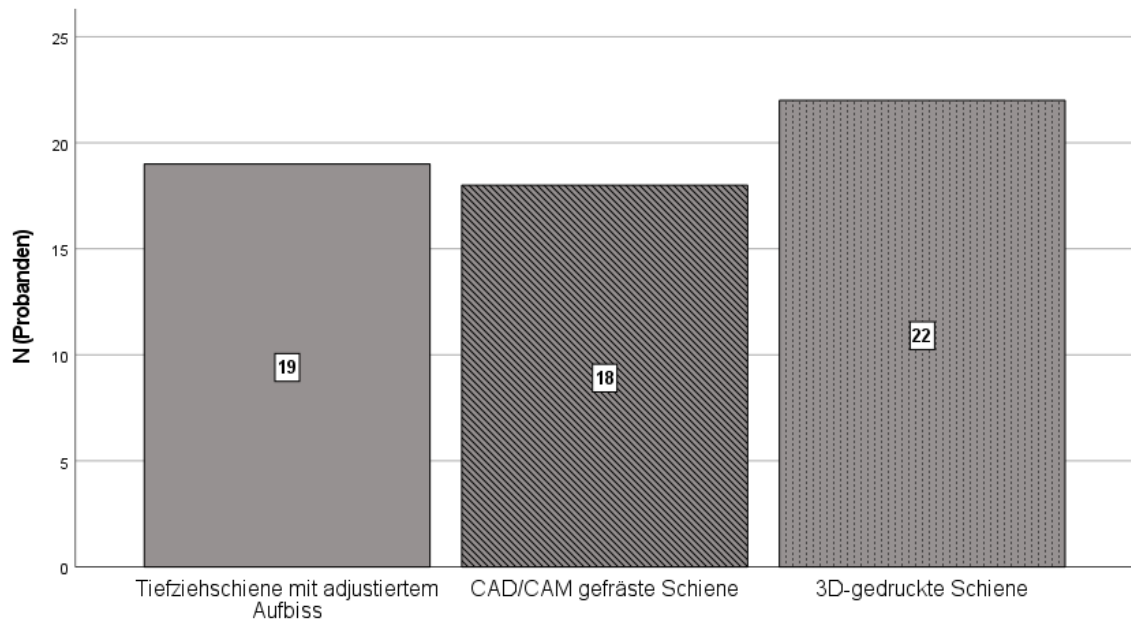


Abbildung 13: Teilnehmeranzahl nach Gruppen

4.1.1 Deskriptive Ergebnisse der Anamnesebögen

Die Daten wurden mittels eines eigens für die Studie entworfenen Anamnesebogens erhoben, der vom Patienten persönlich auszufüllen war (Anhang 3). Stomatognathe Vorerkrankungen (Bruxismus, CMD) innerhalb der Familie waren 6 Probanden bekannt (Abbildung 14). Allergien lagen bei insgesamt 3 Teilnehmern vor, jedoch betraf dies keine für die Studie relevanten Allergien gegen zahnärztliche Materialien oder Medikamente.

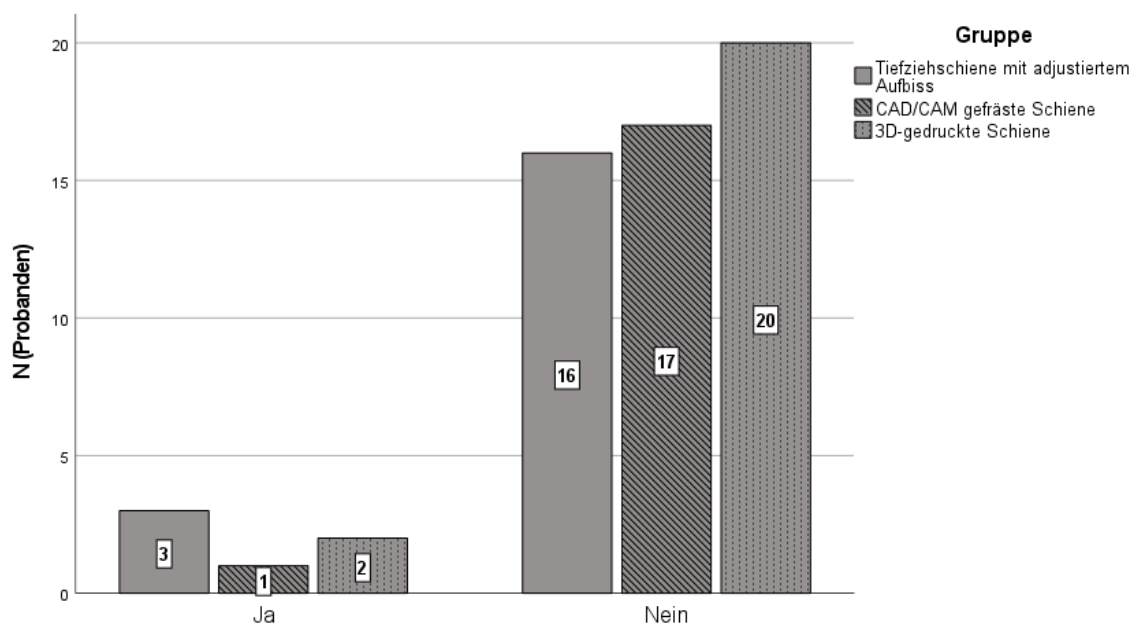


Abbildung 14: Vorerkrankungen des stomatognathen Systems innerhalb der Familie

Darüber hinaus wurden die Patienten nach ihrem aktuellen individuell empfundenen Stresslevel in % befragt. Diesen sollten sie auf einer geeichten Skala zwischen 0% und 100% ankreuzen, wobei 0% keinen Stress und 100% extremer Stress bedeutete. Der Mittelwert betrug dabei $58,76\% \pm 21,93\%$ (Abbildung 15).

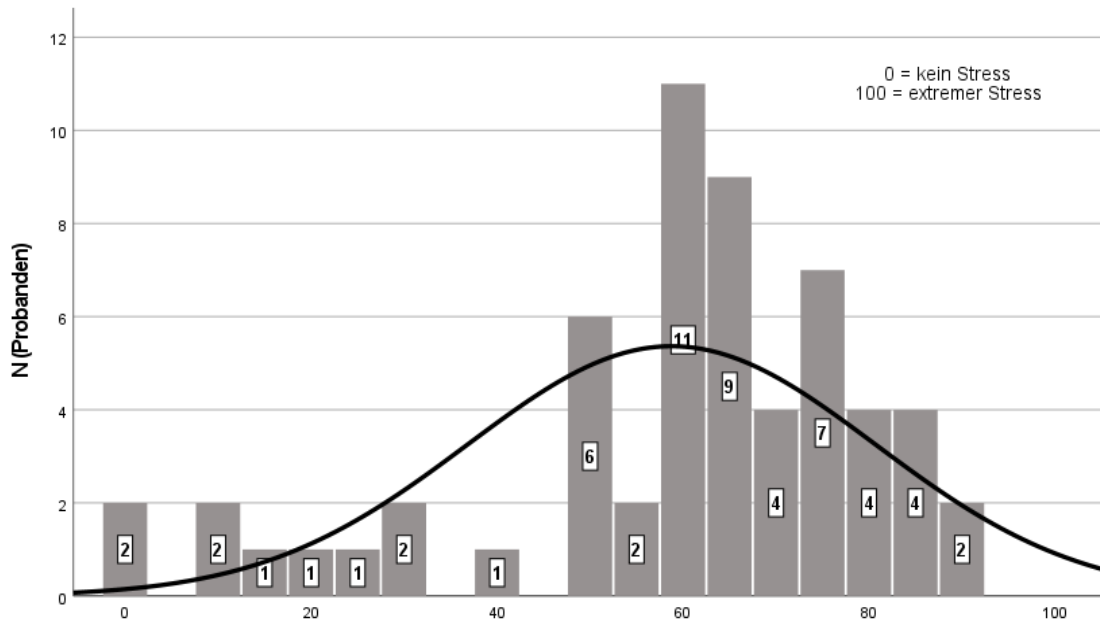


Abbildung 15: Stresslevel zu Beginn der Studie in % (gesamt)

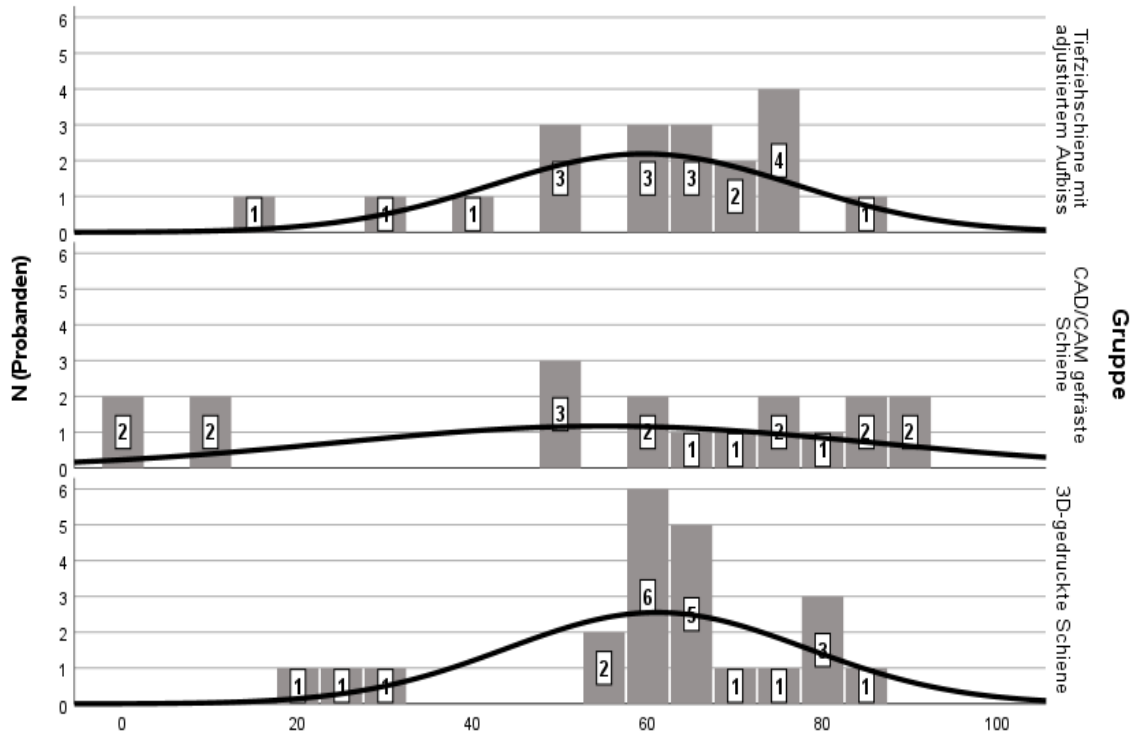


Abbildung 16: Stresslevel zu Beginn der Studie in % (nach Gruppen)

Akute Schmerzen im Bereich des stomatognathen Systems gaben insgesamt 32 Patienten an, was einer Quote von 54,2% der Teilnehmer entspricht (Abbildung 17). Hierbei wurde die Hälfte der Probanden schon mal in der Vergangenheit mittels Aufbissbehelf therapiert. Pressen bzw. Knirschen in der Vergangenheit waren insgesamt 55 Teilnehmern bekannt, nur 4 Probanden gaben an, dass ihnen dieses Verhalten in der Vergangenheit noch nicht aufgefallen war (Abbildung 18).

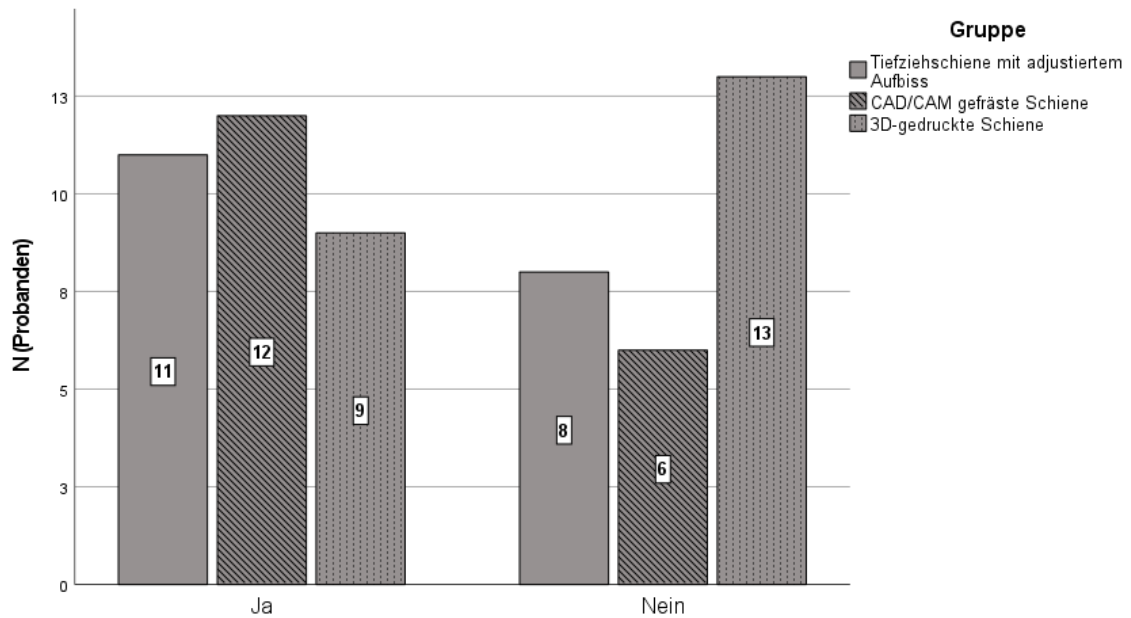


Abbildung 17: akute Beschwerden zu Beginn der Studie

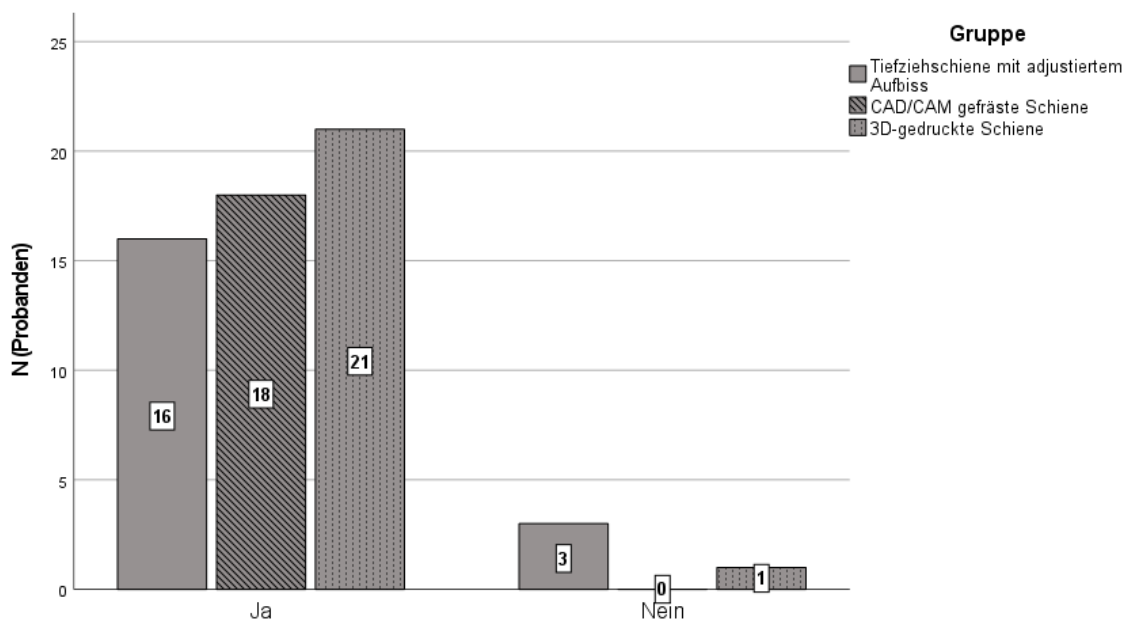


Abbildung 18: Pressen / Knirschen bekannt

Bei 27 Teilnehmern fand in der Vergangenheit eine Behandlung mittels Okklusionsschiene statt. Der Zeitpunkt der letzten Schienentherapie lag im Mittelwert $3,9 \pm 3,0$ Jahre zurück. Bei der Frage nach der akuten und vergangenen Intensität der Beschwerden gaben 8 Patienten starke Probleme, 27 Patienten mäßige Probleme, 16 Probanden wenig Probleme und 8 Patienten keine Probleme an (Abbildung 19). Extreme Probleme mit dem stomatognathen System hatte keiner der Studienteilnehmer.

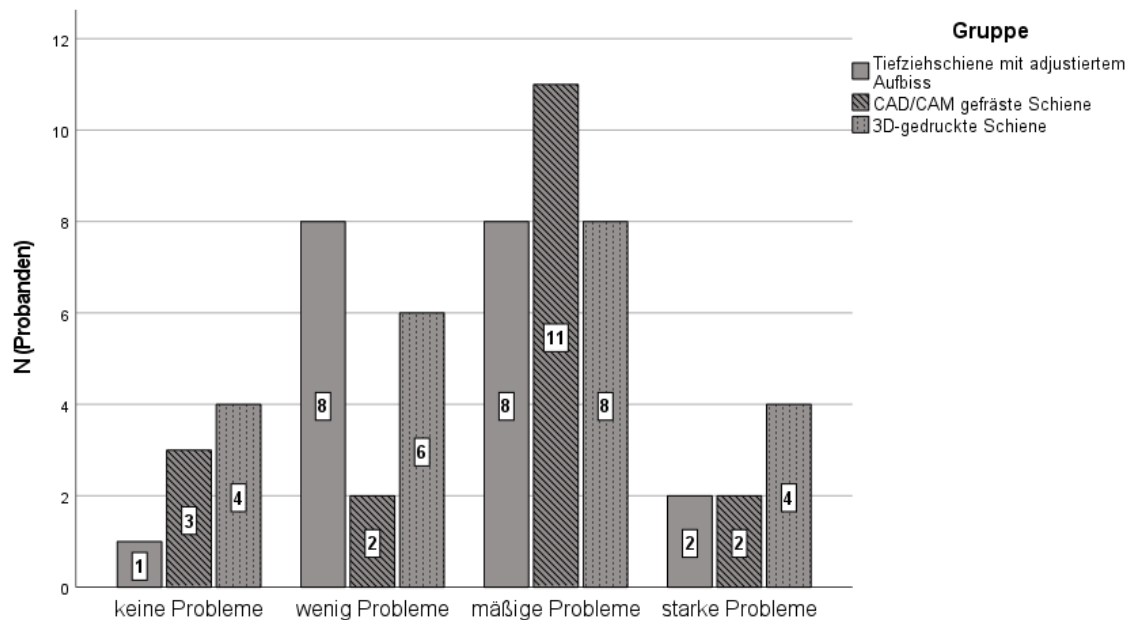


Abbildung 19: Intensität der Probleme

4.1.2 Deskriptive Ergebnisse der Laborbögen

Nach der Herstellung der Schienen im externen zahntechnischen Labor wurden die Schienen hinsichtlich mehrerer Parameter im Hauslabor untersucht.

Zuerst wurden die Schienen auf auffallende Geruchsentwicklung hin geprüft. Bei insgesamt 18 Schienen fiel ein Geruch auf. Davon fielen 14 Schienen in die Gruppe der CAD/CAM gefrästen Schienen und 4 Schienen gehörten zur Gruppe der Tiefziehschienen mit adjustiertem Aufbiss. In der Gruppe der 3D-gedruckten Schienen fiel bei keiner der Schienen ein Geruch auf (Abbildung 20).

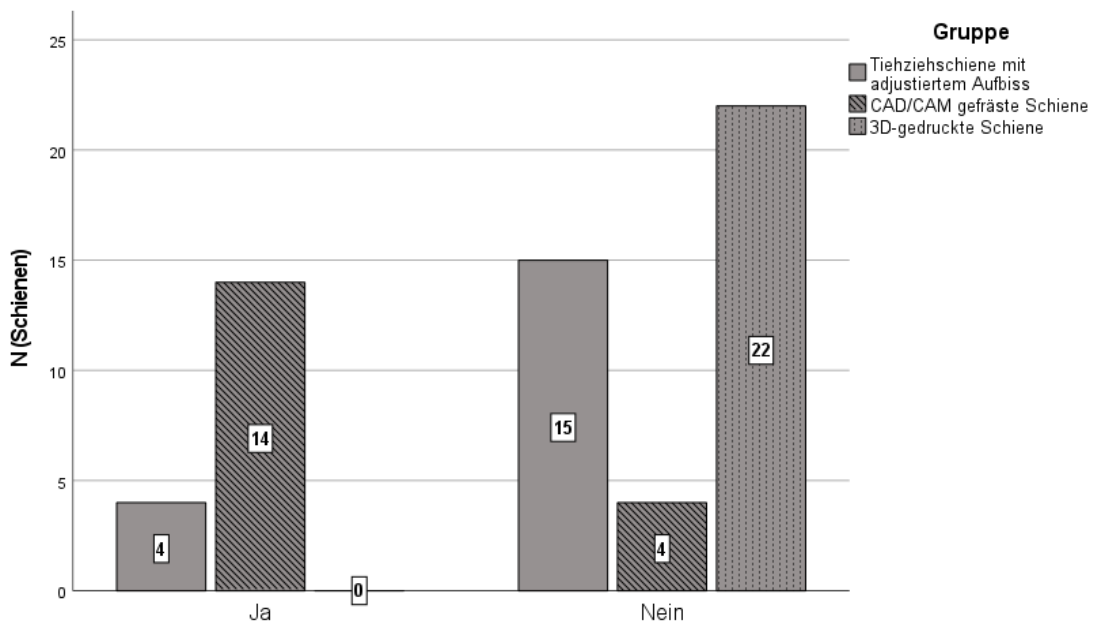


Abbildung 20: Geruch der Schienen

Die Beurteilung der Passung auf dem Modell erfolgte objektiv und zeigte sich im Durchschnitt als gut, wobei die meisten Schienen mit einer sehr guten Passung zur Gruppe der CAD/CAM gefrästen Schienen gehörten. Die genaue Verteilung bezogen auf die Gruppen ist in Abbildung 21 dargestellt.

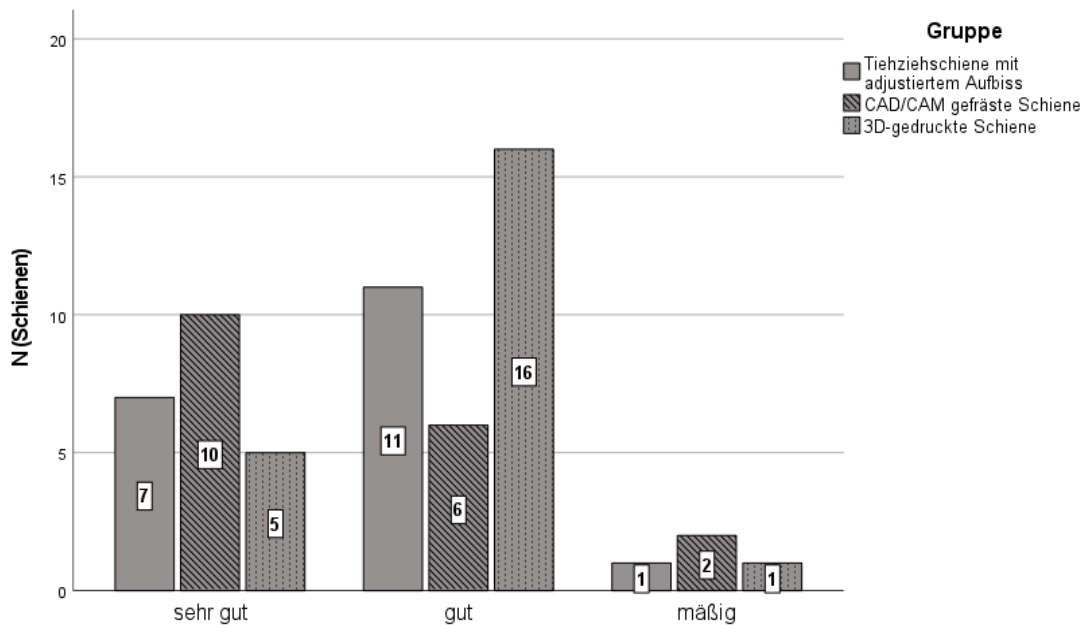


Abbildung 21: basale Passung am Modell

Die allgemeine Begutachtung der Schienen hinsichtlich ihrer individuellen Eigenschaften (Opazität, Farbe, Oberflächenbeschaffenheit, Flexibilität, Auffälligkeiten der Okklusion im Artikulator (SAM 2PX) vor dem Einschleifen)

erfolgte im Anschluss. Dabei ergab sich folgendes Bild: Keine Auffälligkeiten zeigten insgesamt nur 1 Schiene, 25 Schienen zeigten eine leichte Opazität, 19 Schienen wiesen eine gelbgraue Färbung auf, eine dezente Flexibilität zeigten 8 Schienen, 29 Schienen wurden als starr empfunden. Bei 1 Schiene fiel ein Vorschub beim Schließen der Modelle im Artikulator (SAM 2PX) auf und 30 Schienen hatten einen einzelnen punktförmigen Frühkontakt bei der ersten Begutachtung der Statik im Artikulator (SAM 2PX). Die Verteilung auf die einzelnen Gruppen ist in Abbildung 22 dargestellt.

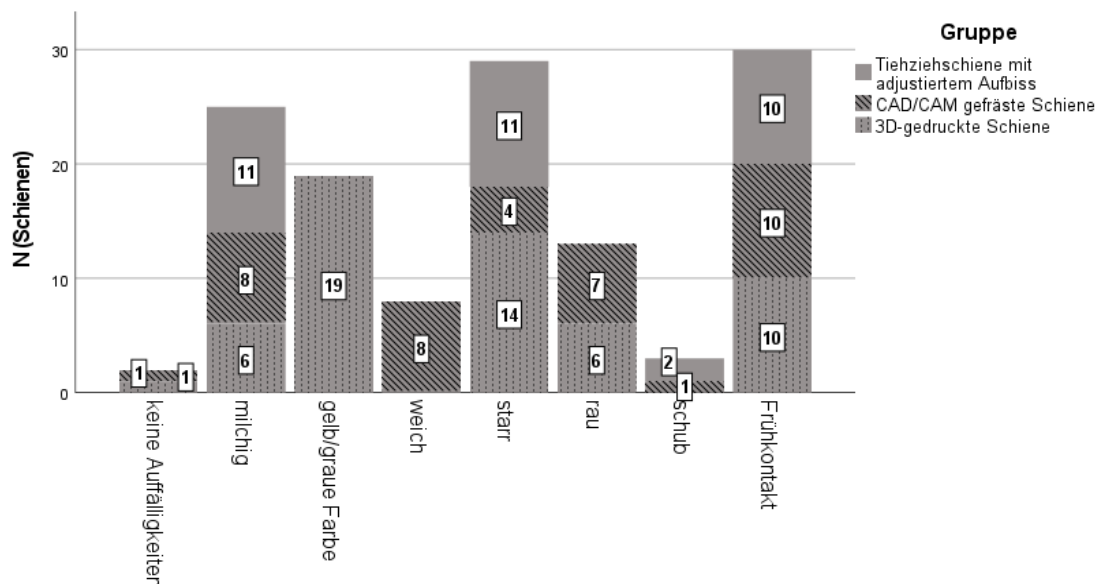


Abbildung 22: Schieneneigenschaften

Nach der Begutachtung des Geruchs, der Eigenschaften und der Passung wurde die statische Okklusion im Artikulator (SAM 2PX, SAM Präzisionstechnik GmbH, Gauting, Deutschland) eingeschliffen. Ziel war die Herstellung gleichmäßiger statischer Kontakte im Seitenzahnbereich mit jeweils einem Kontaktpunkt pro Zahn (Stützhöcker der Oberkieferseitenzähne). Kontrolliert wurde der Vorgang mittels Okklusions- und Shimstockfolie. Dabei wurde die Zeit von Beginn des Einschleifens bis zum Erreichen des Endergebnisses gemessen. Bei Gruppe 1 (Tiefziehschiene mit adjustiertem Aufbiss) ergab sich dabei ein Mittelwert von 9,66 min ± 6,89 min. Gruppe 2 (CAD/CAM gefräste Schiene) hatte einen Mittelwert von 5,42 min ± 3,37 min. Bei Gruppe 3 (3D-gedruckte Schiene) ergab sich ein Mittelwert von 5,56 min ± 2,89 min (Abbildung 23).

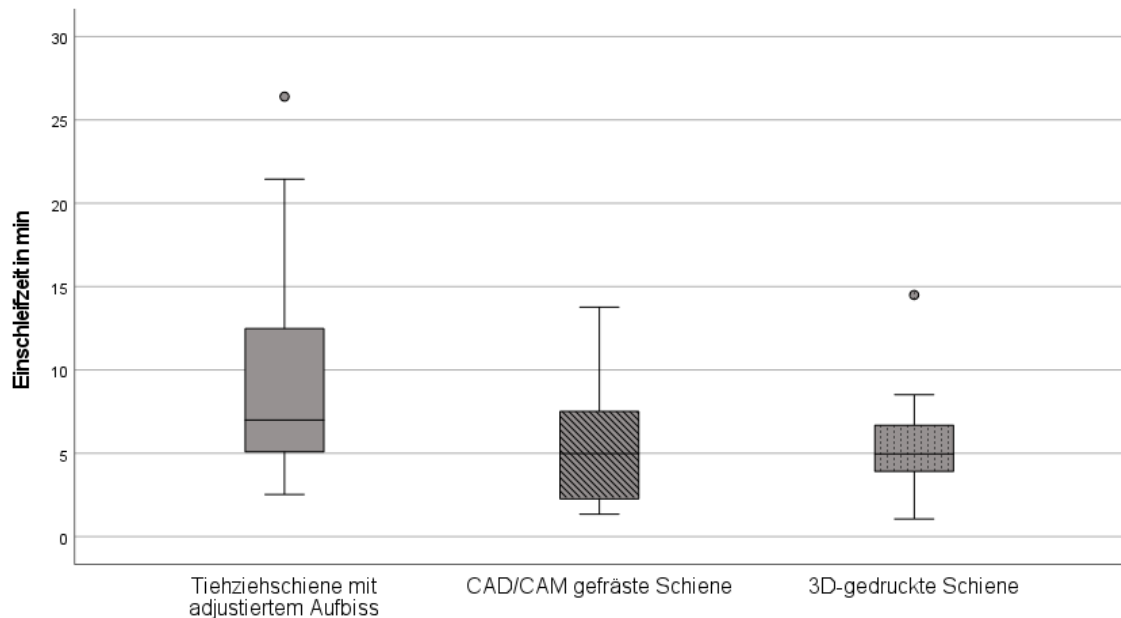


Abbildung 23: Einschleifzeit in min

Die Einschätzung der Qualität der Politur erfolgte am Schluss. Hierbei wurde optisch beurteilt, wie gut die Schiene auf Hochglanz zu polieren war. 13 Schienen der Gruppe „Tiefziehschienen mit adjustiertem Aufbiss“ erreichte eine sehr gute Hochglanzpolitur, dies entspricht 68,42% aller Schienen dieser Gruppe. 3 Schienen der Gruppe „CAD/CAM-gefräst“ erreichten ebenfalls eine sehr gute Hochglanzpolitur ($\hat{=} 15,8\%$ aller Schienen der Gruppe). Die Qualität der Politur „sehr gut“ erreichte keine Schiene der Gruppe 3D-gedruckte Schienen. Insgesamt konnte Gruppe 3 (3D-gedruckte Schiene) im Schnitt nur eine mäßige Politur erreichen (14 Schienen $\hat{=} 63,64\%$ aller Schienen dieser Gruppe). Gruppe 2 (CAD/CAM gefräste Schiene) erreichte bei 77,78% der Schienen dieser Gruppe ($\hat{=} 14$ Schienen) eine gute Hochglanzpolitur (Abbildung 24).

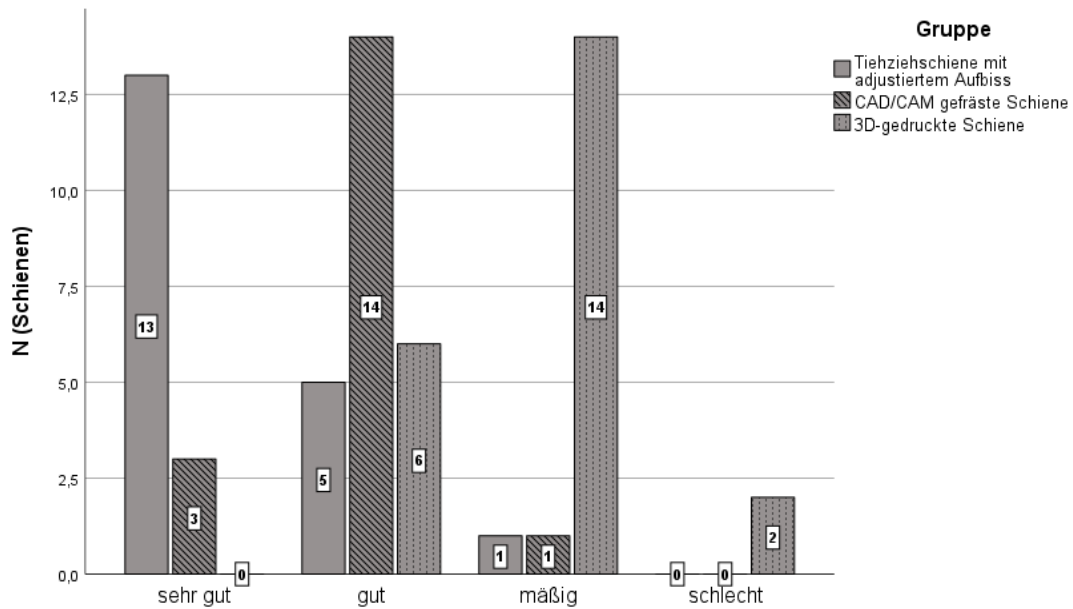


Abbildung 24: Beurteilung der Polierbarkeit

4.1.3 Deskriptive Ergebnisse der Eingliederungsbögen

Zu Beginn des Eingliederungstermins wurden die Patienten erneut mittels eines eigens für die Studie entworfenen Fragebogen befragt.

Nach der Eingliederung der Schiene wurden die Patienten befragt, ob ihnen ein unangenehmer Geschmack auffällt. Nur insgesamt 6 Teilnehmer haben einen unangenehmen Geschmack bemerkt (4 Teilnehmer der Gruppe „CAD/CAM gefräste Schiene“, 2 Teilnehmer Gruppe „3D-gedruckte Schiene“) (Abbildung 25). Die Passung der Schiene wurde von den meisten Patienten als gut bis sehr gut beurteilt (Abbildung 26).

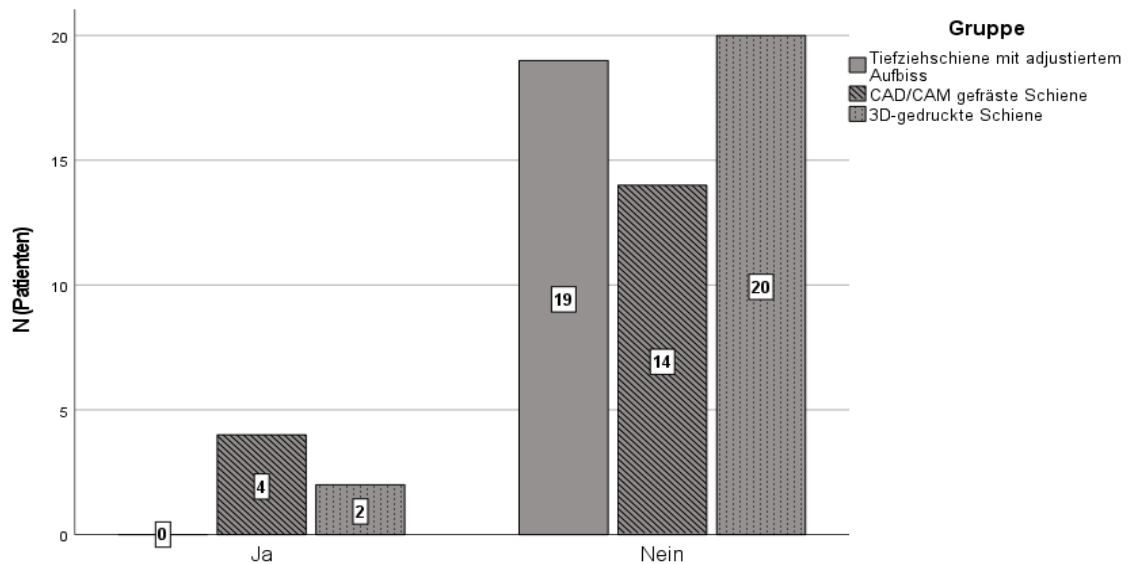


Abbildung 25: auffälliger Geschmack

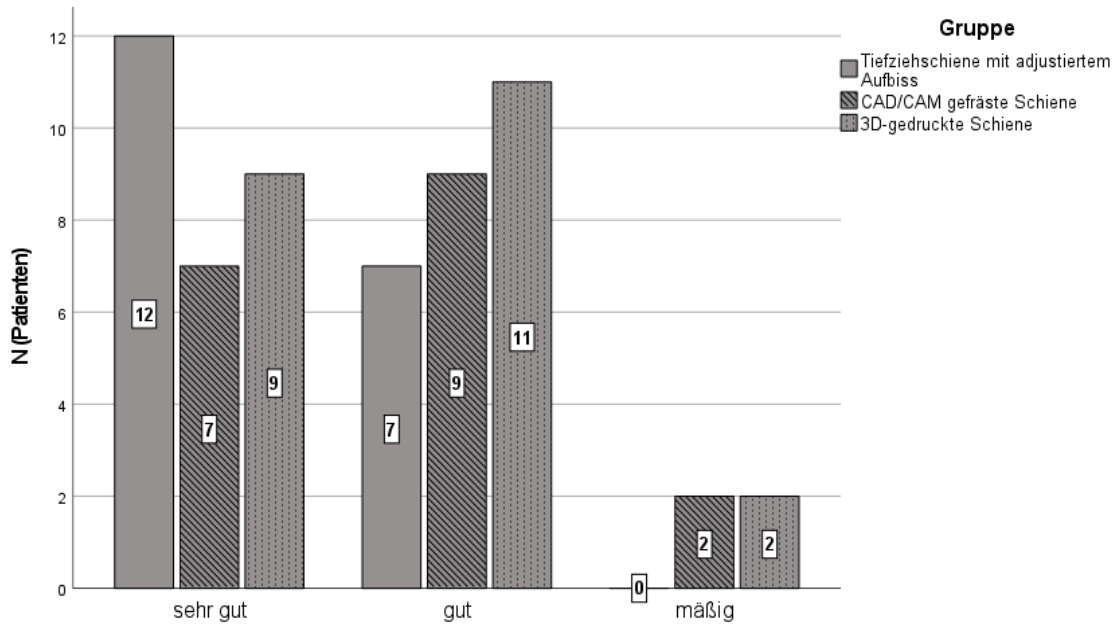


Abbildung 26: Schienenpassung aus Sicht des Patienten

Die Passung aus Sicht des Behandlers ist im Vergleich dazu in Abbildung 27 dargestellt.

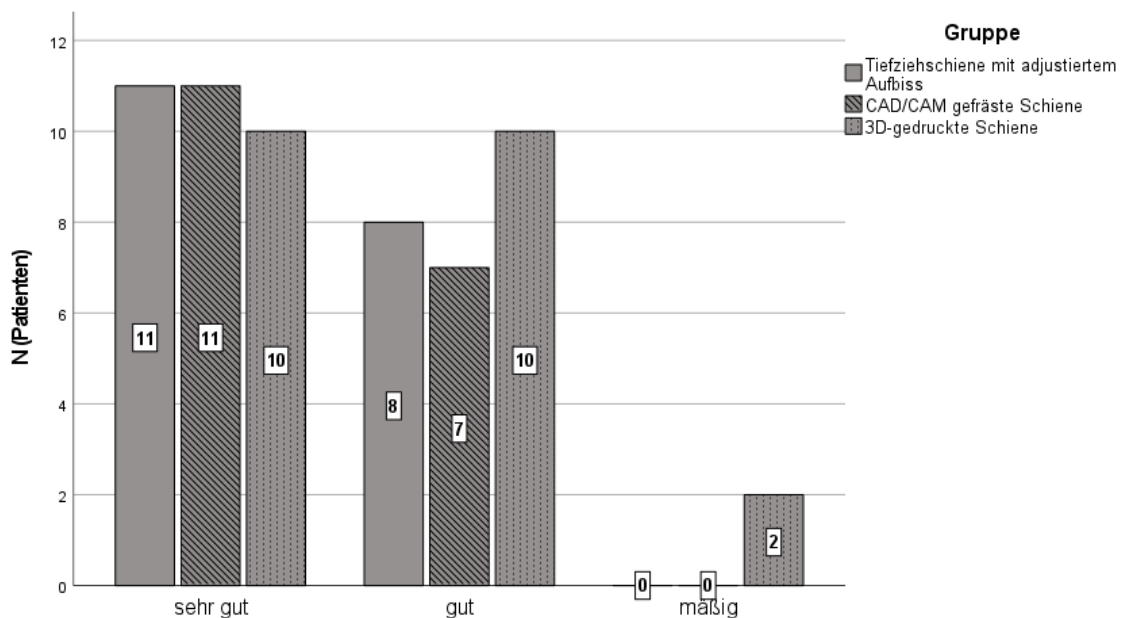


Abbildung 27: Schienenpassung aus Sicht des Behandlers

Im Anschluss wurde die statische und dynamische Okklusion überprüft und bei Bedarf eingeschliffen. Nur bei einer Schiene (CAD/CAM gefräst) war keine Anpassung der Okklusion nötig. Bei den Schienen, bei denen eine Korrektur der Okklusion nötig war, wurde die Einschleifdauer dokumentiert. Bei Gruppe 1 (Tiefziehschiene mit adjustiertem Aufbiss) ergab sich ein Mittelwert von 7,44 min \pm 4,34 min, bei Gruppe 2 (CAD/CAM gefräst) ein Mittelwert von 5,11 min \pm 3,89

min und bei Gruppe 3 (3D-gedruckt) ein Mittelwert von 6,09 min \pm 5,23 min (Abbildung 28). Ziel war hierbei eine gleichmäßige statische Okklusion mit Kontakten an allen Zähnen im Seitenzahnbereich und das Ausschalten von störenden dynamischen Kontakten.

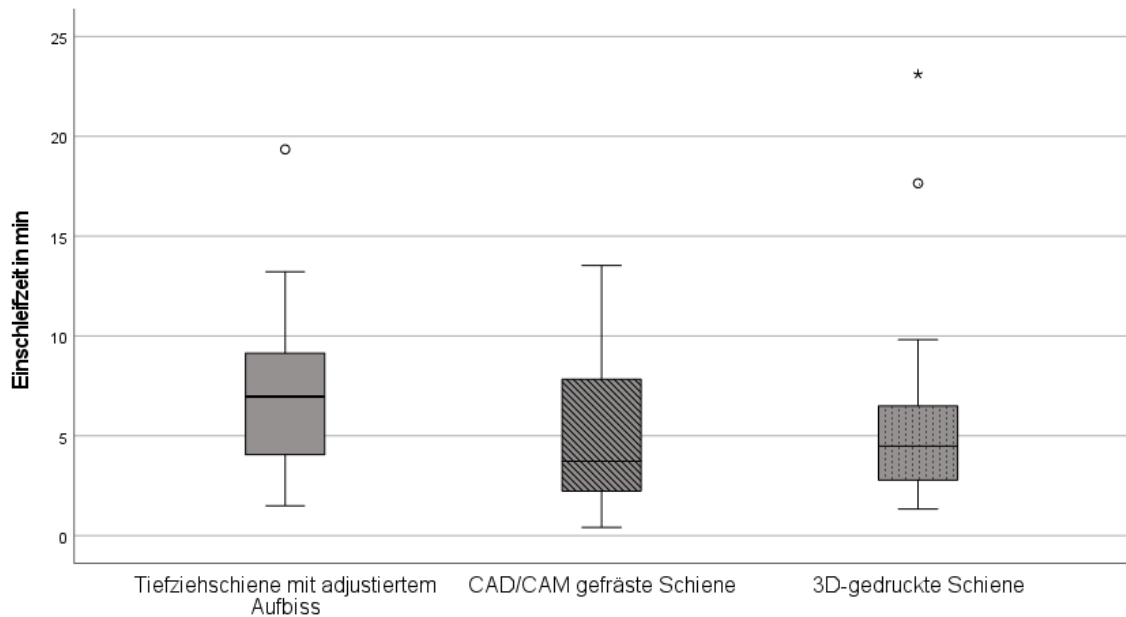


Abbildung 28: Einschleifzeit in min (Eingliederungssitzung)

Nach dem Einschleifen wurden die statischen Kontakte mittel Okklusionsfolie angefärbt und zu Dokumentationszwecken und zur besseren Vergleichbarkeit ein Foto gemacht. Anschließend wurde die Dicke der Schiene an den Kontaktpunkten regio 36, 46, 34 und 44 mittels Tasterzirkel gemessen. Die Messtoleranz beträgt hier 0,25mm. Die Dicke wurde dokumentiert, um im späteren Verlauf Rückschlüsse auf die Abrasionsbeständigkeit der Schienen bei erneuter Messung ziehen zu können. Die Mittelwerte inklusive Standardabweichung und Median sind in Tabelle 3 dargestellt.

Gruppe		Regio 46	Regio 36	Regio 44	Regio 34	durchschnittliche Schienendicke gesamt (mm)
Tiefziehschiene mit adjustiertem Aufbiss	Mittelwert	1,91	2,03	2,37	2,06	2,09
	N	19	19	19	19	
	Std.-Abweichung	0,55	0,46	0,65	0,59	
CAD/CAM gefräste Schienen	Mittelwert	2,11	2,32	2,21	2,26	2,22
	N	18	18	18	18	
	Std.-Abweichung	0,53	0,53	0,76	0,75	
3D-gedruckte Schienen	Mittelwert	2,37	2,35	2,34	2,76	2,46
	N	22	22	22	22	
	Std.-Abweichung	0,53	0,54	0,60	0,79	
Insgesamt	Mittelwert	2,14	2,24	2,31	2,38	2,27
	N	59	59	59	59	
	Std.-Abweichung	0,56	0,52	0,66	0,77	

Tabelle 3: Schienendicke in mm an verschiedenen Regionen nach dem Einschleifen (Eingliederungssitzung)

4.1.4 Deskriptive Ergebnisse der Kontrollbögen

Nach 3 Monaten mit einer Karenzzeit von \pm 1 Woche wurden die Probanden erneut zur Kontrolle einbestellt. Hierbei konnten noch 53 Fragebögen ausgewertet werden.

Innerhalb der 3-monatigen Tragezeit sind insgesamt 6 Schienen gebrochen (\cong 10,17 %). Hierbei stammten 5 Schienen aus der Gruppe der 3D-gedruckten Schienen und 1 Schiene aus der Gruppe der CAD/CAM-gefrästen Schienen (Abbildung 29). Diese Patienten wurden nicht mehr zur 3-monatigen Kontrolluntersuchung einbestellt.

Somit konnten noch 53 Patienten zur Kontrolluntersuchung kommen ($N_{\text{neu}} = 53$).

Einer der Patienten konnte innerhalb seiner Tragezeit eine Geruchsentwicklung an seiner Schiene (Gruppe 3D-gedruckt) feststellen.

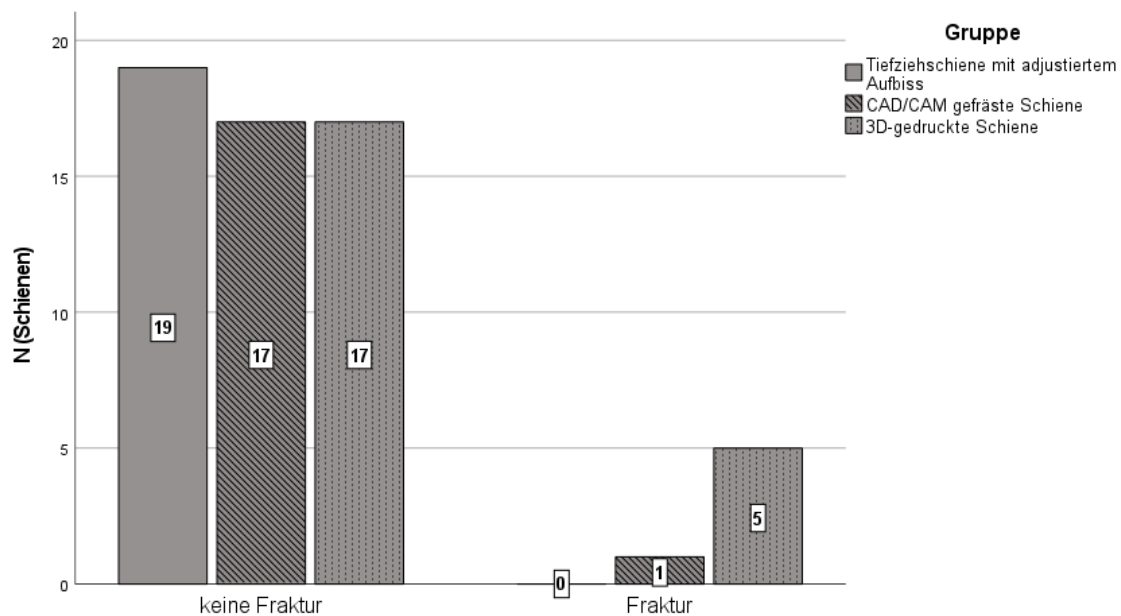


Abbildung 29: Schienenfrakturen innerhalb der 3-monatigen Tragezeit

Mit der Handhabung kamen die meisten Probanden sehr gut zurecht (Abbildung 30). Auch die Reinigbarkeit beurteilten die meisten Probanden mit „sehr gut“ (Abbildung 31). Die Probanden gaben ebenfalls wieder ihren aktuellen Stresslevel an. Dieser lag im Mittel bei 60,34 % \pm 25,29 % (Abbildung 32). Insgesamt gaben 20 Patienten an, dass sie eine Verbesserung ihrer Situation bemerkt hätten (\cong 37,74 %). Dabei stammten 9 Patienten aus der Gruppe der Tiefziehschienen, 5 Patienten hatten CAD/CAM gefräste und 6 Teilnehmer 3D-gedruckte Schienen. Innerhalb der Gruppe der Tiefziehschienen gaben 47,37% der Probanden an, eine Verbesserung ihrer stomatognathen Situation bemerkt zu haben. Nur 2 Patienten gaben an, dass sich ihre stomatognathe Situation verschlechtert habe (beide Teilnehmer aus der Gruppe der 3D-gedruckten Schienen). 31 Probanden konnten keine Veränderung feststellen (\cong 58,49%) (Abbildung 34).

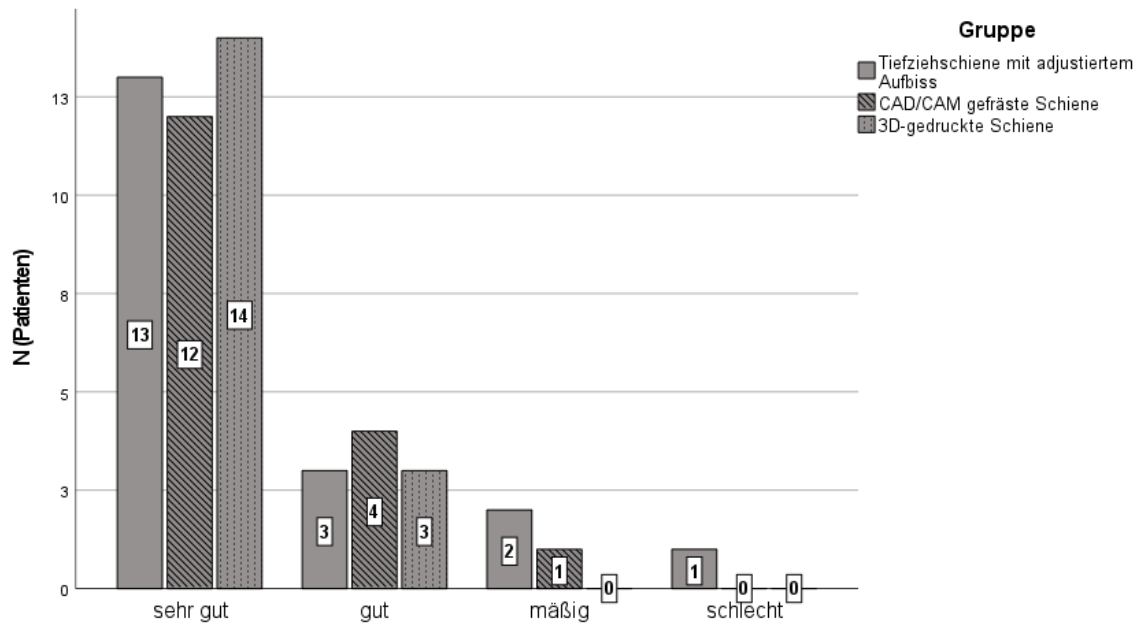


Abbildung 30: Handhabung aus Sicht der Patienten

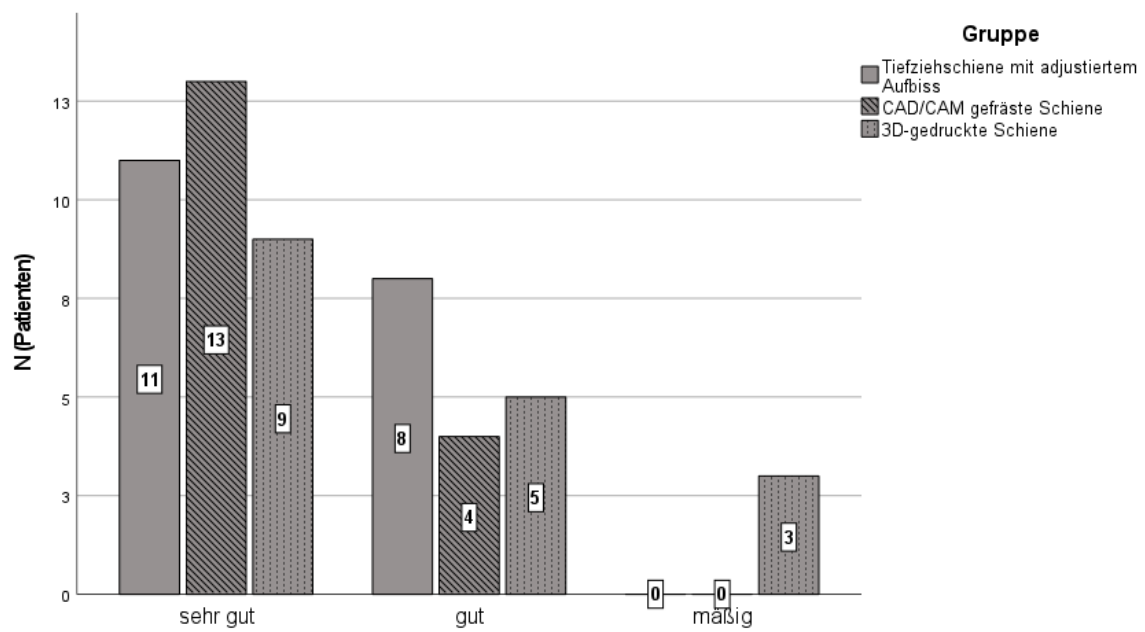


Abbildung 31: Reinigbarkeit

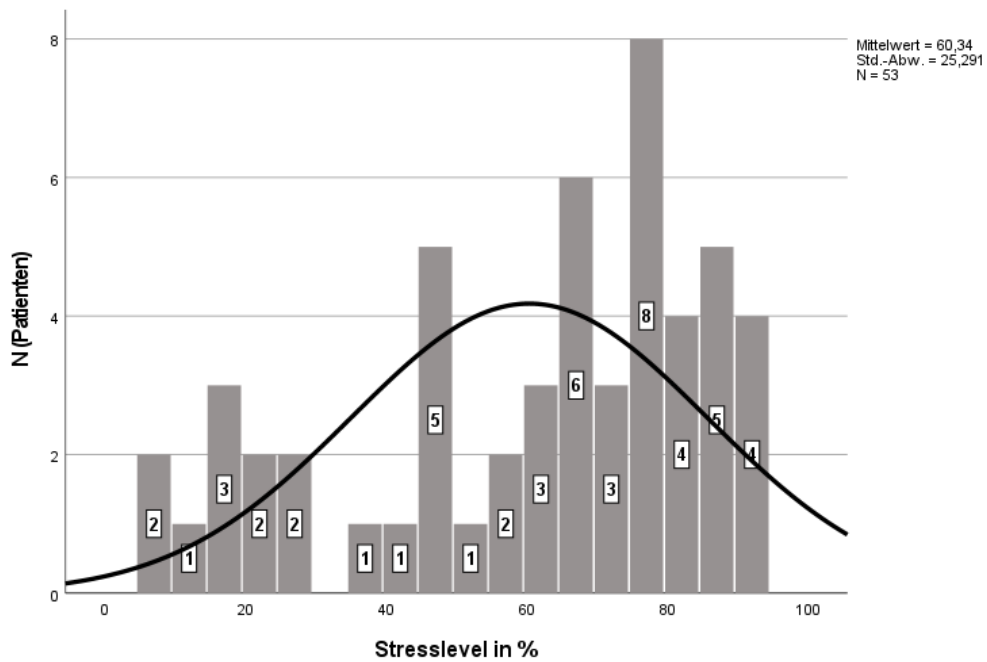


Abbildung 32: Stresslevel am Ende der Studie (gesamt)

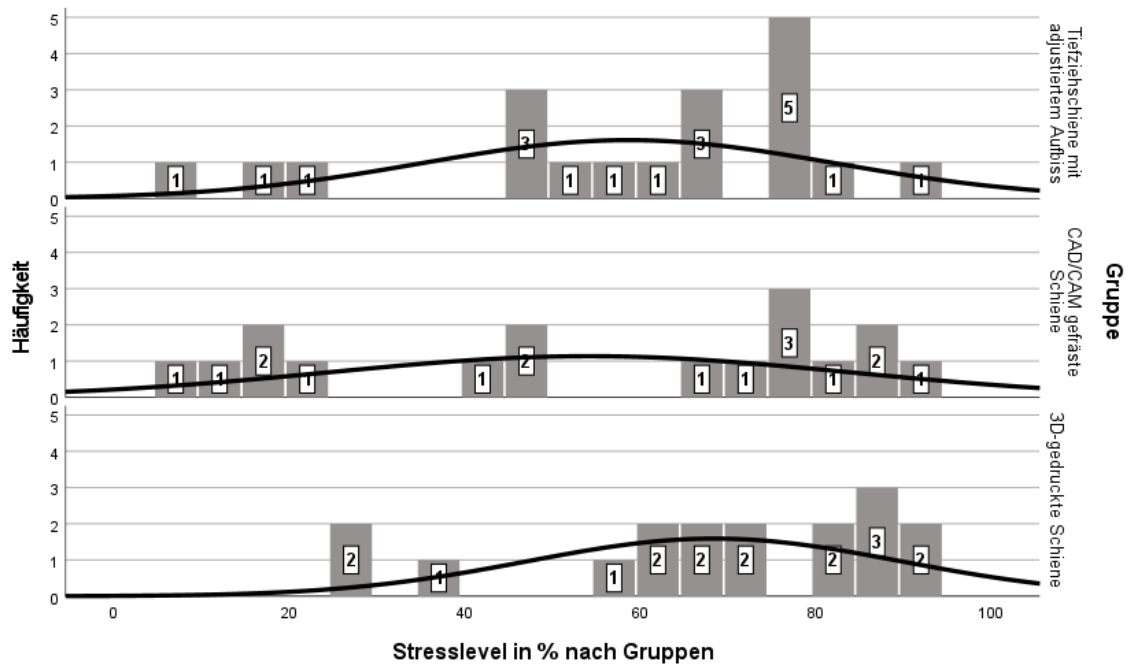


Abbildung 33: Stresslevel am Ende der Studie (nach Gruppen)

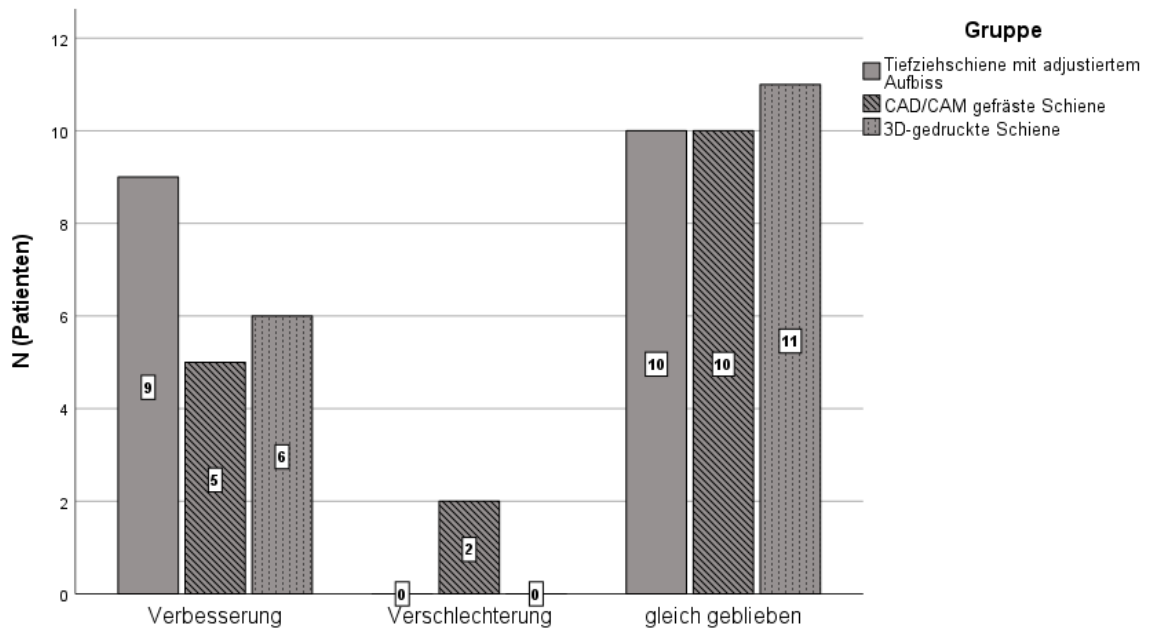


Abbildung 34: Veränderung der stomatognathen Situation

Im Rahmen des Kontrolltermins wurden erneut die statische und dynamische Okklusion überprüft und bei Bedarf eingeschliffen. Gruppe 1 (Tiefziehschiene mit adjustiertem Aufbiss) benötigte im Mittel 1,74 min \pm 1,08 min zum Einschleifen, Gruppe 2 (CAD/CAM gefräst) 2,63 min \pm 4,47 min und Gruppe 3 (3D-gedruckt) benötigte im Mittel 1,87 min \pm 13,32 min zum Einschleifen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 35 ersichtlich.

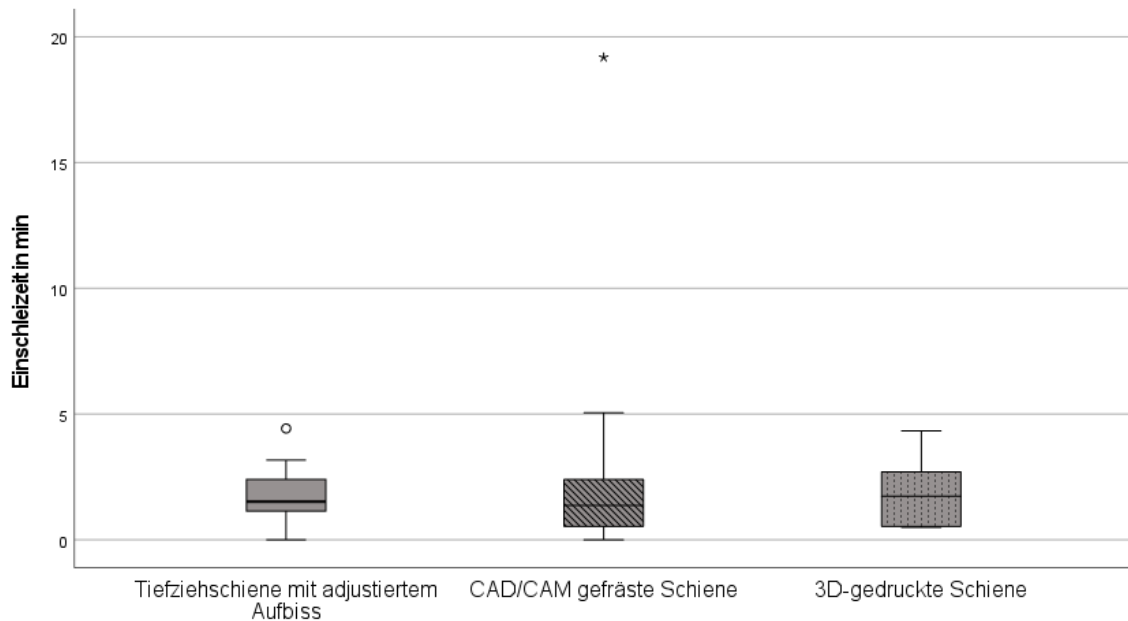


Abbildung 35: Einschleifzeit in min (Kontrollsituation)

Nach dem Einschleifen wurde erneut die Dicke der Schiene gemessen. Um den Messpunkt möglichst genau zu treffen, wurden die Fotos aus der Eingliederungssitzung herangezogen. Folgende Werte wurden dabei in Millimeter ermittelt.

Gruppe		Regio 46	Regio 36	Regio 44	Regio 34	durchschnittliche Dicke gesamt
Tiefziehschiene mit adjustiertem Aufbiss	Mittelwert	1,82	1,96	2,25	1,98	2,00
	N	19	19	19	19	
	Std.-Abweichung	0,57	0,45	0,64	0,56	
CAD/CAM gefräste Schiene	Mittelwert	2,00	2,13	2,06	2,16	2,09
	N	17	17	17	17	
	Std.-Abweichung	0,57	0,60	0,76	0,78	
3D-gedruckte Schiene	Mittelwert	2,28	2,28	2,32	2,78	2,42
	N	17	17	17	17	
	Std.-Abweichung	0,56	0,52	0,55	0,83	
Insgesamt	Mittelwert	2,03	2,12	2,21	2,30	2,17
	N	53	53	53	53	
	Std.-Abweichung	0,58	0,53	0,65	0,79	

Tabelle 4: Mittelwerte mit Standardabweichung der Schienendicke eingeteilt nach Gruppen (Kontrollsituation)

In Tabelle 5 sind die Mittelwerte der Differenzen der Schienendicke im Vergleich von der Eingliederungssitzung zur Kontrollsituation dargestellt. Hierbei wird ersichtlich, dass die Schienen im Schnitt zwischen 0,05 mm und 0,15 mm an Schichtstärke verloren haben.

Gruppe		Regio 46	Regio 36	Regio 44	Regio 34	durchschnittlicher Verlust gesamt
Tiefziehschiene mit adjustiertem Aufbiss	Mittelwert	- 0,10	- 0,04	- 0,01	0,02	- 0,05
	N	19	19	19	19	
	Std.-Abweichung	1,00	0,33	0,47	0,48	
CAD/CAM gefräste Schienen	Mittelwert	-0,12	- 0,20	-0,16	-0,11	- 0,15
	N	17	17	17	17	
	Std.-Abweichung	0,20	0,30	0,31	0,14	
3D-gedruckte Schienen	Mittelwert	-0,06	- 0,10	- 0,05	- 0,06	- 0,07
	N	17	17	17	17	
	Std.-Abweichung	0,10	0,13	0,06	0,10	
Insgesamt	Mittelwert	-0,10	-0,11	- 0,07	- 0,05	- 0,12
	N	53	53	53	53	
	Std.-Abweichung	0,37	0,27	0,33	0,30	

Tabelle 5: Differenz der Schienendicke in mm im Vergleich vom Kontrolltermin zur Eingliederungssitzung

Am Ende der Sitzung wurde die Schiene hinsichtlich weiterer Auffälligkeiten untersucht. Risse wurden bei 8 Schienen festgestellt. Verfärbungen zeigten insgesamt 14 Schienen, 3 Schienen zeigten sowohl Verfärbungen als auch Risse. Keine Auffälligkeiten zeigten 28 Schienen (Abbildung 36).

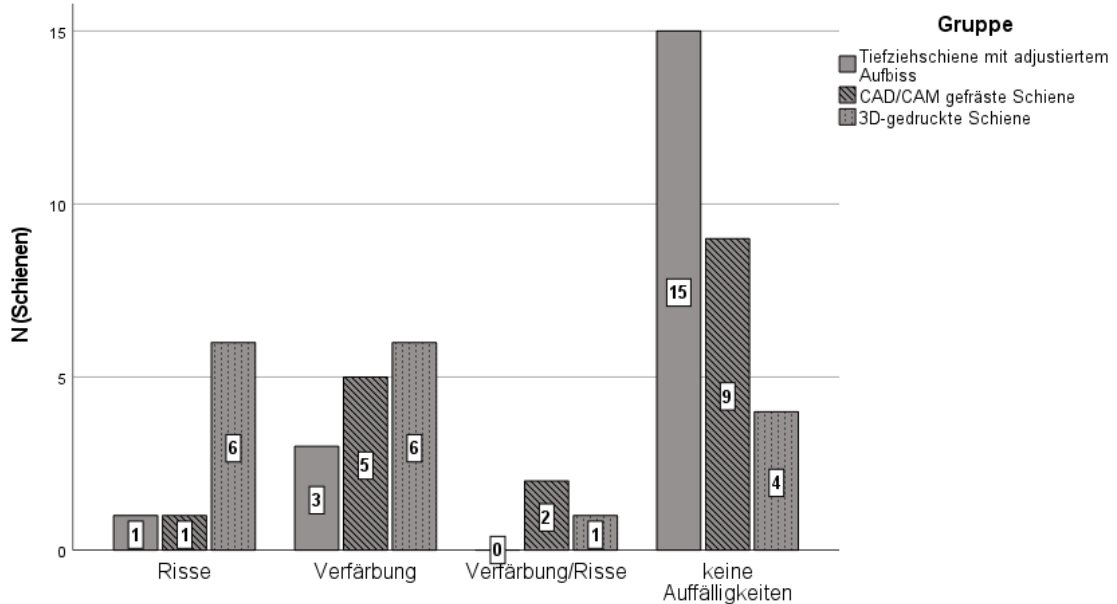


Abbildung 36: Auffälligkeiten nach 3-monatiger Tragezeit

4.2 Signifikanztestung der erhobenen Parameter

Um die Zusammenhänge der Einschleifzeiten zwischen den einzelnen Gruppen sichtbar zu machen, wurden alle Zeiten innerhalb der einzelnen Gruppen auf Normalverteilung mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests getestet.

Bei den Einschleifzeiten im Labor zeigte sich, dass sich die Einschleifzeiten in Gruppe 1 (Tiefziehschiene mit adjustiertem Aufbiss) nicht normal verteilten ($p = 0,012$). Die Einschleifzeiten in Gruppe 2 (CAD/CAM gefräst) und Gruppe 3 (3D-gedruckt) waren hingegen normal verteilt (p (Gruppe 2) = $0,779$; p (Gruppe 3) = $0,524$). Bei Werten von $p > 0,05$ wird von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen, bei Werten von $p < 0,05$ gelten die Daten als nicht normal verteilt.

Im Anschluss wurde ein Kruskal-Wallis-Test mit den mehr als zwei unabhängigen Stichproben durchgeführt. Der Kruskal-Wallis-Test ergab beim Vergleich der Gruppen bezogen auf die Einschleifzeit im Labor ein Signifikanzniveau von $p = 0,065$. Hier zeigt sich eine Tendenz zur Ablehnung der Nullhypothese. Jedoch wird diese auf Grund des geringen Signifikanzniveaus bestätigt. In Abbildung 37 ist ersichtlich, dass sich die Gruppen 2 und 3 kaum voneinander unterscheiden, Gruppe 1 jedoch eine Tendenz zur längeren Einschleifzeit zeigt.

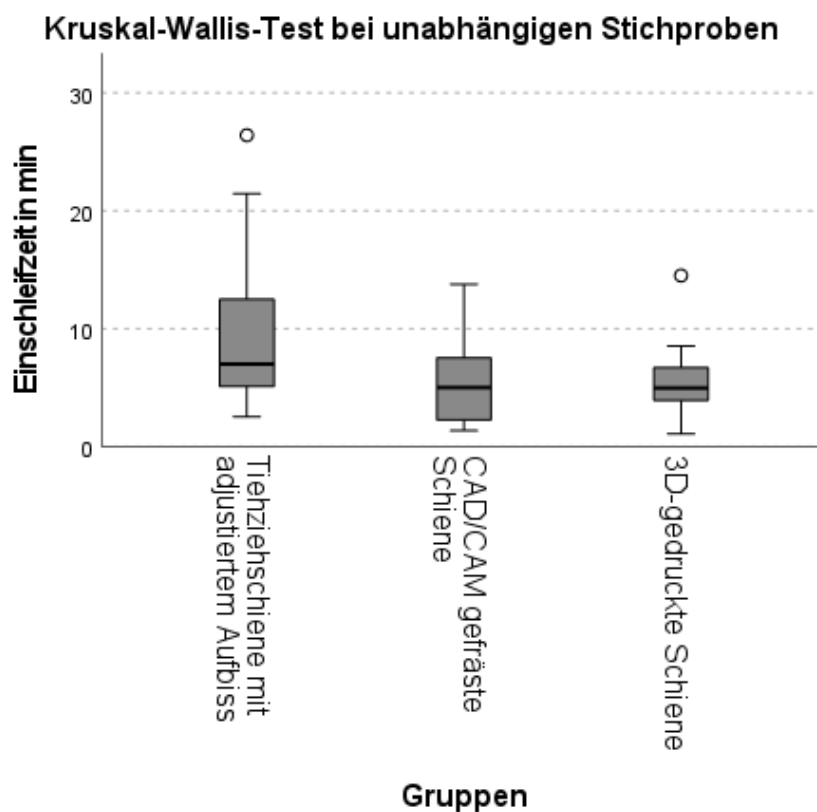


Abbildung 37: Ergebnis Kruskal-Wallis-Test (Einschleifzeit im Labor)

Die gleichen Tests wurden ebenfalls nochmal für die Einschleifzeit am Patienten in der Eingliederungssitzung durchgeführt.

Bei den Einschleifzeiten in der Eingliederungssitzung zeigte sich ein umgekehrtes Bild. Eine Normalverteilung mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests zeigte sich hierbei Gruppe 1 ($p = 0,200$), während die Daten in Gruppe 2 ($p = 0,047$) und Gruppe 3 ($p < 0,001$) nicht normal verteilt waren.

Im Anschluss wurde wieder ein Kruskal-Wallis-Test mit den mehr als zwei unabhängigen Stichproben durchgeführt. Als Nullhypothese wird auch hier wieder angenommen, dass sich die einzelnen Gruppen nicht signifikant voneinander unterscheiden. Als Ergebnis zeigte der Kruskal-Wallis-Test beim Vergleich der Gruppen bezogen auf die Einschleifzeit am Patienten in der Eingliederungssitzung ein Signifikanzniveau von $p = 0,121$. Das bedeutet, dass kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Länge der benötigten Einschleifzeit zwischen den einzelnen Gruppen nachgewiesen werden kann.

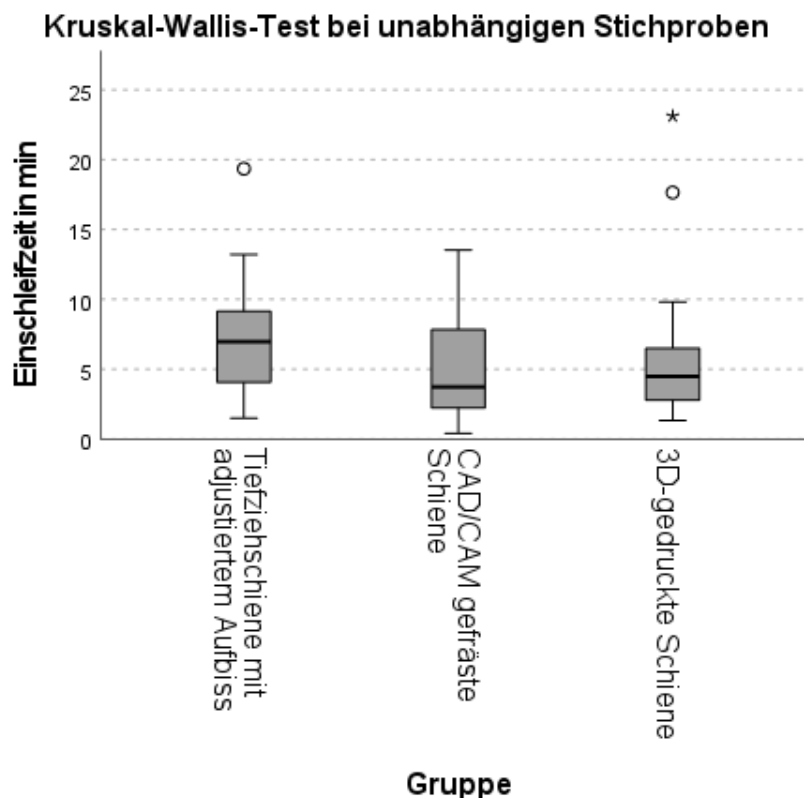


Abbildung 38: Ergebnis Kruskal-Wallis-Test (Eingliederungssitzung)

Die Einschleifzeiten in der Kontrollsituation wurden ebenfalls auf Normalverteilung mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests getestet. Die Daten von Gruppe 1 (Tiefziehschiene mit adjustiertem Aufbiss) und Gruppe 3 (3D-gedruckte Schiene)

waren jeweils normal verteilt (p (Gruppe 1) = 0,200; p (Gruppe 3) = 0,200), während die Daten aus Gruppe 2 (CAD/CAM gefräste Schiene) nicht normal verteilt waren ($p < 0,001$). Der Kruskal-Wallis-Test im Anschluss ergab ein Signifikanzniveau von $p = 0,864$. Die Nullhypothese, dass es keinen Unterschied in der Einschleifzeit zwischen den drei Gruppen gibt, wurde hiermit bestätigt.

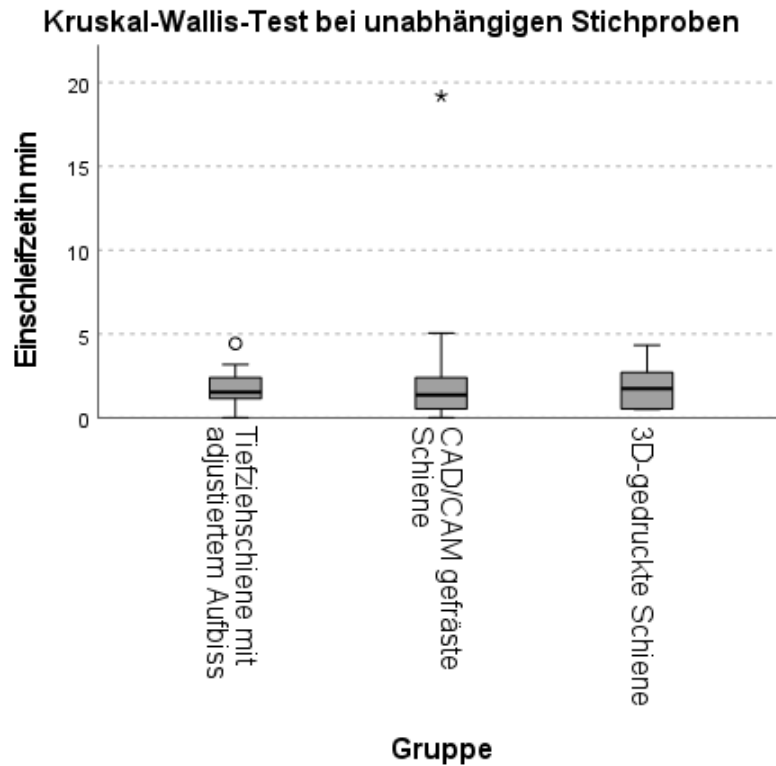


Abbildung 39: Ergebnis Kruskal-Wallis-Test (Kontrollsituation)

5 Diskussion

Ziel dieser Studie war die Evaluierung drei verschiedener Herstellungsarten von Bruxismusschienen. Mit Hilfe verschiedener Parameter sollten die Herstellungsarten vergleichbar gemacht und somit herausgefunden werden, ob eine Herstellungsart signifikante Vor- oder Nachteile bei der Therapie mit Bruxismusschienen mit sich bringt.

Bruxismus ist eine Erkrankung, die ca. 10 – 30% der Bevölkerung betrifft (Manfredini et al. 2013). Die betroffenen leiden unter anderem unter Nackenverspannungen bzw. –schmerzen, Schmerzen bzw. Bewegungseinschränkungen in den Kiefergelenken, Schlafstörungen und Defekten an bestehenden Restaurationen (Murali et al. 2015). Das craniomandibuläre System hat ebenfalls Auswirkungen auf die gesamte Körperstatik und kann im gesamten Körper zu Verspannungen und Fehlhaltungen führen (Desmedt 1980). Dies kann den Alltag des Patienten sehr belasten und zu gesundheitlichen Einschränkungen führen. Schmerzende Kiefergelenke können zum Beispiel zur Folge haben, dass Nahrung nicht mehr richtig gekaut werden kann, was wiederum zu Beschwerden im Magen-Darm-System führt.

All diese Beschwerden können durch die richtige Therapie beseitigt oder abgemildert werden. Die am häufigsten eingesetzte Therapieform bei Bruxismus ist die Therapie mittels eines Aufbissbehelfes.

Das Hauptziel dieser klinischen Studie war es herauszufinden, ob eine der im Hauptteil beschriebenen Herstellungsarten einen größeren Therapieerfolg verspricht als eine andere. Insgesamt konnten 59 Patienten in die Studie mit einbezogen werden, wodurch aussagekräftige Schlüsse gezogen werden konnten. Das Patientengut stammt aus Teilnehmern des Phantomkurses der Zahnerhaltung, Studenten der klinischen Semester sowie Patienten der allgemeinen Ambulanz der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität München. Hierbei waren Patienten aller Altersgruppen (Volljährigkeit vorausgesetzt) vertreten. Patienten, bei denen die Schiene vor Ablauf der 3 Monate frakturiert ist, wurden nicht zu Kontrolle einbestellt. Die Frakturen ereigneten sich zu Beginn des Testzeitraums. Somit konnten diese Patienten keine aussagekräftigen Eindrücke zum Tragekomfort etc. der Schienen machen.

Als ein möglicher Auslöser von Bruxismus gilt Stress. Auf Grund der aktuellen Studienlage lässt sich eine positive Korrelation von Stresslevel und Bruxismusaktivität herleiten (Polmann et al. 2021). 93,2% der Patienten gaben an, ein Knirschen oder Pressen aktuell oder in der Vergangenheit bemerkt zu haben. Bei rund der Hälfte der Patienten lagen akute Probleme in Zusammenhang mit Knirschen und Pressen vor. Ebenfalls wurde der eigene Stresslevel von den Probanden insgesamt als relativ hoch eingeschätzt. Der im Durchschnitt als hoch empfundene Stresslevel begünstigt die Bruxismusaktivität bei den Studienteilnehmern.

Eine Studie aus dem Jahr 2017 untersuchte die Genauigkeit von Zahnrestorationen, die einmal mittels additive und einmal mittels subtraktiver Fertigungsmethoden hergestellt wurden. Die Studie findet Hinweise darauf, dass die Passgenauigkeit bei mit additiven Methoden (3D-Druck) hergestellten Werkstücken höher zu sein scheint als bei mit subtraktiven Methoden (CAD/CAM gefräst) hergestellten Werkstücken (Bae et al. 2017). Da im Rahmen dieser Studie Inlays statt Aufbissbehelfe mittels subtraktiver und additiver Verfahren hergestellt wurden, kann hier nur eine basierte Vermutung aufgestellt werden. Aber auch in unserer Studie konnten Hinweise gefunden werden, dass die 3D-gedruckten Schienen gegenüber den CAD/CAM-gefrästen eine geringfügig bessere basale Passung auf dem Modell aufweisen. Diese könnte an der Herstellungsweise liegen. Bei den 3D-gedruckten Schienen kann das Material präziser verarbeitet werden, als es mit den im Vergleich dazu groben Fräsen der Fall ist. Aber auch hier ist die Qualität der Ergebnisse von dem verwendeten Material bzw. dessen Eigenschaften und den verwendeten Maschinen und deren Präzisionsfähigkeit abhängig. Zum Fräsen stehen aktuell Geräte mit 3, 4 oder 5 Achsen zu Verfügung, die unterschiedliche Präzisionen und Möglichkeiten mit sich bringen.

Eine Studie von Huettig et al. beschäftigte sich mit der Oberflächenrauigkeit von verschiedenen Materialien. Dabei wurde unter anderem das von uns verwendete Material VarseoWax Splint (Firma BEGO Bremer Goldschlägerei Wilh. Herbst GmbH & Co KG) untersucht. Signifikante Unterschiede in der Oberflächenrauigkeit konnten bei den verschiedenen Materialien und Herstellungsarten mit Hilfe verschiedener Untersuchungen nicht nachgewiesen

werden. Allerdings zeigte sich eine leichte Tendenz zur erhöhten Oberflächenrauigkeit und somit schlechteren Polierbarkeit bei dem für den 3D-Druck verwendeten Material VarseoWax Splint (Firma BEGO Bremer Goldschlägerei Wilh. Herbst GmbH & Co KG) (Huettig et al. 2017). Dies deckt sich auch in Teilen mit den Ergebnissen unserer in dieser Arbeit beschriebenen Studie, die ebenfalls zu dem Ergebnis kommt, dass sich die 3D-gedruckten Schienen nicht so gut auf Hochglanz polieren lassen wie die CAD/CAM gefrästen oder die konventionell hergestellten Schienen. Auch hier könnte die Beschaffenheit der Schienen auf die Materialeigenschaften zurückzuführen sein. VarseoWax Splint gilt als starrer und weniger flexibel, jedoch weist das Material eine hohe Oberflächenhärte auf (Prpic et al. 2019). Außerdem scheint die Qualität der Politur abhängig von Politurwinkel und Druck zu sein. (Grymak et al. 2021) Die Politur ist auch maßgeblich von den Fähigkeiten des Behandlers bzw. Zahntechnikers abhängig und dadurch schwer objektiv zu beurteilen. Da die Studienlage zu diesem Thema noch eingeschränkt ist, müssen weitere Untersuchungen folgen.

Von der ästhetischen Seite betrachtet, fiel bei allen 3D-gedruckten Schienen eine gräuliche bis gelbliche Verfärbung auf. Laut Herstellerangaben soll sich die Schiene jedoch transparent darstellen. Eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass zur Nachpolymerisation eine andere als vom Hersteller empfohlene Lichtquelle benutzt wurde (Empfehlung lt. Herstellerangaben: Xenon-Stroboskop-Lampe, Blitzfrequenz 20 Hz, Lichtspektrum 390–540 nm (z. B. HiLite Power, Fa. Heraeus Kulzer)). Der in dieser klinischen Studie verwendete Lichthärteofen Form Labs Cure arbeitet jedoch mit einer Wellenlänge von 405nm und liegt somit im empfohlen Lichtspektrum des Herstellers. Jedoch kann auch schon eine leichte Veränderung der Nachbelichtungszeit die Farbe der Schiene beeinflussen. Zu diesem Ergebnis kam eine Studie aus dem Jahr 2020 von Reymus et al., die den Einfluss verschiedener Lichtquellen auf die Eigenschaften von 3D-gedruckten Brücken untersuchte (Reymus et al. 2020).

Bei der Nachbearbeitung der Schienen im Hauslabor fiel bei 18 Schienen ein leicht minziger teils unangenehmer Geruch auf (vgl. Abbildung 20). 14 Schienen davon waren CAD/CAM gefräst. Es könnte sein, dass vom Hersteller des ClearSplint® Materials ein Inhaltsstoff beigemischt wurde, der für einen

angenehmen Geruch bzw. Geschmack sorgen soll. Da die genaue Zusammensetzung auf Grund von Firmengeheimnissen nicht öffentlich zugänglich ist, ist diese Theorie nicht zu überprüfen.

Mehrere Studien fanden heraus, dass 3D-gedruckte Schienen im Vergleich zu CAD/CAM gefrästen Schienen oder konventionell hergestellten Schienen vermehrt zu Frakturen neigen. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass die geringere Biegefestigkeit von 3D-gedruckten Materialien auf Acrylharzbasis zu einer erhöhten Sprödigkeit führt. Dadurch können Überbelastungen nicht mehr so gut durch Verformung aufgefangen werden und es kommt zur Fraktur der Schiene (Prpic et al. 2020, Reymus et al. 2020, Schmeiser et al. 2022). Ebenso kommt es durch das Drucken der Schiene in Schichten zu keiner homogenen Verbindung innerhalb der Schiene. Die Stabilität innerhalb der Schichten ist größer als zwischen den einzelnen Schichten. Dies führt zu verringerten mechanischen Eigenschaften und somit zu einer erhöhten Frakturgefahr (Alharbi et al. 2016). Im Verlauf unserer Studie sind vorzeitig 6 von insgesamt 59 hergestellten Schienen gebrochen. Davon waren 5 Schienen aus der Gruppe der 3D-gedruckten Schienen und eine aus der Gruppe der CAD/CAM gefrästen Schiene. Ebenso wiesen 8 Schienen Risse aus, davon waren 6 ebenfalls aus der Gruppe der 3D-gedruckten Schienen. Die Ergebnisse unserer Studie bestätigen somit das Ergebnis der vorangegangenen in vitro Studien.

Das Hauptziel einer Schientherapie ist die Verbesserung der stomatognathen Situation für den Patienten. Zur Wirkungsweise des Aufbissbehelfs gibt es wie in Kapitel 1.7.7 beschrieben verschiedene Theorien. Die genaue Wirkungsweise von Aufbisschienen ist noch nicht abschließend untersucht. Jedoch kommen mehrere Studien zu dem Ergebnis, dass durch regelmäßiges Tragen der Schiene eine deutliche Schmerzlinderung und Verbesserung der stomatognathen Situation erreicht werden kann (Ernst et al. 2020, Gholampour et al. 2019). Auch in unserer Studie konnte bei knapp einem Drittel der Teilnehmer eine Verbesserung der Beschwerden erreicht werden.

Die Ergebnisse unserer klinischen Studie verdeutlichen den geringeren Substanzverlust der 3D-gedruckten Schienen im Vergleich zu den CAD/CAM gefrästen Schienen. Dies liegt an der erhöhten Härte und Sprödigkeit des Acrylharzes. Diese führt schneller zu Frakturen, erhöht aber gleichzeitig die

Abrasionsbeständigkeit (Prpic et al. 2019, Reymus et al. 2020, Schmeiser et al. 2022). Die Ergebnisse bestätigen eine vorangegangene Studie, in der publiziert wurde, dass VarseoWax Splint im Vergleich zu CAD/CAM gefrästen PMMA-basierten Kunststoffen einen geringeren Abrieb zeigt (Huettig et al. 2017).

Die Tendenz zur längeren Einschleifzeit im Labor bei Gruppe „Tiefziehschiene mit adjustiertem Aufbiss“ könnte sich dadurch erklären lassen, dass die CAD/CAM gefertigten Schienen (gefräst und 3D Druck) eine höhere Präzision in der Herstellung aufweisen im Vergleich zu den manuell vom Zahntechniker hergestellten Tiefziehschienen mit adjustiertem Aufbiss. Hierbei spielt das Können des Zahntechnikers jedoch eine nicht unbedeutende Rolle. Belegt ist, dass CAD/CAM gefertigte dentale Objekte eine hohe Passgenauigkeit durch den Wegfall der Polymerisationsschrumpfung und eine hohe reproduzierbare Qualität aufweisen (Edelhoff et al. 2017, Lauren et al. 2008). In der Eingliederungs- und Kontrollsituation wurde hingegen kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen nachgewiesen. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Schienen durch den Behandler im Labor alle auf ein ähnliches Niveau eingeschliffen wurden und somit ein weiterer Unterschied im Verlauf der Studie nicht mehr nachgewiesen werden konnte. Die Nullhypothese, dass es keinen Unterschied in der Einschleifzeit zwischen den drei Gruppen gibt, wurde hiermit bestätigt.

Jede Herstellungsart bringt andere Vor- oder Nachteile mit sich. CAD/CAM-gefräste Schienen sind gut reproduzierbar, enthalten laut Herstellerangaben wenig Restmonomere (geringes allergenes Potential), der Fertigungsprozess ist kurz und sie bieten laut eigenen Schlussfolgerungen einen hohen Patientenkomfort (Lauren et al. 2008). Allerdings ist der Materialverlust vergleichsweise hoch. Dadurch und durch den je nach Material großen Verschleiß der Fräsen entstehen hohe Kosten (Azari et al. 2009, Reymus et al. 2020) . Die Vorteile von Reproduzierbarkeit, geringem Restmonomergehalt und der kurzen Fertigungsdauer bringt auch die 3D-gedruckte Schiene mit sich. Allerdings ist sie in der Herstellung günstiger, da wesentlich weniger Material verwendet wird Ein entscheidender Nachteil scheint hier die Frakturanfälligkeit auf Grund der erhöhten Sprödigkeit zu sein (Prpic et al. 2020, Reymus et al. 2020, Schmeiser et al. 2022). Die Herstellung der konventionell tiefgezogenen Schiene mit adjustiertem Aufbiss ist lange erprobt und bewährt. Als vielleicht

entscheidender Nachteil ist hier der vergleichsweise hohe Restmonomergehalt zu nennen (Zissis et al. 2008). Allgemein zeigt sich eine Tendenz, dass die Einschleifzeiten der Tiefziehschienen etwas länger zu sein scheint als bei den CAD/CAM gefertigten Alternativen. Der Patientenkomfort scheint, bei den Tiefziehschienen und den CAD/CAM gefrästen Schienen vergleichbar zu sein, wo hingegen die 3D-gedruckten Varianten als starr und unkomfortabler empfunden wurden. Erste Studien konnten keinen Unterschied im Therapieerfolg zwischen konventionell hergestellten und CAD/CAM gefertigten Aufbissbehelfen feststellen (Pho Duc et al. 2016). Es ist somit mit Hilfe der aktuellen Datenlage nicht möglich, daraus eindeutige Rückschlüsse für eine Empfehlung für eine Herstellungsart zu ziehen. Zu viele Einflüsse wie die Eigenschaften der Materialien, die Fertigkeiten des Behandlers und die subjektive Beurteilung durch Behandler bzw. Patient sind noch nicht abzuschätzen. Wird ein Material gefunden, das sich für alle 3 Herstellungsarten eignet, würde sich der Einfluss des Materials auf die Ergebnisse minimieren lassen. Um die oben genannten Einflüsse minimieren bzw. ausschließen zu können, müssen weitere in-vivo- und in-vitro-Studien folgen.

Die 3D-gedruckten Schienen zeigen zwar im Vergleich zu den anderen beiden Herstellungsarten eine erhöhte Versagensrate, jedoch ist nicht zu verifizieren, ob dies ausschließlich an der Herstellungsart liegt. Das Material VarseoWax Splint hat eine geringe Biegefestigkeit und neigt somit eher zu Frakturen. Man müsste zwei verschiedene Materialien im 3D-Druck-Verfahren testen, um die Materialeigenschaften als Bruchursache auszuschließen. Die Ergebnisse der Studie lassen somit keine eindeutige Empfehlung für eine der drei untersuchten Herstellungsarten zu. Sie zeigen jedoch, dass alle drei Herstellungsarten ihre Vorteile aber auch Schwachstellen haben, an denen noch gearbeitet werden kann. Möchte man die Frakturgefahr minimieren, sollte man aktuell eher eine konventionelle Tiefziehschiene mit adjustiertem Aufbiss oder eine CAD/CAM gefrästen Schiene wählen.

In Zukunft wäre es denkbar, die thermoplastischen Eigenschaften der ClearSplint® Schiene in ein 3D-Drucker kompatibles Material zu übernehmen. Somit könnte die material- und kostenschonende Herstellung des 3D-Drucks mit dem selbstadjustierenden Memoryeffekt des ClearSplint®-Materials verbunden

werden. Hierdurch könnten langlebige Schienen mit hohem Patientenkomfort und guten dentalen Eigenschaften generiert werden.

Die Technik zur Herstellung der Schienen wird ebenfalls laufend verbessert. Somit wäre es möglich, dass die CAD/CAM-Technik so weit verbessert wird, dass deutlich kleinere Blanks und somit deutlich weniger Material verwendet werden müssen, um eine Schiene herzustellen. Ebenso steht der dentale 3D-Druck noch vergleichsweise am Anfang und wird voraussichtlich in den kommenden Jahren stetig verbessert.

Die Entwicklung der dentalen Kunststoffe geht ständig weiter. Ebenso wäre es denkbar, dass ein Werkstoff entwickelt wird, der sowohl thermoplastisch, abrasionsbeständig und resistent gegen Verfärbungen / Risse / Frakturen ist als auch auf verschiedene Arten verarbeitet werden kann, ohne dass seine positiven Eigenschaften verringert werden oder im Verarbeitungsprozess verloren gehen.

Ist ein solches Material gefunden, wäre es sinnvoll, eine ähnliche Studie, wie die in dieser Arbeit beschriebene, durchzuführen. Erst dann können eindeutige Rückschlüsse auf die Vor- und Nachteile von verschiedenen Herstellungsarten gezogen werden, ohne dass die unterschiedlichen Materialeigenschaften die Ergebnisse beeinflussen.

6 Zusammenfassung

Mit Hilfe der Studie sollte untersucht werden, ob ein Zusammenhang zwischen der Herstellungsart (klassische Tiefziehschienen mit adjustiertem Aufbiss, CAD/CAM gefräste Schienen, 3D-gedruckte Aufbissbehelfe) von Bruxismusschienen und verschiedenen Parametern, unter anderem Polierbarkeit (optische Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit nach Endpolitur), Einschleifdauer, Stabilität und Veränderung der stomatognathen Situation des Patienten, besteht. Hierzu wurden 59 Probanden mittels Randomisierung in 3 Gruppen eingeteilt und mit Hilfe von Untersuchungsbögen diverse Daten erhoben. Hierbei wurden unter anderem der individuell empfundene Stresslevel, die Einschleifzeiten (im Labor und am Patienten in Minuten), strukturelle Veränderungen (Frakturen, Risse, Verfärbungen) und das subjektive Empfinden der Veränderung der stomatognathen Situation aufgezeichnet. Diese Daten wurden innerhalb von drei Sitzungen erhoben (Ersttermin mit Abformung, Eingliederung, Kontrolle).

Die gewonnenen Daten wurden statistisch ausgewertet, um Zusammenhänge ersichtlich zu machen.

Zur Beurteilung der Polierbarkeit der verschiedenen Schienen wurde eine optische und haptische Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit bezogen auf Rauigkeit und Glanz durch den Behandler vorgenommen (Einteilung in sehr gut / gut / mäßig / schlecht / sehr schlecht). Am besten ließen sich die konventionell hergestellten Tiefziehschienen polieren (68,42% „sehr gut“, 26,32% „gut“, 5,26% „mäßig“, 0% „schlecht“, 0% „sehr schlecht“). In der Gruppe der CAD/CAM gefrästen Schienen erreichten noch 16,67% der Schienen dieser Gruppe eine sehr gute Hochglanzpolitur (77,78% „gut“, 5,55% „mäßig“, 0% „schlecht“ 0% „sehr schlecht“). Am schlechtesten schnitten die 3D-gedruckten Schienen ab (0,0% „sehr gut“, 27,27% „gut“, 63,64% „mäßig“, 9,09% „schlecht“, 0% „sehr schlecht“).

Bezogen auf die Einschleifzeit wurde die Nullhypothese aufgestellt, dass kein Unterschied zwischen den drei Gruppen besteht.

Beim Einschleifen der Schienen im Labor (Ziel: gleichmäßiger Kontakt im Seitenzahnbereich) zeigte sich eine Tendenz, dass zum Einschleifen der

Tiefziehschienen mit adjustiertem Aufbiss im Durchschnitt die meiste Zeit benötigt wurde (9,66 min \pm 6,89 min; Gruppe „CAD/CAM gefräst“: 5,42 min \pm 3,37 min; Gruppe „3D-gedruckt“: 5,56 min \pm 2,89 min). Der anschließende Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung ergab folgende Ergebnisse: Gruppe 1 (Tiefziehschiene mit adjustiertem Aufbiss) nicht normal verteilt ($p = 0,012$), Gruppe 2 (CAD/CAM gefräst) normal verteilt $p = 0,779$, Gruppe 3 (3D-gedruckt) normal verteilt ($p = 0,524$). Im Anschluss wurde der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Dieser ergab ein Signifikanzniveau von $p = 0,065$, was wiederum nur eine Tendenz zum Unterschied zwischen den verschiedenen Gruppen zeigt. Die Nullhypothese kann hier nur teilweise bestätigt werden.

Die Zeit in der Eingliederungssitzung zum Erreichen des Ziels am Patienten wurde ebenfalls gemessen („Tiefziehschiene“: 7,44 min \pm 4,34 min; „CAD/CAM gefräst“: 5,11 min \pm 3,89 min; „3D-gedruckt“: 6,09 min \pm 5,23 min). Auch hier wurde mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests die Werte zunächst auf Normalverteilung getestet (Gruppe 1 normal verteilt ($p = 0,200$), Gruppe 2 nicht normal verteilt ($p = 0,047$), Gruppe 3 nicht normal verteilt ($p < 0,001$)). Im Anschluss wurde erneut der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Hierbei ergab sich ein Signifikanzniveau von $p = 0,121$. Es konnte somit kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen festgestellt werden. Bezogen auf die Einschleifzeit in der Eingliederungssitzung konnte die Nullhypothese bestätigt werden.

Die Einschleifzeiten in der Kontrollsituation wurden ebenfalls auf Normalverteilung mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests getestet. Die Daten von Gruppe 1 (Tiefziehschiene mit adjustiertem Aufbiss) und Gruppe 3 (3D-gedruckte Schiene) waren jeweils normal verteilt (p (Gruppe 1) = 0,200; p (Gruppe 3) = 0,200), während die Daten aus Gruppe 2 (CAD/CAM gefräste Schiene) nicht normal verteilt waren ($p < 0,001$). Der Kruskal-Wallis-Test im Anschluss ergab ein Signifikanzniveau von $p = 0,864$. Somit kann auch hier die Nullhypothese bestätigt werden.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Frakturgefahr bei den 3D-gedruckten Schienen erhöht ist, was zu einem verfrühten Versagen der Schienen führte (6 von 59 hergestellten Schienen brachen ($\cong 10,17\%$; „3D-gedruckt“: 5 Schienen,

„CAD/CAM“ gefräst: 1 Schiene). Insgesamt frakturierten 22,72 % der 22 im Rahmen dieser Studie hergestellten 3D-gedruckten Schienen.

Beim Kontrolltermin wurden die Probanden nach einer Veränderung der stomatognathen Situation befragt (Verbesserung / Verschlechterung / gleichgeblieben) Dabei gaben insgesamt 20 Probanden an, eine Verbesserung ihrer stomatognathen Situation bemerkt zu haben ($\hat{=}$ 37,74 %; „Tiefziehschienen“: 9 Patienten, „CAD/CAM gefräst“: 5 Patienten, „3D-gedrukt“: 6 Patienten). 31 Probanden konnten keine Veränderung feststellen ($\hat{=}$ 58,49%) und nur 2 Patienten gaben an eine Verschlechterung bemerkt zu haben ($\hat{=}$ 3,77 %, beide 3D-gedrukt).

Diese Studie leistet einen Beitrag zum besseren Verständnis der Vor- und Nachteile der oben genannten Herstellungsarten und soll dem Behandler die Wahl der geeigneten Herstellungsart erleichtern. Es werden jedoch immer wieder neue Herstellungsarten entwickelt und schon bestehende Verfahren werden verfeinert. Es sind somit noch weitere Studien nötig, um detailliertere Rückschlüsse auf die Vor- und Nachteile der verschiedenen Herstellungsarten ziehen zu können, um Einflüsse wie Materialeigenschaften, Behandlerfertigkeiten und subjektive Beurteilung durch Behandler und Patient auszuschließen und um auf neue Fortschritte reagieren zu können.

7 Literaturverzeichnis

1. Ahlberg J, Lobbezoo F, Ahlberg K, Manfredini D, Hublin C, Sinisalo J, Kononen M & Savolainen A, Self-reported bruxism mirrors anxiety and stress in adults. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, **2013**. 18: e7-11.
2. Ahlberg J, Piirtola M, Lobbezoo F, Manfredini D, Korhonen T, Aarab G, Hublin C & Kaprio J, Correlates and genetics of self-reported sleep and awake bruxism in a nationwide twin cohort. *J Oral Rehabil*, **2020**. 47: 1110-1119.
3. Ahlberg K, Ahlberg J, Kononen M, Partinen M, Lindholm H & Savolainen A, Reported bruxism and stress experience in media personnel with or without irregular shift work. *Acta Odontol Scand*, **2003**. 61: 315-8.
4. Ahlberg K, Jahkola A, Savolainen A, Kononen 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. *Head Face Med*, **2008**. 4: 4.
5. Ahlers MO, Klinische Funktionsanalyse: manuelle Strukturanalyse; interdisziplinäre Diagnostik. *DentaConcept-Verlag*, **2011**.
6. Ahlers MO, Biffar R, Bumann A, Freesmeyer WB, Fuchs B, Hugger A, Kordaß B, Klett R, Koeck B, Meyer G, Ottl P, Seeher W-D, Schindler HJ & Türp JC, Terminologie und Nomenklatur der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie. *Webseite der DGFDT*, **2005**.
7. Ahlers O, Lange M, Mentler C, Ottl P, Peroz I & Wolowski A. Bruxismus-Screening-Index(BSI).
<https://www.dgfdt.de/documents/266840/3732097/BSI+zweiseitig+2020/da d1b99a-c1a8-4f58-a85c-1df897176466> **2019**.
8. Ahlers O, Lange M, Mentler C, Ottl P, Peroz I & Wolowski A. Bruxismus-Screening-Index (BSI) – neues diagnostisches Verfahren in der Praxis.
<https://www.quintessence-publishing.com/deu/en/news/zahnmedizin/funktionsdiagnostik-therapie/bruxismusscreeningindex-bsi-neues-diagnostisches-verfahren-in-der-praxis>. **2020**.
9. Alencar NA, Fernandes AB, Souza MM, Luiz RR, Fonseca-Goncalves A & Maia LC, Lifestyle and oral facial disorders associated with sleep bruxism in children. *Cranio*, **2017**. 35: 168-174.

10. Alharbi N, Osman R & Wismeijer D, Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations. *J Prosthet Dent*, **2016**. 115: 760-7.
11. Aoki R, Takaba M, Abe Y, Nakazato Y, Ohara H, Maejima K & Baba K, A pilot study to test the validity of a piezoelectric intra-splint force detector for monitoring of sleep bruxism in comparison to portable polysomnography. *J Oral Sci*, **2022**. 64: 63-68.
12. Ash MM & Bernhardt O, Schienentherapie. *Elsevier, Urban und Fischer*, **2006**.
13. Ash MM, Jr. & Ramfjord SP, Reflections on the Michigan splint and other intraocclusal devices. *J Mich Dent Assoc*, **1998**. 80: 32-5, 41-6.
14. Azari A & Nikzad S, The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review. *Rapid Prototyping Journal*, **2009**.
15. Baba K, Ai M, Mizutani H & Enosawa S, Influence of experimental occlusal discrepancy on masticatory muscle activity during clenching. *J Oral Rehabil*, **1996**. 23: 55-60.
16. Baba K, Akishige S, Yaka T & Ai M, Influence of alteration of occlusal relationship on activity of jaw closing muscles and mandibular movement during submaximal clenching. *J Oral Rehabil*, **2000**. 27: 793-801.
17. Bader RA & Wagoner KL, Modulation of the response of rheumatoid arthritis synovial fibroblasts to proinflammatory stimulants with cyclic tensile strain. *Cytokine*, **2010**. 51: 35-41.
18. Bae EJ, Jeong ID, Kim WC & Kim JH, A comparative study of additive and subtractive manufacturing for dental restorations. *J Prosthet Dent*, **2017**. 118: 187-193.
19. Bandodkar S, Tripathi S, Chand P, Singh SV, Arya D, Kumar L, Singh M, Singhal R & Tripathi A, A study to evaluate psychological and occlusal parameters in bruxism. *J Oral Biol Craniofac Res*, **2022**. 12: 38-41.
20. Bergmann A, Edelhoff D, Schubert O, Erdelt KJ & Pho Duc JM, Effect of treatment with a full-occlusion biofeedback splint on sleep bruxism and TMD pain: a randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Investig*, **2020**. 24: 4005-4018.

21. 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. *J Am Dent Assoc*, **2016**. 147: 859-866 e4.
22. Bilir H & Kurt H, Influence of Stabilization Splint Thickness on Temporomandibular Disorders. *Int J Prosthodont*, **2022**. 35: 163-173.
23. Blanco Aguilera A, Gonzalez Lopez L, Blanco Aguilera E, De la Hoz Aizpurua JL, Rodriguez Torronteras A, Segura Saint-Gerons R & Blanco Hungria A, Relationship between self-reported sleep bruxism and pain in patients with temporomandibular disorders. *J Oral Rehabil*, **2014**. 41: 564-72.
24. Bote ME, Garcia JJ, Hinchado MD & Ortega E, Fibromyalgia: anti-inflammatory and stress responses after acute moderate exercise. *PLoS One*, **2013**. 8: e74524.
25. Castroflorio T, Bargellini A, Rossini G, Cugliari G & Deregibus A, Sleep bruxism in adolescents: a systematic literature review of related risk factors. *Eur J Orthod*, **2017**. 39: 61-68.
26. Castroflorio T, Bargellini A, Rossini G, Cugliari G & Deregibus A, Sleep bruxism and related risk factors in adults: A systematic literature review. *Arch Oral Biol*, **2017**. 83: 25-32.
27. Castroflorio T, Bargellini A, Rossini G, Cugliari G, Deregibus A & Manfredini D, Agreement between clinical and portable EMG/ECG diagnosis of sleep bruxism. *J Oral Rehabil*, **2015**. 42: 759-64.
28. Clarke JH & Reynolds PJ, Suggestive hypnotherapy for nocturnal bruxism: a pilot study. *Am J Clin Hypn*, **1991**. 33: 248-53.
29. Colonna A, Lombardo L, Siciliani G, Bracci A, Guarda-Nardini L, Djukic G & Manfredini D, Smartphone-based application for EMA assessment of awake bruxism: compliance evaluation in a sample of healthy young adults. *Clin Oral Investig*, **2020**. 24: 1395-1400.
30. Dao TT & Lavigne GJ, Oral splints: the crutches for temporomandibular disorders and bruxism? *Crit Rev Oral Biol Med*, **1998**. 9: 345-61.
31. de Mello Sposito MM & Teixeira SAF, Botulinum Toxin A for bruxism: a systematic review. *Acta Fisiátrica*, **2014**. 21: 201-204.

32. de Souza Melo G, Batistella EA, Bertazzo-Silveira E, Simek Vega Goncalves TM, Mendes de Souza BD, Porporatti AL, Flores-Mir C & De Luca Canto G, Association of sleep bruxism with ceramic restoration failure: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent*, **2018**. 119: 354-362.
33. Desmedt JE, Spinal and supraspinal mechanisms of voluntary motor control and locomotion. Vol. 8. *S Karger Ag*, **1980**.
34. Dharmadhikari S, Romito LM, Dzemidzic M, Dydak U, Xu J, Bodkin CL, Manchanda S & Byrd KE, GABA and glutamate levels in occlusal splint-wearing males with possible bruxism. *Arch Oral Biol*, **2015**. 60: 1021-9.
35. Dowd ET, Nocturnal bruxism and hypnotherapy: a case study. *Int J Clin Exp Hypn*, **2013**. 61: 205-18.
36. Edelhoff D, Schweiger J, Prandtner O, Trimpl J, Stimmelmayer M & Guth JF, CAD/CAM splints for the functional and esthetic evaluation of newly defined occlusal dimensions. *Quintessence Int*, **2017**. 48: 181-191.
37. Enguelberg-Gabbay JV, Schapir L, Israeli Y, Hermesh H, Weizman A & Winocur E, Methadone treatment, bruxism, and temporomandibular disorders among male prisoners. *Eur J Oral Sci*, **2016**. 124: 266-71.
38. Ernst M, Schenkenberger AE, Domin M, Kordass B & Lotze M, Effects of centric mandibular splint therapy on orofacial pain and cerebral activation patterns. *Clin Oral Investig*, **2020**. 24: 2005-2013.
39. Ettl DA, Mang H, Colombo V, Palla S & Gallo LM, Stereometric assessment of TMJ space variation by occlusal splints. *J Dent Res*, **2008**. 87: 877-81.
40. Falisi G, Rastelli C, Panti F, Maglione H & Quezada Arcega R, Psychotropic drugs and bruxism. *Expert Opin Drug Saf*, **2014**. 13: 1319-26.
41. Fernandez-Nunez T, Amghar-Maach S & Gay-Escoda C, Efficacy of botulinum toxin in the treatment of bruxism: Systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, **2019**. 24: e416-e424.
42. Feu D, Catharino F, Quintao CC & Almeida MA, A systematic review of etiological and risk factors associated with bruxism. *J Orthod*, **2013**. 40: 163-71.
43. Feurer I, Bruxismus und Physiotherapie - Einflussmöglichkeiten von Physiotherapeuten bei der Behandlung und Wege zur Evaluation. *Dentista*, **2020**.

44. Frank DL, Khorshid L, Kiffer JF, Moravec CS & McKee MG, Biofeedback in medicine: who, when, why and how? *Ment Health Fam Med*, **2010**. 7: 85-91.
45. Gangloff P, Louis JP & Perrin PP, Dental occlusion modifies gaze and posture stabilization in human subjects. *Neurosci Lett*, **2000**. 293: 203-6.
46. Gholampour S, Gholampour H & Khanmohammadi H, Finite element analysis of occlusal splint therapy in patients with bruxism. *BMC Oral Health*, **2019**. 19: 205.
47. Giraki M, Schneider C, Schafer R, Singh P, Franz M, Raab WH & Ommerborn MA, Correlation between stress, stress-coping and current sleep bruxism. *Head Face Med*, **2010**. 6: 2.
48. Gomes C, El-Hage Y, Amaral AP, Herpich CM, Politti F, Kalil-Bussadori S, Gonzalez TO & Biasotto-Gonzalez DA, Effects of Massage Therapy and Occlusal Splint Usage on Quality of Life and Pain in Individuals with Sleep Bruxism: A Randomized Controlled Trial. *J Jpn Phys Ther Assoc*, **2015**. 18: 1-6.
49. Graber G, Der Einfluss von Psyche und Stress bei funktionsbedingten Erkrankungen des stomatognathen Systems. *Funktionsstörungen des Kauorgans*, **1995**.
50. Grymak A, Aarts JM, Ma S, Waddell JN & Choi JJE, Comparison of hardness and polishability of various occlusal splint materials. *J Mech Behav Biomed Mater*, **2021**. 115: 104270.
51. Guaita M & Hognl B, Current Treatments of Bruxism. *Curr Treat Options Neurol*, **2016**. 18: 10.
52. Guo H, Wang T, Niu X, Wang H, Yang W, Qiu J & Yang L, The risk factors related to bruxism in children: A systematic review and meta-analysis. *Arch Oral Biol*, **2018**. 86: 18-34.
53. Hardy RS & Bonsor SJ, The efficacy of occlusal splints in the treatment of bruxism: A systematic review. *J Dent*, **2021**. 108: 103621.
54. Hasegawa Y, Lavigne G, Rompre P, Kato T, Urade M & Huynh N, Is there a first night effect on sleep bruxism? A sleep laboratory study. *J Clin Sleep Med*, **2013**. 9: 1139-45.
55. Hojo A, Haketa T, Baba K & Igarashi Y, Association between the amount of alcohol intake and masseter muscle activity levels recorded during sleep in healthy young women. *Int J Prosthodont*, **2007**. 20: 251-5.

56. Huettig F, Kustermann A, Kuscu E, Geis-Gerstorfer J & Spintzyk S, Polishability and wear resistance of splint material for oral appliances produced with conventional, subtractive, and additive manufacturing. *J Mech Behav Biomed Mater*, **2017**. 75: 175-179.
57. Hugger A, Lange M, Schindler HJ & Türp JC. Begriffsbestimmungen: Funktionsstörung, Dysfunktion, craniomandibuläre Dysfunktion (CMD), Myoarthropathie des Kausystems (MAP). *Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten (www.dgzmk.de)*, **2016**.
58. Ispirgil E, Erdoğan SB, Akın A & Şakar O, The hemodynamic effects of occlusal splint therapy on the masseter muscle of patients with myofascial pain accompanied by bruxism. *CRANIO®*, **2020**. 38: 99-108.
59. Jimenez-Silva A, Pena-Duran C, Tobar-Reyes J & Frugone-Zambra R, Sleep and awake bruxism in adults and its relationship with temporomandibular disorders: A systematic review from 2003 to 2014. *Acta Odontol Scand*, **2017**. 75: 36-58.
60. Jokubauskas L & Baltrusaityte A, Efficacy of biofeedback therapy on sleep bruxism: A systematic review and meta-analysis. *J Oral Rehabil*, **2018**. 45: 485-495.
61. Karakoulaki S, Tortopidis D, Andreadis D & Koidis P, Relationship Between Sleep Bruxism and Stress Determined by Saliva Biomarkers. *Int J Prosthodont*, **2015**. 28: 467-74.
62. Kordass B, Lucas C, Huetzen D, Zimmermann C, Gedrange T, Langner S, Domin M & Hosten N, Functional magnetic resonance imaging of brain activity during chewing and occlusion by natural teeth and occlusal splints. *Ann Anat*, **2007**. 189: 371-6.
63. Kryger MH & Frcpc M, Kryger's Principles and Practice of Sleep Medicine- E-Book. *Elsevier Health Sciences*, **2022**.
64. Kuhn M & Türp J, Risikofaktoren für Bruxismus–Eine Literaturübersicht von 2007 bis 2016. *Swiss Dent J*, **2018**. 128: 125-129.
65. Lauren M & McIntyre F, A new computer-assisted method for design and fabrication of occlusal splints. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2008**. 133: S130-5.
66. Lavigne G, Bruxism Epidemiology. diabnosis. pathophysiology and pharmacology. *Orofacial pain and temporomandibular disorders*, **1995**: 387-404.

67. Lavigne GJ, Khoury S, Abe S, Yamaguchi T & Raphael K, Bruxism physiology and pathology: an overview for clinicians. *J Oral Rehabil*, **2008**. 35: 476-94.
68. Lazic V, Todorovic A, Zivkovic S & Marinovic Z, Computerized occlusal analysis in bruxism. *Srp Arh Celok Lek*, **2006**. 134: 22-9.
69. Lerman MD, The hydrostatic splint: new muscle-directed TMJ-PDS treatment technique. *CDS review*, **1987**. 80: 30-34.
70. Lerman MD, The Aqualizer - Hydrostatische Schiene. *Dentatrade Köln*, **2011**.
71. Lickteig R, Lotze M & Kordass B, Successful therapy for temporomandibular pain alters anterior insula and cerebellar representations of occlusion. *Cephalalgia*, **2013**. 33: 1248-57.
72. Lickteig R, Lotze M, Lucas C, Domin M & Kordass B, Changes in cortical activation in craniomandibular disorders during splint therapy - a single subject fMRI study. *Ann Anat*, **2012**. 194: 212-5.
73. 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. *J Oral Rehabil*, **2013**. 40: 2-4.
74. Lobbezoo F, Ahlberg J, Manfredini D & Winocur E, Are bruxism and the bite causally related? *J Oral Rehabil*, **2012**. 39: 489-501.
75. 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. *J Oral Rehabil*, **2018**. 45: 837-844.
76. Lobbezoo F & Naeije M, Bruxism is mainly regulated centrally, not peripherally. *J Oral Rehabil*, **2001**. 28: 1085-91.
77. Lobbezoo F, Rompre PH, Soucy JP, Iafrancesco C, Turkewicz J, Montplaisir JY & Lavigne GJ, Lack of associations between occlusal and cephalometric measures, side imbalance in striatal D2 receptor binding, and sleep-related oromotor activities. *J Orofac Pain*, **2001**. 15: 64-71.
78. Lobbezoo F, van der Zaag J, van Selms MK, Hamburger HL & Naeije M, Principles for the management of bruxism. *J Oral Rehabil*, **2008**. 35: 509-23.

79. Lotze M, Lucas C, Domin M & Kordass B, The cerebral representation of temporomandibular joint occlusion and its alternation by occlusal splints. *Hum Brain Mapp*, **2012**. 33: 2984-93.
80. Lund JP, Donga R, Widmer CG & Stohler CS, The pain-adaptation model: a discussion of the relationship between chronic musculoskeletal pain and motor activity. *Can J Physiol Pharmacol*, **1991**. 69: 683-94.
81. Macedo CR, Macedo EC, Torloni MR, Silva AB & Prado GF, Pharmacotherapy for sleep bruxism. *Cochrane Database Syst Rev*, **2014**: CD005578.
82. Macedo CR, Silva AB, Machado MA, Saconato H & Prado GF, Occlusal splints for treating sleep bruxism (tooth grinding). *Cochrane Database Syst Rev*, **2007**: CD005514.
83. Machado E, Dal-Fabbro C, Cunali PA & Kaizer OB, Prevalence of sleep bruxism in children: a systematic review. *Dental Press J Orthod*, **2014**. 19: 54-61.
84. Maluly M, Andersen ML, Dal-Fabbro C, Garbuio S, Bittencourt L, de Siqueira JT & Tufik S, Polysomnographic study of the prevalence of sleep bruxism in a population sample. *J Dent Res*, **2013**. 92: 97S-103S.
85. Manfredini D, Ahlberg J, Winocur E & Lobbezoo F, Management of sleep bruxism in adults: a qualitative systematic literature review. *J Oral Rehabil*, **2015**. 42: 862-74.
86. Manfredini D, Bucci MB, Sabbattini VB & Lobbezoo F, Bruxism: overview of current knowledge and suggestions for dental implants planning. *Cranio*, **2011**. 29: 304-12.
87. 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. *Sleep Breath*, **2015**. 19: 1459-65.
88. Manfredini D, Landi N, Tognini F, Montagnani G & Bosco M, Occlusal features are not a reliable predictor of bruxism. *Minerva Stomatol*, **2004**. 53: 231-9.
89. Manfredini D & Lobbezoo F, Role of psychosocial factors in the etiology of bruxism. *J Orofac Pain*, **2009**. 23: 153-66.

90. Manfredini D & Lobbezoo F, Relationship between bruxism and temporomandibular disorders: a systematic review of literature from 1998 to 2008. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **2010**. 109: e26-50.
91. Manfredini D, Vano M, Peretta R & Guarda-Nardini L, Jaw clenching effects in relation to two extreme occlusal features: patterns of diagnoses in a TMD patient population. *Cranio*, **2014**. 32: 45-50.
92. Manfredini D, Visscher CM, Guarda-Nardini L & Lobbezoo F, Occlusal factors are not related to self-reported bruxism. *J Orofac Pain*, **2012**. 26: 163-7.
93. Manfredini D, Winocur E, Guarda-Nardini L & Lobbezoo F, Self-reported bruxism and temporomandibular disorders: findings from two specialised centres. *J Oral Rehabil*, **2012**. 39: 319-25.
94. Manfredini D, Winocur E, Guarda-Nardini L, Paesani D & Lobbezoo F, Epidemiology of bruxism in adults: a systematic review of the literature. *J Orofac Pain*, **2013**. 27: 99-110.
95. 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. *J Oral Rehabil*, **2018**. 45: 545-554.
96. Mengatto CM, Coelho-de-Souza FH & de Souza Junior OB, Sleep bruxism: challenges and restorative solutions. *Clin Cosmet Investig Dent*, **2016**. 8: 71-7.
97. Mengatto CM, Dalberto Cda S, Scheeren B & Barros SG, Association between sleep bruxism and gastroesophageal reflux disease. *J Prosthet Dent*, **2013**. 110: 349-55.
98. Meyer G, Asselmeyer T & Bernhardt O, Die Schientherapie. *ZM*, **2013**. 103: 1-6.
99. Milosevic A, Agrawal N, Redfearn P & Mair L, The occurrence of toothwear in users of Ecstasy (3,4-methylenedioxymethamphetamine). *Community Dent Oral Epidemiol*, **1999**. 27: 283-7.
100. Minakuchi H, Sogawa C, Miki H, Hara ES, Maekawa K, Sogawa N, Kitayama S, Matsuka Y, Clark GT & Kuboki T, Sleep bruxism frequency and platelet serotonin transporter activities in young adult subjects. *Sleep Breath*, **2016**. 20: 271-6.

101. Mizumori T, Inano S, Sumiya M, Kobayashi Y, Watamoto T & Yatani H, Ambulatory bruxism recording system with sleep-stage analyzing function. *J Prosthodont Res*, **2009**. 53: 150-4.
102. Murali RV, Rangarajan P & Mounissamy A, Bruxism: Conceptual discussion and review. *J Pharm Bioallied Sci*, **2015**. 7: S265-70.
103. Ohlmann B, Waldecker M, Leckel M, Bomicke W, Behnisch R, Rammelsberg P & Schmitter M, Correlations between Sleep Bruxism and Temporomandibular Disorders. *J Clin Med*, **2020**. 9.
104. Ommerborn MA, Ommerborn MA, Giraki M, Schneider C, Schäfer R, Gotter A & Franz M. Diagnosis and quantification of sleep bruxism: New analysis method for the Bruxcore Bruxism Monitoring Device is suitable for clinical use. *J Craniomand Func.*, **2015**.
105. Peroz I, Bernhardt O, Kares H, Korn HJ, Kropp, Lange M, Müller A, Nilges P, Ommerborn MA, Steffen A, Tholen R, Türp JC & Wolowski A, S3-Leitlinie Diagnostik und Behandlung von Bruxismus. *Journal of Craniomandibular Function*, **2019**.
106. Peroz I, Lange M, Mentier, Wolowski A & Ahlers MO. CMD-Screening (CMD-Basisdiagnostik) der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFDT). *Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFDT)*, http://www.dgfdt.de/richtlinien_formulare#:~:text=Das%20CMD-Screening%20ist%20eine,Vorliegen%20einer%20craniomandibulären%20Dysfunktion%20sucht. **2020**.
107. Pho Duc JM, Huning SV & Grossi ML, Parallel Randomized Controlled Clinical Trial in Patients with Temporomandibular Disorders Treated with a CAD/CAM Versus a Conventional Stabilization Splint. *Int J Prosthodont*, **2016**. 29: 340-50.
108. Polmann H, Domingos FL, Melo G, Stuginski-Barbosa J, Guerra E, Porporatti AL, Dick BD, Flores-Mir C & De Luca Canto G, Association between sleep bruxism and anxiety symptoms in adults: A systematic review. *J Oral Rehabil*, **2019**. 46: 482-491.
109. Polmann H, Reus JC, Massignan C, Serra-Negra JM, Dick BD, Flores-Mir C, Lavigne GJ & De Luca Canto G, Association between sleep bruxism and stress symptoms in adults: A systematic review and meta-analysis. *J Oral Rehabil*, **2021**. 48: 621-631.

110. Prpic V, Schauperl Z, Catic A, Dulcic N & Cimic S, Comparison of Mechanical Properties of 3D-Printed, CAD/CAM, and Conventional Denture Base Materials. *J Prosthodont*, **2020**. 29: 524-528.
111. Prpic V, Slacanin I, Schauperl Z, Catic A, Dulcic N & Cimic S, A study of the flexural strength and surface hardness of different materials and technologies for occlusal device fabrication. *J Prosthet Dent*, **2019**. 121: 955-959.
112. Raddatz L, Austerjost J & Beutel S, 3D-Druck: Chancen, Möglichkeiten, Risiken: Wie eine neue Technologie die Zukunft der Biotechnologie und Chemie prägen könnte. *Chemie in unserer Zeit*, **2018**. 52: 42-50.
113. Reymus M, Fabritius R, Kessler A, Hickel R, Edelhoff D & Stawarczyk B, Fracture load of 3D-printed fixed dental prostheses compared with milled and conventionally fabricated ones: the impact of resin material, build direction, post-curing, and artificial aging-an in vitro study. *Clin Oral Investig*, **2020**. 24: 701-710.
114. Rintakoski K, Ahlberg J, Hublin C, Broms U, Madden PA, Kononen M, Koskenvuo M, Lobbezoo F & Kaprio J, Bruxism is associated with nicotine dependence: a nationwide Finnish twin cohort study. *Nicotine Tob Res*, **2010**. 12: 1254-60.
115. Rintakoski K & Kaprio J, Legal psychoactive substances as risk factors for sleep-related bruxism: a nationwide Finnish Twin Cohort study. *Alcohol Alcohol*, **2013**. 48: 487-94.
116. Robin O, Claude A, Gehin C, Massot B & McAdams E, Recording of bruxism events in sleeping humans at home with a smart instrumented splint. *Cranio*, **2022**. 40: 14-22.
117. Rues S, Lenz J, Turp JC, Schweizerhof K & Schindler HJ, Muscle and joint forces under variable equilibrium states of the mandible. *Clin Oral Investig*, **2011**. 15: 737-47.
118. Rugh J, Association between bruxism and TMD. *Current controversies in temporomandibular disorders*, **1992**: 29-31.
119. Safari A, Jowkar Z & Farzin M, Evaluation of the relationship between bruxism and premature occlusal contacts. *J Contemp Dent Pract*, **2013**. 14: 616-21.
120. Saito-Murakami K, Sato M, Otsuka H, Miura H, Terada N & Fujisawa M, Daytime masticatory muscle electromyography biofeedback regulates the phasic component of sleep bruxism. *J Oral Rehabil*, **2020**. 47: 827-833.

121. Saito M, Yamaguchi T, Mikami S, Watanabe K, Gotouda A, Okada K, Hishikawa R, Shibuya E & Lavigne G, Temporal association between sleep apnea-hypopnea and sleep bruxism events. *J Sleep Res*, **2013**.
122. Sakaguchi K, Mehta NR, Abdallah EF, Forgione AG, Hirayama H, Kawasaki T & Yokoyama A, Examination of the relationship between mandibular position and body posture. *Cranio*, **2007**. 25: 237-49.
123. Sari S & Sonmez H, The relationship between occlusal factors and bruxism in permanent and mixed dentition in Turkish children. *J Clin Pediatr Dent*, **2001**. 25: 191-4.
124. Sato M, Iizuka T, Watanabe A, Iwase N, Otsuka H, Terada N & Fujisawa M, Electromyogram biofeedback training for daytime clenching and its effect on sleep bruxism. *J Oral Rehabil*, **2015**. 42: 83-9.
125. Schindler H, Türp J, Sommer C, Kares H, Nilges P & Hugger A, Therapie bei Schmerzen der Kaumuskulatur. *Der Schmerz*, **2007**. 21: 102-115.
126. Schindler HJ, Hugger A & Turp JC, [The therapy of masticatory muscle pain with oral splints]. *Z Evid Fortbild Qual Gesundheitswes*, **2013**. 107: 297-301.
127. Schindler HJ, Lenz J, Turp JC, Schweizerhof K & Rues S, Small unilateral jaw gap variations: equilibrium changes, co-contractions and joint forces. *J Oral Rehabil*, **2009**. 36: 710-8.
128. Schindler HJ, Rues S, Turp JC, Schweizerhof K & Lenz J, Activity patterns of the masticatory muscles during feedback-controlled simulated clenching activities. *Eur J Oral Sci*, **2005**. 113: 469-78.
129. Schmeiser F, Baumert U & Stawarczyk B, Two-body wear of occlusal splint materials from subtractive computer-aided manufacturing and three-dimensional printing. *Clin Oral Investig*, **2022**.
130. Schweiger J & Kieschnick A, CAD/CAM in der digitalen Zahnheilkunde. *teamwork media GmbH*, **2017**.
131. Shetty S, Pitti V, Satish Babu CL, Surendra Kumar GP & Deepthi BC, Bruxism: a literature review. *J Indian Prosthodont Soc*, **2010**. 10: 141-8.
132. Shim YJ, Lee HJ, Park KJ, Kim HT, Hong IH & Kim ST, Botulinum Toxin Therapy for Managing Sleep Bruxism: A Randomized and Placebo-Controlled Trial. *Toxins (Basel)*, **2020**. 12.

133. Skaricic J, Cimic S, Kraljevic-Simunkovic S, Vuletic M & Dulcic N, Influence of Occlusal Splint on Mandibular Movements in Patients with Bruxism: a Comparative Pilot Study. *Acta Stomatol Croat*, **2020**. 54: 322-332.
134. Smardz J, Martynowicz H, Wojakowska A, Michalek-Zrabkowska M, Mazur G & Wieckiewicz M, Correlation between Sleep Bruxism, Stress, and Depression-A Polysomnographic Study. *J Clin Med*, **2019**. 8.
135. Svensson P, Jadidi F, Arima T, Baad-Hansen L & Sessle BJ, Relationships between craniofacial pain and bruxism. *J Oral Rehabil*, **2008**. 35: 524-47.
136. Svensson P & Lavigne G, Clinical bruxism semantics beyond academic debates: Normo- and patho-bruxism as a new proposal. *J Oral Rehabil*, **2020**. 47: 547-548.
137. Takaoka R, Ishigaki S, Yatani H, Ogata S & Hayakawa K, Evaluation of genetic factors involved in nocturnal electromyographic activity of masticatory muscles in twins. *Clin Oral Investig*, **2017**. 21: 319-325.
138. Tinastepe N, Kucuk BB & Oral K, Botulinum toxin for the treatment of bruxism. *Cranio*, **2015**. 33: 291-8.
139. Trindade M, Orestes-Cardoso S & de Siqueira TC, Interdisciplinary treatment of bruxism with an occlusal splint and cognitive behavioral therapy. *Gen Dent*, **2015**. 63: e1-4.
140. Trindade Mde O & Rodriguez AG, Polysomnographic analysis of bruxism. *Gen Dent*, **2014**. 62: 56-60.
141. Tsukiyama Y, Baba K & Clark GT, An evidence-based assessment of occlusal adjustment as a treatment for temporomandibular disorders. *J Prosthet Dent*, **2001**. 86: 57-66.
142. Türp JC & Schindler H, Zum zusammenhang zwischen okklusion und myoarthropathien: einführung eines integrierenden neurobiologischen modells. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, **2003**. 113: 964-977.
143. Türp JC & Schindler H, The dental occlusion as a suspected cause for TMDs: epidemiological and etiological considerations. *J Oral Rehabil*, **2012**. 39: 502-12.
144. Vavrina J & Vavrina J, [Bruxism: Classification, Diagnostics and Treatment]. *Praxis (Bern 1994)*, **2020**. 109: 973-978.

145. Volkan-Yazici M, Kolsuz ME, Kafa N, Yazici G, Evli C & Orhan K, Comparison of Kinesio Taping and manual therapy in the treatment of patients with bruxism using shear-wave elastography-A randomised clinical trial. *Int J Clin Pract*, **2021**. 75: e14902.
146. Watanabe A, Kanemura K, Tanabe N & Fujisawa M, Effect of electromyogram biofeedback on daytime clenching behavior in subjects with masticatory muscle pain. *J Prosthodont Res*, **2011**. 55: 75-81.
147. Wetselaar P & Lobbezoo F, The tooth wear evaluation system: a modular clinical guideline for the diagnosis and management planning of worn dentitions. *J Oral Rehabil*, **2016**. 43: 69-80.
148. 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). *J Oral Rehabil*, **2020**. 47: 703-712.
149. Wieckiewicz M, Bogunia-Kubik K, Mazur G, Danel D, Smardz J, Wojakowska A, Poreba R, Dratwa M, Chaszczewska-Markowska M, Winocur E, Emodi-Perlman A & Martynowicz H, Genetic basis of sleep bruxism and sleep apnea-response to a medical puzzle. *Sci Rep*, **2020**. 10: 7497.
150. Winocur E, Gavish A, Voikovitch M, Emodi-Perlman A & Eli I, Drugs and bruxism: a critical review. *J Orofac Pain*, **2003**. 17: 99-111.
151. Yagci I, Tasdelen Y & Kivrak Y, Childhood Trauma, Quality of Life, Sleep Quality, Anxiety and Depression Levels in People with Bruxism. *Noro Psikiyatrs Ars*, **2020**. 57: 131-135.
152. Yurttutan ME, Tutunculer Sancak K & Tuzuner AM, Which Treatment Is Effective for Bruxism: Occlusal Splints or Botulinum Toxin? *J Oral Maxillofac Surg*, **2019**. 77: 2431-2438.
153. Zissis A, Yannikakis S, Polyzois G & Harrison A, A long term study on residual monomer release from denture materials. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, **2008**. 16: 81-4.

8 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Bruxismus-Screening-Index (BSI) der DGFDT	15
Abbildung 2: CMD-Screening (CMD-Basisdiagnostik) der DGFDT	16
Abbildung 3: Tiefziehgerät Erkoform-RVE (Erkodent Erich Kopp GmbH)	27
Abbildung 4: ausgefüllter Blank vor dem Fräsen	28
Abbildung 5: Fräsmaschine Imes Icore 550i (Kentzler-Kaschner Dental GmbH)	29
Abbildung 6: 3D-Drucker Form 2 der Firma Formlabs	30
Abbildung 7: Trägerschablone nach dem Entfernen der Schiene	30
Abbildung 8: Abformung mit Alginate (Oberkiefer)	35
Abbildung 9: Abformung mit Aquasil Ultra (Unterkiefer)	35
Abbildung 10: Transferbogen SAM angelegt (seitliche Ansicht)	36
Abbildung 11: Modelle im SAM 2PX Artikulator einartikuliert	37
Abbildung 12: Okklusion nach Einschleifen	40
Abbildung 13: Teilnehmeranzahl nach Gruppen	44
Abbildung 14: Vorerkrankungen des stomatognathen Systems innerhalb der Familie	44
Abbildung 15: Stresslevel zu Beginn der Studie in % (gesamt)	45
Abbildung 16: Stresslevel zu Beginn der Studie in % (nach Gruppen)	45
Abbildung 17: akute Beschwerden zu Beginn der Studie	46
Abbildung 18: Pressen / Knirschen bekannt	46
Abbildung 19: Intensität der Probleme	47
Abbildung 20: Geruch der Schienen	48
Abbildung 21: basale Passung am Modell	48
Abbildung 22: Schieneneigenschaften	49
Abbildung 23: Einschleifzeit in min	50
Abbildung 24: Beurteilung der Polierbarkeit	51
Abbildung 25: auffälliger Geschmack	51
Abbildung 26: Schienenpassung aus Sicht des Patienten	52
Abbildung 27: Schienenpassung aus Sicht des Behandlers	52
Abbildung 28: Einschleifzeit in min (Eingliederungssitzung)	53
Abbildung 29: Schienenfrakturen innerhalb der 3-monatigen Tragezeit	55
Abbildung 30: Handhabung aus Sicht der Patienten	56
Abbildung 31: Reinigbarkeit	56

Abbildung 32: Stresslevel am Ende der Studie (gesamt)	57
Abbildung 33: Stresslevel am Ende der Studie (nach Gruppen)	57
Abbildung 34: Veränderung der stomatognathen Situation	58
Abbildung 35: Einschleifzeit in min (Kontrollsituation)	58
Abbildung 36: Auffälligkeiten nach 3-monatiger Tragezeit	60
Abbildung 37: Ergebnis Kruskal-Wallis-Test (Einschleifzeit im Labor)	61
Abbildung 38: Ergebnis Kruskal-Wallis-Test (Eingliederungssitzung)	62
Abbildung 39: Ergebnis Kruskal-Wallis-Test (Kontrollsituation)	63

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Diagnoseeinteilung bei Wach- und Schlafbruxismus	14
Tabelle 2: Diagnosemöglichkeiten und Therapieoptionen bei Wach- und Schlafbruxismus	23
Tabelle 3: Schienendicke in mm an verschiedenen Regionen nach dem Einschleifen (Eingliederungssitzung)	54
Tabelle 4: Mittelwerte mit Standardabweichung der Schienendicke einteilt nach Gruppen (Kontrollsituation).....	59
Tabelle 5: Differenz der Schienendicke in mm im Vergleich vom Kontrolltermin zur Eingliederungssitzung	60

10 Abkürzungsverzeichnis

ADHS	Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätsstörung
BSI	Bruxismus-Screening-Index
bzw.	beziehungsweise
CAD/CAM	Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing
CMD	Craniomandibuläre Dysfunktion
DGFDT	Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und – therapie
ect.	et cetera
EEG	Elektroenzephalopathie
EKG	Elektrokardiographie
EMA	Ethylenmethacrylat
EMG	Elektromyographie
GABA	Gamma-Amino-Buttersäure
min	Minuten
mm	Millimeter
MMA	Methylmethacrylat
nm	Nanometer
OSAS	Obstruktives Schlafapnoe Syndrom
PET	Polyethylen
PETG	Polyethylenterephthalaglykol
PMR	progressive Muskelentspannung
PSG	Polysomnographie
SLA	Stereolithografie
TWES	Tooth Wear Evaluation System

11 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich bei der Erstellung und auf dem Weg dieser Arbeit stets unterstützt haben.

Besonderer Dank gilt meiner Doktormutter Prof. Dr. med. dent. Karin Christine Huth, MME, Oberärztin der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Ludwig-Maximilians-Universität München, für die Überlassung dieses faszinierenden und lehrreichen Themas und ihrer kompetenten Betreuung.

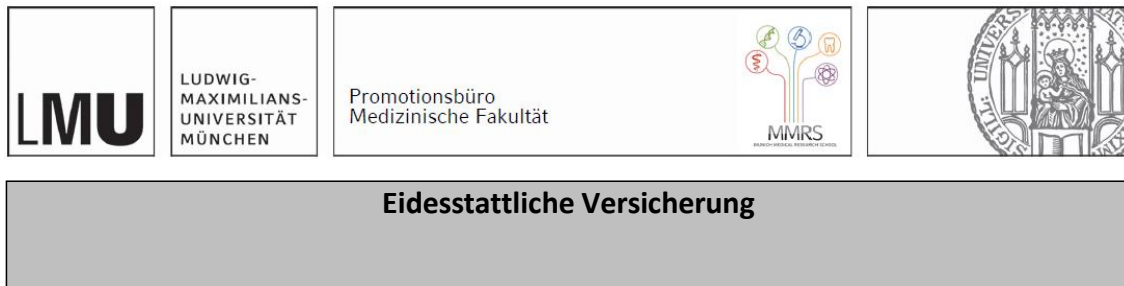
Darüber hinaus danke ich Herrn Prof. Dr. Reinhard Hickel, Direktor der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Ludwig-Maximilians-Universität München, dass ich diese Studie in seiner Einrichtung durchführen durfte.

Des Weiteren danke ich Herrn PD Dr. med. dent. Maximilian Kollmuß, der mich unterstützte und mir immer mit seinem Rat zur Seite stand. Er half mir meine Ideen umzusetzen und förderte meine Selbstständigkeit.

Vielen Dank an das Zahntechniklabor Kollmuß, das mich bei der Herstellung der Schienen tatkräftig unterstützt hat.

Besonders am Herzen liegt es mir, meiner Familie zu danken, die mir zu jeder Zeit den Rücken freigehalten, mich in den richtigen Momenten abgelenkt und mir mit wertvollen Ratschlägen zur Seite gestanden hat.

12 Affidavit



Erhard, Lisa Marlena

Name, Vorname

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

“Evaluation dreier Herstellungsmethoden für adjustierte Aufbissschienen zur Behandlung von Parafunktionen des stomatognathen Systems“

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.

Neubiberg, der 09.01.2024

Ort, Datum

Lisa Erhard

Unterschrift Doktorandin bzw. Doktorand

Anhang 1 (Votum der Ethikkommission)



Ethikkommission · Pettenkoferstr. 8 · 80336 München

Dr. Maximilian Kollmuß
Klinikum der Universität München
Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
Goethestr. 70
80336 München

Vorsitzender:
Prof. Dr. W. Eisenmenger
Telefon+49 (0)89 410055191
Telefax+49 (0)89 410055 92
ethikkommission@
med.uni-muenchen.de
www.ethikkommission.med.uni-muenchen.de

Anschrift:
Pettenkoferstr. 8a
D-80336 München

18.11.2017 Hb/ck

Projekt Nr. 17-503 (bitte bei Schriftwechsel angeben)

Beratung nach Fakultätsrecht

Studententitel: Evaluation dreier Herstellungsmethoden für adjustierte Aufbisschienen zur Behandlung von Parafunktionen des stomatognathen Systems
Antragsteller: Dr. Maximilian Kollmuß, Klinikum der Universität München, Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, Goethestr. 70, 80336 München

Sehr geehrter Herr Dr. Kollmuß,

besten Dank für Ihr Schreiben mit der Beantwortung unserer Fragen bzw. Erfüllung der Auflagen und den noch ausstehenden bzw. überarbeiteten Unterlagen.

Die Ethikkommission (EK) kann Ihrer Studie nun die ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit zuerkennen.

Vorsorglich möchte ich darauf hinweisen, dass auch bei einer positiven Beurteilung des Vorhabens durch die EK die ärztliche und juristische Verantwortung für die Durchführung des Projektes uneingeschränkt bei Ihnen und Ihren Mitarbeitern verbleibt.

Allgemeine Hinweise:

- Änderungen im Verlauf der Studie sind der EK zur erneuten Prüfung vorzulegen.
- Schwerwiegende unerwartete Ereignisse im Rahmen der Studie sind der EK mitzuteilen.
- Das Ende der Studie ist anzuzeigen und das Ergebnis vorzulegen.
- Die ärztliche und juristische Verantwortung bei der Durchführung der Studie verbleibt uneingeschränkt bei Ihnen und Ihren Mitarbeitern.

Für Ihre Studie wünsche ich Ihnen viel Erfolg.

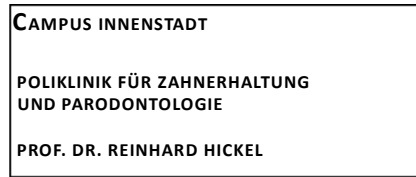
Mit freundlichen Grüßen


Prof. Dr. W. Eisenmenger
Vorsitzender der Ethikkommission

Vollständiger Mitglieder:

Prof. Dr. W. Eisenmenger (Vorsitzender), Prof. Dr. E. Heuß (Vizepräsident), Prof. Dr. H. Angerer, Prof. Dr. C. Bäumker, Prof. Dr. T. Schön, Prof. Dr. C. Fleiss, Prof. Dr. E. Einmüsch, Prof. Dr. St. Endres, Prof. Dr. H. U. Gallwas, Prof. Dr. J. Genzer-Earlsbožán, Prof. Dr. A. Grosse, Prof. Dr. K. Fahn, Prof. Dr. H. Farber, Dr. B. Hecht, Prof. Dr. Ch. Heumann, Prof. Dr. V. Klaus, Prof. Dr. G. Wankmann, Dr. V. Münch, Prof. Dr. A. Nassehi, Prof. Dr. D. Müller, Prof. Dr. R. Pabring, Prof. Dr. J. Peters, Prof. Dr. K. Pfeifer, Dr. I. Saake, Prof. Dr. M. Schönmak, Prof. Dr. U. Schreih, Prof. Dr. A. Spickhoff, Prof. Dr. D. Swoboda, PD Dr. U. Waid, Prof. Dr. G. Wendling, Dr. A. Yarekurlu, Dr. Ch. Zach

Anhang 2 (Patienteninformation und -einwilligungserklärung)



Patienteninformation und Einwilligungserklärung

OÄ Prof. Dr. Karin C. Huth, MME
Dr. Maximilian Kollmuß

Telefon: +49 (0)89 4400-9378
Telefax: +49 (0)89 4400-69302

kollmuss@dent.med.uni-
muenchen.de

www.dent.med.uni-muenchen.de

Postanschrift:
Goethestr. 70
D-80336 München

I. Patienteninformation

Studientitel:

Vergleich dreier Herstellungsarten von Aufbissbehelfen zur Behandlung von Bruxismus

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient!

Sie werden gefragt, ob Sie damit einverstanden sind an einer Studie im Bereich der Schienentherapie teilzunehmen.

In der Studie geht es darum verschiedene Herstellungsarten von sogenannten Aufbisschienen auf ihre Vor- und Nachteile hin zu untersuchen. Diese Schienen werden zur Behandlung von Bruxismus eingesetzt. Als Bruxismus bezeichnet man das Knirschen und/oder Pressen mit den Zähnen. Als Hauptursache für Bruxismus gilt Stress. Viele Deutsche leiden im Laufe ihres Lebens unter den Folgen von Bruxismus. Sie haben häufig Nacken- oder Kopfschmerzen, empfindliche Zähne, Verspannungen im Gesichts- und Nackenbereich und/oder

bemerken mit der Zeit einen Substanzverlust an ihren Zähnen. Dieses Knirschen oder Pressen erfolgt meist nachts und unbemerkt und ist daher kaum bis gar nicht zu kontrollieren.

Um diesen Folgen vorzubeugen, sie zu minimieren oder sogar sie abzustellen wird heutzutage in der Zahnmedizin einer der beiden Kiefer mit einer Schiene aus Kunststoff geschützt. Diese Aufbissschiene sorgt dafür, dass der Druck, der durch das Knirschen/Pressen auf die Zähne einwirkt, gleichmäßig auf den ganzen Kiefer verteilt wird. Somit werden einzelne Zähne nicht überbelastet und die Muskulatur entspannt. Darüber hinaus schützt sie die Zähne vor Hartschubstanzverlusten.

Oft werden diese Schienen und die dafür notwendigen Untersuchungen gar nicht oder nur zum Teil von den gesetzlichen Krankenkassen übernommen. Jedoch ist es dringend nötig die Zähne vor den Folgeschäden zu schützen, die bis hin zum Zahnverlust führen können.

In dieser Studie wird untersucht, ob eine der Herstellungsarten den Anforderungen an diese Belastungen besonders gut standhält. Nach Aufnahme eines aktuellen Befunds der Zähne werden Abdrücke beider Kiefer genommen. Anhand dieser Abdrücke werden Modelle gegossen, auf denen die Schiene hergestellt wird. Nach einigen Voranpassungen wird die Schiene nach ca. 1-2 Wochen eingesetzt und wenn notwendig noch weiter angepasst. Nach ca. 3 Monaten erfolgt eine Kontrolle und ein Bericht des Patienten über seine Erfahrungen über den Umgang mit der Schiene.

Durch die Teilnahme an dieser Studie entstehen Ihnen keine Kosten. Die Behandlung ist für sie schmerzfrei und ungefährlich. Es werden im Rahmen dieser Studie keine zahnärztlich-invasiven Maßnahmen durchgeführt. Somit entstehen keine studienspezifischen zusätzlichen Belastungen für Sie.

Eine Probandenversicherung oder Wegeversicherung wurde nicht abgeschlossen.

Bei dieser Studie werden die Vorschriften über die ärztliche Schweigepflicht und den Datenschutz eingehalten. Es werden persönliche Daten und Befunde über Sie erhoben, gespeichert und verschlüsselt (pseudonymisiert), d.h. weder Ihr Name noch Ihre Initialen oder das exakte Geburtsdatum erscheinen im Verschlüsselungscode oder werden weitergegeben.

Im Falle des Widerrufs Ihrer Einwilligung werden die pseudonymisiert gespeicherten Daten in irreversibel anonymisierter Form weiterverwendet.

Der Zugang zu Ihren Originaldaten und zum Verschlüsselungscode ist auf folgende Personen beschränkt: Studienleiter (Dr. M. Kollmuß) und seine Stellvertreterin (OÄ Prof. Dr. K. Huth). Die Unterlagen werden 10 Jahre verschlossen in den Räumen der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität München aufbewahrt.

Eine Entschlüsselung erfolgt lediglich in Fällen, in denen es Ihre eigene Sicherheit erfordert („medizinische Gründe“) oder falls es zu Änderungen in der wissenschaftlichen Fragestellung kommt („wissenschaftliche Gründe“).

Im Falle von Veröffentlichungen der Studienergebnisse bleibt die Vertraulichkeit der persönlichen Daten gewährleistet.

Die Teilnahme an dieser Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit und ohne Angabe von Gründen Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dem Forschungsvorhaben zurücknehmen, ohne dass Ihnen hieraus Nachteile entstehen.

Aufklärender Zahnarzt: _____

II. Einwilligungserklärung

Studententitel:

Vergleich dreier Herstellungsarten von Aufbissbehelfen zur Behandlung von Bruxismus

Hiermit willige ich in die Teilnahme an der oben genannten klinischen Studie mit den dazugehörigen Behandlungen nach Maßgabe der Patienteninformation ein.

Die Teilnahme erfolgt freiwillig.

Es wurde keine besondere Probanden-/Wegeversicherung abgeschlossen.

Bei dieser Studie werden die Vorschriften über die ärztliche Schweigepflicht und den Datenschutz eingehalten. Es werden persönliche Daten und Befunde über Sie erhoben, gespeichert und verschlüsselt (pseudonymisiert), d.h. weder Ihr Name noch Ihre Initialen oder das exakte Geburtsdatum erscheinen im Verschlüsselungscode, weitergegeben. Im Falle des Widerrufs Ihrer Einwilligung werden die pseudonymisiert gespeicherten Daten in irreversibel anonymisierter Form weiterverwendet.

Der Zugang zu Ihren Originaldaten und zum Verschlüsselungscode ist auf folgende Personen beschränkt: Studienleiter (Dr. M. Kollmuß) und seine Stellvertreterin (OÄ Prof. Dr. K. Huth). Die Unterlagen werden 10 Jahre verschlossen in den Räumen der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität München aufbewahrt. Eine Entschlüsselung erfolgt lediglich in Fällen, in denen es Ihre eigene Sicherheit erfordert („medizinische Gründe“) oder falls es zu Änderungen in der wissenschaftlichen Fragestellung kommt („wissenschaftliche Gründe“).

Im Falle von Veröffentlichungen der Studienergebnisse bleibt die Vertraulichkeit der persönlichen Daten gewährleistet.

Mir ist bekannt, dass ich jederzeit und ohne Angabe von Gründen das Einverständnis zur Teilnahme an dem Forschungsvorhaben zurücknehmen kann, ohne dass mir hieraus Nachteile entstehen.

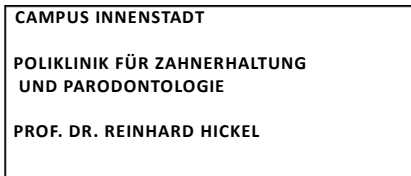
Ich bin mit der Erhebung und Verwendung persönlicher Daten und Befunddaten nach Maßgabe der Patienteninformation einverstanden.

München, den

Unterschrift Patient:

Unterschrift Zahnarzt:

Anhang 3 (Anamnesebogen)



Evaluation dreier Herstellungsmethoden für adjustierte Aufbisschienen zur Behandlung von Parafunktionen des stomatognathen Systems

Anamnesebogen

Patienten-Verschlüsselung: _____ (CODEAUFKLEBER)

Datum: _____

Familienanamnese

1.) Konnten bei Familienmitgliedern Erkrankungen der Kiefergelenke oder Veränderungen des Zahnhalteapparates beobachtet werden?

nein ja

falls ja,
welche Erkrankung/Erkrankungen? _____

Eigenanamnese

2.) Wurden Sie in der Vergangenheit am Kiefergelenk oder am Kiefer operiert und/oder hatten sie an besagten Körperteilen eine Verletzung?

nein ja

falls ja,
was wurde gemacht? _____

wann wurde die Behandlung durchgeführt? _____

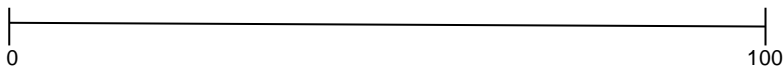
3.) Sind bei Ihnen Allergien (z.B. auf Kunststoffe, Abdruckmaterialien o.ä.) bekannt?

nein ja

falls ja, welche?

4.) Auf einer Skala von 0 bis 100, wie stressig empfinden Sie Ihren Alltag?

(0: gar keinen Stress, 100: extremer Stress)



5.) Haben sie oft Kopf- oder Nackenschmerzen und/oder leiden Sie häufig unter Zahn- und Muskelschmerzen im Gesicht nach dem Aufstehen?

nein ja

6.) Beobachten sie Knirschen oder Pressen mit den Zähnen oder haben Sie in der Vergangenheit mit den Zähnen geknirscht/gepresst?

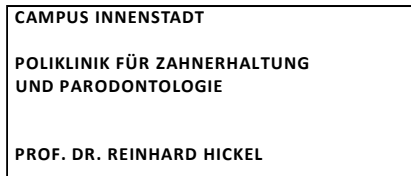
nein ja

falls ja,
wurden Sie schon mal mit einer Schiene behandelt?
war diese Schiene im Ober- oder im Unterkiefer?
wann war diese Behandlung?

Wie stark sind Ihre Probleme mit den Folgen des Knirschens/Pressens (Schliffacetten, Kopf-/Nackenschmerzen, etc.) auf einer Skala von 1 bis 5?

1 2 3 4 5
Keine Probleme wenig Probleme mäßige Probleme starke Probleme extreme Probleme

Anhang 4 (Kontrollbogen Labor)



Evaluation dreier Herstellungsmethoden für adjustierte Aufbissschienen zur Behandlung von Parafunktionen des stomatognathen Systems

Kontrollbogen Labor

Patient: _____

1.) Hat das Schienenmaterial einen unangenehmen Geruch?

nein ja

2.) Wie gut lässt sich die Schiene polieren?

sehr gut gut mäßig schlecht sehr schlecht

Bemerkungen: _____

3.) Wie stellt sich sie basale Passung dar?

sehr gut gut mäßig schlecht sehr schlecht

Bemerkungen: _____

4.) Wie stark musste die Okklusion angepasst werden?

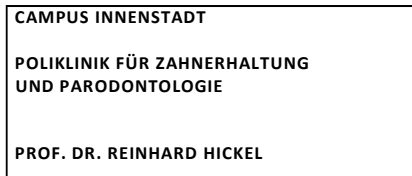
stark mittel gering gar nicht

Bemerkungen: _____

5.) Wie lange beträgt die Einschleifzeit der Okklusion (in sec.)?

6.) sonstige Bemerkungen/Auffälligkeiten etc.?

Anhang 5 (Kontrollbogen Eingliederung)



Evaluation dreier Herstellungsmethoden für adjustierte Aufbisschienen zur Behandlung von Parafunktionen des stomatognathen Systems

Kontrollbogen Eingliederung

Patient: _____

1.) Hat das Schienenmaterial einen unangenehmen Geschmack?

nein ja

2.) Wie beurteilt der Patient den ersten Sitz der Schiene?

sehr gut gut mäßig schlecht sehr schlecht

Bemerkung: _____

3.) Wie stellt sich sie subjektive Passung dar?

sehr gut gut mäßig schlecht sehr schlecht

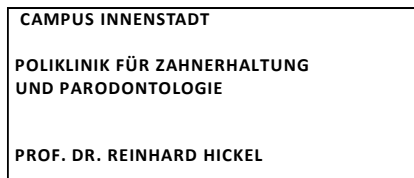
Bemerkung: _____

4.) Wie stark musste die Okklusion angepasst werden?

stark mittel gering gar nicht

Bemerkung: _____

Anhang 6 (Kontrollbogen nach 3-monatiger Tragezeit)



Evaluation dreier Herstellungsmethoden für adjustierte Aufbissschienen zur Behandlung von Parafunktionen des stomatognathen Systems

Fragebogen nach 3-monatiger Tragezeit

Patienten-Verschlüsselung:

(CODEAUFKLEBER)

Datum: _____

1.) Haben Sie in den letzten Monaten eine unangenehme Geruchsentwicklung an Ihrer Schiene bemerkt?

nein

ja

2.) Hat sich der Tragekomfort in den letzten Monaten verändert?

nein

ja

falls ja,

inwiefern hat sich der Tragekomfort verändert?

3.) Wie kamen sie mit der Handhabung der Schiene in Bezug auf Einsetzen und Herausnehmen zurecht?

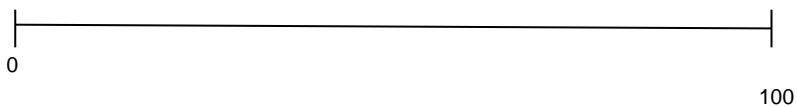
sehr gut gut mäßig schlecht sehr schlecht

4.) Wie ließ sich die Schiene reinigen?

sehr gut gut mäßig schlecht sehr schlecht

5.) Auf einer Skala von 1 bis 100, wie stressig empfinden Sie heute Ihren Alltag?

(1: gar keinen Stress, 100: extremer Stress)



6.) Haben Sie eine Verbesserung oder Verschlechterung Ihrer Situation bemerkt?

Verbesserung Verschlechterung gleichgeblieben

Einschleifzeit: _____

Dicke der Schiene: 46: 36:

 44: 34:

Verfärbungen/Risse/Absplitterungen etc.:
