

**Zahnstellungsänderungen nach Therapie
mit Unterkiefer-Protrusionsschienen
im Rahmen der Behandlung
von schlafbezogenen Atmungsstörungen**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Hohen Medizinischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

Bonn

Anton Kares

aus Saarbrücken

2024

Angefertigt mit der Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachterin: PD Dr. Sabine Linsen
2. Gutachter: Prof. Dr. em. Andreas Jäger

Tag der Mündlichen Prüfung: 18.11.2024

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Propädeutik und Werkstoffwissenschaften
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Helmut Stark

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	5
1. Einleitung	7
1.1 Allgemeine Einführung	7
1.2 Bedeutung des Schlafes	8
1.3 Therapieoptionen der OSA	15
1.3.1 Chirurgische Verfahren	19
1.3.2 CPAP-Therapie	20
1.3.3 Weitere Therapieoptionen	22
1.3.4 Unterkieferprotrusionsschiene (UPS)	24
1.4 Messmethoden zur Erfassung der Zahnstellungsänderungen	34
1.4.1 Problematik der Referenzpunktauswahl bei der computergestützten dreidimensionalen Auswertung von Zahnstellungsänderungen	35
2. Material und Methoden	37
2.1 Studiendesign und Patientenkollektiv	37
2.1.1 Kriterien zur Auswahl der Modelle	37
2.2 Behandlungsablauf, klinisches Vorgehen	38
2.2.1 Testschiene	38
2.2.2 Definitive UPS	41
2.3 Klinische Overbite und Overjet-Messungen	43
2.4 Digitale Messung und Auswertung der Gipsmodelle	43
2.4.1 Modellscanner S600 Arti (Zirkonzahn GmbH, Gai/Südtirol, Italien)	43
2.4.2 Scanvorgang	44
2.4.3 Onyx Ceph ³ ™ Software (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland)	44
2.4.4 Bearbeiten der Modelle mit Hilfe der Onyx Ceph ³ ™ Software	45

2.4.5	Überlagerung der digitalisierten Modelle und Auswertung der Inklination, Angulation, Rotation, Mesial-, Vestibulär- und Okklusalwanderung mit Hilfe des Onyx Ceph ³ ™ „Inspekt“-Moduls	47
2.4.6	Overbite und Overjet Messung mit Hilfe des Onyx Ceph ³ ™ „Auswertung“-Moduls	49
2.5	Demografische Daten und klinische Befunde	49
2.6	Statistische Auswertung	51
2.7	Fragestellungen	51
3.	Ergebnisse	53
3.1	Patientengut	53
3.3	Overbite und Overjet Messungen	66
3.4	Multiple lineare Regression	68
3.5	Bildliche Darstellung der Veränderung	70
3.6	Stellungsänderungen der einzelnen Zähne in den Beobachtungszeiträumen 1 (T0-T1) und 2 (T0-T2)	71
4.	Diskussion	81
5.	Zusammenfassung	103
6.	Abbildungsverzeichnis	105
8.	Literaturverzeichnis	107
9.	Danksagung	128

Abkürzungsverzeichnis

AHI	- Apnoe-Hypopnoe-Index
AI	- Apnoe-Index
BMI	- Body-Mass-Index
CPAP	- Continuous Positive Airway Pressure
DGSM	- Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin
DGZS	- Deutsche Gesellschaft Zahnärztliche Schlafmedizin
DMFT	- Decayed Missing Filled Teeth
EEG	- Elektroenzephalografie
EMG	- Elektromyografie
EOG	- Elektrookulografie
ESS	- Epworth Sleepiness Scale
GR	- Gewichtsreduktion
HS	- Hypoglossus Stimulation
ICSD	- International Classification of Sleep Disorders
LT	- Lagetherapie
MMA	- Maxillo-mandibuläres Advancement
ODI	- Oxygen Desaturation Index
OK	- Oberkiefer
OSA	- Obstruktive Schlafapnoe
OSAS	- Obstruktives Schlafapnoesyndrom

PG	- Polygraphie
POB	- Posterior Offener Biss
PSG	- Polysomnographie
PSI	- Parodontaler Screening Index
PSQI	- Pittsburgh Sleep Quality Index
RDI	- Respiratory Disturbance Index
SBAS	- Schlafbezogene Atmungsstörung
TE	- Tonsillektomie
UK	- Unterkiefer
UPPP	- Uvulopalato-pharyngoplastik
UPS	- Unterkieferprotrusionsschiene
WALA	- Will and Lawrence Andrews

1. Einleitung

1.1 Allgemeine Einführung

Schlafstörungen sind ubiquitär vorkommend und gelten als eine weitestgehend unterschätzte Volkskrankheit. Sie beeinträchtigen den normalen Schlaf-Wach-Zyklus und können in primäre und sekundäre Schlafstörungen eingeteilt werden.

Primäre Schlafstörungen sind eigenständige Schlafstörungen, die keine klare zugrunde liegende medizinische oder psychologische Ursache haben. Sie treten unabhängig von anderen Gesundheitsproblemen auf. Beispiele für primäre Schlafstörungen sind Dyssomnien, die zu Ein- und Durchschlafstörungen oder übermäßige Schläfrigkeit führen. Andere wichtige Schlafstörungen sind die schlafbezogenen Atmungsstörungen (SBAS), wie die obstruktive Schlafapnoe (OSA), schlafbezogene Bewegungsstörungen, wie das Restless-Legs-Syndrom und Parasomnie-Störungen, wie Schlafwandeln oder Alpträume (DocCheck, 2016).

Sekundäre Schlafstörungen treten als Folge einer anderen organischen oder psychiatrischen Erkrankung, wie einer Depression oder Angststörung auf (DocCheck, 2016).

Nach heutigen Erkenntnissen können die verschiedenen Ausprägungen der Schlafstörungen zu einem erhöhten Risiko für allgemeine Erkrankungen, vor allem Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen (Carrizo et al., 2005). Der DAK-Gesundheitsreport von 2017 berichtet in der Altersgruppe der 35- bis 65-Jährigen seit 2010 über eine Zunahme der Häufigkeit von Einschlaf- und Durchschlafstörungen um 66 %.

Für die Therapie der SBAS stehen effektive nicht-invasive und invasive Verfahren zur Verfügung (Abad und Guilleminault, 2009; DGSM, 2017) wie beispielsweise die CPAP (Continuous positive airway pressure) -Maske, die Unterkieferprotrusionsschiene (UPS), die Gewichtsreduktion, die Lagertherapie sowie verschiedene chirurgische Maßnahmen.

1.2 Bedeutung des Schlafes

Schlafbezogene Atmungsstörungen, auch als Schlafapnoe bezeichnet, sind Störungen der Atmung, die ausschließlich oder primär im Schlaf auftreten, die sich störend auf den Schlaf auswirken und seine Erholungsfunktion beeinträchtigen (The International Classification of Sleep Disorders – Third Edition (ICSD-3)., 2014). Sie beeinflussen den Schlaf negativ und hemmen dadurch seine Erholungsfunktion.

Während des Schlafes kommt es zu wichtigen Reparatur- und Regenerationsprozessen, die für die Aufrechterhaltung der körperlichen Gesundheit verantwortlich sind. Dazu zählen unter anderem die Zunahme des Wachstumshormonspiegels und das Auffüllen der zerebralen Glykogenspeicher (Stuck et al., 2018a, S. 15). Der Energieverbrauch des Körpers sinkt um etwa 10% ebenso wie die Körpertemperatur. Sowohl bei schlafdeprivierten Versuchstieren als auch Probanden (Stuck et al., 2018a, S. 15) konnte eine erhöhte Anfälligkeit für Infektionen und eine verminderten Impfantwort nachgewiesen werden. Jedoch konnten auch langfristige kompensatorische Immunreaktionen bei Schichtarbeiter*innen beobachtet werden (van Mark et al., 2010). Zudem spielt der Schlaf auch bei der Konsolidierung von Gedächtnisinhalten und dem Lernprozess eine entscheidende Rolle (Erlacher, 2019). Hierbei wurde festgestellt, dass wohlbekannte Bewegungsabläufe im Schlafstadium N2, der Leichtschlafphase verarbeitet und gefestigt werden (Smith et al., 2004). Das Erlernen motorischer Programme (prozeduales Lernen) erfolgt hingegen eher im Zusammenhang mit dem REM-Schlaf, also dem Traumschlaf. Es wird vermutet, dass dem Träumen möglicherweise eine Funktion der Problemlösung zukommt (Stuck et al., 2018, S. 20). Dabei werden vorherige Erinnerungen aus dem Gedächtnis mit neuen Eindrücken des gegenwärtigen Erlebens im Wachzustand auf kreative Weise kombiniert, ähnlich einem "Brainstorming" während der Nacht (Stuck et al., 2018a, S. 20). Ebenso wird vermutet, dass einige andere Funktionen, wie die emotionale Regulation und die soziale Wahrnehmung vom Träumen profitieren können, da sie eine virtuelle und sichere Umgebung bieten, in der der Träumende einer bedeutenden Menge an belohnenden oder aversiven Reizen ausgesetzt wird (Perogamvros et al., 2013).

Schlafbezogene Atmungsstörungen

Neben den schlafbezogenen Hypoventilations- und Hypoxämiesyndromen, auf die im Folgenden nicht weiter eingegangen wird, gibt es zwei Haupttypen von Schlafapnoe: die zentrale und die obstruktive Schlafapnoe.

Die zentrale Schlafapnoe wird definiert als eine Störung des Atemantriebs im Gehirn und / oder eine mangelnde Übertragung der Nervenimpulse auf die Atemmuskulatur (DGSM, 2017). Dadurch besteht bei der zentralen Schlafapnoe trotz offener oder passiv kollabierter oberer Atemwege kein Atemgasfluss (DGSM, 2017). Bei der zentralen Hypopnoe liegt eine ebenfalls zentral verursachte Verminderung der Atemanstrengung und des Atemgasflusses vor (DGSM, 2017).

Die obstruktive Schlafapnoe ist die häufigere Form der Schlafapnoe und wird durch eine teilweise oder vollständige Blockade der oberen Atemwege, die den Luftfluss im Schlaf behindert, verursacht (Joachim T. Maurer, 2008; Ward, 2002). In der Folge kommt es zu einer Fragmentierung (Arousal) des Schlafes und einer Sauerstoffentsättigung. Bei einer Verengung der Atemwege ohne vollständigen Verschluss, spricht man vom „Upper Airway Resistance Syndrome“ (UARS) (Stoohs, 2007). Hierbei ist der Muskeltonus noch ausreichend hoch, um einen völligen Verschluss der Atemwege zu vermeiden. Dennoch treten ebenfalls Weckreaktionen auf, die den Schlaf fragmentieren.

Charakteristische Muster der gestörten Atmung während des Schlafes sind Apnoen und Hypopnoen. Dabei kommt es wiederholt zu Episoden eines verminderten (Hypopnoe) oder eines gänzlich aussetzenden Atemgasflusses (Apnoe) trotz bestehender Atemanstrengung. Ersichtlich wird dies anhand von stark negativen intrathorakalen Drücken (Speike, 2019).

Bei der gemischten Form der Apnoe liegt zunächst eine zentrale Apnoe vor, die dann in eine obstruktive übergeht.

Diagnostisch wird der Atemfluss über Wärmefühler (Thermistoren) an Mund und Nase oder über die Staudruckmessung erhoben (Stuck et al., 2018a, S. 59). Die Apnoe wird definiert als eine Reduktion des Atemflusses um mindestens 90 % über einen Zeitraum von mindestens 10 Sekunden (Rodenbeck, 2013). Eine Hypopnoe hingegen besteht, wenn der Atemfluss (Flowsignal) um mindestens 30 % im Vergleich zum Ausgangswert

fällt und diese Verminderung mindestens 10 s andauert (Rodenbeck, 2013). Außerdem muss bei der Hypopnoe die Sauerstoffsättigung um wenigstens 3 % im Vergleich zum Ausgangswert fallen oder das Ereignis mit Arousals korreliert sein. Ein Arousal ist eine vom Gehirn oder Körper gesteuerte Weckreaktion mit kurzer Unterbrechung des Schlafes für 3–15 Sekunden (Rodenbeck, 2013). Diese sind stimulusabhängig und können enterozeptiv (psychophysisch, sensorisch, neuronal, vegetativ) wie durch veränderte Blutgasverhältnisse oder Traumaerlebnisse oder aber auch exterozeptiv (akustisch, optisch, taktil) ausgelöst sein (Stuck et al., 2018, S. 49). Der diagnostische Hauptbefund ist der Apnoe-Hypopnoe-Index (AHI), der die Anzahl an Apnoen und Hypopnoen pro Stunde Schlafzeit angibt. Dieser sollte nicht ausschließlich zur Beschreibung des Schweregrades der Schlafapnoe benutzt werden, doch kann er eine ungefähre Einordnung des Befundes in folgende Stadien erlauben: Bei einem AHI $<15/h$ spricht man von einer milden Schlafapnoe (DGSM, 2017). Bei Werten zwischen $15/h$ und $30/h$ wird die Schlafapnoe als mittelgradig und ab einem AHI $>30/h$ als schwer eingestuft.

Auf die Atemregulationsstörung und die wiederkehrenden Atempausen reagiert der Körper mit Weckreaktionen (Arousals), die durch einen Anstieg des pharyngealen Muskeltonus die Hypopnoe bzw. Apnoe beenden, jedoch mit einer Fragmentierung (Unterbrechung) des Schlafes einhergehen (Stuck et al., 2018, S. 48).

Prävalenz der OSA

Die Prävalenz einer OSAS ausschließlich definiert über einen $AHI >15$ wird bei den über 40-jährigen Männern mit 49,7 % bzw. mit 23,4 % für Frauen angegeben (Heinzer et al., 2015). Einen $AHI >5$ weisen sogar 83,8 % der Männer und 60,8 % der Frauen auf (Heinzer et al., 2015). Unter Einbindung des ESS (Epworth Sleepiness Scale), einem Fragebogen zur Bewertung der Tagesschläfrigkeit, verringert sich die Prävalenz der OSA. Die Gesamtpunktzahl der Epworth-Skala reicht von 0 bis 24, wobei höhere Werte auf eine größere Schläfrigkeit hinweisen (Johns, 1991). Eine Punktzahl von 10 oder höher wird in der Regel als Hinweis auf exzessive Tagesschläfrigkeit betrachtet, die weiter abgeklärt werden sollte. Wird zusätzlich zum AHI ($AHI \geq 5/h$) der ESS ($ESS \geq 10$) in die Bewertung einbezogen, liegt die Prävalenz der OSAS bei Männern bei 12,5 % und bei Frauen bei 5,9 % (Heinzer et al., 2016).

Prädisponierende Faktoren der OSA

Die klassischen Risikofaktoren der obstruktiven Schlafapnoe sind Alter, Adipositas, männliches Geschlecht, kraniofaziale Besonderheiten und anatomische pharyngeale bzw. laryngeale Veränderungen (DGSM, 2017; Garvey et al., 2015). Hierzu zählen das Volumen der lateralen Pharynxwand, das Zungenvolumen und das Gesamtvolumen des Weichteilgewebes der oberen Atemwege, die zusätzlich eine signifikante Heritabilität aufweisen (Garvey et al., 2015; Malhotra et al., 2006).

Adipositas erhöht das Risiko für OSA um das 2- bis 10-fache, wobei die stärksten Assoziationen im mittleren Alter zu beobachten werden (Susan Redline, 2017, S. 1102-1109.e5). Dabei können Fettakkumulationen in den parapharyngealen Atemwegen die oberen Atemwege direkt verengen und sie für einen Kollaps anfälliger machen, wenn die Aktivierung der Muskeln der oberen Atemwege im Schlaf nachlässt. Zusätzlich können Fettablagerungen im Thorax und Bauchraum die mechanische Atemarbeit erschweren (Susan Redline, 2017, S. 1102-1109.e5).

In Bezug auf die kraniofaziale Morphologie, die sowohl knöchernes als auch weiches Gewebe umfasst, zeigen Patienten mit OSA im Vergleich zu Patienten ohne OSA häufig eine verringerte anterior-posteriore Dimension der Schädelbasis, eine größere untere Gesichtshöhe, eine mandibuläre Retrognathie oder Mikrognathie und eine inferiore Lage des Zungenbeins (Susan Redline, 2017, S. 1102-1109.e5).

Es kann also sinnvoll sein bereits bei einem Verdacht auf OSA frühzeitig entsprechende Screening-Verfahren anzuwenden.

Klinische Symptome der OSA

Die Tagesschläfrigkeit bis hin zum unfreiwilligen Einschlafen ist das Leitsymptom der obstruktiven Schlafapnoe (DGSM, 2017) und spielt z. B. im Straßenverkehr eine große Rolle, da es hier infolge eines Sekundenschlafes zu lebensbedrohlichen Zwischenfällen kommen kann. Ca. 25 % aller tödlichen Unfälle auf bayerischen Autobahnen können auf Schläfrigkeit am Steuer zurückgeführt werden (Stuck et al., 2018a, S. 70). Das Fahren von Kraftfahrzeugen ist bei unbehandelten Schlafstörungen mit messbarer Tagesschläfrigkeit daher auch gesetzlich verboten (Stuck et al., 2018a, S. 321). Zusätzlich kann die

Tagesschläfrigkeit zu erheblichen Beeinträchtigungen der kognitiven Leistungsfähigkeit, der sozialen Kompatibilität und der Lebensqualität führen.

Zu den Nebenfunden der OSA gehören nächtliches Aufschrecken mit kurzzeitiger Atemnot, lautes Schnarchen (bei 95 % der Betroffenen), Schlafstörungen mit häufigem nächtlichem Erwachen, nächtliches Herzrasen und nächtliches Wasserlassen (DGSM, 2017). Hinzu kommen außerdem Nachtschweiß, Bettnässen, nächtliches Erwachen mit Würgen, Atemanhalten oder Keuchen (sogenanntes "choking, breath holding or gasping"), morgendliche Schläfrigkeit und nächtliche oder morgendliche Kopfschmerzen (DGSM, 2017). Außerdem können Erschöpfung, Gedächtnisprobleme, Impotenz und depressive Störungen auftreten (DGSM, 2017). Es ist jedoch zu beachten, dass diese Symptome nicht spezifisch für OSAS sind und auch bei anderen Erkrankungen auftreten können.

Diagnostik der OSA

Laut der American Academy of Sleep Medicine (AASM) sollten Fragen zur OSAS und zu kardiovaskulären Begleiterkrankungen (z. B. arterielle Hypertonie, Herzrhythmusstörungen, etc.) Bestandteil einer jeden klinischen Anamnese sein (AASM, 2009). Bei Verdacht auf Vorliegen einer OSAS sollte eine umfassende schlafmedizinische Evaluation erfolgen. Diese umfasst eine detaillierte schlafmedizinische Anamnese, klinische Untersuchung sowie eine objektive Messung mittels Polysomnographie oder Polygraphie.

Ein Instrument zur Evaluation der Tagesschläfrigkeit ist die bereits beschriebene Epworth Schläfrigkeitsskala. Außerdem diagnostisch relevant sind der Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) (Buysse et al., 1989), der Berlin Questionnaire (Netzer et al., 1999) und der STOP-Bang Fragebogen (Ong et al., 2010). Gemäß der bereits erwähnten Leitlinie soll die klinische Untersuchung die Nase, Mundhöhle und den Rachen sowie die skelettale Morphologie des Gesichtsschädels beinhalten (DGSM, 2017). Sobald spezifische Beschwerden angegeben oder relevante Pathologien in diesen Regionen vermutet werden, sollte ein für dieses Fachgebiet qualifizierter Fachkollege (HNO, MKG, Kieferorthopäde, spezialisierter Zahnarzt) in die Behandlung miteinbezogen werden.

Polysomnographie / Polygraphie

Bei der kardiorespiratorischen Polygraphie (PG) werden ambulant Atmung, Sauerstoff-

gehalt des Blutes, Herzfrequenz bzw. Pulsfrequenz und Körperlage registriert (Gemeinsamer Bundesausschuss, 2006). Bei der polysomnographischen Untersuchung (PSG) im Schlaflabor werden unter Überwachungsbedingungen, neben den oben genannten Messungen zusätzliche Ableitungen wie EEG (Elektroenzephalografie), EMG (Elektromyografie) und EOG (Elektrookulografie) durchgeführt.

Laut Leitlinie soll die Polygraphie bei erhöhter Prätestwahrscheinlichkeit durchgeführt werden. Diese erhöht sich, wenn mehrere für das OSAS charakteristische Symptome gleichzeitig auftreten (z. B. Tagesschläfrigkeit, beobachtete Atempausen, lautes unregelmäßiges Schnarchen, Potenzstörungen) oder bestimmte Komorbiditäten bestehen (z. B. Herz-Rhythmus-Störungen, Adipositas) (DGSM, 2017). Die PSG hingegen sollte dann zum Einsatz kommen, wenn die Ergebnisse der PG nicht eindeutig sind (DGSM, 2017). Außerdem bei persistierendem Verdacht auf eine SBAS trotz unauffälliger PG-Untersuchung, zur Differentialdiagnostik schlafmedizinischer Erkrankungen und/oder bei Verdacht auf schlafmedizinisch relevante komorbide Störungen (DGSM, 2017).

Die Diagnose einer OSA erfolgt gemäß der Internationalen Klassifikation der Schlafstörungen (ICSD-3) anhand von Kernkriterien (Sateia, 2014). Diese sind gemäß der Definition im AASM-Scoring-Manual erfüllt bei einer Häufigkeit von mindestens fünfzehn überwiegend obstruktiven respiratorischen Ereignissen (obstruktive und gemischte Apnoen, Hypopnoen oder atemwegsbedingte Erregungszustände) pro Stunde Schlaf während der PSG, auch wenn keine begleitenden Symptome oder Störungen vorliegen. Alternativ müssen neben AHI-Werten über 5/h zusätzlich noch folgende Kriterien zutreffen: Das Vorhandensein von bestimmten Anzeichen und Symptomen wie Schläfrigkeit, Müdigkeit, Schlaflosigkeit, Schnarchen, subjektive nächtliche Atemstörungen oder beobachtete Apnoe. Oder es liegt eine begleitende medizinische oder psychiatrische Erkrankung wie Bluthochdruck, koronare Herzkrankheit, Vorhofflimmern, Herzinsuffizienz, Schlaganfall, Diabetes, kognitive Dysfunktion oder Stimmungsstörung vor.

OSA-assoziierte Erkrankungen

Bei einer Nichtbehandlung der SBAS ist die Mortalitätsrate deutlich erhöht (Young et al., 2018). Die Atemaussetzer können durch das Absinken der Sauerstoffsättigung im Blut zu einer Überstimulation der hypoxischen und hyperkapnischen Chemorezeptoren und damit

zu einer sympathischen Übersteuerung und einem Anstieg von Herzfrequenz und Blutdruck führen (Calhoun und Harding, 2010). Damit erhöht sich das Risiko sowohl für Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Carrizo et al., 2005) als auch das Schlaganfall-Risiko deutlich (Schulz et al., 2006). Es wird davon ausgegangen, dass ca. 40-60 % der Patient*innen mit Herz-Kreislaufferkrankungen auch unter OSA leiden (John Kim et al., 2022, S. 152–62).

Typ-2-Diabetes ist eine weitere mit OSA assoziierte Erkrankung (ca. 71 % der Diabetes Patient*innen leiden unter OSA), die vermutlich durch die Aktivierung des sympathischen Nervensystems, die Produktion von Entzündungsmediatoren, die Freisetzung von aus Adipozyten stammenden Faktoren und die Veränderung der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse verursacht wird (Dempsey et al., 2002; Ryan, 2018; Weiss et al., 1996).

Es scheint außerdem eine klare Assoziation zwischen der Schlafapnoe und der Demenz zu geben (Gehrman et al., 2003) wobei unklar ist, welche Erkrankung die andere bedingt. Die Alzheimer-Krankheit als häufigste Form der Demenz ist durch die Anhäufung von extrazellulären Amyloid-Beta-Plaques und intraneuronalen neurofibrillären Knäueln im gesamten Gehirn gekennzeichnet, was zu einer Abnahme der kognitiven Funktionen führt (John Kim et al., 2022, S. 152–62). Die durch OSA bedingte Fragmentierung des Schlafes behindert die Beseitigung der toxischen A β -Metaboliten im Gehirn und verursacht durch die wiederholte intermittierende Hypoxämie oxidativen Stress und Entzündungen, die den Verlust von Nervenzellen weiter verstärken und das räumliche Lernen beeinträchtigen (John Kim et al., 2022, S. 152–62).

Übermäßige Tagesschläfrigkeit ist eines der häufigsten schlafbezogenen Symptome, von dem 20 % der Bevölkerung betroffen sind (John Kim et al., 2022, S. 152–62). Die mit OSA verbundene Gefahr des Sekundenschlafes ist mit einem 3- bis 7- fach höherem Unfallrisiko im Straßenverkehr assoziiert (George, 2004; Terán-Santos et al., 1999).

Es ist daher wichtig, dass die Schlafapnoe frühzeitig erkannt und behandelt wird, um die negativen Auswirkungen auf die Gesundheit zu minimieren und die Sicherheit im Straßenverkehr zu gewährleisten.

1.3 Therapieoptionen der OSA

Mögliche therapeutische Verfahren (Tabelle 1) umfassen chirurgische Verfahren und die Verwendung von Atemunterstützungsgeräten (CPAP-Masken) (DGSM, 2017). Es gibt außerdem weitere Verfahren, wie die Veränderung des Lebensstils durch Gewichtsreduktion, die Vermeidung von Alkohol und Rauchen oder die Veränderung der Schlafposition durch das Vermeiden der Rückenlage (DGSM, 2017). Zusätzlich besteht die Option einer medikamentösen, sowie einer Unterkieferprotrusionsschienen (UPS) -Therapie (DGSM, 2017). Während die Therapie mittels CPAP (Continuous positive airway pressure) -Maske als der „Goldstandard“ angesehen wird, stellen sich Unterkieferprotrusionsschienen (UPS) bei leichten und mittelschweren Ausprägungen als ebenso wirksame, durch die Patient*innen jedoch besser akzeptierte Alternative dar (Bratton et al., 2015; Phillips et al., 2013).

Tab. 1: Therapieoptionen OSAS (DGSM, 2017).

Therapieform	Indikation	Wirkung der Therapie	Nebenwirkungen und Empfehlungsgrad
Chirurgische Therapieoptionen			
HS	mittel- bis schwergradige OSA, keine Tonsillenhypertrophie	Reduktion >50 % AHI bei 72 % der Patient*innen mit selektiver Stimulation und bei 77 % mit kontinuierlicher atmungsunabhängiger Stimulation, signifikante Verbesserung gesundheitsbezogener Lebensqualität	Revisionsrate über 5 Jahre anfangs 6 %, heute 1 %, geringe Morbidität Empfehlungsgrad B
MMA	bei Gesichtsdysmorphien	pharyngealer Atemweg ↑, pharyngealer Muskeltonus ↑, substantielle Besserung AHI um 86 %, ESS stark verringert, zu 90 % positiv empfundene Ästhetik	Transiente Parästhesien des 2. und/ oder 3. Trigeminusastes, nach 12 Monaten noch bei 14 % der Patient*innen. Empfehlungsgrad A (bei entsprechendem Befund und wenn CPAP, UPS nicht möglich / toleriert wird)

Fortsetzung Tab. 1: Therapieoptionen OSAS (DGSM, 2017).

Therapieform	Indikation	Wirkung der Therapie	Nebenwirkungen und Empfehlungsgrad
Chirurgische Therapieoptionen			
UPPP	Leichte bis mittelgradige OSA, CPAP-Unverträglichkeit, geeignete Anatomie	Reduktion AHI um 60 %, Besserung Schnarchen, Tagesschläfrigkeit, physisches und mentales Befinden, weniger Entzündungsmediatoren, Mortalität geringer	Selten: Veränderungen der Stimme, Fremdkörpergefühl, Schluckbeschwerden. Empfehlungsgrad C und A bei Tonsillenhyperplasie (insbesondere, wenn CPAP, UPS nicht möglich / toleriert wird)
Continuous Positive Airway Pressure (CPAP)			
CPAP	AHI \geq 15/h, oder AHI zwischen 5-15/h bei entsprechender Symptomatik (ESS > 10, kognitive, psychische Defizite, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Z.n. Schlaganfall)	Absenkung AHI auf < 50 % Baseline, Reduzierung Tagesschläfrigkeit, Reduzierung mittlerer Blutdruck um 2-10 mm Hg neurokognitive Funktion \uparrow , Überleben \uparrow , Reduzierung Entzündungsmarker und oxidativer Stress	Schlechte Compliance, Bisslageänderungen und Zahnstellungsänderungen, Gewichtszunahme. Standardverfahren

Fortsetzung Tab. 1: Therapieoptionen OSAS (DGSM, 2017).

Therapieform	Indikation	Wirkung der Therapie	Nebenwirkungen und Empfehlungsgrad
Weitere Therapieoptionen			
GR	pharyngeale Fetteinlagerungen Adipositas	10-15 % Gewichtsreduktion = 50% red. AHI, Atmung ↑, REM und Tiefschlaf ↑ um 5-10 %	Empfehlungsgrad A (als begleitende Maßnahme)
LT	AHI in Rückenlage min. doppelt so hoch wie in übrigen Lagen	Reduktion AHI um ca. 55 % bei BMI von 29, keine Normalisierung der respiratorischen Störung, signifikante Besserung Tagesschläfrigkeit	Schmerzen in Rücken, Schulter, Nacken (3,4 %), abdominale Hautirritationen (>1 %). Empfehlungsgrad B-C
Unterkieferprotrusionsschiene (UPS)			
UPS	leichte bis mittelgradige OSAS AHI ≤ 30/h, bei CPAP-Intoleranz	signifikante Verbesserung der Atmung und Tagesschläfrigkeit, Bluthochdruck ↓, kardiovaskuläre Mortalität ↓, neurokognitive Funktion ↑	Höhere Compliance als CPAP, Bisslageänderungen und Zahnstellungsänderungen (12 %), temporäre Missempfindungen, verstärkte Salivation. Empfehlungsgrad A

Abkürzungen: HS = Hypoglossus Stimulation; MMA = Maxillo-mandibuläres Advance-ment; TE mit UPPP = Tonsillektomie mit Uvulopalato-pharyngoplastik; CPAP = Continuous Positive Airway Pressure; GR = Gewichtsreduktion; LT = Lagetherapie; UPS = Unterkieferprotrusionsschiene; Empfehlungsgrad A = "Soll"-Empfehlung: Es existiert zumindest eine randomisierte kontrollierte Studie von insgesamt guter Qualität und Konsistenz,

die sich direkt auf die jeweilige Empfehlung bezieht; Empfehlungsgrad B = "Sollte"-Empfehlung: Es gibt gut durchgeführte, aber nicht randomisierte klinische Studien mit direktem Bezug zur Empfehlung oder die Empfehlung kann mit hinreichender Evidenz aus anderen Studien abgeleitet werden; Empfehlungsgrad C = "Kann"-Empfehlung: Die Empfehlung basiert lediglich auf Expertenmeinungen und/oder klinischer Erfahrung oder wird aus Studien mit niedrigem Evidenzgrad abgeleitet.

1.3.1 Chirurgische Verfahren

Grundsätzlich steht eine Vielzahl chirurgischer Verfahren zur Verfügung, um die Symptome der obstruktiven Schlafapnoe zu behandeln.

Chirurgische Verfahren eignen sich als Alternative bei Intoleranzen der Beatmungsgeräte und entsprechender anatomischer Indikation.

Ein primärer Einsatz der Chirurgie zur Beseitigung der Obstruktion bei OSA kann dann gerechtfertigt sein, wenn eine chirurgisch erfolgreich zu beseitigende Obstruktion besteht und die OSA gering ausgeprägt ist (Verse und Hörmann, 2011). Gemäß der S3- Leitlinie Schlafbezogene Atmungsstörungen von 2017 wird zwischen resektiven, nicht-resektiven und gesichtsskelettverlagernden Operationsverfahren unterschieden (DGSM, 2017). Für Operationen zur Verbesserung der Nasenatmung bei anatomisch behinderter Nasenatmung besteht Empfehlungsgrad B. Durch diesen Eingriff wird nicht die Atmungsstörung behandelt aber die Tagesschläfrigkeit und das Schnarchen reduziert. Außerdem wird bei zusätzlich notwendiger CPAP-Therapie ein geringerer CPAP-Druck benötigt, wodurch sich die Akzeptanz der CPAP-Therapie verbessert (Li et al., 2011).

Zu den möglichen chirurgischen Verfahren gehören die Hypoglossus-Stimulation, das maxillo-mandibuläre Advancement und die Tonsillektomie mit Uvulopalatopharyngoplastik:

- Neurostimulationsverfahren des Nervus hypoglossus können, laut dem Empfehlungsgrad B, bei fehlenden anatomischen Auffälligkeiten und mittel- bis schwergradiger OSA eingesetzt werden. Hierbei wird über eine Elektrode der N. hypoglossus stimuliert, wodurch der Musculus genioglossus kontrahiert und sich der obere

Atemweg öffnet (Heiser et al., 2017). Bei Patient*innen mit konzentrischem Kollaps der oberen Atemwege kann eine kontinuierliche atmungsunabhängige Stimulation erwogen werden, die zu einer Stabilisierung des oberen Atemwegs führt.

- Mit dem Empfehlungsgrad A kann bei entsprechendem anatomischem Befund, d.h. bei kleinem Unterkiefer und engem Gesichtsschädelaufbau eine Vorverlagerung des Ober- und/oder des Unterkiefers erwogen werden. Hierdurch wird der pharyngeale Atemweg vergrößert und der pharyngeale Muskeltonus erhöht. Es kommt synergistisch zur Reduktion der Kollapsibilität des Pharynx. Eine Vorverlagerung um mindestens 10 mm ist hierbei notwendig.
- Bei Tonsillenhyperplasie und oropharyngealer Obstruktion kann eine Tonsillektomie durchgeführt werden, die in der Regel mit einer Uvulopalatopharyngoplastik kombiniert wird. Hierzu liegt ein Empfehlungsgrad A vor. Bei sehr großen Tonsillen kann auch eine alleinige Tonsillektomie sinnvoll sein. Faktoren, die den Erfolg der Therapie vorhersagen, umfassen bestimmte anatomische Merkmale (wie die Größe der Mandeln), klinische Scoringsysteme wie der Body-Mass-Index (BMI) sowie die Schwere der Schlafapnoe (Li et al., 2018; Stuck et al., 2018).

Muskelresezierende Verfahren sind nicht zu empfehlen und weitere andere operative Verfahren können im Einzelfall sinnvoll sein (DGSM, 2017).

1.3.2 CPAP-Therapie

CPAP steht für "Continuous Positive Airway Pressure" (kontinuierliche positive Atemwegsdrucktherapie) und beinhaltet die Verwendung einer Maske, die von spontan atmenden Patient*innen während des Schlafs getragen wird und über einen kontinuierlichen Luftstrom und positive Druckausübung die Inspiration unterstützt.

Das CPAP-Gerät besteht aus einem kleinen Motor, der Luft auf einen gewünschten Druck erhöht und über ein Schlauchsystem an eine Maske oder Nasenmaske liefert. Die Patient*innen tragen die Maske während des Schlafens, wodurch der erhöhte Druck sicherstellt, dass die Atemwege offenbleiben und keine Obstruktion stattfindet. Indem CPAP die Atemwege offenhält, wird die Anzahl der Atemaussetzer reduziert und die Sauerstoffsättigung im Blut verbessert (DGSM, 2017). Die CPAP-Therapie gilt als Gold-Standard für Patient*innen mit OSA, sofern sie von den Patient*innen toleriert wird (Li et al., 2020). Vor

allem bei schwerer OSAS gilt sie als das Mittel der 1. Wahl (Doff et al., 2013). CPAP wird auch bei Säuglingen oder in Zusammenhang mit Herzinsuffizienzen und bei hypoxischen Ateminsuffizienzen eingesetzt (Pinto und Sharma, 2023).

Ohne Berücksichtigung des Schweregrades der OSA konnte mittels CPAP-Behandlung im Vergleich zur UPS eine signifikant größere Reduktion des ODI und AHI nachgewiesen werden (Iftikhar et al., 2017). Bzgl. des ESS fanden sich jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Therapieverfahren (Iftikhar et al., 2017). Bei der Behandlung der OSAS ist die CPAP-Therapie die Referenzmethode und soll laut Empfehlungsgrad A bei mittelgradiger und schwerer Schlafapnoe (AHI>15/h) durchgeführt werden (DGSM, 2017).

Nebenwirkungen der CPAP-Therapie

Nebenwirkungen sind der häufigste Grund für einen Abbruch der CPAP-Therapie. Etwa zwei Drittel der CPAP-Träger erleben Nebenwirkungen (Broström et al., 2010; Pépin et al., 1995) wie Hautreizungen und Ausschläge, Nasenverstopfung, Klaustrophobie, Bindehautentzündungen und Aerophagie (Ghadiri und Grunstein, 2020). Durch den Druck und die Reibung von Maske und Gurten an der Haut kann es zu Hautreaktionen und gelegentlich zur Entwicklung von Akne kommen (Ghadiri und Grunstein, 2020). Der kontinuierliche Luftstrom des CPAP-Gerätes kann zu Nasenverstopfung oder Trockenheit führen, was Unbehagen oder Schwierigkeiten beim Atmen durch die Nase verursachen kann. Einige Personen können sich klaustrophobisch oder sehr unwohl dabei fühlen einen Fremdkörper auf dem Gesicht während des Schlafes zu tragen. In seltenen Fällen kann es durch Luftleckagen oder Druck der Maske zu Augenreizungen oder einer Bindehautentzündung kommen. Die Aerophagie ist das vermehrte Luftschlucken, was zu Blähungen, Gasbildung und/oder Magenbeschwerden führen kann (Ghadiri und Grunstein, 2020). Die Patient*innen sollten engmaschig nachkontrolliert werden, da dies häufig leicht zu behebbenden Nebenwirkungen sind (DGSM, 2017).

Ebenso werden im Zusammenhang mit der CPAP-Therapie Zahnstellungs- und kraniofaziale Veränderungen beobachtet (Doff et al., 2013; Tsuda et al., 2010; Venema et al., 2018). Tsuda et al. (2010b) berichten nach 2-jähriger CPAP-Nutzung von einer klinisch signifikanten Retrusion und Retroklination der Oberkiefer Frontzähne, vermutlich durch den Druck des Nasengerätes auf die Oberlippe verursacht. Doff et al. (2013) und Venema et al. (2018) berichten über eine signifikante Abnahme der okklusalen Kontaktpunkte im

Prämolarenbereich durch die veränderte Inklination, die zu einer leichten Rotation der Mandibula im Sinne einer Bissöffnung führt.

In einer anderen Fallstudie werden entgegengesetzte Verschiebungen im Sinne einer Labialkipfung der Frontzähne im Ober- und Unterkiefer beschrieben (Pliska und Almeida, 2018). Auch bei einer CPAP-Therapie sollten die Zahnstellungen also in regelmäßigen Abständen beobachtet werden.

Die Nebenwirkungen sind häufig der Grund für eine mangelnde Adhärenz beim Tragen des Gerätes. Lediglich 42 % der Patient*innen gaben in der SAVE Studie an, die Maske länger als 4 Stunden pro Nacht zu tragen (McEvoy et al., 2016). Zwar lässt sich durch Verhaltensänderungen die Tragedauer um durchschnittlich 1 Stunde pro Nacht erhöhen (Rotenberg et al., 2016), allerdings hat sich die Nicht-Adhärenz des Gerätes in den letzten 20 Jahren nicht wesentlich verbessert, sondern liegt bei ca. 34,1 % (Rotenberg et al., 2016).

In der SAVE-Studie wurde eine durchschnittliche Nutzungsdauer der Schlafmaske von lediglich 3,3 Stunden pro Nacht festgestellt (McEvoy et al., 2016). Um die Compliance positiv zu beeinflussen und einen langfristigen Erfolg sicherzustellen sollten Patient*innen insbesondere zu Beginn der CPAP-Behandlung engmaschig nachverfolgt werden (Schwab et al., 2013)

1.3.3 Weitere Therapieoptionen

Zu den weiteren Therapieoptionen zählen die Gewichtsreduktion, die Lageänderung, die Verbesserung der Schlafhygiene und die Didgeridoo Therapie.

Am effektivsten kann bei männlichen Patienten mit moderater bis schwerer Schlafapnoe der Gewichtsverlust durch eine Ernährungsumstellung und körperliches Training sein (Carneiro-Barrera et al., 2019). Es wurde festgestellt, dass Frauen weniger auf diese Form der Therapie ansprechen als Männer. In einer Meta-Analyse von Iftikhar et al. (2017) wird die CPAP-Therapie als effektivste Therapiemaßnahme in Bezug auf die Reduktion des AHI bei der OSA dargestellt. Körperliches Training stellte sich noch vor der UPS-Therapie als zweit erfolgreichste Methode dar ohne statistisch signifikanten Unterschied zur CPAP-

Therapie. Hierbei wurden allerdings keine Angaben zu dem Schweregrad der OSA gemacht. Außerdem zeigte sich bei der Reduktion der ESS-Werte das körperliche Training als die effektivste Maßnahme. Auch Lam et al. (2007) stellten fest, dass Verhaltensänderungen allein die Tagesschläfrigkeit zwar stark reduzierten, sich die objektiven AHI-Messungen aber durch die alleinige Anwendung von Verhaltensänderungen nicht signifikant verbesserten. Zu den Verhaltensänderungen gehören konservative Behandlungsstrategien wie professionell betreute Gewichtsabnahme und generelle Hinweise für die Schlafhygiene. Diese konservativen Behandlungsstrategien sollten daher eher als Ergänzung der therapeutischen Hilfsmittel wie der UPS oder CPAP-Maske empfohlen werden und nicht als alleinige Therapie angewendet werden. Maßnahmen zur Gewichtsreduktion sollten laut Leitlinie als begleitende Maßnahme mit dem Empfehlungsgrad A generell empfohlen werden (DGSM, 2017).

Die Behandlung der Rückenlage-assoziierten obstruktiven Schlafapnoe mittels einer Rückenlage-Verhinderungsweste stellt eine weitere Behandlungsoption dar. Bei dieser Therapieform kann zwar eine deutliche Verbesserung der somnographischen Parameter beobachtet werden, aufgrund ihres geringen Tragekomforts wird diese jedoch nur selten langfristig akzeptiert (Wenzel et al., 2007). Sie können bei OSA-Patient*innen oft eine Symptomlinderung im Sinne einer geringeren Tagesmüdigkeit bewirken, ähnlich wie bei der Verwendung einer CPAP-Maske. Laut der S3 Leitlinie Schlafbezogene Atmungsstörungen gilt für die Lagetherapie der Empfehlungsgrad B (DGSM, 2017).

Patient*innen mit leichter bis moderater OSA neigen zu stärkeren Symptomen, wenn sie bestimmte Faktoren in der Schlafhygiene nicht beachten (Jung et al., 2019). Hierzu zählen eine inadäquate Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Schlafzimmer, Alkoholkonsum sowie emotionale Aufregung und Konzentration vor dem Schlafen gehen. Gewisse Änderungen im Lebensstil sollten empfohlen werden, wie eine Ernährungsumstellung, körperliches Training, Schlafhygiene und den Verzicht auf Alkohol und Tabak (Carneiro-Barrera et al., 2019). Dies reduziert die negativen Auswirkungen der Schlafapnoe und verbessert dadurch die Lebensqualität dieser Patient*innen. Für Patient*innen mit leichtem bis mittelschwerem obstruktivem Schlafapnoe-Syndrom (OSAS) kann eine Trainingsbehandlung mit einem Didgeridoo in Betracht gezogen werden (Puhan et al., 2006). Der therapeutische Ansatz zielt darauf ab, die Muskulatur im Rachenbereich zu stärken und deren

Koordination zu verbessern. Die Wirksamkeit dieser Intervention hängt von der Einhaltung des Übungsplans ab. Eine erneute Polygraphie oder Polysomnographie ist erforderlich, um die Wirkung der Behandlung zu überprüfen.

Für den Einsatz einer medikamentösen Therapie zur Behandlung der OSA gibt es keine ausreichende Evidenz (Smith et al., 2006) und wird gemäß der S3 Leitlinie auch nicht empfohlen (Empfehlungsgrad A) (DGSM, 2017).

1.3.4 Unterkieferprotrusionsschiene (UPS)

Der Beschluss vom 6. Mai 2021 des Gemeinsamen Bundesausschusses (2021) ermöglicht die Erstattung von Unterkieferprotrusionsschienen (UPS) als Zweitlinien-Therapie nach der PAP-Therapie zur Behandlung von leicht- und mittelgradiger obstruktiver Schlafapnoe (OSA) in Deutschland. Dies bedeutet, dass Patient*innen mit leichter oder mittelschwerer OSA, die auf die positive Atemwegsdrucktherapie (PAP) nicht gut ansprechen oder diese nicht vertragen, die Möglichkeit haben, UPS als alternative Therapieoption zu nutzen. Bei der UPS handelt es sich um ein zweiteiliges, individuell auf Basis einer individuellen Abformung der Zahnreihen zahntechnisch hergestelltes Schienensystem für den Ober- und Unterkiefer (DGZS, 2021), die individuell adjustiert wird und ist in Millimeterschritten nachadaptierbar sein muss.

Die UPS ist beim Schnarchen (DGHNO-KHC, 2019) und Vorliegen einer obstruktiven Schlafapnoe indiziert (DGSM, 2017).

Gemäß der DGZS (Schwartz et al., 2007) sollte vor jeder UPS-Therapie eine spezifische zahnärztliche orale und funktionelle (Stufen-) Diagnostik erfolgen. Ziel der zahnärztlichen Diagnostik ist hierbei laut der S1-Leitlinie (DGZS, 2021) eine Optimierung der Voraussetzungen für einen Behandlungserfolg und ein Minimieren der Risiken für das stomatognathe System. Hierbei sollten Stellung, Form, Anzahl der Zähne, der parodontale Halteapparat, sowie die Bisslage befundet werden. Weiterhin schließen sich ein ausführlicher Funktionsstatus zum Ausschluss einer Kiefergelenksdysfunktion, Röntgenbilder, ein Schleimhaut- und ein Rachenbefund an. Zusätzlich sollten das Ausmaß der Kieferöffnung, der Protrusion und eine ausreichende Verankerungsmöglichkeit für das Schienensystem überprüft werden (Schlieper, 2016). Der klinische Algorithmus der UPS-Therapie

ist umfangreich und wird in der aktuellen S1-Leitlinie „Die Unterkieferprotrusions-schiene“ (DGZS, 2021) genauer beschrieben.

Die bimaxillär verankerte Schiene positioniert den Unterkiefer weiter anterior und bewirkt damit eine Erweiterung und Stabilisierung der oberen Atemwege (DGSM, 2017; DGZS, 2021). Über die vermittelte Spannung der suprayhoidalen Gewebe kommt es zur Volumenvermehrung des Atemweges auf Höhe des Velums, des Zungengrundes und der Epiglottis (DGSM, 2017; DGZS, 2021).

In einer Fragebogen-Studie mit 251 diagnostizierten OSAS Patient*innen, Schnarchern oder eine Kombination aus beiden ergab, dass 93,7 % der Befragten die Schiene mehr als 4 Nächte pro Woche trugen und 95 % mit der Behandlung zufrieden waren (de Almeida und Woodson, 2005). Die häufigsten Gründe für einen Abbruch der Schienentherapie waren der mangelnde Komfort der Schiene (44,4 %), der geringe oder fehlende Effekt (33,6 %) oder der Wechsel zur CPAP-Therapie (23,3 %).

Bei Patient*innen mit einer leichten bis mittelgradigen OSAS konnte nach 2 Jahren kein signifikanter Unterschied hinsichtlich einer erfolgreichen Therapie mittels UPS oder CPAP festgestellt werden (Doff et al., 2013). Gerade bei CPAP-Intoleranz wird daher die UPS empfohlen (Phillips et al., 2013). Hinsichtlich der Senkung des Blutdruckes konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Therapieoptionen festgestellt werden (Bratton et al., 2015).

Die UPS kann daher mit Empfehlungsgrad A bei leicht- bis mittelgradiger obstruktiver Schlafapnoe ($AHI \leq 30/h$) alternativ zu Überdrucktherapieverfahren eingesetzt werden, insbesondere bei einem $BMI > 30 \text{ kg/m}^2$ und lageabhängiger Schlafapnoe (DGSM, 2017). Eine UPS-Therapie kann bei einem höheren AHI und/oder einem $BMI > 30 \text{ kg/m}^2$ erwogen werden (Empfehlungsgrad C) sofern die Positivdrucktherapie nicht eingesetzt werden kann.

UPS-Schienensysteme

Die Auswahl der Protrusions- und Konstruktionselemente sowie der Materialien sollte sich nach den individuellen Merkmalen der Patient*innen richten (KZBV, 2021). Generell unterscheidet man konfektionierte von individuell laborgefertigten Schienen (Dagmar Norden, 2023). Einteilige konfektionierte Systeme ermöglichen keine individuelle Anpassung des Vorschubs. Bei den sogenannten Boil-and-Bite-Systemen erhitzen die Patient*innen

das Kunststoffmaterial, bringen die vorgefertigte Schiene in die Mundhöhle ein und richten sie aus, so dass sich die Schiene eigenständig an die Zahnreihe anpasst. Auch wenn in einer Studie 60 % der Nutzer mit diesem System zufrieden waren (Tsuda et al., 2010), fehlt die wissenschaftliche Evidenz für eine Empfehlung dieser Schienensysteme.

Die individuell laborgefertigten Schienen werden unterteilt in bimaxilläre, nicht nachjustierbare Monoblock-Apparaturen und bimaxilläre, nachjustierbare Biblock-Apparaturen. Individuell gefertigte sind den konfektionierten Schienen hinsichtlich Effektivität, Nebenwirkungen und wirtschaftlicher Nachhaltigkeit überlegen (Vanderveken et al., 2008). Individuelle Schienen gelten als bequemer, führen zu besseren objektiven und subjektiven Behandlungsergebnissen und sind im Vergleich zu konfektionierten thermoplastischen Schienen mit einer besseren Compliance verbunden (Uniken Venema et al., 2021). Bei dem Vergleich titrierbarer und nicht-titrierbarer Schienensysteme zeigte sich, dass keine klare Empfehlung gegeben werden kann und der Therapeut die Bauart der Schiene individuell entscheiden sollte (Uniken Venema et al., 2021).

Rose (2002a) hingegen konnte verschiedene therapeutische Wirksamkeiten bei den individuellen Schienensystemen feststellen. Die Patient*innen stellten subjektiv keine Unterschiede fest, jedoch stellte sich klinisch bei den Patient*innen mit einer Monoblock-Schiene eine signifikant effektivere Reduzierung des AI und des RDI dar. Der AI (Apnoe-Index) ist die Gesamtzeit der Apnoeepisoden geteilt durch die Gesamtzeit des Schlafs (in Stunden). Beide Schienensysteme wurden auf 75 % der maximalen Protrusion eingestellt ohne, dass eine weitere Titration durchgeführt wurde.

Der große Vorteil nachjustierbarer Schienen ist die individuelle Anpassung des Vorschubs bei unterschiedlichen Schweregraden der OSAS, um die Effektivität und den Komfort der Schiene zu erhöhen (Lettieri et al., 2011). Dementsprechend gilt die bimaxillär verankerte und nachjustierbarere UPS als das Schienensystem der Wahl (DGZS, 2021; Scherr et al., 2014).

- Der hier als Test-Schiene verwendete Lyon Elastomer Positioner (Abb. 1) ist eine aus weichem thermoplastischem Kunststoff (Kanasil Positioner 60 Shore A, Kaniedenta) hergestellte, bimaxilläre und einteilige Protrusionsschiene. Sie wird von zahntechnischen Laboren individuell hergestellt und sollte lediglich kurzfristig und nicht als langfristiges Therapeutikum verwendet werden.

Die folgenden in dieser Dissertation untersuchten Schienen entsprechen den Kriterien der Leitlinie (DGZS, 2021). Bei allen Schienen handelt es sich um individuell adjustierte, bi-maxillär verankerte und nachadaptierbare Schienensysteme:

- Die SomnoDent Flex (SomnoMed Ltd., Sydney, Australien, Abb. 2) besteht aus einem Doppelschichtmaterial: der Kern aus Hartacryl und die Kontaktflächen zu Gaumen und Zähnen mit „SMH B Flex“, ein dauerelastisches Polymermaterial. Die chemische Zusammensetzung von SMH B Flex und die Heißpolymerisation schaffen einen stabilen Verbund zwischen harten und weichen Schienenkomponenten. Das Resultat sind Schienen mit zahn- und gaumenfreundlichen, weichen Kontaktflächen, mit guter Passgenauigkeit. SMH B Flex verfärbt nicht und führt zu keiner Geruchsbildung. Die Einstellung der Protrusion kann durch seitliche Geschiebe bis zu 5 mm auch durch die Patient*innen erfolgen, was bei Patient*innen mit langer Anreise z. B. von Vorteil sein kann. Der plane Aufbiss ermöglicht seitliche Schubbewegungen und dadurch die Schonung der Gelenke und Muskulatur. Die zwei Schienen greifen im Mundschluss ineinander, indem die unteren Flügel vor die obere Aussparung auftreffen. Der Oberkiefer dient hierbei als Widerlager. Besonders angenehm für die Patient*innen ist, dass auch mit der eingesetzten Schiene normales Öffnen und Schließen des Mundes, sowie Reden und Trinken möglich sind. Diese Schiene eignet sich bei Patient*innen mit kurzen oder konischen Zähnen, herausnehmbarem Zahnersatz oder geringem Restzahnbestand. Die Flügel erweisen sich allerdings auch als fraktur anfällig. Die Somnodent Fusion Schiene (SomnoMed Ltd., Sydney, Australien, Abb. 3) bietet außerdem die Möglichkeit einer Kalibrierung an den Flügeln und erlaubt geringere seitliche Bewegungen.
- Die IST Classic (Prof. Hinz, Dr. Hinz Fachlaboratorium für Kieferorthopädie, Herne, Abb. 4) ist ein im Tiefziehverfahren gefertigtes Zweischiene-System mit Aufbissen im Eckzahnbereich. Es finden sich interokklusale adjustierbare Verbindungsstege, die im unteren Prämolaren- und oberen Molarenbereich fixiert sind. Vestibulär eingearbeitete Führungsteleskope fixieren die Lage des Unterkiefers in einer festgelegten Vorschubstellung nach Maßgabe eines Protrusionsbisses mit einer Bissgabel nach Prof. Hinz. Die Indikation liegt bei ausgeprägter Spee'scher Kurve und wenn dorsal nur eine Sperrung von weniger als 5 mm möglich ist. Bei dem IST Plus

Gerät (Prof. Hinz, Dr. Hinz Fachlaboratorium für Kieferorthopädie, Herne, Abb. 5) sind die interokklusalen adjustierbaren Verbindungsstege im unteren Molaren- und oberen Eckzahnbereich fixiert. Vertikale Gummizüge sind entbehrlich. Eine Protrusion von 50 % der maximalen Vorschubbewegung wird laut dem Hersteller empfohlen, da durch die höhere Sperrung genügend Raum für die Zunge entsteht. Die Indikation liegt besonders bei bruxierenden Patient*innen, bei Patient*innen mit tiefem Biss und für Patient*innen mit hohem Anspruch an Komfort.

- Die H-UPS® (Dr. Jörg Schlieper, Hamburg, Abb. 6) ist aus Kunststoffblöcken gefräst und metallverstärkt. Sie liegt nur den seitlichen Zähnen auf. Die vorderen Zähne im Unterkiefer liegen der Schiene nur leicht an, im Oberkiefer bleiben die vorderen Zähne gänzlich frei. Dadurch wird die Größe der Schiene auf ein Minimum reduziert und der Tragekomfort erhöht. Die seitlichen Teleskope, die den Unterkiefer in der gewünschten Vorschubstellung halten, sind mit dem Stahlbogen verlasert und deshalb besonders stabil. Die vorne angebrachten Gummizüge sollen eine Kieferöffnung und der damit verbundenen Wirkungsreduktion entgegenwirken. Durch die besonders stabile Stahl- Kunststoffkonstruktion eignet sich die H-UPS® besonders bei starkem Knirschen während des Schlafs.
- Die Narval CC (Cadcam) (Fa. ResMed, Martinsried, Abb. 7) besteht aus geschmacksneutralem, biokompatiblen und widerstandsfähigem Typ 12 Polyamid Nylon und hält z. B. auch Zähneknirschen stand. Sie enthält keinerlei gesundheitsschädliche Stoffe, wie z. B. Parabene oder Bisphenol A, Metall oder Latex, wodurch Sie auch für Allergiker gut geeignet ist. Die fertige Schlafschiene besteht aus einer Oberkiefer- und einer Unterkieferschiene, die über zwei seitliche Stege verbunden sind. Es gibt außerdem verschiedene Varianten der Schienen, bei denen unterschiedlich viele Zähne gefasst werden.



Abb. 1: Lyon Elastomer Gerät "Testschiene".



Abb. 2: Somnodent Flex.



Abb. 3: Somnodent Fusion.



Abb. 4: IST-Classic.



Abb. 5: IST-Plus.



Abb. 6: H-UPS.®



Abb. 7: Narval CC.

Nebenwirkungen der UPS-Therapie

Nebenwirkungen der UPS-Therapie sind nicht sehr häufig, fallen im Allgemeinen gering aus und können in der Regel effektiv durch qualifizierte Zahnärzte bewältigt werden (Sheats, 2020). Die Nebenwirkungen können das kranio-mandibuläre System, die intraoralen Gewebe, die Okklusion, die Zähne, die Restaurationen, das Material und die Materialverträglichkeit umfassen (Sheats et al., 2017). In der Literatur werden infolge der UPS-Therapie dentale und skelettale Auswirkungen, übermäßiger Speichelfluss, Muskel- und Zahnbeschwerden und gelegentlich Kiefergelenkbeschwerden als mögliche Nebenwirkungen beschrieben (Ferguson et al., 2006). Weiterhin werden Gelenkgeräusche, Irritationen des intraoralen Zungen- und Weichgewebes und Mundtrockenheit berichtet (Sheats et al., 2017). Die meisten dieser Nebenwirkungen sind allerdings reversibel und vergehen nach kurzer Zeit. In einer Studie mit 619 Patient*innen haben 24 % die UPS nicht toleriert und mit der Behandlung abgebrochen (Marklund et al., 2004). Als häufigste Gründe für einen Abbruch der Therapie zeigen sich das Unbehagen und die mangelnde Passung des Gerätes (de Almeida und Woodson, 2005). Auch eine Studie von Chen et al. (2022) schlussfolgert, dass die Nebenwirkungen der Therapie überschaubar sind und daher nur eine geringe Anzahl der Patient*innen die Behandlung beenden. Ausschlaggebend für die gute Adhärenz der Patient*innen ist die sorgfältige Aufklärung über die Nebenwirkungen der UPS (DGZS, 2021). Diese muss vor der Therapie erfolgt sein und im weiteren Verlauf rekapituliert werden.

Dentale und Skelettale Nebenwirkungen der UPS

Ursächlich für die dentalen Veränderungen ist die durch die UPS verursachte anteriore Positionierung des Unterkiefers. Die Tendenz des Unterkiefers in seine dorsale Lage zurückzukehren bewirkt nach labial gerichtete Kräfte auf die unteren Incisivi und nach palatal gerichtete Kräfte auf die oberen Incisivi (Doff et al., 2010). Ein Einfluss des dadurch entstehenden Lippendrucks wird ebenfalls diskutiert (Robertson, 2003).

Bereits leichte Kräfte von 0,9-2,5 N bei ausschließlich nächtlicher Anwendung der Schiene können zu Zahnbewegungen führen (Jerome M. Gibson, 1992). Bei einem Vorschub von 11 mm konnten Kräfte von 13,6 N verteilt auf den gesamten Zahnbogen gemessen werden (Cohen-Levy et al., 2013). Die Krafteinwirkung stieg mit zunehmender Protrusion bei Werten von 1,18 N pro Millimeter Vorschub (Cohen-Levy et al., 2013).

Als mögliche Okklusionsstörung gilt der posterior offene Biss (POB). Die Inzidenz des POB nach 2 Jahren Tragezeit wird mit bis zu 17,9 % angegeben (Perez et al., 2013). Martinez-Gomis et al. (2010) stellten ebenfalls eine signifikante Verminderung der posterioren Kontaktpunkte in den ersten 2 Jahren nach Eingliederung einer UPS jedoch keine weitere Verminderung nach weiteren 3 Jahren Tragedauer fest. Zahnveränderungen konnten hier also hauptsächlich zu Beginn der UPS-Therapie beobachtet werden. Die Nebenwirkungen können den Therapieerfolg insofern beeinflussen, als dass sich Behandler*in oder Patient*in für einen Abbruch der Therapie entscheidet. Dies sollte jedoch lediglich dann in Betracht gezogen werden, wenn eine andere tolerierbare Behandlungsalternative zur Verfügung steht (Doff et al., 2010).

Cephalometrische (anhand von Fernröntgenseitenbildern) Nachuntersuchungen mittels digitaler und analoger Messlehren sowie 3-dimensionaler Auswertungssoftware 2 bis 11 Jahre nach Eingliederung einer UPS zeigten eine durchschnittliche Abnahme des Overjet von 0,2 bis 2 mm und des Overbite von 0,6 bis 2,3 mm, eine Zunahme der oberen Frontzahninklination von 1,3 bis 6,6° und eine Abnahme der unteren Frontzahninklination von 1,4 bis 3,1°. Nach 7 Jahren Therapie wurde eine durchschnittliche Erhöhung des ANB Winkels um 0,5° und der vorderen Gesichtshöhe (AFH, anterior face height) um 1,8 mm gemessen (Bartolucci et al., 2018). Bereits nach 2 Jahren konnte eine signifikante Abnahme der okklusalen Kontaktpunkte im Prämolaren und Molaren Bereich beobachtet werden (Doff et al., 2013). Almeida et al. (2006a) konnten nach 7,4 Jahren signifikante okklusale Veränderungen bei 85,7 % der Patient*innen nachweisen. Interessanterweise waren diese Veränderungen sogar in fast der Hälfte (41,4 %) der Fälle kieferorthopädisch von Vorteil, da Patient*innen mit einer Angle Klasse II.1 oder Klasse II.2 von den Veränderungen profitierten, sofern eine Neutralokklusion angestrebt wurde. Da diese Veränderungen unkontrolliert sind und man keine klare Aussage über die Progredienz der Veränderungen treffen kann, wäre keine Veränderung in der Okklusion, wie bei 14 % der Patient*innen beobachtet, jedoch ein wünschenswertes Ergebnis (Venema et al., 2018).

Andere Autoren (Ringqvist et al., 2003), die ein modifiziertes Schienendesign, das die vorderen Zähne nicht mitfasste, untersuchten, konnten nach 2 Jahren der UPS-Nutzung

keine signifikanten Veränderungen des Overbite, Overjet oder der Inklinationen nachweisen. Allerdings war in dieser Untersuchung die eingestellte Protrusion mit 50 % des maximalen Vorschubs gering.

In der Studie von Venema et al. (2018) wird beschrieben, dass ein Gerät, das über eine feste anteriore Protrusionseinheit an den Frontzähnen verfügt (Tap-Schiene, Thornton Adjustable Positioner, Airway Management Inc., Dallas, Texas, USA), eine schnellere und größere Veränderung der Zahnokklusion bewirkt als eine Schiene die über bilaterale Verbindungseinheiten (SomnoDent, Somnomed AG, Australien) verfügt. Es wird vermutet, dass es bei dem anterioren System zu mehr Krafteinwirkung auf die Vorderzähne kommt. Die Autor*innen vermuten aber noch weitere Einflussfaktoren wie das Material, den parodontalen Zustand und vertikale skelettale Faktoren, die nicht in die Auswertung miteinbezogen, wurden. Schienen -Bauart und Material scheinen also eine Rolle für die beobachteten Veränderungen im Frontzahnbereich zu spielen.

Die höhere Reduktion des Overjet korreliert mit der Behandlungsdauer, der Häufigkeit der Anwendung, der eingestellten Protrusion und die Gesamtzahl der zur Verankerung der Apparatur verfügbaren Zähne (Minagi Hitomi Ono et al., 2018). Doff et al. (2010) fanden eine Korrelation zwischen der Abnahme des Overbite und dem Ausmaß der Unterkieferprotrusion. Dies ist besonders bei Patient*innen mit schwerer OSAS zu berücksichtigen, bei denen eine größere Protrusion notwendig wird.

Entsprechend konnte bei einer direkten Kraftmessung eines Herbst-Schienensystems gezeigt werden, dass die Krafteinwirkung auf die Zähne direkt abhängig war von dem Ausmaß der Titration (bis zu 1,18 N pro Millimeter Protrusion) (Cohen-Levy et al., 2013). Um die Nebenwirkungen möglichst zu minimieren, sollte daher eher zurückhaltend titriert werden, wenn die Patient*innen zu Beginn bereits bei 50 % der maximalen Protrusionskapazität eingestellt wurden (Aarab et al., 2010).

Bei ausgeprägterem Overbite und Overjet konnte eine entsprechend größere Abnahme dieser Werte festgestellt werden (de Almeida et al., 2006a). Außerdem konnte eine Korrelation zwischen einem höheren Lebensalter und der Overbite Abnahme festgestellt werden (de Almeida et al., 2006a). Mehr Zahnbewegungen mit zunehmendem Alter konnte

auch durch Marklund et al. (2001) bestätigt werden. Zusätzlich liegt eine niedrige bis mittlere Evidenz dafür vor, dass die Therapiedauer die dentalen und skelettalen Nebenwirkungen beeinflusst (Bartolucci et al., 2018).

Aufgrund der Auswirkungen auf die kieferorthopädische Zahnstellung werden die orthodontischen Veränderungen bei Patient*innen mit Angle Klasse I oder III als negativ eingestuft (Marklund et al., 2019). Vor allem, da kieferorthopädisch eine stabile Klasse I angestrebt wird und die Verstärkung der Mesialokklusion im Sinne einer Klasse III nicht wünschenswert ist. Wichtig ist zu erwähnen, dass die Abnahme des Overbite and Overjet bei Patient*innen mit einer Angle Klasse II die Bisslage hin zu einer Neutralokklusion sogar positiv beeinflussen kann (Martins et al., 2018).

Als weitere dentale Nebenwirkung ist eine Öffnung der Approximalräume zu nennen, die im Unterkiefer häufiger auftritt als im Oberkiefer (de Almeida et al., 2006a; Doff et al., 2013) und das Risiko für eine Speiserest-Impaktation erhöht.

Anhand der vorliegenden Daten lassen sich skelettale Nebenwirkungen zwar identifizieren, allerdings wird diesen keine klinische Relevanz beigemessen (Bartolucci et al., 2018). In einer Meta-Analyse von Araie et al. (2018) konnten keinerlei signifikanten Veränderungen der skelettalen Strukturen oder eine Unterkieferrotation beobachtet werden. Andererseits fanden Robertson et al. (2003) bereits nach 6 Monaten eine kleine aber statistisch signifikante Erhöhung der Gesichtshöhe mit einer begleitenden signifikant kaudaleren Unterkieferposition. Nach 12 Monaten war nur noch eine signifikant kaudalere Position im Bereich der Symphyse messbar. Die Autor*innen betonten allerdings, dass für diese Veränderungen der skelettalen Strukturen und der Unterkieferposition hauptsächlich durch die Schienen induzierte dentalen Veränderungen ursächlich sind. Es wird vermutet, dass durch die Retroklination der oberen und die Proklination der unteren Incisivi und damit über die veränderte Frontzahnführung eine kaudale Rotation des Unterkiefers verursacht wird (Doff et al., 2010). Diese Bisshebung wiederum bedingt vermutlich die geringe, aber signifikante Erhöhung der unteren Gesichtshöhe und erklärt die fehlenden Kontaktpunkte im Prämolaren und Molaren Bereich (Doff et al., 2013; Venema et al., 2018).

Zur Reduktion der dentalen und skelettalen Nebenwirkungen wird daher morgens nach dem Ausgliedern der UPS eine begleitende Kiefergymnastik und/oder eine Jig-Schiene empfohlen (Ueda et al., 2009). Ziel ist es damit die Kaumuskulatur zu lockern und den

Unterkiefer zu repositionieren (Ueda et al., 2009). Außerdem sollte auf eine angemessene Parodontalhygiene geachtet werden (de Almeida et al., 2006a).

Marklund (2020) konnte in einer Befragung von 38 Patient*innen zeigen, dass es keinen Zusammenhang zwischen den objektiv messbaren Befunden über die Zahn- und Bissveränderungen und dem subjektiven Gefühl der Patient*innen gibt. Signifikante Overjet Abnahmen wurden in dieser Untersuchung lediglich bei 31 % der Patient*innen, die über eine Bissveränderung berichteten und bei 62 % der Patient*innen, die über keine Veränderungen klagten, festgestellt (Marklund, 2020).

Obwohl die dentalen Veränderungen klinisch signifikant sind und progressiv zunehmen (Hamoda et al., 2019) spielen sie für die Akzeptanz und Compliance der Geräte eine eher untergeordnete Rolle (Sheats, 2020).

1.4 Messmethoden zur Erfassung der Zahnstellungsänderungen

Um Zahnstellungsänderungen im Behandlungsverlauf zu messen, können verschiedene Messmethoden angewendet werden: die cephalometrische, die manuell-klinische und die computergestützte dreidimensionale Auswertung von Modellen. Allen Messmethoden gemeinsam ist die Messung anhand von stabilen anatomischen Referenzstrukturen, die über den beobachteten Zeitraum in ihrer dreidimensionalen Lage gegenüber den Zähnen stabil sind.

Zum einen besteht die Möglichkeit Fernröntgenseitenbilder digital cephalometrisch z. B. mittels einer entsprechenden Software zu vermessen (de Almeida et al., 2006a; Doff et al., 2010; Martínez-Gomis et al., 2010; Minagi Hitomi Ono et al., 2018; Robertson, 2003; Wang et al., 2015). Eine andere Möglichkeit ist die manuell-klinische Auswertung von Modellen mittels einer Messlehre mit einer Genauigkeit von 0,01-0,1 mm (de Almeida et al., 2006a; Battagel und Kotecha, 2005; Bondemark, 2000; Doff et al., 2013; Ghazal et al., 2008; Marklund, 2001; Pliska et al., 2014). Beide Verfahren können auch kombiniert angewendet werden (Alessandri-Bonetti et al., 2016; Hammond et al., 2007; Marklund und Legrell, 2010; Rose et al., 2002a). Durch cephalometrische Untersuchungen können Aus-

sagen über Veränderungen in der Sagittalebene getroffen werden, während die Modelanalyse auch eine Auswertung in der Transversalebene erlaubt. Außerdem werden die FRS-Überlagerungen durch Faktoren wie Durchzeichnungsfehler, Vergrößerungen und Bildverzerrungen erschwert (Trpkova et al., 1997).

Digitale Messungen am dreidimensionalen Modell mittels Software zur Erkennung von Zahnstellungsänderungen infolge einer UPS-Therapie wurden bisher selten durchgeführt (Alessandri-Bonetti et al., 2016; Chen et al., 2008; Dorn, 2011).

Die digitale Überlagerung von Zahnmodellen stellt heute eine sinnvolle Alternative zu cephalometrischen Überlagerungen dar, da der Aufwand gering ist, keine Strahlenbelastung entsteht und eine 3-dimensionale Auswertung möglich ist. Bezüglich der Präzision anteroposteriorer Zahnbewegungen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Analyse mittels Fernröntgenseitenbilder und der 3-dimensionalen Analyse der Zahnmodelle mit den Gaumenfalten als Referenzpunkten festgestellt werden (Cha et al., 2007; Hoggan und Sadowsky, 2001). Eine Softwareanalyse verringert dabei grundsätzlich die Wahrscheinlichkeit von benutzerbedingten Messfehlern.

Wenige weitere Studien erhoben die Messungen klinisch direkt an Patient*innen (Fransson et al., 2004; Knappe et al., 2017; Martínez-Gomis et al., 2010). Bei den klinischen Untersuchungen konnten Overbite/Overjet mittels digitaler Messlehre und die okklusalen Kontaktpunkte mit Okklusionsfolie gemessen werden. Über einzelne Zahnstellungsänderungen konnten bei dieser Methodik keine Messwerte erhoben werden.

1.4.1 Problematik der Referenzpunktauswahl bei der computergestützten dreidimensionalen Auswertung von Zahnstellungsänderungen

Um die Oberflächenscans der Gipsmodelle möglichst präzise zu überlagern, wird ein möglichst stabiler Referenzbereich im jeweiligen Kiefer benötigt (An et al., 2015). In der Literatur gibt es keine eindeutigen Empfehlungen zur Auswahl eines Referenzbereiches (Stucki und Gkantidis, 2020). Im Oberkiefer gelten die Gaumenfalten als stabile anatomische Struktur (Almeida, 1995; Choi et al., 2010; Jang et al., 2009; van der Linden, 1978; Peavy und Kendrick, 1967; Vasilakos et al., 2017) zur Bewertung kieferorthopädischer

Zahnbewegungen (Choi et al., 2010; Mavropoulos et al., 2005). Auch wenn mehrere Studien lediglich den medialen Anteil des 3. Gaumenfaltenpaares als anatomisch zuverlässig ansehen (Almeida, 1995; Chen et al., 2011; Vasilakos et al., 2017), konnte eine Meta-Analyse (Stucki und Gkantidis, 2020) eine ähnliche Genauigkeit zwischen diesem Bereich und dem Bereich aller Gaumenfaltenpaare mit mindestens 5 mm Abstand zu den Zähnen und einer distalen Begrenzung bis zu den ersten Molaren nachweisen.

Der Unterkiefer bietet keine solch stabilen Referenzpunkte. Eine Studie von An et al. (2015) zeigte, dass lediglich der beidseitige Torus mandibularis als stabiler Referenzpunkt geeignet ist. Allerdings war die Anzahl der untersuchten Patient*innen sehr gering (n=5). Mit einer Prävalenz des Torus mandibularis in der Bevölkerung zwischen 0,2-61 % (Garcia-Garcia et al., 2010) wäre diese Überlagerungsmethode nur bei einzelnen wenigen Patient*innen möglich. Die Bukkal- und Lingualflächen des Alveolarknochens an der Be-zahnung sind nicht als stabile Referenzareale zur Überlagerung von Unterkiefermodellen geeignet (An et al., 2015). Auch die Auswahl von Zähnen als Referenzpunkte, die nicht in eine Apparatur miteinbezogen wurden und damit eigentlich stabil bleiben sollten, erwiesen sich als ungeeignet (Sharp et al., 2022). Andere Studien verwendeten zur Überlagerung des Unterkiefers die digitale Volumentomographie (Alwafi et al., 2023; Dai et al., 2018; Han et al., 2019; Lin et al., 2023). Eine weitere Möglichkeit besteht darin beide Kiefermodelle (Ober- und Unterkiefer in der jeweiligen Okklusion) zusammen in die Software zu importieren und anschließend eine Überlagerung des Unterkiefers mittels eines Koordinatensystems basierend auf den Gaumenfalten und der Okklusion durchzuführen (José Viñas et al., 2018).

2. Material und Methoden

2.1 Studiendesign und Patientenkollektiv

Im Rahmen dieser monozentrischen retrospektiven Kohortenstudie unter Verwendung eines convenient samples ohne Kontrollgruppe sollen Daten und Modelle von Patienten, die auf Grund einer gesicherten OSA in der Praxis für Zahnheilkunde und zahnärztliche Schlafmedizin Dr. Alexander Meyer in Solingen von Dezember 2006 bis Oktober 2020 therapiert wurden, ausgewertet werden. Das Vorhaben wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn am 07.10.2020 (Lfd. Nr. 309/20) genehmigt.

2.1.1 Kriterien zur Auswahl der Modelle

Folgende Einschlusskriterien wurden definiert:

- ein Mindestalter von 18 Jahren,
- dokumentierte polysomnographische Untersuchung (PSG) zur Diagnostik der OSA,
- PSG oder PG zur Überprüfung der Effektivität der UPS nach Titrierung gemäß der S3-Leitlinie für SBAS,
- Therapie der OSA mit einer individuellen titrierbaren bimaxillär verankerten UPS,
- Gipsmodelle:
 - vollständige Abbildung der Gaumenfalten im Oberkiefermodell,
 - vollständige Sets beider Kiefer vor Behandlungsbeginn (T0), ca. 1 Jahr nach Eingliederung der UPS (T1) und ca. 2,7 Jahre nach Eingliederung der UPS,
 - die Folgemodelle (T1, ca. 1 Jahr nach Eingliederung der UPS) und (T2, ca. 2,7 Jahre nach Eingliederung der UPS) liegen im KFO-Sockel vor (im Biss zueinander).

Ausschlusskriterien waren:

- ein fehlendes Einverständnis der Patient*innen,
- eine zentrale Schlafapnoe oder andere koexistierende Schlafstörungen, eine mangelnde Adhärenz (Nutzung der UPS in < 50 % der Nächte),

- durch digitale Abformmethoden gewonnene Modelle (seit Januar 2019 wurde zusätzlich zur analogen auch die digitale Abdrucknahme durchgeführt).

2.2 Behandlungsablauf, klinisches Vorgehen

Das Behandlungskonzept sah nach Diagnosestellung einer OSA zunächst die Anfertigung einer Testschiene vor, die für maximal 6 Wochen getragen werden sollte. Nach einer in der Regel 2-wöchigen Eingewöhnungsphase wurde die Effizienz in einem Schlaflabor mittels PSG oder PG durch den Schlafmediziner untersucht. Erst bei einem positiven Ansprechen auf die Therapie wurde diese Testschiene dann durch eine definitive UPS ersetzt. Im Folgenden wird detailliert auf den Behandlungsablauf eingegangen.

2.2.1 Testschiene

Gemäß den Empfehlungen der S1-Leitlinie DGZS (2021) wurde vor der Fertigung der Protrusionsschiene eine spezifische dentale, orale und funktionelle (Stufen-) Diagnostik durchgeführt, um die zahnärztlichen Voraussetzungen für eine erfolgreiche UPS-Therapie zu evaluieren. Im Anschluss wurde zunächst eine sogenannte Testschiene angefertigt („Solinger Modell“) um die Effizienz einer definitiven UPS-Therapie bei den jeweiligen Patient*innen zu prüfen (Meyer, 2016). Bei der Testschiene handelt es sich um eine individuell laborgefertigte Schiene aus Elastomer (modifizierte Lyon-Geräte, Abb. 1). Nach der Eingewöhnungsphase wurde in einer Testnacht mittels PG oder PSG die Effizienz des Testgerätes überprüft. Bei einer Verschiebung des AHI in den therapeutisch erwünschten Bereich (Teilerfolg AHI: Reduktion des AHI um 50 %; Erfolg: AHI < 10) wurde eine definitive Apparatur durch den Facharzt verordnet. Bei dieser Vorgehensweise ist man in der Lage, „Non-Responder“ einer Schienentherapie herauszufiltern, also eine ineffektive UPS-Behandlung zu vermeiden. Anhand der bereits vorliegenden Modelle können erforderliche, also zahnmedizinisch notwendige Änderungen vor definitiver UPS-Therapie am Gebiss der jeweiligen Patient*innen anschaulich besprochen werden.

Herstellung UP-Test

Nach Ausschluss zahnärztlicher Kontraindikationen zur Anwendung einer UPS und um-

fassender Aufklärung bestand der nächste Behandlungsschritt in einer präzisen Abformung des Ober- und Unterkiefers.

Es wurde immer auf eine ausreichende Löffelgröße geachtet, um die komplette Umschlagfalte und die retromolaren Bereiche im Ober- und Unterkiefer vollständig zu erfassen. Die Löffel wurden bei langen Kiefern mit A-Silikon individualisiert und abgedämmt, um ein Durchdrücken und dorsales Herausfließen der Abformmasse (Alginat, Kaniedenta, Herford, Deutschland) zu vermeiden.

In einem weiteren Schritt erfolgte die Bissregistrierung mittels George-Gauge (Scheu-Dental GmbH, Iserlohn, Deutschland, Abb. 8). Es wurde stets auf eine gute Passung der Frontzähne in den Aussparungen der George-Gabel geachtet. Falls notwendig, wurde die Oberkiefer-Schneidezahn-Aussparung der George-Gabel mit einer Fräse erweitert und/oder mit einem kleinen „Jig“ aus Kerr, Kunststoff oder Wachs individualisiert.

Ein distaler Aufbiss im Bereich der Seitenarme der Bissgabel wurde dabei vermieden um ein ‚Durchbiegen‘ der Bissgabel, das zu einem Federn und somit zu einem Qualitätsverlust führt, zu verhindern. Die Bissgabel wurde des Weiteren mittig auf beiden Kieferanteilen platziert und ein schaukelfreier Sitz gewährleistet. Der retrale Freiweg und die maximale Protrusion wurden anhand der Millimeteranzeige bestimmt und notiert. Anschließend wurde die Bissgabel bei ca. 2/3 der maximalen Protrusion, ausgehend von der retralen Kieferposition fixiert und die Registrierposition mittels Kanibite extrem (Bissregistriermaterial, mittelfließendes A-Silikon, Kaniedenta, Herford, Deutschland) verschlüsselt. Im Anschluss wurde eine individuelle, laborgefertigte UP-Testschiene angefertigt (modifiziertes Elastomergerät nach Lyon). Die maximale Tragezeit dieser Testschiene betrug 12 Monate.



Abb. 8: George-Bissgabel (Scheu-Dental GmbH, Iserlohn, Deutschland) mit Registriermaterial (Kaniebite extrem, Kaniedenta, Herford, Deutschland).

Technisches Vorgehen im Labor (Schultheis Zahntechnik, Solingen)

Die Modellherstellung erfolgte mit Klasse IV-Superhartgips (Picodent, Wipperfürth, Deutschland). Das Registriermaterial wurde im Bereich der Kauflächen von lateral im 45° Winkel beschnitten, bis es schaukelfrei auf dem Modell saß. Anschließend wurden die Modelle in dieser Position einartikuliert. Im Rahmen der Schienenherstellung wurden die Modelle in unter sich-gehenden Bereichen ausgeblockt, isoliert und anschließend das elastomere Material (Kanisil Positioner 60 Shore A, Kaniedenta, Herford, Deutschland) für die Testschiene aufgetragen. Danach wurden diese zur Polymerisation mit den Gipsmodellen in den Drucktopf gegeben um abschließend ausgearbeitet zu werden.

Einsetzen UP-Test

Vor der Sitzung wurde jeweils überprüft, ob die registrierte Situation vom Labor umgesetzt werden konnte. Dabei wurde einmal mittels George Bissregistrator und anschließend mit der Testschiene auf dem Modell die gewünschte Position der Testschiene intraoral kontrolliert. Bei der Testschiene handelt es sich um eine weiche Monoblock Schiene aus Elastomer die sich leicht beschneiden lässt und nicht starr an den Zähnen anliegt (modifiziertes Elastomer Gerät nach Lyon, Abb.1). Alle Patient*innen wurden im Hinblick auf Anwendung, Reinigung des Testgerätes und eventuell auftretenden Begleiterscheinun-

gen wie übermäßigem Speichelfluss oder Unbehagen für die 2-wöchige Adaptationsphase und die PSG-Testnacht geschult. In der Kontrollnacht im Schlaflabor erfolgte eine Überprüfung der Response, also der Therapiefunktion bei eingestellter therapeutischer Position, mittels PG oder PSG. Bei einer Verschiebung des AHI in den therapeutisch erwünschten Bereich schloss sich die Verordnung einer definitiven Apparatur an. Als Erfolgskriterien wurden eine Reduktion des AHI, insbesondere aber die Verbesserung der Blutsauerstoffsättigung und Verringerung bis Eliminierung klinisch-relevanter Symptome definiert. Die Testschiene wurde durch die Patienten im Schnitt für 6-12 Monate getragen.

2.2.2 Definitive UPS

Nach Übermittlung des PSG-Befundes und der fachärztlichen Verordnung wurden vom schlafmedizinisch qualifizierten Zahnarzt folgende vorbereitende Maßnahmen zur Therapie mit einem definitiven UPS-System durchgeführt:

- Eine bildgebende radiologische Abklärung (Panoramaschichtaufnahme) zur Abklärung therapierelevanter Befunde, insbesondere dem röntgenologischen Knochenabbau.
- Die Untersuchung der Funktion mittels manueller Strukturanalyse nach Bumann (Bumann und Lotzmann, 2000) zum Ausschluß limitierender und/oder schmerzhafter CMD hier insbesondere einer Hypomobilität des Unterkiefers (DGZS, 2021).
- Die Auswahl des geeigneten Schienensystems unter Einbeziehung der individuellen klinisch-anatomischen Gegebenheiten der Patient*innen (Schlieper, 2016).

Herstellung UPS

Der nächste Behandlungsschritt war die zweifache Abdrucknahme (Alginat, Kaniedenta, Herford, Deutschland) des Ober- und Unterkiefers zur Herstellung von Situationsmodellen zur Dokumentation und Arbeitsmodellen für die Anfertigung der definitiven Schiene. Situationsmodelle dienen der Dokumentation der Ausgangssituation. Anschließend wurde eine arbiträre Scharnierachsenübertragung (Gesichtsbogen) sowie eine erneute Bissregistrierung mittels George-Gauge durchgeführt. Zusätzlich wurde ein Durchbissregistrator mit Kanibite extrem (Bissregistrator material, mittelfließendes A-Silikon, Kaniedenta, Herford, Deutschland) zur Zuordnung der Situationsmodelle im maximalen Zusammenbiß

genommen.

Für die Abformungen des Ober- und Unterkiefers und die Registrierung mittels George Bissgabel galten die bereits oben beschriebenen Kriterien.

Für die Bestimmung der Protrusion der George Bissgabel der Arbeitsmodelle wurde jetzt jedoch das Ergebnis der Testnacht verwendet bzw. korrigiert, d.h. bei nicht ausreichender Wirkung die Protrusion verstärkt. Die Verschlüsselung erfolgte analog dem Ablauf des Testgerätes mit Kanibite extrem (Bissregistriermaterial, mittelfließend A-Silikon Kaniedenta, Herford, Deutschland).

Technisches Vorgehen im Labor

Die Modellherstellung erfolgte mit Klasse IV-Superhartgips (Picodent, Wipperfürth, Deutschland). Das Registriermaterial (Kanibite extrem, mittelfließendes A-Silikon, Kaniedenta, Herford, Deutschland) wurde im Bereich der Kauflächen von lateral im 45° Winkel beschnitten, bis es schaukelfrei auf dem Modell saß und die Modelle wurden in dieser Position einartikuliert. Der weitere Vorgang der Schienenherstellung variierte je nach Schienenmodell, hierbei wird auf die entsprechende Literatur verwiesen.

Eingliederung UPS

Bei Eingliederung der UPS erfolgte eine ausführliche Schulung der Patient*innen in der Handhabung des Gerätes und der Reinigung. Außerdem wurden die Nachsorge und die regelmäßigen Kontrollintervalle auch im Hinblick auf den Behandlungserfolg und die Überwachung (Stichwort: Nebenwirkungen bzw. Veränderungen im stomatognathen System) besprochen. Die Patient*innen wurden über die manuelle Titration aufgeklärt, die im Rahmen der Recalltermine (nach 1, 4 und 12 Wochen) in der Praxis vorgenommen wurden. Die Recalltermine dienten der Überprüfung der Eingewöhnung und des subjektiv empfundenen Therapieerfolges. Das Ziel sollte ein erholsamer Schlaf ohne Beeinträchtigung durch einen zu starken Protrusionsgrad sein. Die vom Schientyp abhängigen Titrationen in mm wurden dokumentiert.

Zur Dokumentation wurden zu den Zeitpunkten T1 und T2 Situationsmodelle (Klasse IV-Superhartgips (Picodent, Wipperfürth, Deutschland) nach Abdrucknahme mit Alginat (Kaniedenta, Herford, Deutschland) und einer Bissnahme mittels Durchbissregistrat (Kanibite Extrem, Kaniedenta, Herford, Deutschland) hergestellt. Anschließend wurde das Modell mithilfe des Registrates dreidimensional getrimmt, in einen KFO-Sockelformer positioniert

und gesockelt. Dies dient der Zuordnung der bimaxillären Modelle im entsprechenden Biss über eine distale Führung, ähnlich einem Okkludator.

2.3 Klinische Overbite und Overjet-Messungen

Die Bestimmung des klinischen Overbite und Overjet erfolgte zu den Untersuchungszeitpunkten T0, T1 und T2. Für die Bestimmung des klinischen Overjet wurde bei den Patient*innen der sagittale Abstand der Labialfläche des Zahnes 41 zur oralen Fläche der Inzisalkante des Zahnes 11 gemessen.

Zur Bestimmung des klinischen Overbite wurde der vertikale Abstand der Inzisalkante des 11 bis zur Inzisalkante des unteren 41 gemessen.

2.4 Digitale Messung und Auswertung der Gipsmodelle

2.4.1 Modellscanner S600 Arti (Zirkonzahn GmbH, Gai/Südtirol, Italien)

Laut Herstellerangaben handelt es sich hierbei um einen vollautomatischen, optischen Streifenlichtsscanner mit zwei hochauflösenden Hochgeschwindigkeitskameras. Die Größe des Messfeldes liegt bei 115 x 78 mm im 16:9 Format. Die analogen Gipsmodelle werden mit einem Laserpointer entlang der Okklusionsebene positioniert. Der Scanner verfügt über umfangreiche Matching-Funktionen, so dass Strukturen von mehreren Winkeln erfasst werden können und die Scans anschließend zusammengesetzt werden. Die zugehörige Software Zirkonzahn.Scan (Zirkonzahn GmbH, Gai/Südtirol, Italien) verfügt über eine intelligente Datenimport und -exportfunktion mit offener Schnittstelle und STL-, OFF-, OBJ- oder PIY-Formaten. Die Messzeit für eine gesamte Kiefermodellerfassung wird mit ca. 24 Sek. angegeben. Die Scanpräzision wird vom Hersteller mit unter 10 µm angegeben, während Sampaio-Fernandes et al. (2022) bei den Scans von Silikonabformungen eine Genauigkeit zwischen 91,91-110,79 µm postulierten.

2.4.2 Scanvorgang

Die Modelle des Ober- und Unterkiefers zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2 wurden zunächst separat mit Hilfe eines dreidimensionalen Modellscanners (S600 Arti, Zirkonzahn GmbH, Gai/Südtirol, Italien) eingelesen und mit der Scansoftware Zirkonzahn.Scan (Zirkonzahn GmbH, Gai/Südtirol, Italien) digitalisiert. Im Anschluss wurden die Modelle von T0 analog auf eine definitive Okklusion überprüft und zum Scannen manuell in maximalem Vielpunktkontakt zugeordnet. Es wurde auf einen eindeutigen Sitz während des Scanvorgangs geachtet. Mit Hilfe der Software erfolgte anschließend die digitale Zuordnung der Ober- und Unterkiefermodelle. Bei den Folgemodellen (T1 und T2) erfolgte die Zuordnung des Ober- und Unterkiefermodells über die kieferorthopädische Sockelung. Die digitalen 3D-Modelle wurden sorgfältig auf Vollständigkeit überprüft und mindestens 3 Scanvorgängen mit verschiedenen Winkeln im Bereich der Gaumenfalten unterzogen, um die Präzision zu erhöhen.

2.4.3 Onyx Ceph³™ Software (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland)

Onyx Ceph³™ ist eine leistungsfähige Client-/Server Windows-Anwendung mit einer SQL-Datenbank, die für die Verarbeitung von 2D- und 3D-Bilddatensätzen in zahnmedizinischen Einrichtungen entwickelt wurde. Sie findet vor allem Anwendung in den Bereichen der bildgestützten Diagnostik, Behandlungsplanung und Patientenberatung in der allgemeinen Zahnheilkunde, Kieferorthopädie, Prothetik, Implantologie und orthognathen Kieferchirurgie. Zusätzlich ermöglicht OnyxCeph³™ einen effizienten Austausch von diagnostischen und therapeutischen Informationen zwischen Überweiser*innen, Behandler*innen, Laboreinrichtungen und Patient*innen. OnyxCeph³™ kann relevante 2D- und 3D-Bilddatensätze importieren, speichern, verwalten und auswerten. Alle Daten werden in OnyxCeph³™ in einer leistungsstarken SQL-Datenbank sowohl einrichtungs- als auch patientenbezogen verwaltet. Die Strukturierung der Software ist modular und stellt eine Teilentwicklung des Dentalen Softwarekonzeptes (DSC) dar. Hierbei sollen den Anwender*innen funktionelle Softwarebausteine zur Verfügung gestellt werden, die anhand der eigenen Bedürfnisse der Praxis ausgewählt und individuell angepasst werden können. Die Messgenauigkeit mittels digitaler Software wurde in einer Studie von Radeke et al.

(2014) mit dem manuellen Verfahren zur kieferorthopädischen Modellvermessung verglichen. Die mit OnyxCeph³TM ermittelten Messwerte unterschieden sich statistisch nicht von den mittels Messschieber ermittelten Werten. Die digitale war im Vergleich zur analogen Methode jedoch insbesondere bei unerfahrenen Untersuchern signifikant schneller ($p < 0,01$). In dem systematischen Review von Rossini et al. (2016) werden digitale Zahnmodelle als neuer Goldstandard für die Praxis gesehen. Sie weisen eine hohe Genauigkeit, Reliabilität und Reproduzierbarkeit auf und sind zeit-, kosten- und platzsparend.

2.4.4 Bearbeiten der Modelle mit Hilfe der Onyx Ceph³TM Software

Die STL-Scandateien wurden in der 3D Analyse-Software Onyx Ceph³TM (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland) mittels Reverse-Modeling-Software in 3-D-Digitalmodelle nachkonstruiert und pseudonymisiert abgespeichert. Reverse-Modeling bezeichnet ein Verfahren, mit dem es möglich ist, die Morphologie eines physischen Objektes digital zu erfassen.

Der erste Bearbeitungsschritt war das Trimmen mit dem Modul „Modellausrichtung“ (Abb. 9). Alle synthetischen, also offensichtlich unnatürliche Bereiche wurden entfernt und es wurde überprüft, ob die relevanten Bereiche, insbesondere die Gaumenfalten gut dargestellt wurden.

Im Anschluss wurde jeweils aus dem ersten Modell in dem Modul „Segmentieren“ (Abb. 10 und 11) ein segmentiertes Modell mit künstlichen Wurzeln, die der Zahnachsenneigung entsprechen, hergestellt. Für diesen Schritt wurden die entsprechenden Zähne nummeriert. Das Programm identifiziert dann die zu einer Zahnkrone gehörigen Bereiche. Diese werden dann zusammengefasst und als separates 3D-Zahnobjekt durch vom Scanner nicht erfasste Kontakt und Wurzelbereiche vervollständigt. Den Kronen werden dabei Referenzpunkte zugeordnet, die ein individuelles Koordinatensystem bilden. Es wurde die vollständige Fassung der Zähne kontrolliert und ggf. korrigiert. Das Programm errechnet die synthetischen Wurzeln 3-dimensional und ordnet den Zähnen die Zahnachsen zu. Die vom System ausgewählten Wurzelneigungen und Referenzpunkte wurden erneut kontrolliert.

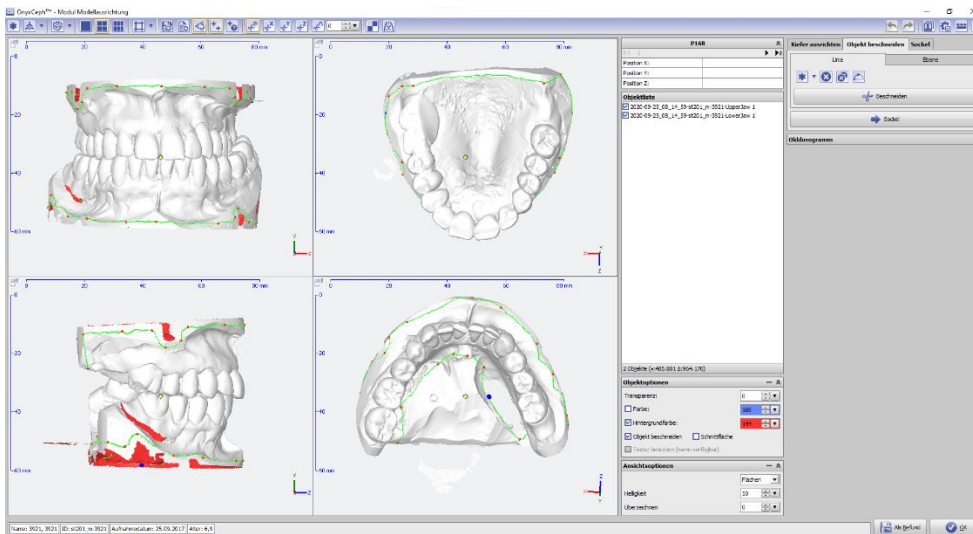


Abb. 9: Modul "Modellausrichtung": Entfernen der überflüssigen synthetischen Bereiche von Ober- und Unterkiefer.

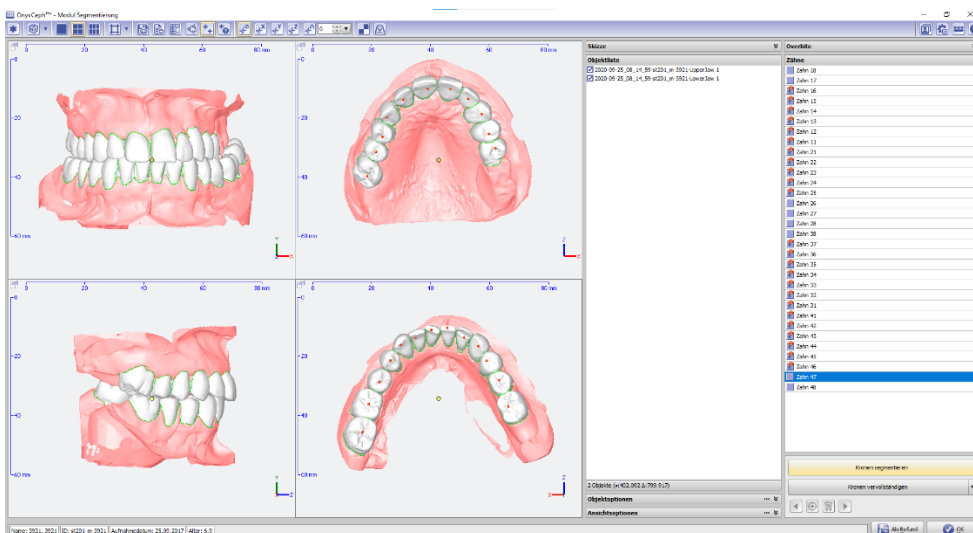


Abb. 10: Modul "Segmentieren": Definieren der Grenze von Zähnen zu Gingiva.

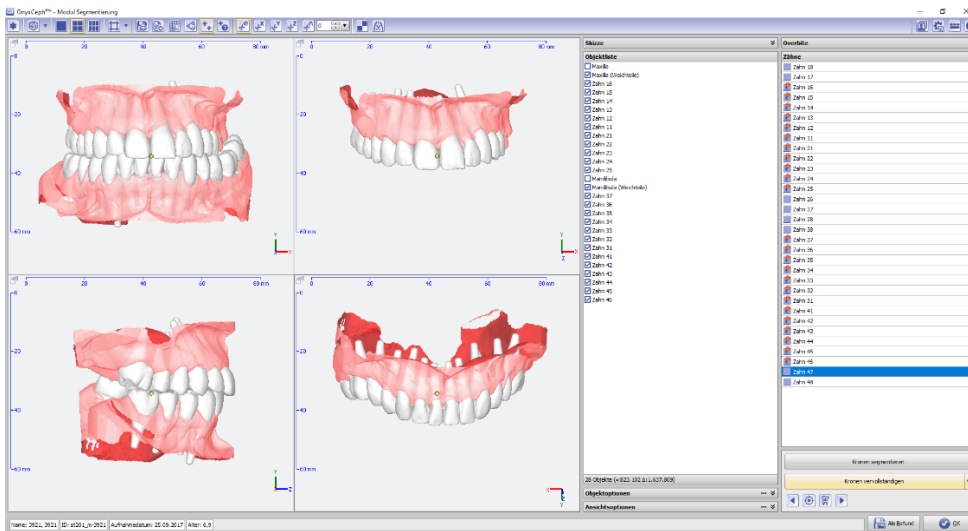


Abb. 11: Modul "Segmentieren": Durch die Software ermittelte künstliche Wurzeln im Verlauf der Zahnachsen.

2.4.5 Überlagerung der digitalisierten Modelle und Auswertung der Inklination, Angulation, Rotation, Mesial-, Vestibulär- und Okklusalwanderung mit Hilfe des Onyx Ceph³™ "Inspekt"-Moduls

Mit Hilfe der Überlagerung (Abb. 12) wurden die Inklination, Angulation, Rotation, Mesial-Vestibulär- und Okklusalwanderung der einzelnen Zähne bestimmt (Erklärungen und Abbildungen in Abschnitt 3).

Vor der Überlagerung wurden alle Modelle erneut hinsichtlich einer ausreichenden Trimmung insbesondere im Bereich der ausgewählten Überlagerungsfläche, also an den Gaumenfalten und 2 cm dorsal davon, kontrolliert. Außerdem wurde erneut die korrekte Segmentierung der Zähne überprüft. Die Option Neuvernetzung wurde ausgeschaltet. In der Software steht eine Auswahl verschiedener Referenzbereiche für die Überlagerung zur Verfügung:

- Die Zähne schieden als Referenzpunkte aus, da deren Bewegung beurteilt werden sollte.
- Das Oberflächenregistrierungsverfahren basierend auf einer Hauptachsentransformation mit nachfolgender iterativer Suche nach bestmöglicher Punktkorrelation (ICP, Iterative Closest Point) (Zachow, 2005) bezeichnet als „Überlagerung an Weichteile Maxilla“ wurde nicht gewählt, da sich diese

Zuordnung in mehreren Versuchen als weniger zuverlässig gezeigt hatte.

Die Präzision dieser Methode war im Vergleich der Zuordnung über die Gaumenfalten und Gaumennaht grundsätzlich ähnlich. Bei Translationen (körperlichen Zahnbewegungen) ergab sich jedoch das Problem, dass sich die marginale Gingiva mitbewegte und damit zu ungenauen Messungen führte.

- Als Referenzbereich wurden alle Gaumenfalten als anatomische Bezugspunkte gewählt, sowie das zirkumferente Zahnfleisch ab einem Abstand von 0,5-1 cm zu den Zähnen (Abb. 12). Die marginale Gingiva kann mitgewandert sein und wurde daher nicht miteinbezogen. Außerdem miteinbezogen wurde der Bereich 1-2 cm entlang der Gaumennaht dorsal der Gaumenfalten, um die transversale Ebene zu stabilisieren. Der Unterkiefer hat keine solchen stabilen Referenzpunkte. Aus diesem Grund erfolgte die Überlagerung in unserer Studie über das Koordinatensystem basierend auf der Okklusion und den Gaumenfalten des Oberkiefermodells, nach José Viñas et al. (2018).

Die Ergebnisse aus OnyxCeph wurden numerisch dargestellt und exportiert.

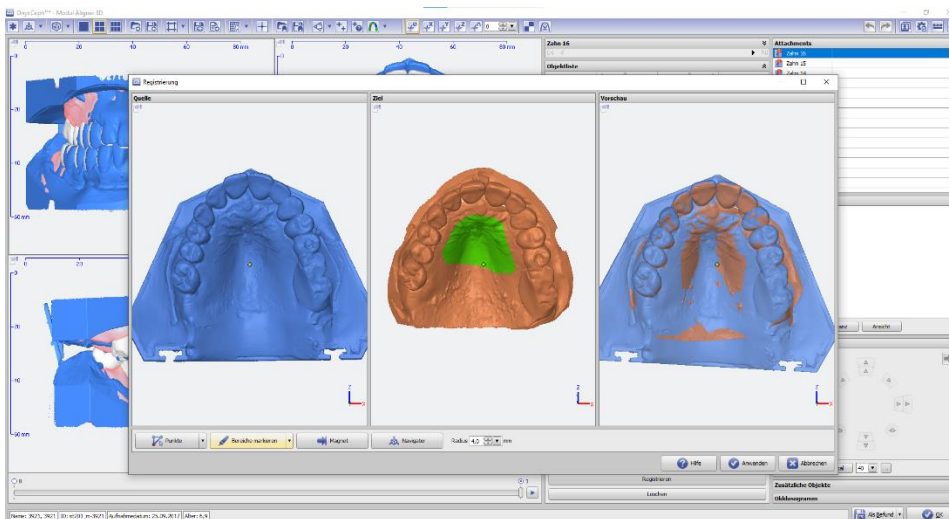


Abb. 12: Modul "Aligner": Markieren des Referenz-Bereiches (grün).

2.4.6 Overbite und Overjet Messung mit Hilfe des Onyx Ceph³™ „Auswertung“-Moduls

Im Modul „Auswertung“ wurde die vorinstallierte „WALA“-Analyse gewählt. Hierbei werden die zur Berechnung benötigten Referenzpunkte durch den Anwender an den hierfür definierten Positionen der Kronen- bzw. Zahnfleischoberfläche oder in Schnittebenen markiert (Image Instruments GmbH, 2018). Die Analyse geht auf Will und Lawrence Andrews zurück, die eine anatomische Referenz für die apikale Basis vorschlugen und die Zahnwurzeln in den basalen Alveolarknochen zentralisierten (Akhondi, 2019). Diese neu definierte Ebene nannten sie die WALA-Ridge, sie ist klinisch identifizierbar als das keratinisierte, weichgewebige Band, das unmittelbar an die mukoginigivale Linie angrenzt (Andrews, 1975, 2021). Die Hauptfunktion des Moduls liegt in der Lokalisierung der benötigten Referenzpunkte am Datensatz. Darauf aufbauend wurden die Analyseergebnisse berechnet und in numerischer Darstellung in Form von Tabellen exportiert. Beim Overjet wurde immer die manuelle Punktsetzung auf die mesiale Inzisalkante des 11 benutzt. Lag hier eine Fehlstelle im Gipsmodell vor, wurde der zervikalere mesiale Punkt gewählt und auch bei allen Folgemodellen benutzt. Das Programm errechnet den dazu senkrecht zum Zahnbogen, parallel zur Okklusionsebene liegenden Punkt in mm bis zum Unterkiefer.

Beim Overbite wurden immer zuerst die bei der Segmentierung errechneten Referenzpunkte der Zähne 11 und 41 kontrolliert. Der Orientierungspunkt für das Programm ist die Mitte des 2. Gaumenfaltenpaares. Dieser Punkt wurde manuell und reproduzierbar gesetzt. Das Programm berechnet diesen Wert anschließend anhand der bei der Segmentierung berechneten Referenzpunkte in mm für die Zähne 12 bis 42, 11 bis 41, 21 bis 31 und 22 bis 32.

2.5 Demografische Daten und klinische Befunde

Die Übertragung der analogen bzw. digitalen Daten der Patientenakte erfolgte pseudonymisiert in die SPSS (Version 29 für Windows, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) Datenbank. Die Daten umfassten die Anamnese der Patient*innen, die Daten zum klinischen, parodontalen und Funktions-Befund entsprechend des Routinevorgehens der Anamnese, der zahnärztlichen Befundung und den Richtlinien der DGZS (Deutsche Gesellschaft für

Zahnärztliche Schlafmedizin), die Ergebnisse der PSG bzw. PG-Untersuchung und die Daten zur eingegliederten UPS (Modell, Vorverlagerung in mm nach Titrierung, Tragedauer). Das Geschlecht, Alter, BMI, ESS und das definitive Schienensystem wurden der Patientendokumentation entnommen. Für die Erfassung des PSI wurde der höchste Wert des jeweiligen Sechstanten gewählt. Für die Anzahl fehlender Zähne wurden auch die Weisheitszähne mitgezählt. Der DMFT und die Anzahl der Brückenglieder konnten aus den dokumentierten Befunden zu den jeweiligen Zeitpunkten erhoben werden. Die Zeitpunkte T0, T1 und T2 beschreiben den zahnärztlichen Untersuchungs- / Nachuntersuchungstermin, an dem die demographischen und klinischen Daten erhoben wurden, sowie die Abformung für die Herstellung der Modelle erfolgte. Die polygraphische bzw. polysomnographische Untersuchung erfolgte in engem zeitlichem Bezug kurz vor oder nach diesem Termin. Die Laborparameter AHI, ODI und Sauerstoffsättigung wurden den originalen Berichten der schlafmedizinischen Untersuchung entnommen. Die Gesamtprotrusion wurde aus den in der Patientenakte dokumentierten Titirierungen berechnet. Der klinisch am Patienten gemessene Overbite und Overjet wurde der Patientenakte entnommen. Die am Modell gemessenen Overbite und Overjet Werte wurden mittels der Onyxceph Software erhoben. Die Zeiträume 1 und 2 wurden definiert als Zeitraum zwischen der Eingliederung der UPS (T0) und den Abdrucknahmen zu T1 bzw. T2.

2.6 Statistische Auswertung

Die Angabe aller Ergebnisse erfolgte als Mittelwert mit Standardabweichung. Die erhobenen Daten wurden in Diagrammen mit dem Programm Microsoft Word dargestellt. Die statistische Auswertung erfolgte unter Zuhilfenahme der Statistiksoftware SPSS Statistics 29 für Windows (SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA). Aufgrund der niedrigen Fallzahl für den Zeitpunkt T2 ($n=21$) wurde bei den abhängigen Variablen BMI, AHI, Sauerstoffsättigung, ESS und Gesamtprotrusion zuerst der Shapiro-Wilk Test auf Normalverteilung durchgeführt. Lediglich die Werte des ESS für T2 waren nicht normalverteilt, hierbei wurde anschließend der Friedman Test durchgeführt, während bei den anderen Variablen die Einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) angewendet wurde. Da die Stichprobe auch bei den Zahnbewegungen kleiner als 30 ist ($n=21$) wurde zuerst der Shapiro-Wilk Test auf Normalverteilung für die Ergebnisse der Zahnstellungsänderungen zu den 2 Untersuchungszeiträumen durchgeführt. Falls beide Werte normalverteilt waren ($p>0,05$) wurde der t-test durchgeführt. Falls einer der beiden Werte nicht normalverteilt war ($p<0,05$) wurde der Wilcoxon Test angewendet.

Die klinischen, sowie die digitalen Overbite und Overjet Messungen zeigten sich alle als normalverteilt, da $p>0,05$. Es wurde die Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung für alle 3 Zeitpunkte (T0, T1, T2) durchgeführt.

Für die paarweisen Vergleiche wurden bei der Einfaktoriellen Varianzanalyse mit dem Posthoc Bonferroni Korrektur angewendet. Der Mittelwert der metrischen Overbite Änderungen von 12-42, 11-41, 21-31 und 22-32 wurde errechnet.

Mit der multiplen linearen Regression wurden die unabhängigen Variablen, die laut Studienlage einen Einfluss auf den klinischen sowie digital gemessenen Overbite und Overjet haben können (Alter, Gesamtprotrusion, PSI, initialier Overbite) untersucht. Die Ergebnisse wurden in 3 Gruppen aufgeteilt: Die erste Gruppe wurde definiert als kleiner oder gleich dem Wert des ersten Perzentils. Die zweite lag zwischen erstem und drittem Perzentil und die dritte war größer oder gleich dem Wert des dritten Perzentils.

2.7 Fragestellungen

Mithilfe dieser Dissertation soll der Erfolg der UPS-Therapie hinsichtlich einer Verbesserung der klinischen Parameter und das Ausmaß möglicher Zahnstellungsänderungen bei

regelmäßiger Anwendung eines UPS-Schienenensystems untersucht werden. Folgende Fragestellungen sollen beantwortet werden:

- 1) Wie wirkt sich die UPS-Therapie auf die klinischen Parameter (AHI, Sauerstoffsättigung und ESS) aus?
- 2) Inwieweit verändert sich die Inklination, Angulation und Rotation sowie die Translation der Front- bzw. Seitenzähne über die Beobachtungszeiträume 1 und 2?
- 3) Wie wirkt sich die UPS-Therapie auf sowohl den klinisch als auch digital gemessenen Overbite und Overjet aus?
- 4) Was sind mögliche Prädiktoren für Overbite und Overjet Veränderungen?

Bei der Beurteilung der vorliegenden Untersuchungsergebnisse wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit mit $\alpha = 0,05$ festgelegt.

3. Ergebnisse

3.1 Patientengut

58 (44 Männer, 14 Frauen) Patient*innen im Alter von 24 bis 77 Jahren ($50,7 \pm 12,4$ Jahre) mit einer gesicherten OSA wurden mit einer UPS versorgt. Die demografischen Daten, klinischen Befunde und die metrischen Overbite und Overjet Messungen sowie Ober- und Unterkiefermodelle der Untersuchungszeitpunkte T0 (Ausgangssituation; $n=58$), T1 nach einer Therapiedauer von $11,9 \pm 7,1$ Monaten (1 Jahr, $n=58$), sowie T2 nach $31,9 \pm 25,4$ Monaten (2,7 Jahre, $n=21$) wurden ausgewertet (Abbildung 13, Tabelle 2). Um die metrischen Analysen der Zahnstellungsänderungen durchzuführen, wurde das Ausgangsmodell (T0) mit dem Modell des ersten Kontrolltermins (T1) digital überlagert (Zeitraum 1), sowie das Ausgangsmodell (T0) mit dem Modell des zweiten Kontrolltermins (T2, Zeitraum 2) (Abbildung 13). Die demografischen Daten und klinische Befunde sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Der BMI-Wert veränderte sich zu den Untersuchungszeitpunkten nur geringfügig ($p = 0,727$). Zu T0 betrug er durchschnittlich $27,42 \pm 4,19$, zu T1 bei $27,34 \pm 3,93$ und zu T2 bei $26,22 \pm 3,17$.

Zu T0 lag der DMFT im Durchschnitt bei $19,22 \pm 6,62$ und der PSI bei $2,1 \pm 0,87$.

Im Oberkiefer fehlten zu T0 durchschnittlich $2,76 \pm 1,73$ Zähne und im Unterkiefer $2,6 \pm 1,6$ Zähne.

Die Anzahl der Brückenglieder im Oberkiefer betrug zu T0 im Schnitt $0,72 \pm 1,08$ und im Unterkiefer $0,66 \pm 1,23$.

Klinische Daten

Der AHI reduzierte sich von durchschnittlich $18,47 \pm 13,03$ zu T0 ($n=56$), auf $8,94 \pm 8,97$ zu T1 ($n= 48$) und $5,09 \pm 4,02$ zu T2 ($n=12$). Der Unterschied zwischen den Untersuchungszeiträumen war statistisch signifikant ($F(10,827)$, $p=0,001$) mit einer signifikanten Abnahme zwischen T0 und T2 ($p=0,01$). Der ODI lag zu T0 ($n=16$) bei durchschnittlich $7,67 \pm 6,86$ und verringerte sich zu T1 ($n= 11$) auf $3,91 \pm 5,68$. Die durchschnittliche Sauerstoffsättigung erhöhte sich statistisch signifikant ($F(6,607)$, $p=0,012$) von $87,02 \pm 4,81$ % zu T0 ($n=54$), auf $88,28 \pm 6,86$ % zu T1 ($n=46$) und auf $89,83$

$\pm 4,09$ % zu T2 (n=12). Statistisch signifikant war der Unterschied zwischen T0 und T1 (p=0,02).

Der Wert der Tagesschläfrigkeit gemessen als ESS verringerte sich von $6,86 \pm 4,27$ zu T0 (n=58), auf $5,47 \pm 3,57$ zu T1 (n=57) und auf $4,62 \pm 3,19$ zu T2 (n=21). Es ergab sich jedoch kein statistischer signifikanter Unterschied zwischen den Untersuchungszeitpunkten (p = 0,280).

Die Gesamtprotrusion des Schienensystems ergab sich anhand der dokumentierten Titrationen. Die Zunahme der Protrusion stellte sich bei der Einfaktoriellen Varianzanalyse als signifikant dar (F (10,827), p=0,000). Im Schnitt betrug die Titration zu T0 $5,92 \pm 1,32$ mm (n=58), zu T1 $6,44 \pm 1,48$ mm (n=44) und zu T2 $6,59 \pm 1,58$ mm (n=19). Zu den Nachuntersuchungszeitpunkten T1 und T2 war die Gesamtprotrusion signifikant höher (T1, p=0,036; T2, p=0,007) als zum Untersuchungszeitpunkt T0. Demografische Daten, klinische Befunde sowie PSG / PG Daten sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

Bei 42 Patient*innen wurde zu T0 eine weiche „Testschiene“ eingegliedert, die nach maximal 12 Monaten durch eine definitive Schiene ersetzt wurde. 42 primär mit Testschienen versorgte Patient*innen trugen zu T1 eine Somnodent Flex (n=12), Narval CC (n=11), Somnodent Fusion (n=7), IST+ (n=6) oder Hamburger UPS (n=6). 17 Patient*innen wurden bereits zu T0 mit einer definitiven Schiene versorgt. Bei 9 Patienten wurde eine Somnodent Flex, bei 6 Patient*innen eine IST+ und bei einem Patienten eine IST Classic eingegliedert.

Zum Nachuntersuchungstermin (T2) wurden insgesamt 11 Somnodent Flex, 8 IST+, 1 Hamburger UPS und 1 Somnodent Fusion analysiert (Abbildung 14).

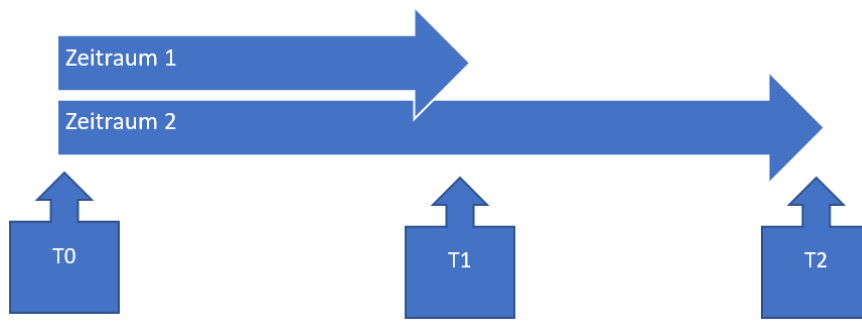


Abb. 13: Zeiträume und Zeitpunkte (T0 = Ausgangssituation; T1 = 1 Jahr nach Therapiebeginn; T2 = 2,7 Jahre nach Therapiebeginn).

Tab. 2: Länge der Untersuchungszeiträume in Monaten.

Deskriptive Statistik

	N	MW	StA
Zeitraum 1 (Monate)	58	11,94	7,06
Zeitraum 2 (Monate)	21	31,92	25,44

Abkürzungen: N = Anzahl; MW = Mittelwert; StA = Standardabweichung.

Tab. 3: Demografische Daten, klinische Befunde, PSG / PG Daten, verwendete Schienensysteme.

Variable	T0		T1		T2		ANOVA / Friedman*
	N	MW (StA) / Prozent	N	MW (StA) / Prozent	N	MW (StA) / Prozent	
Demografische / Klinische Befunde							
Geschlecht	58	100 %	58	100 %	21	100 %	n.v.
Männlich	44	75,9 %	44	75,9 %	16	76,2 %	
Weiblich	14	24,1 %	14	24,1 %	5	23,8 %	
Alter (Jahre)	58	50,72 (12,40)	58	51,81 (12,32)	21	54,10 (12,74)	n.v.
BMI	58	27,42 (4,19)	58	27,34 (3,93)	21	26,22 (3,17)	0,727
DMFT	58	19,22 (6,62)	58	19,33 (6,69)	21	19,86 (6,1)	n.v.
PSI (höchster Wert aller Sechstanten)	58	2,10 (0,87)	46	1,72 (1,1)	20	2,10 (1,07)	n.v.
Anzahl fehlender Zähne OK	58	2,76 (1,73)	58	2,76 (1,73)	21	2,86 (1,56)	n.v.
Anzahl fehlender Zähne UK	58	2,60 (1,60)	58	2,60 (1,6)	21	3,00 (1,64)	n.v.
Anzahl Brückenglie- der OK	58	0,72 (1,08)	58	0,72 (1,09)	21	0,71 (1,15)	n.v.
Anzahl Brückenglie- der UK	58	0,66 (1,23)	58	0,66 (1,24)	21	1,14 (1,56)	n.v.
ESS	58	6,86 (4,27)	57	5,47 (3,57)	21	4,62 (3,19)	0,516*
Gesamtprotrusion (mm)	58	5,92 (1,32)	44	6,44 (1,48)	19	6,59 (1,58)	0,000

Fortsetzung Tab. 3: Demografische Daten, klinische Befunde, PSG / PG Daten, verwendete Schienensysteme.

Variable	T0		T1		T2		ANOVA / Friedman*
	N	MW (StA) / Prozent	N	MW (StA) / Prozent	N	MW (StA) / Prozent	
PSG / PG Daten							
AHI pro Stunde	56	18,47 (13,03)	48	8,94 (8,97)	12	5,09 (4,02)	0,001
ODI pro Stunde	16	7,67 (6,86)	11	3,91 (5,68)	3	7,07 (12,07)	n.v.
Durchschnittliche Sauerstoffsättigung (%)	54	87,02 (4,81)	46	88,28 (6,86)	12	89,83 (4,09)	0,012
Eingegliederte Schienensysteme							
Gesamt	58	100 %	58	100 %	21	100 %	n.v.
Testschiene	42	72,4 %	0	0 %	0	0 %	
Somnodent Flex	9	15,5 %	21	36,2 %	11	52,4 %	
IST+	6	10,3 %	12	20,7 %	8	38,1 %	
Narval CC	0	0 %	11	19 %	0	0 %	
Somnodent Fusion	0	0 %	7	12,1 %	1	4,8 %	
Hamburger UPS	0	0 %	6	10,3 %	1	4,8 %	
IST Classic	1	1,7 %	1	1,7 %	0	0 %	

Abkürzungen: BMI = Body Mass Index; DMFT = Decayed Missing Filled Teeth; PSI = Parodontaler Screening Index; OK = Oberkiefer; UK = Unterkiefer; PSG = Polysomnographie; PG = Polygraphie; AHI = Apopnoe-Hypopnoe-Index; ODI = Oxygen Desaturation Index; ESS = Epworth Sleepiness Scale; MW = Mittelwert; StA = Standardabweichung; n.v. = nicht verfügbar; *Friedman Test.

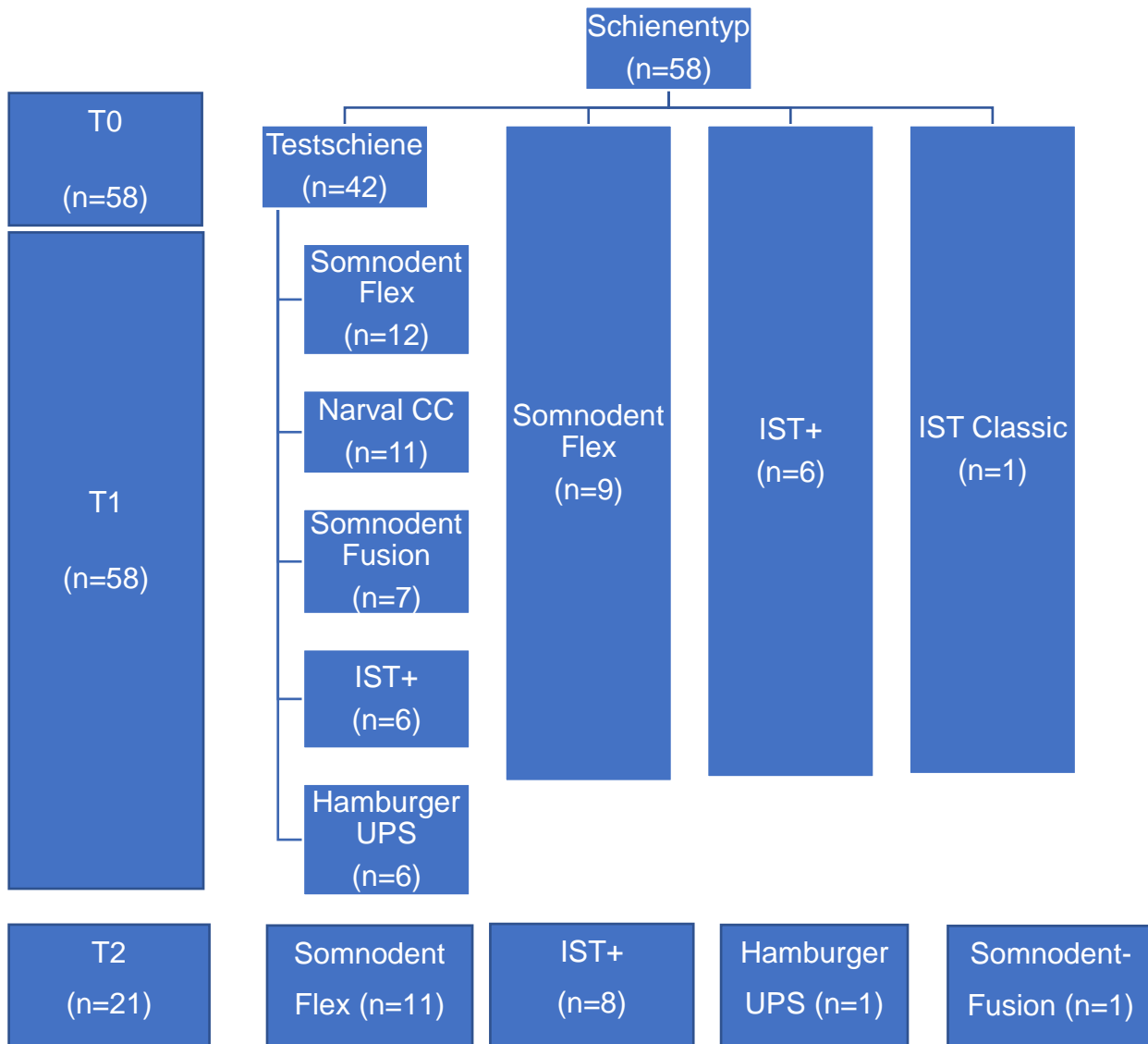


Abb. 14: Verwendete Schienensysteme zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten.

3.2 Zahnstellungsänderungen

Zur Ermittlung der Zahnstellungsänderungen wurden die Modelle von T0 und T1 bei 58 Patient*innen und von T0 und T2 bei 21 Patient*innen digital überlagert und metrisch ausgewertet. Aufgrund der einfacheren Übersicht wurden die Zähne zu Zahngruppen zusammengefasst. Die ausführlichen Einzelzahnbewegungen sind im Abschnitt 3.6 in Tabellen 9 und 10 aufgeführt.

Die Oberkiefer Zähne 17-14 und 24-27 wurden als Oberkiefer Seitenzähne zusammengefasst und die Oberkiefer Zähne 13-23 als Oberkiefer Frontzähne. Entsprechend erfolgte

die Einteilung im Unterkiefer: Die Unterkiefer Zähne 37-34 und 44-47 wurden als Unterkiefer Seitenzähne und die Unterkiefer Zähne 33-43 als Unterkiefer Frontzähne bezeichnet (Tabelle 4).

Erklärung der Werte:

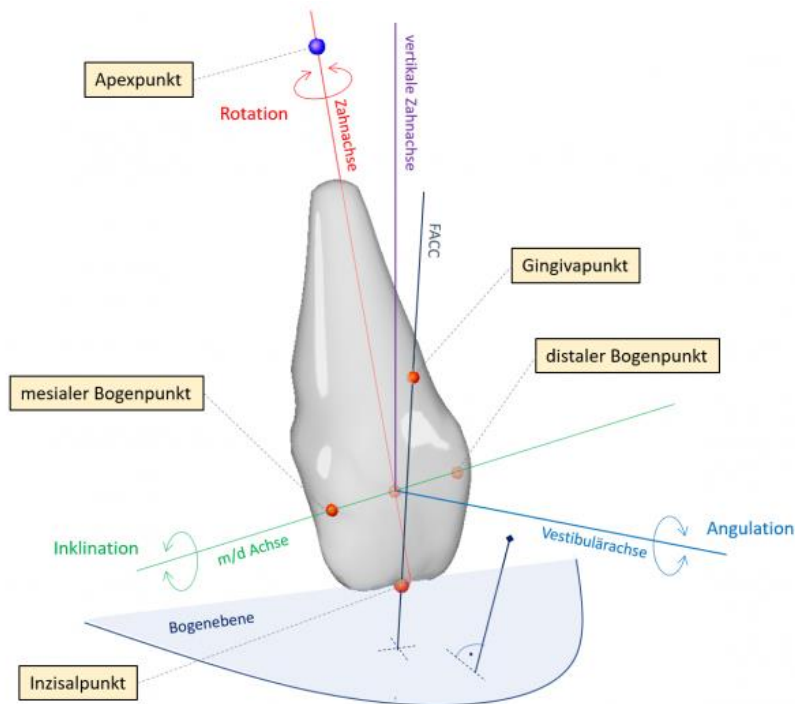


Abb. 15: Definitionen der anatomisch bedingten Punkte, Achsen und Bewegungen;
Quelle: <http://www.onyxwiki.net/doku.php?id=crowncoordinatesystem>.

Die Definitionen der anatomischen Achsen und Bewegungen sind in Abbildung 15 zusammengefasst. Bei der Inklination handelt es sich um eine Drehung um die mesiale/distale Bogenachse [mesialer Bogenpunkt ↔ distaler Bogenpunkt]. Bei positiver Drehung wird der Inzisalpunkt nach außen und der Apex zur Mitte gedreht. Die Messung der Inklination erfolgt immer in Bezug auf eine Zahnbogenebene, die sich am Mittel- und an den Endpunkten der Zahnbogenkurve ausrichtet und deren Position und Ausrichtung vom Anwender an die skelettalen Gegebenheiten im Kiefer angepasst werden kann. Bei der Rotation handelt es sich um eine Drehung um die Zahnachse [mesial/distaler Mittelpunkt ↔ Apex-Punkt]. Bei positiver Drehung wird der Labialpunkt nach mesial gedreht. Bei der Angulation handelt es sich um eine Drehung um die Vestibulärachse [Flächennormale der Ebene aus mesialer/distaler-Achse und Zahnachse]. Bei positiver Drehung wird

der Inzisalpunkt nach mesial und der Apex nach distal gedreht. Die Messung der Angulation erfolgt immer in Bezug auf eine Zahnbogenebene, die sich am Mittel- und an den Endpunkten der Zahnbogenkurve ausrichtet und deren Position und Ausrichtung vom Anwender an die skelettalen Gegebenheiten im Kiefer angepasst werden kann.

Translationen [+/-] werden in mm als Verschiebung entlang der jeweiligen Kronenkoordinatenachse gemessen.

Der Wert der Mesialwanderung beschreibt, dass Zähne mit positiven Werten nach mesial gewandert sind, während die negativen Werte auf eine Wanderung nach distal hinweisen. Bei der Vestibulärwanderung sind Zähne mit positiven Werten nach vestibulär gewandert, während die negativen Werte eine Wanderung nach oral beschreiben. Für die Okklusalwanderung werden positive Werte als Intrusion und negative Wert als Extrusion bezeichnet.

Deskriptive Beschreibung der Zahnstellungsänderungen im Beobachtungszeitraum 1 (T0-T1; n=58)

Die Inklination (Verringerung der Werte, Kippung der Zähne nach oral) nahm im Oberkiefer im Frontzahnbereich mit $-0,45^\circ$ deutlich stärker ab als im Seitenzahnbereich mit $-0,08^\circ$ (Tabelle 4). Im Unterkiefer waren die Inklinationsänderungen (Zunahme der Werte, Kippung der Zähne nach vestibulär) mit $0,85^\circ$ im Seitenzahnbereich und $0,87^\circ$ im Frontzahnbereich nahezu gleich stark.

Die Angulation (Verringerung der Werte, Kippung der Zähne nach distal) verringerte sich hingegen im Oberkiefer-Seitenzahnbereich mit $-0,62^\circ$ nahezu doppelt so stark wie im Frontzahnbereich ($-0,32^\circ$).

Im Unterkiefer stellten sich die Änderungen der Angulation mit einer Zunahme (Zunahme der Werte, Kippung der Zähne nach mesial) um $0,63^\circ$ im Seitenzahnbereich und um $0,79^\circ$ im Frontzahnbereich ähnlich dar. Die Zähne kippten im Unterkiefer also nach mesial.

Die Rotationsänderungen waren mit einer Zunahme (Zunahme der Werte, Rotation der Zähne nach mesial) von $0,07^\circ$ im Seitenzahnbereich und $0,15^\circ$ im Frontzahnbereich im Oberkiefer minimal. Die Zähne rotierten also leicht nach mesial.

Im Unterkiefer kam es zu einer leichten Abnahme (Verringerung der Werte, Rotation der Zähne nach distal) der Rotation im Seitenzahnbereich um $-0,07^\circ$ (Rotation nach distal) und einer leichten Zunahme im Frontzahnbereich um $-0,2^\circ$ (Rotation nach mesial).

Die Zähne des Oberkiefers wanderten insgesamt nach distal, im Seitenzahnbereich im Durchschnitt um 0,12 mm und im Frontzahnbereich um 0,07 mm nach distal.

Im Unterkiefer bewegten sich die Zähne nach mesial, die Seitenzähne durchschnittlich um 0,04 mm und die Frontzähne um 0,03 mm.

Zusätzlich ergab sich im Oberkiefer eine mittlere Stellungsänderung der Seitenzähne um 0,01 mm nach vestibulär und der Frontzähne um 0,13 mm nach oral.

Im Unterkiefer bewegten sich die Seitenzähne im Schnitt um 0,04 mm und die Frontzähne um 0,08 mm nach vestibulär.

Die Oberkiefer Seitenzähne extrudierten durchschnittlich um 0,04 mm, während die Oberkiefer Frontzähne um 0,01 mm intrudierten.

Die Unterkiefer Seitenzähne extrudierten im Schnitt um 0,12 mm und die Unterkiefer Frontzähne um 0,19 mm. Die Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Tabelle 4 dargestellt.

Deskriptive Beschreibung der Zahnstellungsänderungen im Beobachtungszeitraum 2 (T0-T2; n=21)

Die Inklination (Verringerung der Werte, Kippung der Zähne nach oral) nahm im Oberkiefer im Frontzahnbereich mit $-1,74^\circ$ deutlich stärker ab als im Seitenzahnbereich mit $-0,57^\circ$ (Tabelle 4). Im Unterkiefer waren die Inklinationsänderungen (Zunahme der Werte, Kippung der Zähne nach vestibulär) ebenfalls im Frontzahnbereich stärker mit $2,43^\circ$ im Seitenzahnbereich und $3,07^\circ$ im Frontzahnbereich.

Die Angulation (Verringerung der Werte, Kippung der Zähne nach distal) verringerte sich hingegen im Oberkiefer-Seitenzahnbereich mit $-1,66^\circ$ deutlich stärker als im Frontzahnbereich ($-0,66^\circ$).

Im Unterkiefer stellten sich die Änderung der Angulation mit einer Zunahme um $2,18^\circ$ im Seitenzahnbereich etwas stärker als um $1,51^\circ$ im Frontzahnbereich dar. Die Zähne kippeten also im Unterkiefer nach mesial.

Die Rotationsänderungen waren mit einer Zunahme (Zunahme der Werte, Rotation der Zähne nach mesial) von $0,18^\circ$ im Seitenzahnbereich und $0,37^\circ$ im Frontzahnbereich im Oberkiefer minimal. Die Zähne rotierten also leicht nach mesial.

Im Unterkiefer kam es zu einer leichten Abnahme (Verringerung der Werte, Rotation der Zähne nach distal) der Rotation im Seitenzahnbereich um $-0,22^\circ$ sowie etwas stärker im Frontzahnbereich um $-0,72^\circ$ (Rotation nach distal).

Die Zähne bewegten sich im Oberkiefer Seitenzahnbereich mehr ($-0,42$ mm) nach distal als im Frontzahnbereich ($-0,2$ mm).

Im Unterkiefer bewegten sich die Seitenzähne ebenfalls mehr ($0,57$ mm) als die Frontzähne ($0,29$ mm) in die entgegengesetzte Richtung, also nach mesial.

Im Oberkiefer wanderten die Seitenzähne im Schnitt um $-0,04$ mm und die Frontzähne mit $-0,42$ mm um deutlich mehr nach oral.

Im Unterkiefer bewegten sich die Seitenzähne im Schnitt um $0,21$ mm und die Frontzähne mit $0,67$ mm deutlich mehr nach vestibulär.

Die Oberkiefer Seitenzähne extrudierten im Schnitt um $-0,12$ mm und die Oberkiefer Frontzähne um $-0,06$ mm.

Die Unterkiefer Seitenzähne extrudierten im Schnitt um $-0,29$ mm und die Unterkiefer Frontzähne um $-0,87$ (Tabelle 4).

Tab. 4: Bewegungen der Zahngruppen in den Untersuchungszeiträumen 1 und 2.

Zahn- gruppe		Kronenachse (°)						Zahnbewegung (mm)					
		Inklination +/-		Angulation +/-		Rotation +/-		Mesial (+) / Distal (-)		Vestibulär (+) / Oral (-)		Intrusion (+) / Extrusion (-)	
Zeitraum	N	MW	StA	MW	StA	MW	StA	MW	StA	MW	StA	MW	StA
OK-SZ.1	58	-,08	,54	-,62	,98	,07	,67	-,12	,21	,01	,10	-,04	,36
OK-SZ.2	21	-,57	,86	-1,66	1,22	,18	,80	-,42	,30	-,04	,16	-,12	,31
OK-FZ.1	58	-,45	,94	-,32	,89	,15	,78	-,07	,11	-,13	,16	,01	,27
OK-FZ.2	21	-1,74	1,38	-,66	,84	,37	,91	-,20	,18	-,42	,27	-,06	,40
UK-SZ.1	58	,85	1,20	,63	1,22	-,07	,94	,04	,59	,04	,28	-,12	,41
UK-SZ.2	21	2,43	1,84	2,18	2,41	-,22	1,32	,57	,95	,21	,42	-,29	,62
UK-FZ.1	58	,87	1,55	,79	1,40	,20	1,38	,03	,31	,08	,60	-,19	,48
UK-FZ.2	21	3,07	2,47	1,51	1,38	-,72	3,32	,29	,46	,67	1,22	-,87	,74

Abkürzungen: OK = Oberkiefer; UK = Unterkiefer; FZ = Frontzähne; SZ = Seitenzähne;
MW = Mittelwert; StA = Standardabweichung;

„Zahngruppe“.1 = Zeitraum 1 (T0-T1); „Zahngruppe“.2 = Zeitraum 2 (T0-T2);

+ Inklination = Kippung nach vestibulär; - Inklination = Kippung nach oral;

+ Angulation = Kippung nach mesial; - Angulation = Kippung nach distal;

+ Rotation = Rotation nach mesial; - Rotation = Rotation nach distal;

Translationen [+/-] werden in mm als Verschiebung entlang der jeweiligen Kronenkoordinatenachse gemessen.

Statistischer Vergleich der Zahnstellungsänderungen (n=21) zwischen den Beobachtungszeiträumen 1 (T0-T1) und 2 (T0-T2)

Insgesamt konnten die Zahnstellungsänderungen von 21 Patient*innen ausgewertet werden (Tabelle 5). Im Vergleich der Beobachtungszeiträume 1 und 2 ergaben sich signifikante Unterschiede bei der:

- Inklination aller Zahngruppen (Oberkiefer Seitenzähne: $p = 0,010$, Oberkiefer Frontzähne: $p = 0,009$, Unterkiefer Seitenzähne: $p = 0,004$ und Unterkiefer Frontzähne: $p = <0,001$)
- Angulation der Oberkiefer Seitenzähne ($p = <0,001$), Angulation der Unterkiefer Seitenzähne ($p = 0,004$)
- Mesialwanderung der Oberkiefer Seitenzähne und Frontzähne ($p = 0,004$ bzw. $p = 0,037$)
- Vestibulärwanderung der Oberkiefer Frontzähne ($p = 0,002$)
- Extrusion der Unterkiefer Frontzähne ($p = 0,002$)

Zusammenfassend lassen sich folgende Aussagen treffen (Abb. 18 und 19):

Die Front- und Seitenzähne des Oberkiefers inklinierten nach oral und die Front- und Seitenzähne des Unterkiefers nach vestibulär.

Die Oberkiefer Seitenzähne kippten nach distal und die Unterkiefer Seitenzähne nach mesial.

Die Oberkiefer Seitenzähne und Frontzähne wanderten nach distal.

Die Oberkiefer Frontzähne wanderten nach oral, d.h. der Zahnbogen wurde schmaler.

Die Unterkiefer Frontzähne extrudierten.

Tab. 5: Statistischer Vergleich des Einflusses des Zeitraumes auf die Inklination, Angulation und Rotation der verschiedenen Zahngruppen.

Zahn- gruppe. Zeit- raum	N	Kronenachse (°)			Zahnbewegung (mm)		
		Inklination +/-	Angulation +/-	Rotation +/-	Mesial (+) / Distal (-)	Vestibulär (+) / Oral (-)	Intrusion (+) / Extrusion (-)
		t-test/ Wilcoxon*	t-test / Wilcoxon*	t-test / Wil- coxon*	t-test / Wil- coxon*	t-test / Wilcoxon*	t-test / Wilcoxon*
OK-SZ.1 vs OK-SZ.2	58 21						
		0,010*	<0,001	0,073*	0,004	0,907	0,305*
OK-FZ.1 vs OK-FZ.2	58 21						
		0,009	0,404*	0,237°	0,037	0,002	0,842
UK-SZ.1 vs UK-SZ.2	58 21						
		0,004*	0,004	0,590*	0,079*	0,243	0,303
UK-FZ.1 vs UK-FZ.2	58 21						
		<0,001	0,068*	0,192*	0,054	0,088	0,002

Abkürzungen: I = Inklination; A = Angulation; R = Rotation; OK = Oberkiefer; UK = Unterkiefer; FZ = Frontzähne; SZ = Seitenzähne; MW = Mittelwert; StA = Standardabweichung; vs = versus; „Zahngruppe“.1 = Zeitraum 1 (T0-T1); „Zahngruppe“.2 = Zeitraum 2 (T0-T2);

+ Inklination = Kippung nach vestibulär; - Inklination = Kippung nach oral;
+ Angulation = Kippung nach mesial; - Angulation = Kippung nach distal;
+ Rotation = Rotation nach mesial; - Rotation = Rotation nach distal;
Translationen [+/-] werden in mm als Verschiebung entlang der jeweiligen Kronenkoordinatenachse gemessen; Zur Analyse der Daten wurde in Abhängigkeit des Testes auf Normalverteilung der t-Test/Wilcoxon Test zum Vergleich der Beobachtungszeiträume verwendet; Statistisch signifikante p-Werte ($p < 0,05$) sind fett gedruckt; *Wilcoxon-test.

3.3 Overbite und Overjet Messungen

Der Overbite und Overjet wurden mittels zwei verschiedener Methoden berechnet. Zum einen anhand der dokumentierten Eintragungen in der Praxissoftware und den vorliegenden Befundbögen (klinische Messung) und zum anderen anhand der digitalisierten Modelle und der digitalen Auswertung mittels der WALA-Analyse der Software Onyx Ceph.

Klinische Messung

Daten der klinischen Messungen (Tabelle 6) lagen zu T0 (n=58), zu T1 (n=54) und zu T2 (n=17) vor (Tabelle 6). Es zeigte sich bei den klinischen Messungen eine Reduktion des Overjet um $0,2 \pm 1,22$ mm zu T1 (absolute Werte T0: $2,65 \pm 1,82$ mm, T1: $2,43 \pm 2,02$ mm) und um $1,18 \pm 1,19$ mm zu T2 (absoluter Wert T2: $1,41 \pm 1,80$ mm). Der Unterschied war statistisch signifikant (F (5,070), $p=0,013$) mit einer signifikanten Abnahme zwischen T0 und T2 ($p=0,004$). Ebenso zeigte sich klinisch eine statistisch signifikante Reduktion des Overbite um $0,28 \pm 0,81$ mm zu T1 (absolute Werte T0: $3,65 \pm 2,2$ mm, T1: $3,35 \pm 2,5$ mm) und um $1,29 \pm 1,21$ mm zu T2 (absoluter Wert T2: $1,88 \pm 2,37$ mm). Der Unterschied war statistisch signifikant (F (10,558), $p=0,000$) mit einer signifikanten Abnahme zwischen T0 und T1 ($p=0,022$) sowie zwischen T0 und T2 ($p=0,003$).

Tab. 6: Effekt des Untersuchungszeitpunktes auf den klinisch gemessenen Overbite und Overjet.

Klinische Messung					
		OJ [mm]		OB [mm]	
Zeitpunkt	N	MW	StA	MW	StA
T0	58	2,65	1,82	3,65	2,2
T1	54	2,43	2,02	3,35	2,5
T2	17	1,41	1,80	1,88	2,37
ANOVA		0,013		0,000	

Abkürzungen: OJ = Overjet; OB = Overbite; MW = Mittelwert; StA = Standardabweichung; Unterschiede zwischen den Untersuchungszeitpunkten: Zur Analyse der Daten wurden die einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung ANOVA und Posthoc Bonferroni verwendet; Statistisch signifikante p-Werte ($p < 0,05$) sind fett gedruckt.

Digitale Messung (WALA-Analyse)

Mit Hilfe der digitalen Analyse (WALA) konnten die Daten von 58 Patient*innen zu T0 und T1, sowie von 21 Patient*innen zu T2 ausgewertet werden (Tabelle 7).

Bei den digitalen Messungen zeigte sich eine Reduktion des Overjet um $0,3 \pm 1,05$ mm zu T1 (absolute Werte T0: $2,20 \pm 1,52$ mm, T1: $1,9 \pm 1,69$ mm) und um $1,21 \pm 1,41$ mm zu T2 (absoluter Wert T2: $0,96 \pm 2,03$ mm). Der Unterschied war statistisch signifikant (F (12,164), $p=0,000$) mit einer signifikanten Abnahme zwischen T0 und T2 ($p=0,003$) sowie zwischen T1 und T2 ($p=0,007$).

Außerdem reduzierte sich der Overbite zwischen 12 und 42 um $0,15 \pm 0,69$ mm zu T1 (absolute Werte T0: $2,14 \pm 1,84$ mm, T1: $1,99 \pm 1,96$ mm) und um $1,02 \pm 0,9$ mm zu T2 (absoluter Wert T2: $0,75 \pm 2,72$ mm). Der Unterschied war statistisch signifikant (F (15,941), $p=0,000$) mit einer signifikanten Abnahme zwischen T0 und T2 ($p=0,000$) sowie zwischen T1 und T2 ($p=0,005$).

Bei den Zähnen 11 und 41 zeigte sich eine Reduktion des Overbite um $0,02 \pm 0,83$ mm zu T1 (absolute Werte T0: $2,56 \pm 1,96$ mm, T1: $2,54 \pm 2,03$ mm) und um $0,83 \pm 1,35$ mm zu T2 (absoluter Wert T2: $1,27 \pm 2,17$ mm). Der Unterschied war statistisch signifikant (F (8,109), $p=0,001$) mit einer signifikanten Abnahme zwischen T0 und T2 ($p=0,031$) sowie zwischen T1 und T2 ($p=0,003$).

Zwischen 21 und 31 reduzierte sich der Overbite um $0,19 \pm 1,05$ mm zum Untersuchungszeitpunkt T1 (absolute Werte T0: $2,5 \pm 1,86$ mm, T1: $2,31 \pm 2,03$ mm) und um $0,93 \pm 1,03$ mm zum Untersuchungszeitpunkt T2 (absoluter Wert T2: $1,11 \pm 1,86$ mm). Der Unterschied war statistisch signifikant (F (11,733), $p=0,000$) mit einer signifikanten Abnahme zwischen T0 und T2 ($p=0,001$) sowie zwischen T1 und T2 ($p=0,005$). Der Overbite zwischen 22 und 32 reduzierte sich um $0,09 \pm 0,72$ mm nach einem Jahr (absolute Werte T0: $2,1 \pm 1,7$ mm, T1: $2,03 \pm 1,76$ mm) und um $0,5 \pm 1,34$ mm nach 2,7 Jahren (absoluter Wert T2: $1,20 \pm 2,14$ mm). Der Unterschied war statistisch signifikant (F (4,685), $p=0,015$).

Tab. 7: Effekt des Untersuchungszeitpunktes auf den digital (WALA-Analyse) gemessenen Overbite und Overjet.

Digitale Messung (WALA-Analyse, OnyxCeph)											
		OJ		OB 12 – 42		OB 11 – 41		OB 21 – 31		OB 22 – 32	
		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
Zeitpunkt	N	MW	StA	MW	StA	MW	StA	MW	StA	MW	StA
T0	58	2,20	1,52	2,14	1,84	2,56	1,96	2,5	1,86	2,1	1,7
T1	58	1,9	1,69	1,99	1,96	2,54	2,03	2,31	2,03	2,03	1,76
T2	21	,96	2,03	,75	2,42	1,27	2,17	1,11	1,86	1,20	2,14
ANOVA		0,000		0,000		0,001		0,000		0,015	

Abkürzungen: OJ = Overjet; OB = Overbite; MW = Mittelwert; StA = Standardabweichung; Unterschiede zwischen den Untersuchungszeitpunkten: Zur Analyse der Daten wurden die einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung ANOVA und Posthoc Bonferroni verwendet; Statistisch signifikante p-Werte ($p < 0,05$) sind fett gedruckt.

3.4 Multiple lineare Regression

Bei der Multiplen linearen Regression mit den vermuteten Einflussfaktoren Alter (Doff et al., 2010), Gesamttitration (Cohen-Levy et al., 2013; Doff et al., 2010; Minagi Hitomi Ono et al., 2018; Sheats, 2020), PSI und Initialer Overbite (Hoffstein, 2007) auf die gemessenen Werte des Overjet und Overbite zeigte sich, dass lediglich der PSI ein signifikanter Prädiktor ($p=0,014$) für die Abnahme des klinischen Overbite war (Tabelle 8).

Tab. 8: Multiple lineare Regression für den Einfluß des Alters, der Gesamtprotrusion, des PSI und des initialen Overbite auf den klinischen und den digitalen (WALA-Analyse) gemessenen Overbite und Overjet zwischen T0 und T2.

Einflussfaktoren / Perzentile	Klinischer Overbite	WALA Over- bite	Klinischer Over- jet	WALA Over- jet
	p	p	p	p
Alter (Jahre): 1: ≤ 42 2: 42-59,5 3: ≥ 59,5	0,425	0,404	0,683	0,360
Gesamtprotrusion: 1: ≤ 5,2mm 2: 52-8mm 3: ≥ 8mm	0,155	0,652	0,942	0,971
PSI: 1: ≤ 1 2: 1-3 3: ≥ 3	0,014	0,933	0,422	0,792
Intialer Overbite: 1: ≤ 0,95mm 2: 0,95-3,93mm 3: ≥ 3,93mm	0,199	0,630	0,621	0,079

Abkürzungen: p = p-Wert; Statistisch signifikante p-Werte ($p < 0,05$) sind fett gedruckt.

3.5 Bildliche Darstellung der Veränderung

Überlagerung der digitalisierten Modelle mittels der Onyx-Ceph Software. Blau beschreibt die Zahnstellungsänderung zum jeweiligen Nachuntersuchungszeitpunkt.

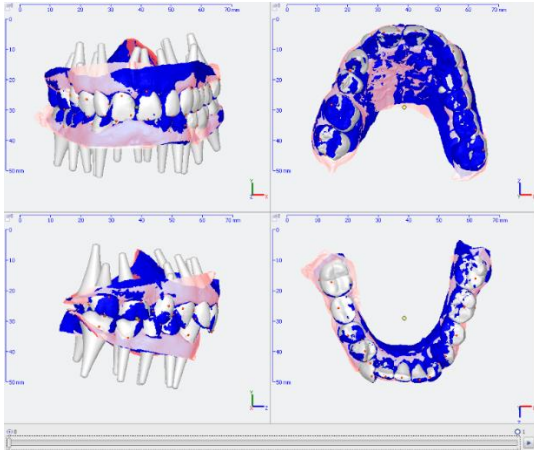


Abb. 16: Somnodent Flex Tragedauer 2009 bis 2011: Es zeigt sich eine deutliche Tendenz der Oberkiefer Zähne nach oral, sowie nach distal zu kippen und nach distal zu wandern.

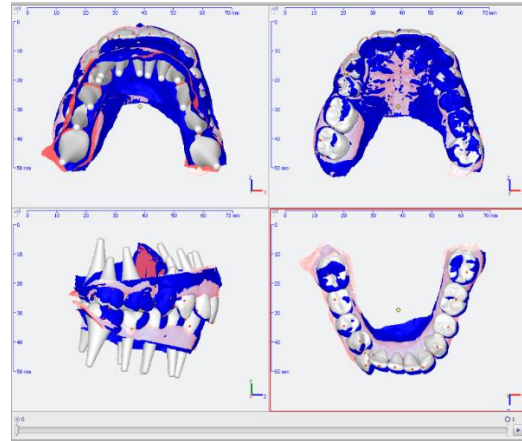


Abb. 17: Somnodent Flex Tragedauer 2009 bis 2020: Die Tendenz der Unterkiefer Zähne nach vestibulär zu kippen, nach mesial zu kippen und nach mesial zu wandern wird ersichtlich.

Anschauliche Bilder der beobachteten statistisch signifikanten Zahnstellungsänderungen mittels Powerpoint 2019 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington):

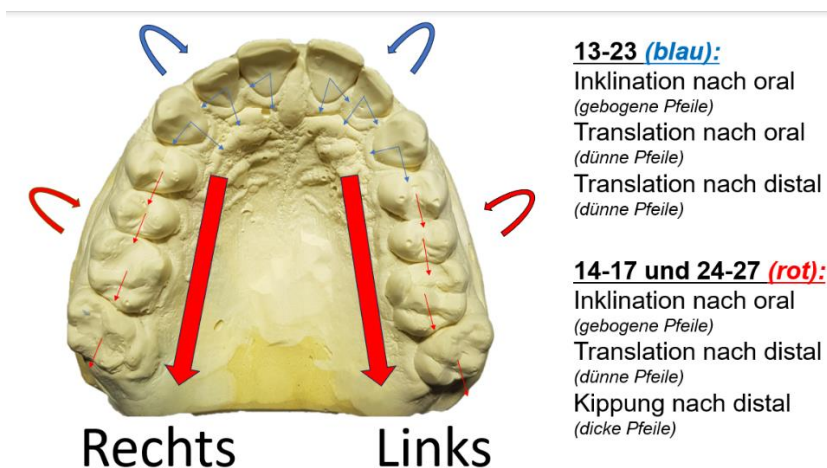


Abb. 18: Statistisch signifikante Veränderungen über 2,7 Jahre im Oberkiefer.

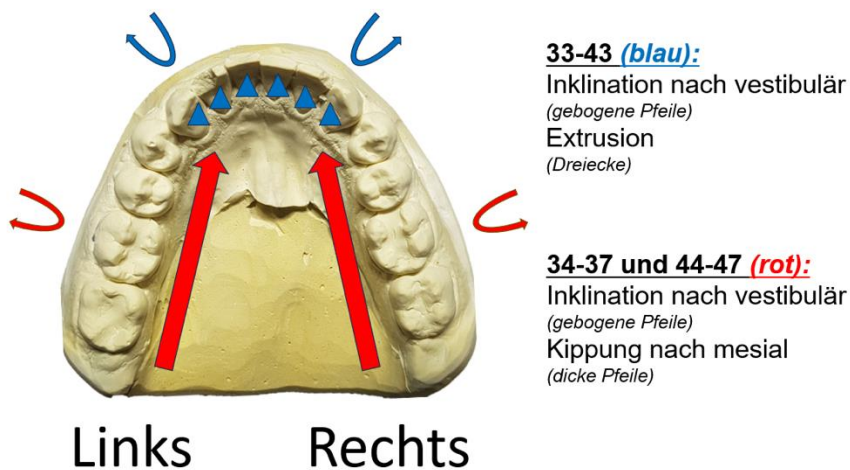


Abb. 19: Statistisch signifikante Veränderungen über 2,7 Jahre im Unterkiefer.

3.6 Stellungsänderungen der einzelnen Zähne in den Beobachtungszeiträumen 1 (T0-T1) und 2 (T0-T2)

Der Inklinationswinkel verringerte sich im Oberkiefer zwischen den Beobachtungszeiträumen 1 (T0-T1) und 2 (T0-T2) statistisch signifikant für die Zähne 17 ($p=0,002$), 15 ($p=0,006$), 14 ($p=0,008$), 13 ($p=0,035$), 12 ($p=0,004$), 11 ($p=0,007$), 22 ($p=0,026$) (Tabelle 9). Während der Inklinationswinkel im Unterkiefer für die Zähne 47 ($p=0,014$), 46 ($p=0,005$), 44 ($p=0,004$), 43 ($p=0,007$), 42 ($p<0,001$), 41 ($p<0,001$), 31 ($p<0,001$), 32 ($p=0,002$), 33 ($p=0,013$) signifikant zunahm.

Der Angulationswinkel verringerte sich im Oberkiefer statistisch signifikant für die Zähne 16 ($p=0,015$), 15 ($p=0,009$), 14 ($p=0,015$), 23 ($p=0,007$), 24 ($p=0,002$), 26 ($p=0,001$). Während der Angulationswinkel im Unterkiefer für die Zähne 47 ($p=0,001$), 46 ($p=0,003$), 44 ($p=<0,001$), 43 ($p=0,023$), 32 ($p=0,003$), 33 ($p<0,001$), 34 ($p=0,011$), 36 ($p=0,003$), 37 ($p=0,020$) signifikant zunahm. Eine Ausnahme bildete der 41, bei dem sich der Angulationswinkel statistisch signifikant verringerte ($p=0,006$).

Tab. 9: Bewegungen der Kronenachse -Inklination, Angulation und Rotation.

Zähne	Inklination +/- [°]			t-Test/ Wil- coxon*	Angulation +/- [°]			t-Test/ Wil- coxon*	Rotation +/- [°]			t- Test/ Wil- coxon *
	Zeit- raum	N	MW		StA	N	MW		StA	N	MW	
18.1	12	,85	4,16	0,715*	13	-,52	2,78	0,256	11	-,65	2,08	0,285*
18.2	4	2,88	2,31		4	1,32	8,61		4	,02	1,09	
17.1	53	-,27	1,46	0,002*	54	-,28	1,55	0,130	54	,01	,94	0,183*
17.2	21	-1,20	2,55		21	-1,15	1,98		21	-,82	2,61	
16.1	58	,26	1,23	0,295*	58	-,63	2,21	0,015*	58	,22	2,65	0,329*
16.2	21	-,12	4,11		21	-1,40	1,61		21	-,15	1,52	
15.1	58	-,08	1,10	0,006*	58	-,67	1,46	0,009	58	,14	1,28	0,421*
15.2	20	-1,71	2,60		21	-2,00	1,92		21	,98	2,81	
14.1	49	,26	1,06	0,008	50	-,51	1,65	0,015*	50	,07	,98	0,236*
14.2	17	-,90	1,91		17	-1,54	2,28		17	1,3 5	2,97	
13.1	57	-,34	,98	0,035*	57	-,37	1,48	0,871	57	,13	1,87	0,395*
13.2	20	-1,59	3,03		20	-,75	2,29		20	1,0 0	3,71	
12.1	58	-,57	1,32	0,004	58	-,51	1,39	0,299	58	,24	1,66	0,779
12.2	21	-2,42	1,86		21	-,27	1,55		21	,95	2,36	
11.1	58	-,53	1,43	0,007	58	-,16	1,19	0,156	58	-,03	1,09	0,896*
11.2	21	-2,22	1,53		21	,05	1,74		21	,08	2,13	
21.1	58	-,41	1,75	0,237*	58	,12	1,98	0,862*	58	-,04	1,86	0,520*

Fortsetzung Tab.9: Bewegungen der Kronenachse -Inklination, Angulation und Rotation.

Zähne	Inklination +/- [°]			t-Test/ Wil- coxon*	Angulation +/- [°]			t-Test/ Wil- coxon*	Rotation +/- [°]			t- Test/ Wil- coxon *
	Zeit- raum	N	MW		StA	N	MW		StA	N	MW	
21.2	21	-1,37	2,32	0,237*	21	-,46	2,25	0,862*	21	-,09	1,85	0,520*
22.1	58	-,56	1,36	0,026	58	-,37	1,43	0,149*	58	,06	1,71	0,266*
22.2	21	-1,84	1,45		21	-,98	1,94		21	,70	1,36	
23.1	58	-,29	,98	0,298	58	-,51	1,43	0,007	58	,39	1,52	0,325
23.2	20	-,83	1,68		20	-1,65	1,41		20	-,49	1,64	
24.1	57	-,19	,77	0,412	58	-,54	1,59	0,002*	58	-,14	1,61	0,575*
24.2	20	-,12	1,45		20	-2,48	1,83		20	,34	2,02	
25.1	53	-,26	1,17	0,513*	54	-,85	1,50	0,072	54	,25	1,19	0,717*
25.2	19	-,35	1,13		19	-2,12	2,17		19	,08	1,85	
26.1	57	-,13	1,39	0,153*	57	-,70	1,51	0,001*	57	,03	1,65	0,550*
26.2	21	,00	1,02		21	-1,89	1,82		21	-,20	1,23	
27.1	51	-,28	1,41	0,948*	51	-,78	2,68	0,088*	51	-,05	1,37	0,085*
27.2	19	-,35	1,39		19	-,92	2,32		19	,02	1,36	
28.1	13	,31	1,20	0,655*	13	-,90	1,92	0,655*	13	- 1,3 1	6,64	1,000*
28.2	2	-1,45	2,47		2	-1,60	2,69		2	-,35	1,06	
48.1	14	1,18	1,36	0,064	14	-,21	2,67	0,310*	14	-,12	2,81	0,553*
48.2	7	4,43	2,86		7	-1,17	12,35		7	- 1,64	7,09	

Fortsetzung Tab.9: Bewegungen der Kronenachse -Inklination, Angulation und Rotation.

Zähne	Inklination +/- [°]			t-Test/ Wil- coxon*	Angulation +/- [°]			t-Test/ Wil- coxon*	Rotation+/- [°]			t- Test/ Wil- coxon *
	Zeit- raum	N	MW		StA	N	MW		StA	N	MW	
47.1	54	,70	2,07	0,014*	54	-,03	3,14	0,001*	54	-,22	2,35	0,351*
47.2	20	1,96	2,05		20	2,05	2,77		20	,20	2,44	
46.1	58	,90	2,74	0,005*	58	,68	1,35	0,003	58	-,33	3,16	0,917*
46.2	21	2,77	3,74		21	2,14	2,54		21	- 1,01	3,05	
45.1	54	,86	1,92	0,127*	54	,93	2,05	0,067*	54	-,15	2,99	0,349*
45.2	18	2,76	3,06		18	1,93	3,01		18	-,85	3,32	
44.1	58	,44	1,90	0,004*	58	1,24	4,54	<0,001*	58	-,26	2,84	0,546*
44.2	20	2,60	1,98		20	3,11	2,81		20	-,78	2,52	
43.1	58	,53	1,69	0,007*	58	1,35	2,75	0,023*	58	,07	2,08	0,550*
43.2	21	2,65	2,53		21	2,81	2,61		21	-,29	2,38	
42.1	58	,76	1,79	<0,001*	58	1,24	5,14	0,823*	58	,74	6,27	0,513*
42.2	20	3,55	2,89		20	-,24	4,73		20	- 1,56	4,70	
41.1	58	1,07	2,15	<0,001	58	,68	2,64	0,006*	58	,00	2,91	0,889*
41.2	21	3,65	3,70		21	-,45	1,59		21	-,36	4,30	

Fortsetzung Tab.9: Bewegungen der Kronenachse -Inklination, Angulation und Rotation.

Zähne	Inklination +/- [°]			t-Test/ Wil- coxon*	Angulation +/- [°]			t-Test/ Wil- coxon*	Rotation +/- [°]			t- Test/ Wil- coxon *
	N	MW	StA		N	MW	StA		N	MW	StA	
31.1	58	1,16	2,27	<0,001*	58	-,08	2,82	0,575*	58	,39	3,79	0,057*
31.2	21	3,43	3,23		20	,77	3,14		21	- 2,04	6,50	
32.1	58	1,16	2,24	0,002	58	,42	3,89	0,003*	58	,02	2,78	0,466*
32.2	21	3,32	3,13		21	2,21	3,32		21	-,09	3,13	
33.1	57	,50	3,15	0,013*	58	1,16	2,54	<0,001*	58	,02	4,09	0,723*
33.2	21	1,81	2,27		21	3,87	4,23		21	-,06	3,46	
34.1	52	,64	1,82	0,187*	52	1,00	1,44	0,011*	52	-,20	2,62	0,155*
34.2	16	2,18	2,09		16	2,82	7,93		16	- 2,16	5,47	
35.1	58	,95	1,92	0,113	58	,54	1,98	0,058*	58	,26	2,38	0,862*
35.2	21	2,30	3,70		21	1,96	3,13		21	,13	3,34	
36.1	56	1,17	2,55	0,273*	56	,92	1,62	0,003*	56	,13	2,19	0,102*
36.2	21	2,19	3,72		21	2,69	2,69		21	2,42	7,70	
37.1	50	1,04	2,32	0,080*	50	-,43	4,87	0,020*	50	,13	2,23	0,737*
37.2	20	2,98	5,55		20	,92	4,39		20	-,32	2,95	
38.1	14	,64	2,14	0,838	14	-1,58	10,10	0,068*	14	1,09	5,58	0,465*
38.2	4	-,75	5,60		4	4,35	3,65		4	1,45	4,00	

Abkürzungen: MW = Mittelwert; StA = Standardabweichung; „Zahn“.1 = Zeitraum 1 (T0-T1); „Zahn“.2 = Zeitraum 2 (T0-T2);

+ Inklination = Kippung nach vestibulär; - Inklination = Kippung nach oral;

+ Angulation = Kippung nach mesial; - Angulation = Kippung nach distal;

+ Rotation = Rotation nach mesial; - Rotation = Rotation nach distal;

Zur Analyse der Daten wurde in Abhängigkeit des Testes auf Normalverteilung der t-Test/Wilcoxon Test zum Vergleich der Beobachtungszeiträume verwendet;

Statistisch signifikante p-Werte ($p < 0,05$) sind fett gedruckt; *Wilcoxon-test.

Im Oberkiefer wanderten die Zähne im Vergleich der Beobachtungszeiträume 1 (T0-T1) und 2 (T0-T2) nach distal (Tabelle 10). Signifikant waren die Unterschiede für die Zähne 15 ($p=0,008$), 14 ($p=0,016$), 22 ($p=0,034$), 23 ($p=0,041$), 25 ($p=0,035$), 26 ($p=0,004$).

Im Unterkiefer hingegen wanderten die Zähne nach mesial, signifikante Unterschieden zeigten die Messergebnisse für die Zähne 45 ($p=0,040$) und 43 ($p=0,021$).

Im Oberkiefer wanderten die Zähne im Vergleich der Beobachtungszeiträume 1 (T0-T1) und 2 (T0-T2) nach oral. Signifikant waren die Unterschiede für die Zähne 15 ($p=0,049$), 14 ($p=0,028$), 13 ($p=0,015$), 12 ($p=<0,001$), 11 ($p=0,002$), 21 ($p=0,014$), 22 ($p=0,033$).

Im Unterkiefer hingegen wanderten die Zähne nach vestibulär. Signifikante Unterschiede zeigten die Messergebnisse für die Zähne 41 ($p=0,046$), 31 ($p=0,034$), 32 ($p=0,033$), 33 ($p=0,076$). Eine Ausnahme ist hierbei der Zahn 48 ($n=7$), der statistisch signifikant nach oral wanderte ($p=0,022$).

Im Ober- und Unterkiefer zeigen sich im Vergleich der Beobachtungszeiträume 1 (T0-T1) und 2 (T0-T2) statistisch signifikante Intrusionen der Zähne 26 ($p=0,010$), 27 ($p=0,006$), 46 ($p=0,031$), 44 ($p=0,017$), 43 ($p=0,014$), 42 ($p=0,004$), 41 ($p=0,002$), 31 ($p=<0,001$), 32 ($p=0,003$) und 33 ($p=0,006$).

Die folgenden Zähne wiesen hingegen eine statistisch signifikante Okklusalwanderung (Extrusion) auf: 14 ($p=0,011$) und 37 ($p=0,040$).

Tab.10: Einzelzahnbewegungen nach mesial, vestibulär und okklusal (Ex- und Intrusion).

Zähne	Mesial (+) / Distal (-) [mm]			t-test/ Wil-coxon*	Vestibulär (+) / Oral (-) [mm]			t-test/ Wil-coxon*	Intrusion (+) / Extrusion (-) [mm]			t-test/ Wil-coxon*
	Zeit- raum	N	MW		StA	N	MW		StA	N	MW	
18.1	12	-,08	,19	0,894	12	-,05	,33	0,424	12	,03	,44	0,809
18.2	4	-,10	,61		4	,01	,53		4	,13	,45	
17.1	54	-,15	,33	0,211*	54	,02	,29	0,781*	54	-,07	,41	0,390*
17.2	21	-,37	,34		21	-,07	,33		21	-,15	,53	
16.1	58	-,10	,40	0,237*	58	,02	,18	0,765*	58	-,15	,90	0,876*
16.2	21	-,43	,33		21	-,09	,19		21	-,04	,54	
15.1	58	-,16	,26	0,008	58	,01	,15	0,049*	58	-,02	,30	0,247*
15.2	21	-,50	,32		21	-,13	,25		21	,08	,39	
14.1	50	-,12	,25	0,016	48	,01	,15	0,028	50	-,02	,26	0,011*
14.2	17	-,44	,28		17	-,16	,23		17	,15	,34	
13.1	57	-,11	,24	0,204*	57	-,08	,16	0,015	57	-,02	,28	0,494*
13.2	20	-,33	,27		20	-,35	,36		20	-,05	,47	
12.1	58	-,11	,23	0,322*	58	-,11	,20	<0,001	58	,00	,29	0,758
12.2	21	-,28	,27		21	-,52	,36		21	-,06	,44	
11.1	58	-,05	,18	1,000*	58	-,14	,22	0,002	58	,02	,33	0,944
11.2	21	-,10	,24		21	-,52	,35		21	-,06	,44	
21.1	58	-,01	,21	0,563*	58	-,14	,24	0,014*	58	,01	,39	0,639*
21.2	21	-,04	,27		20	-,46	,35		21	-,09	,55	

Fortsetzung Tab. 10: Einzelzahnbewegungen nach mesial, vestibulär und okklusal (Ex- und Intrusion).

Zähne	Mesial (+) / Distal (-) [mm]			t-test/ Wil- coxon*	Vestibulär (+) / Oral (-) [mm]			t-test/ Wil- coxon*	Intrusion (+) / Extrusion (-) [mm]			t-test/ Wil- coxon*
	Zeit- raum	N	MW		StA	N	MW		StA	N	MW	
22.1	58	-,04	,19	0,034*	58	-,17	,19	0,033	58	,01	,27	0,768*
22.2	21	-,19	,32		21	-,40	,30		21	-,05	,39	
23.1	58	-,09	,21	0,041	58	-,12	,17	0,056	58	,00	,30	0,972
23.2	20	-,31	,42		20	-,29	,22		20	-,10	,32	
24.1	58	-,12	,21	0,054	58	-,03	,18	0,615*	58	,04	,30	0,060
24.2	20	-,39	,40		20	-,13	,26		19	-,07	,31	
25.1	54	-,13	,22	0,035	54	,00	,16	0,091*	54	,01	,34	0,417
25.2	19	-,41	,40		19	,04	,30		19	-,09	,34	
26.1	57	-,11	,25	0,004	57	,03	,23	0,444*	57	-,04	,44	0,010
26.2	21	-,41	,39		21	,09	,35		21	-,30	,40	
27.1	51	-,12	,28	0,059	51	,00	,37	0,184*	51	-,12	,85	0,006*
27.2	19	-,40	,44		19	,10	,38		19	-,39	,58	
28.1	13	,02	,31	0,180*	13	-,01	,36	0,655*	13	,05	,44	0,180*
28.2	2	-,50	,69		2	,33	,03		2	-,49	,18	
48.1	14	,66	1,33	0,866*	14	,28	,63	0,022	14	,00	,67	0,942
48.2	7	1,7 9	3,58		7	-,39	,36		7	-,24	,91	
47.1	54	,13	,86	0,050	54	,02	,79	0,490*	54	-,15	,81	0,401*
47.2	20	,78	1,02		20	,04	,70		20	-,11	,70	

Fortsetzung Tab. 10: Einzelzahnbewegungen nach mesial, vestibulär und okklusal (Ex- und Intrusion).

Zähne	Mesial (+) / Distal (-) [mm]			t-test/ Wil- coxon*	Vestibulär (+) / Oral (-) [mm]			t-test/ Wil- coxon*	Intrusion (+) / Extrusion (-) [mm]			t-test/ Wil- coxon*
	Zeit- raum	N	MW		StA	N	MW		StA	N	MW	
46.1	58	,14	1,05	0,181*	58	,06	,43	0,969	58	-,03	,47	0,031
46.2	21	,62	1,09		21	,10	,72		21	-,42	,66	
45.1	54	,07	,95	0,040	54	,05	,42	0,551	54	-,03	,43	0,087
45.2	18	,75	1,08		18	,16	,99		18	-,41	,74	
44.1	58	,10	,93	0,062*	58	,00	,57	0,502*	58	-,11	,52	0,017*
44.2	20	,70	1,03		20	,13	1,27		20	-,79	,73	
43.1	58	,11	,95	0,021	58	,04	,46	0,394*	58	-,15	,50	0,014*
43.2	21	,81	1,07		21	,22	1,34		21	-,87	,80	
42.1	58	,09	,73	0,139	58	,08	,74	0,067*	58	-,18	,53	0,004
42.2	20	,42	,79		20	,75	1,12		20	-,93	,77	
41.1	58	,05	,58	0,881	58	,09	,74	0,046*	58	-,20	,54	0,002
41.2	21	,05	,87		21	,82	1,43		21	-,92	,81	
31.1	58	-,12	,59	0,689*	58	,08	,77	0,034*	58	-,20	,59	<0,001
31.2	21	-,11	,82		21	,77	1,48		21	-,94	,70	
32.1	58	,00	,51	0,853	58	,15	,73	0,033*	58	-,20	,50	0,003*
32.2	21	,15	,89		21	,91	1,12		21	-,81	,79	

Fortsetzung Tab. 10: Einzelzahnbewegungen nach mesial, vestibulär und okklusal (Ex- und Intrusion).

Zähne	Mesial (+) / Distal (-) [mm]			t-test/ Wil- coxon*	Vestibulär (+) / Oral (-) [mm]			t-test/ Wil- coxon*	Intrusion (+) / Extrusion (-) [mm]			t-test/ Wil- coxon*
	N	MW	StA		N	MW	StA		N	MW	StA	
33.1	58	,04	,58	0,352	58	,04	,70	0,076*	58	-,21	,60	0,006*
33.2	21	,39	1,03		21	,41	1,37		21	-,69	,91	
34.1	52	,08	,72	0,171*	52	,06	,56	0,379*	52	-,16	,44	0,250
34.2	16	,92	1,08		16	,52	,85		16	-,48	1,02	
35.1	58	-,07	,69	0,154*	58	,08	,60	0,289*	58	-,11	,45	0,316
35.2	21	,60	1,22		21	,37	,94		21	-,25	,80	
36.1	56	-,09	,73	0,170*	56	,08	,53	0,095*	56	-,12	,58	0,945*
36.2	21	,28	1,34		21	,36	,71		21	-,02	1,07	
37.1	50	-,02	,98	0,313*	50	-,02	,64	0,322*	50	-,37	1,30	0,040*
37.2	20	,43	1,01		20	,17	,71		20	-,06	1,07	
38.1	14	,10	,89	0,397	14	-,41	,81	0,273*	14	-,50	1,47	0,715*
38.2	4	,86	1,33		4	-,10	,84		4	-,19	1,26	

Abkürzungen: MW = Mittelwert; StA, = Standardabweichung;

„Zahn“.1 = Zeitraum 1 (T0-T1); „Zahn“.2 = Zeitraum 2 (T0-T2);

Translationen [+/-] werden in mm als Verschiebung entlang der jeweiligen Kronenkoordinatenachse gemessen; Zur Analyse der Daten wurde in Abhängigkeit des Testes auf Normalverteilung der t-Test/Wilcoxon Test zum Vergleich der Beobachtungszeiträume verwendet; Statistisch signifikante p-Werte ($p < 0,05$) sind fett gedruckt; *Wilcoxon-test.

4. Diskussion

In der vorliegenden retrospektiven Studie wurden die Gipsmodelle von 58 Patient*innen im Alter von 24 bis 77 Jahren nach UPS-Therapie in der Praxis Dr. Alexander Meyer in Solingen hinsichtlich der Verbesserung der PSG/PG Daten dentaler Nebenwirkungen analysiert und dreidimensional vermessen. Die durchschnittliche Anwendungsdauer der UPS betrug 12 ± 7 Monate. Bei 21 der 58 Patient*innen konnten Folgemodelle nach einer Behandlungsdauer von 32 ± 25 Monaten analysiert werden. Die anamnestischen und laborspezifischen Daten wurden vor Behandlungsbeginn (T0; n=58), $11,9 \pm 7,1$ Monate (1 Jahr, T1; n=58) und $31,9 \pm 25,4$ Monate (2,7 Jahre, T2; n=21) nach Eingliederung der UPS erhoben. Der Overbite und Overjet wurden sowohl retrospektiv aus den Patientenakten entnommen, als auch durch dreidimensionale Modellvermessung bestimmt. Die Zahnstellungsänderungen wurden analysiert, vermessen und zur besseren Übersicht der Ergebnisse in Front und Seitenzähne eingeteilt.

Während es zu Beginn der Anwendung einer UPS zu Nebenwirkungen wie Spannungsgefühlen, Zahnfleischirritationen, übermäßigem Speichelfluss oder Mundtrockenheit kommen kann, die jedoch i. d. R. reversibel sind, gibt es in der Literatur auch zahlreiche Untersuchungen zu langfristigen Nebenwirkungen wie unerwünschten Zahnbewegungen, skelettalen Veränderungen und Okklusionsveränderungen (Martins et al., 2018).

Auch wenn der Hauptgrund eine UPS Therapie abzubrechen die Ineffektivität der Schiene ist, können auch okklusale Nebenwirkungen zu Passungenauigkeiten und mangelnder Adhärenz führen (Hoffstein, 2007). Grundsätzlich ist die Therapie der OSA mittels UPS nicht kurativ, da die Schiene lediglich eine Stabilisierung und Vorverlagerung des Unterkiefers bewirkt, um so eine anatomisch bedingte Obstruktion der oberen Atemwege zu vermindern (Deane, 2009). Die Therapie muss dementsprechend für einen nicht absehbaren Zeitraum durchgeführt werden (Rose et al., 2002a). Daher ist es wichtig, über ein besseres Verständnis der präzisen kraniofazialen Effekte der UPS-Therapie zu verfügen, um als behandelnder Zahnarzt bei der Therapie von OSAS die möglichen Risiken einzuschätzen und angemessen darauf zu reagieren.

Die UPS ist ein bimaxilläres, an den Zähnen befestigtes Schienensystem, das den Unterkiefer in einer anterioren, kaudalen Position positioniert, wodurch die Zungenbasis nach vorne gezogen und das pharyngeale Weichgewebe gedehnt wird (Chen und Lowe, 2013; Cohen-Levy et al., 2013; Ghazal et al., 2008). Während der Unterkiefer dazu tendiert sich durch die einwirkende Kraft von Kaumuskeln, suprahyoidalen Muskeln und umgebenden Weichgewebe in seine posteriore habituelle Lage zu repositionieren, wird vor allem beim Schlucken eine ständige Kraft auf die Zähne und das umliegende Gewebe ausgeübt. (Doff et al., 2013; Ghazal et al., 2008; Marklund, 2006). Eine dieser Kräfte ist labial auf die Unterkieferdentition, die andere palatinal auf die Oberkiefer Dentition gerichtet (Alessandri-Bonetti et al., 2016). Es wird vermutet, dass dies die Inklinaton und Position der Zähne verändern kann (Alessandri-Bonetti et al., 2016).

Mithilfe dieser Dissertation soll der Erfolg der UPS-Therapie hinsichtlich einer Verbesserung der klinischen Parameter und das Ausmaß möglicher Zahnstellungsänderungen bei regelmäßiger Anwendung eines UPS-Schienensystems untersucht werden. Folgende Fragestellungen sollten beantwortet werden:

- 1) Wie wirkt sich die UPS-Therapie auf die klinischen Parameter (AHI, Sauerstoffentsättigung und ESS) aus?
- 2) Inwieweit verändert sich die Inklinaton, Angulation und Rotation sowie Translation der Front- bzw. Seitenzähne über die Beobachtungszeiträume?
- 3) Wie wirkt sich die UPS-Therapie auf sowohl den klinisch als auch digital gemessenen Overbite und Overjet aus?
- 4) Was sind mögliche Prädiktoren für Overbite und Overjet Veränderungen?

1) Auswirkung der UPS-Therapie auf die klinischen Parameter

Eine Metaanalyse von Pattipati et al. (2022) konnte zeigen, dass sowohl die CPAP als auch die UPS Therapie bei Patient*innen mit OSA eine effektive Reduzierung des AHI und Erhöhung der Sauerstoffsättigung bewirken, jedoch keine signifikante Verbesserung der ESS-Werte. Dies entspricht unseren Ergebnissen.

Entsprechend der Literatur (Barnes et al., 2004; E Silva et al., 2021; Lam et al., 2007) konnte auch in der vorliegenden Untersuchung eine statistisch signifikante Abnahme des AHI nach 32 Monaten von $18,47 \pm 13,03$ zu T0 (n=56), auf $5,09 \pm 4,02$ zu T2 (n=12) gezeigt werden. Die im Vergleich zur Literatur stärkere Reduktion des AHI ist vermutlich auf den längeren Beobachtungszeitraum zurückzuführen.

Nach 3 Monaten Therapie mittels UPS bei Patient*innen mit leichter bis mittelgradiger OSA fanden Barnes et al. (2004) eine klinisch signifikante Abnahme des AHI von 21,3 auf 14. Auch bei Lam et al. (2007) reduzierte sich nach einer 10 wöchigen Therapiedauer der AHI klinisch signifikant von 20,9 auf 10,6. Bei einer längeren Therapiedauer mittels UPS zeigten sich ebenfalls eine klinisch signifikante Reduktion des AHI von 9,3 auf 4,2 nach 6 Monaten und auf 3,8 nach 12 Monaten (E Silva et al., 2021). Nach 12 Monaten konnte in unserer Untersuchung eine deutliche Reduktion des AHI von 18,47 auf 8,94 festgestellt werden, die jedoch entgegen der Literatur nicht statistisch signifikant war. Eine statistisch signifikante Verbesserung des AHI konnte jedoch im Verlauf von T0 zu T2 gezeigt werden ($p=0,001$).

Die durchschnittliche Sauerstoffsättigung erhöhte sich in dieser Studie bereits nach 12 Monaten (T1) statistisch signifikant von $87,02 \pm 4,81$ % auf $88,28 \pm 6,86$ % (n=46). Dies entspricht den Angaben der Literatur, die nach 10 wöchiger UPS-Therapie eine signifikante Zunahme der Sauerstoffsättigung von 73,8 % auf 81 % (Lam et al., 2007), nach 3 Monaten von 86,7 % auf 87,8 % (Barnes et al., 2004) und nach 6 bis 12 Monaten von 84 % auf 86 % angibt (E Silva et al., 2021).

In Übereinstimmung mit der Literatur (Phillips et al., 2013; Schütz et al., 2013) verringerte sich die Tagesschläfrigkeit gemessen mit dem ESS von $6,86 \pm 4,27$ zu T0 (n=58), auf $5,47 \pm 3,57$ zu T1 (n=57) und auf $4,62 \pm 3,19$ zu T2 (n=21) allerdings ohne statistische Signifikanz ($p = 0,280$). Auch Phillips et al. (2013) berichteten nach ein monatiger UPS-Therapie von einer nicht signifikanten Reduktion des ESS von 9,1 auf 7,2, bzw. Schütz et al. (2013) nach 2 monatiger UPS-Therapie von einer Reduktion des ESS von 6 auf 5. Im Gegensatz dazu konnten andere Autoren (Barnes et al., 2004; Lam et al., 2007; Uniken Venema et al., 2020) eine signifikante Reduzierungen des ESS, auch über längere Zeiträume (3 Monate, 2,5 Monate, 10 Jahre) zeigen. Bei 99 Patienten wurde der ESS nach 3

Monaten erhoben (Barnes et al., 2004), bei 34 Patienten nach 2,5 Monaten (Lam et al., 2007) und bei 51 Patienten nach 10 Jahren (Uniken Venema et al., 2020).

2) Zahnstellungsänderungen

Wegen der Übersichtlichkeit und der Vermutung, dass aufgrund der kompletten Fassung aller Zähne durch die Schiene nicht die Einzelzahnbewegungen ausschlaggebend sind, wurden die Zähne des Ober- und Unterkiefers jeweils zu Zahngruppen zusammengefasst: Eine Frontzahngruppe, die die Schneidezähne und Eckzähne umfasste, sowie eine Seitenzahngruppe, die die Prämolaren und Molaren einschloss.

Grundsätzlich ist bekannt, dass bereits Kräfte zwischen 0,9 und 2,5 N zu Zahnstellungsänderungen führen können (Batra et al., 2006; Reitan, 1967; Serra et al., 2003; Sugiyama, 2003; Tuncer, 2005), selbst wenn diese Kräfte nur für wenige Stunden in der Nacht auf die Zähne einwirken (Jerome M. Gibson, 1992). Die UPS umfasst meist den gesamten Zahnbogen, um den Unterkiefer mit einer besseren Kraftverteilung in der protrudierten Position zu halten. Durch den Mechanismus der Unterkieferverlagerung wird eine durch den Muskelzug gleichgerichtete Kraft auf den Unterkieferzahnbogen und eine reziprok nach palatinal gerichtete Kraft auf den Oberkieferzahnbogen ausgeübt (M. H. J. Doff et al., 2013).

Als Folge dieser Kraftvektoren wurde in den meisten Studien eine signifikante Retroklination der Oberkiefer Frontzähne und eine signifikante Proklination der Unterkiefer Frontzähne gemessen (Alessandri-Bonetti et al., 2016; Doff et al., 2010). Doff et al. (2010) stellten nach 2,3 Jahren bei 31 Patient*innen eine Retroklination der oberen Schneidezähne von $-2 \pm 2,8^\circ$ und eine Proklination der unteren Schneidezähne von $3,7 \pm 5,4^\circ$ fest. Diese Werte sind mit unseren Ergebnissen vergleichbar. Nach $2,7 \pm 2,1$ Jahren (=Zeitraum 2) stellten wir in dieser Untersuchung eine signifikante Retroklination von $-1,74 \pm 1,38^\circ$ der oberen und eine signifikante Proklination von $3,07 \pm 2,47^\circ$ der unteren Frontzähne fest. Hierbei ist zu beachten, dass die Eckzähne in die Stellungsänderung miteinberechnet wurden, während viele Studien lediglich die Stellungsänderungen der mittleren und seitlichen Incisiven betrachteten (Alessandri-Bonetti et al., 2016; Araie et al., 2018; Doff et al., 2010). In der Metaanalyse von Araie et al. (2018) wurde in der Analyse von 6 cephalometrischen Studien neben den signifikanten Veränderungen des Overbite und Overjet lediglich eine signifikante Änderung der Unterkiefer Frontzahninklination (ohne

Eckzähne) zur Unterkieferebene von $2,07^\circ$ festgestellt. Die Änderung der Frontzahninklination des Oberkiefers von $-1,9^\circ$ und anderer dentaler und skelettaler Parameter war dabei ohne statistische Signifikanz. Die Messungen ergaben sich aus Nachuntersuchungszeiträumen zwischen einem und 4 Jahren.

In einer Untersuchung zu Zahnstellungsänderungen nach orthodontischer Therapie mit und ohne Retainer über einen Zeitraum von 6 bis 12 Jahren wurden von Abdulraheem et al. (2019) beobachtet, dass 25 % der beobachteten Zahnstellungsänderungen der Unterkiefer-Schneidezähne bei Untersuchungsbeginn noch nicht vorlagen. Die Autoren schlussfolgerten, dass diese Veränderungen durch natürliches Wachstum zustande gekommen seien. Hierbei konnte keine spezifische Richtung der Zahnstellungsänderungen festgestellt werden. Grundsätzlich wird im Laufe des Lebens in beiden Kiefern eine physiologische Mesialwanderung der Zähne beobachtet (Yilmaz et al., 1980). Man geht davon aus, dass sich die posterioren Zähne körperlich nach anterior bewegen, um die approximalen Lücken zu schließen, die durch Attrition verursacht wurden. Allerdings wurde diese Bewegung des Zahnbogens nach anterior auch bei fehlenden Seitenzähnen beobachtet und daher auch auf den Zungendruck zurückgeführt (Yilmaz et al., 1980). Entgegen dieser grundsätzlichen Mesialwanderungstendenz der Seitenzähne wurde im Oberkiefer durch die Kraftvektoren der UPS eine Tendenz zur Distalbewegung festgestellt. Im Unterkiefer hingegen wurde die natürliche Mesialwanderungstendenz durch die Kraftvektoren ggf. verstärkt.

Im Oberkiefer wirken die Kraftvektoren grundsätzlich nach dorsal, und führen dementsprechend im Frontzahnbereich zu Zahnstellungsänderungen nach oral und im Seitenzahnbereich nach distal. Dieser Kraftvektor spiegelte sich auch in unseren Ergebnissen durch die erhöhte Kippung der Frontzähne nach oral (Inklination bis zu $1,74^\circ$) und der Seitenzähne (Angulation bis zu $1,66^\circ$) nach distal wider. Außerdem ersichtlich wird dies anhand der stärkeren Kippung der Seiten- als der Frontzähne nach distal (Angulation bis $1,66^\circ$ versus bis zu $0,66^\circ$).

Zusätzlich wanderten im Oberkiefer die Frontzähne im Vergleich zu den Seitenzähnen verstärkt nach oral (bis zu $0,42$ mm versus $0,04$ mm) und die Seitenzähne im Vergleich zu den Frontzähnen stärker nach distal (bis zu $0,42$ mm bzw. bis zu $0,2$ mm). Im posterioren Oberkieferbereich (Seitenzähne) kam es zu einer signifikanten Kippung ($1,66^\circ$) und

körperlicher Bewegung (0,42 mm) nach distal, welche den bereits beschriebenen Krafteinwirkung der UPS aus der Literatur (Sheats et al., 2017) entspricht.

Im Unterkiefer sind die Kraftvektoren entsprechend entgegengesetzt nach ventral gerichtet (de Almeida et al., 2006a). In unserer Untersuchung war die Inklination (Neigung der Zahnängsachse in vestibulär-orale Richtung) der Frontzähne stärker nach vestibulär (bis 3,07°) ausgeprägt als die der Seitenzähne (bis 2,43°), während die Angulation (Neigung der Zahnängsachse in mesio-distale Richtung) im Seitenzahnbereich höher war (bis 2,18° nach mesial) als im Frontzahnbereich (bis 1,51° nach mesial).

Im Unterkiefer wurde zudem eine stärkere körperliche Bewegung der Frontzähne (bis zu 0,67 mm) als der Seitenzähne (bis zu 0,21 mm) nach vestibulär und extrusiv (0,87 mm versus 0,29 mm) beobachtet. Sheats et al. (2017) beschreibt diese Zusammenhänge durch anteriore Krafteinwirkungen auf die vordere Unterkiefer-Dentition. Die Seitenzähne bewegten sich körperlich eher nach mesial (bis zu 0,57 mm) als die Frontzähne (bis zu 0,29 mm).

Über längere Beobachtungszeiträume besteht eine natürliche Tendenz der Zähne zu einer Bewegung nach inzisal. In einer Studie von Winitzky et al. (2021) wurden die Zahnbewegung der unmittelbaren Nachbarzähne von Implantatkronen 3-dimensional über 14-20 Jahre untersucht. Bei 30 % der untersuchten Patient*innen konnte eine Bewegung der natürlichen Nachbarzähne in Richtung inzisal von über 1 mm beobachtet werden. In dieser Studie wurde eine statistisch signifikante Extrusion der Unterkiefer Frontzähne von bis zu 0,87 mm nach bereits 2,7 Jahren beobachtet.

Die in unserer Untersuchung zwar auftretende, aber nicht signifikante Änderung der Rotation ist nachvollziehbar, da die Kraftvektoren durch die Verankerung der Schiene auf der Zahnreihe nur einen geringen Torque (Drehmoment) auf den Einzelzahn ausüben und dementsprechend keine bzw. nur eine geringfügige Zahnrotation bewirken können.

Die Verankerungsformen der zweiteiligen Schienensysteme zur Therapie der OSA insbesondere der auch hier verwendeten IST+, IST Classic, Narval CC und Hamburger UPS Schienen sind mit der Herbst Apparatur zur kieferorthopädischen Behandlung einer skelettalen Klasse II zu vergleichen. Es ist bekannt, dass es durch die konstruktiven Charak-

teristika der Herbst-Schiene zu einer Mesialmigration (Ruf et al., 2013), sowie zur Proklination und Protrusion der Unterkiefer Schneidezähne kommt (Hansen, 2003; Pancherz, 1982; Weschler, 2005). Erklärt wird diese Zahnstellungsänderung durch das Newton'sche Prinzip Actio = Reactio; das durch die Vorverlagerung des Unterkiefers mit entsprechenden Kräften (im Oberkiefer nach dorsal und im Unterkiefer nach ventral) auf die Dentition einwirkt. Bei dem Einsatz dieser Apparatur im Rahmen der kieferorthopädischen Therapie wird daher auch mit einer Zunahme der dentalen Nebenwirkungen im Laufe der Therapie gerechnet (Kinzinger et al., 2009).

Die Verwendung von Herbst Scharnieren kann darüber hinaus zu einer veränderten Position der Unterkieferschneidezähne nach anterior führen, für den ein bukkaler Knochenverlust als ursächlich angesehen wird (Schwartz et al., 2016). Dieser Knochenverlust muss dabei nicht zwangsläufig zu gingivalen Rezessionen führen (Ruf et al., 1998). Ein bukkaler Knochenverlust könnte auch die anterior gerichteten Zahnstellungsänderungen der Unterkiefer Schneidezähne in unserer Untersuchung erklären.

Über einen Zeitraum von 11 Jahren UPS-Therapie fanden Pliska et al. (2014) eine signifikante Verbreiterung des Unterkieferzahnbogens mit durchschnittlichen Werten von 0,7 mm im Bereich der Unterkiefer Eckzähne und von ca. 1,1 mm im Bereich der Unterkiefer Molaren. Auch in dieser Studie konnte eine Verbreiterung des Unterkieferzahnbogens im Molarenbereich um durchschnittlich 0,42 mm festgestellt werden, definiert durch eine Vestibulärwanderung der Seitenzähne um ca. 0,21 mm pro Seite. Dies kann unter anderem durch eine Zunahme der Inklination der Unterkiefer Seitenzähne von bis zu 2,43° nach vestibulär erklärt werden.

Die genannten Zahnstellungsänderungen führen auch zu Veränderungen des Overbite und Overjet und können damit auch Okklusionsstörungen und skelettale Nebenwirkungen verursachen, auf die im Weiteren eingegangen wird.

3) Overbite/Overjet Veränderungen

Die Ursachen der Overbite und Overjet Veränderungen werden auf die bereits beschriebenen Krafteinwirkungen der Schiene, v.a. auf die Frontzähne zurückgeführt (Martins et

al., 2018; Wang et al., 2015). Es wird diskutiert, ob die Inklinationsänderungen der Frontzähne den Haupteinflussfaktor für die Veränderungen des Overbite und Overjet darstellen (Araie et al., 2018; Baldini et al., 2022). Schienensysteme, die ausschließlich die Seitenzähne fassen, zeigten geringere Overbite und Overjet Reduktionen (Ringqvist et al., 2003) im Vergleich zu Schienensystemen die die komplette Dentition fassen. Als weiterer möglicher Einflußfaktor wird ein erhöhter Druck durch die Lippe aufgrund der veränderten Unterkieferstellung diskutiert (Robertson, 2003).

Andere Autoren bezweifeln, dass die Bewegung / Inklinationsänderung der Frontzähne für die Overbite und Overjet Veränderungen ursächlich ist und vermuten eher eine erlernte protrusive Haltung des Unterkiefers (Ford et al., 2015). Vor allem, da die Patient*innen häufig nur kurzfristig morgens nach Entfernen der Schiene Schwierigkeiten haben in habitueller Okklusion zusammenzubeißen. Es wird argumentiert, dass durch ein über Nacht getragenes Schienensystem die Zahnposition eher stabilisiert als verändert wird (Ford et al., 2015). Durch manuell einartikulierte Modelle ist die Differenzierung, ob eine Zahnbewegung oder eine (temporäre) Lageveränderung der Kondylen für die Veränderung ursächlich war, jedoch nicht möglich. Für eine genaue Beurteilung fordern die Autoren (Ford et al., 2015) daher eine Dokumentation der Kondylenposition in der Fossa articularis.

Bereits nach 6 Monaten konnten vorherige Studien eine Overbite und Overjet Reduktion von 0,61 mm und 0,87 mm messen (Robertson, 2003). Bei längeren Tragezeiten (2,3 Jahre) verringerte sich der Overbite um 1 bis 1,2 mm und der Overjet um 1,5 und 1,7 mm im Vergleich zum Ausgangsbefund (Doff et al., 2013, 2010). Im Vergleich zu diesen Werten war die Verringerung des Overbite und Overjet in der vorliegenden Studie nach einem Jahr sowohl klinisch mit 0,28 mm bzw. 0,2 mm als auch digital gemessen mit 0,02-0,19 mm bzw. 0,3 mm deutlich geringer. Nach 2,7 Jahren lag die Reduktion des klinisch gemessenen Overbite mit 1,29 mm und die des Overjet mit 1,18 mm bzw. mit 0,5-1,02 mm und mit 1,21 mm bei digitaler Messung noch geringfügig unter den in der Literatur angegebenen Werten (Doff et al., 2013, 2010). Die kontinuierliche Abnahme des Overbite und Overjet mit der Tragedauer der Schiene entspricht den Ergebnissen einer Metaanalyse von Araie et al. (2018), die eine Reduktion des Overbite nach 12-24 Monaten um 0,6 mm, nach 24-36 Monaten um 0,92 mm und nach mehr als 3 Jahren Tragedauer um 1,25 mm feststellte. Für den Overjet lag die Reduktion nach 12-24 Monaten bei 0,7 mm, nach 24-36 Monaten bei 0,89 mm und nach mehr als 3 Jahren Tragedauer bei 0,92 mm. Unsere

Werte liegen innerhalb des Konfidenzintervalls dieser Metaanalyse. Nicht miteinbezogen in der Metaanalyse waren 3 Studien bei denen die Overbite und Overjet Veränderungen unterhalb des Konfidenzintervalls lagen (Hammond et al., 2007; Marklund, 2001; Marklund und Legrell, 2010). Grund für die geringeren Veränderungen könnten die bei Marklund (2001) verwendeten weichen Elastomer Schienensysteme sein, die ggf. zu geringeren Bissveränderungen führen könnten (Marklund, 2001). Da 42 unserer Patient*innen im ersten Beobachtungszeitraum, zwar nur für maximal 12 Monate, aber ebenfalls mit einem weichen Schienensystem aus Elastomer versorgt waren, könnte dies erklären, dass die Veränderungen des klinisch gemessenen Overjet erst über den längeren Zeitraum (2,7 Jahren) statistisch signifikant wurden. Marklund (2001) führt die geringere Veränderung des Overjet /-bites einerseits auf das Material (weiches Elastomer) und andererseits auf eine günstigere Verteilung der Kraftvektoren über eine größere Fläche zurück, da das weiche Elastomer nicht nur die Zähne, sondern auch den Alveolarkamm umfasst.

Eine Studie von de Almeida et al. (2006b) zeigte hingegen eine deutlich größere Reduktion des Overbite und Overjet mit Werten von 2,8 mm bzw. 2,6 mm. Vermutlich sind diese Werte auf die lange Anwendungsdauer der Schiene zurückzuführen, die mit $7,3 \pm 2,1$ Jahren länger war als in anderen Studien. Ringqvist et al. (2003) konnten bei einer Tragedauer von 4 Jahren keine signifikanten Veränderungen des Overbite und Overjet feststellen, was auf das verwendete Schienendesign und den eingestellten Unterkiefervorschub zurückzuführen sein könnte. Ringqvist et al. (2003) verwendeten eine Schiene, bei der die vorderen Schneidezähne nicht von Kunststoff gefasst wurden, wodurch es möglicherweise zu einer geringeren Krafteinwirkung auf die oberen und unteren Incisivi kam und eine Protrusion, die mit 50 % im Vergleich zu anderen Studien relativ gering eingestellt war. In der vorliegenden Studie lag die Protrusion bei mindestens 2/3 des maximalen Vorschubes und wurde auch in anderen Studien mit bis zu 75 % der maximalen Unterkieferprotrusion angegeben (Bartolucci et al., 2018).

Die von uns gemessenen signifikanten Overbite und Overjet Veränderungen stimmen damit in etwa mit den in der Literatur angegebenen Werten überein und können somit die klinische Relevanz der Nebenwirkungen bei einer Tragedauer der UPS von über einem Jahr akzentuieren.

Einige Studien untersuchten den Einfluss dieser Bissveränderungen auf das Empfinden der Patient*innen. Die objektiven Befunde wurden von den Patient*innen meistens toleriert oder subjektiv gar nicht wahrgenommen (Marklund, 2020). Rose et al. (2002b) beobachteten, dass 32 von 34 Patient*innen keinerlei okklusale Veränderungen bemerkten. In einer anderen Studie mit 70 Teilnehmern, bei denen signifikante okklusale Veränderungen festgestellt wurden, brach kein Teilnehmer*in die Studie aufgrund dieser Veränderungen ab (Chen et al., 2008). In einer Umfrage mit insgesamt 132 Patient*innen über einen Zeitraum von 5 Jahren gaben lediglich 2 Patient*innen an aufgrund okklusaler Veränderungen die Therapie beendet zu haben (Pantin et al., 1999). Daraus lässt sich schließen, dass der Risikofaktor Bissveränderung die Adhärenz der Patienten nur geringfügig beeinflusst (Chen et al., 2008).

Okklusale und skelettale Nebenwirkungen

Als Nebenwirkungen der UPS Therapie werden skelettale von dentalen Veränderungen unterschieden (Patel et al., 2019). Für die häufigste skelettale Veränderung, die Rotation des Unterkiefers nach kaudal und dorsal mit einer Erhöhung der unteren Gesichtshöhe, ist vermutlich die Inklinationsänderung der Frontzähne ursächlich (Patel et al., 2019). Daher spricht man auch vom „Incisal Guidance Phenomenon“ (M. H. J. Doff et al., 2013). Dieses „Incisal Guidance Phenomenon“ kann wiederum zu einer erhöhten vertikalen Ebene und einer posterioren Bissöffnung führen (Patel et al., 2019). Zusätzlich können eine Aufwärtsrotation des Unterkiefers und in der Folge eine Vergrößerung der unteren Gesichtshöhe resultieren (Doff et al., 2010). Es kann also davon ausgegangen werden, dass die skelettalen Nebenwirkungen eine Konsequenz der dentalen Veränderungen sind (Patel et al., 2019). Dies widerspricht allerdings den Ergebnissen von Wang et al. (2015), die skelettale Veränderungen bereits nach 1 bis 3 jähriger UPS-Therapie feststellten, dentale Veränderungen jedoch erst nach einem längeren Untersuchungszeitraum von über 3 Jahren beobachteten.

Verschiedene Studien berichten von einer signifikanten Veränderung der okklusalen Kontakte (Otsuka et al., 2007; Rana et al., 2023) im Sinne einer Abnahme der posterioren okklusalen Kontaktpunkte (M. H. J. Doff et al., 2013; Pliska et al., 2014; Ueda et al., 2008) und eines offenen Biss im Seitenzahnbereich. Dies wurde bei bis zu 11,94 % der UPS Patienten nach etwa 7 Monaten beobachtet (Perez et al., 2013; Pliska et al., 2014), sowie

nach 11 Jahren bei 51 % der Patient*innen (Pliska et al., 2014). In einer Studie von Wang et al. (2015) beklagte lediglich einer von 42 untersuchten Patient*innen nach 4 Jahren UPS-Therapie über Okklusionsveränderungen.

In der vorliegenden Studie wurde die Veränderung der Okklusion nicht näher untersucht. Einerseits wurde die Anzahl und Position der klinischen, okklusalen Kontaktpunkte nicht dokumentiert, andererseits konnten aber auch keine signifikanten Frontzahn-Extrusionen oder Seitenzahn-Intrusionen beobachtet werden, die eine „direkte“ posteriore Bissöffnung erklären würden. In Übereinstimmung mit der vorliegenden Studie berichten einige Studien aber von einer Extrusion der Seitenzähne (de Almeida et al., 2006a), obwohl dies scheinbar erst nach einer längeren Tragedauer (>24 Monate) beobachtet wird (Robertson, 2003). Die Beobachtung eines posterioren offenen Bisses und eine Extrusion der Molaren widerspricht sich jedoch nicht unbedingt. Nach Paredes et al. (2021) resultiert die Extrusion der Molaren aus einer mangelnden okklusalen Abstützung der Molaren (posteriorer offener Biss), die durch vorzeitige Kontakte des vorderen Segments infolge einer Verkleinerung des Overjet und einer Rotation des Unterkiefers verursacht wird. Es scheint also statistisch signifikante, aber klinisch bzw. subjektiv nicht relevante Veränderungen der Okklusion zu geben. Es wird vermutet, dass sich diese Imbalancen durch die Ausbildung neuer okklusaler Kontaktpunkte über die Zeit ausgleichen (Doff et al., 2013). Zur Einschätzung einer möglichen posterioren Bißöffnung wird daher empfohlen, im Rahmen des Recalls die okklusalen Kontakte mittels drucksensitiver Folien zu dokumentieren (Wang et al., 2015).

Anteriore Kreuzbisse von mindestens einem Zahn, definiert als das Fehlen des positiven Überbisses eines Oberkiefer Schneidezahnes gegenüber einem Unterkiefer Schneidezahn, wurden nach 11 Jahren UPS-Therapie bei 62 % der Patient*innen gefunden (Pliska et al., 2014). Im Schnitt waren 4 Zähne betroffen. Dies kann durch die Bewegungen der Unterkiefer Frontzähne in ventrale Richtung und der Oberkiefer Frontzähne in dorsaler Richtung nachvollzogen werden, wurde aber in der vorliegenden Studie nicht näher untersucht.

Eine Tendenz zum bilateralen Kreuzbiss hingegen (Doff et al., 2013) konnte auch in unserer Studie durch die signifikante Inklination der Oberkiefer Seitenzähne nach oral und die signifikante Inklination der Unterkiefer Seitenzähne nach vestibulär festgestellt wer-

den. Obwohl statistisch nicht signifikant, bewegten sich die Unterkiefer Seitenzähne körperlich über den längeren Zeitraum um durchschnittlich 0,21 mm nach vestibulär, während sich die Oberkiefer Seitenzähne um 0,04 mm nach oral bewegten. Über Veränderungen der Unterkieferrotation (nach kaudal) und der unteren Gesichtshöhe (Erhöhung), wie sie in cephalometrischen Untersuchungen festgestellt wurde (Doff et al., 2013; Ringqvist et al., 2003; Robertson, 2003), kann in unserer Studie jedoch keine Aussage getroffen werden.

Doff et al. (Doff et al., 2013) beobachtete nach Langzeit- UPS Anwendung (24 Monate) eine stärkere mesiale Molaren und Eckzahn Beziehung mit einer Tendenz zur Klasse III. Das entspricht unseren Ergebnissen, die ebenfalls zeigen, dass die Oberkiefer Zähne dazu tendieren nach distal zu kippen und auch körperlich zu bewegen, während sich die Unterkiefer Zähne eher nach mesial bewegen und kippen. Dies könnte in der Folge bei Klasse I Patient*innen zu einer Klasse III führen oder bei Klasse II zu einer Klasse I oder III. Grundsätzlich sind nicht alle Zahnstellungsänderungen als negativ anzusehen. Bei Patient*innen mit einer Klasse II.1 können Zahnstellungsänderungen infolge der UPS-Therapie ein orthodontisch erwünschter positiver Nebeneffekt sein (Marklund et al. 2019). Marklund et al. (2019) schlussfolgerten daher, dass Klasse II.1 Patient*innen von den Overjet Veränderungen geschützt sind, während Patient*innen mit Angle Klasse I oder III einem höheren Risiko für negative Bissveränderungen ausgesetzt sind. Die mögliche Auswirkung der Schiene auf die Bisslage muss also für jeden Patient*in individuell bestimmt werden und eine entsprechende Aufklärung muss erfolgen.

Eine Auflösung des Zahnengstandes, wie bei Pliska et al. (2014) bei 77 Patient*innen nach 11 Jahren UPS-Therapie beobachtet, wurde im Rahmen dieser Studie nicht näher untersucht.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die positiven medizinischen Effekte der Schienentherapie die dentalen Nebenwirkungen aufwiegen.

4) Prädiktoren für dentale Nebenwirkungen

In der vorliegenden Untersuchung wurde über den Beobachtungszeitraum keine statistisch signifikante Veränderung des BMI festgestellt. Grundsätzlich ist der Einfluss des BMI

auf die Inklinationsänderungen der Oberkieferfrontzähne umstritten. Hamoda et al. (2019) stellten einen statistisch signifikanten Effekt des BMI auf die Inklinationsänderungen im Oberkiefer fest, während Pliska et al. (2014) keinen Zusammenhang fanden. Eine mögliche Erklärung für die Veränderung der Inklination der Oberkieferfrontzähne ist die Vergrößerung der Zunge bei Patient*innen mit höherem BMI (Nashi et al., 2007), die tagsüber eine stärkere Kraft auf die orale Fläche der oberen Schneidezähne ausübt und so deren Retroklination verringert (Hamoda et al., 2019).

Pliska et al. (2014) fanden eine positive Assoziation des Ausgangs AHI mit den beobachteten Overjet Reduktionen. Dies wurde damit begründet, dass Patient*innen mit einer schweren Form der OSA einen stärkere Protrusion zur Linderung der Symptome benötigen als solche mit einer milden Ausprägung (Pliska et al., 2014). Der Zusammenhang zwischen AHI und Abnahme des Overjet wurde in unserer Studie nicht näher untersucht, aber der Einfluss der Protrusion auf die Reduktion des Overjet.

In dieser Untersuchung ergab sich in der multiplen linearen Regression über den längeren Beobachtungszeitraum jedoch lediglich eine Assoziation zwischen dem PSI und der Abnahme des Overbite. Dies kann dadurch erklärt werden, dass parodontal kompromitierte Zähne den durch die UPS einwirkenden Kraftvektoren ein schwächeres Widerlager bieten und damit eher zu Zahnstellungsänderungen neigen als Zähne in einem parodontal stabilen Zahnbogen. Ein Vergleich mit der Literatur ist hier nicht möglich, da keine Studien gefunden wurden, die sich mit der Assoziation des Parodontalzustandes und Zahnstellungsänderungen beschäftigen. Es berichteten lediglich Marklund et al. (2019) von diesen Kräftesystemen und resümierten, dass eine nebenwirkungsarme UPS-Therapie sehr stark von einer gesunden Dentition abhängt.

In dieser Untersuchung wurden alle Schienen außer der Testschiene in regelmäßigen Abständen in 0,1-0,3 mm Schritten titriert. Da die Zunahme der Gesamtprotrusion über den Beobachtungszeitraum signifikant war, kann diese grundsätzlich auch als Grund für die Zunahme der Stellungsänderungen im Verlaufe der UPS-Therapie diskutiert werden, obwohl sie sich bei der multiplen linearen Regression nicht als signifikant aufzeigte. Die Definition der Bestimmung der Gesamtprotrusion ist in der Literatur nicht immer eindeutig. Es wäre daher sinnvoll ein einheitliches Verfahren zur Bestimmung der Gesamtprotrusion zu etablieren. Grundsätzlich sollten die Angaben der Titration aus der maximalen retralen

Position erfolgen und nicht aus der habituellen Interkuspitation (AWMF S1-Leitlinie UPS, DGZS, 2021). Doff et al. (2010) konnten eine Assoziation zwischen dem Protrusionsgrad und der damit einhergehenden Abnahme des Overbite nach 24 und 30 Monaten feststellen. Baldini et al. (2022) fanden wiederum eine negative Assoziation zwischen dem Protrusionsgrad und der Retroklination der Oberkiefer Schneidezähne. Sie stellen die Hypothese auf, dass ein geringerer Vorschub eher zu einem Kontakt des Unterkieferbogens mit den Oberkieferschneidezähnen führt, was wiederum zu einer stärkeren Kippung der Oberkieferschneidezähne von oral führt. Battagel und Kotecha (2005) konnten dagegen keine Korrelation zwischen dem Unterkiefervorschub und dem Ausmaß der Overbite und Overjet Reduktion feststellen. Dennoch sollte bei der Auswahl des Schienensystems gemäß den Empfehlungen der S1 Leitlinie „UPS“ (DGZS, 2021) eine sagittal adjustierbare Schiene bevorzugt werden um stufenweise die optimalen Protrusion zu erreichen und damit eine übermäßige Titration mit entsprechend stärkeren Nebenwirkungen zu vermeiden.

Eine Studie von Battagel und Kotecha (2005) fand keine Korrelation zwischen der Overbite und Overjet Reduktion und der Dauer der Therapie. Auch konnten bei Gong et al. (2013) keine unterschiedlichen Overbite und Overjet Messungen bei unterschiedlicher Tragedauer der UPS festgestellt werden. Hierbei wurden Zeiträume bis 5 Jahre und über 5 Jahre Tragedauer untersucht. Die Therapiedauer ist in einigen Studien der Faktor, der am stärksten mit dentalen Nebeneffekte assoziiert ist (Hamoda et al., 2019; Minagi Hitomi Ono et al., 2018). Auch Marklund (2006), Pliska et al. (2014) und Alessandri-Bonetti et al. (2016) beschrieben eine Verstärkung orthodontischer Nebenwirkungen mit zunehmender Therapiedauer. Der Overjet nahm dabei kontinuierlich ab (Alessandri-Bonetti et al., 2016; Marklund, 2006; Pliska et al., 2014), während die Abnahme des Overbite mit der Zeit sistierte (Marklund, 2006; Pliska et al., 2014). In der Studie von Alessandri-Bonetti et al. (2016) nahm die Inklination der Unterkieferschneidezähne bei steigender Therapiedauer nur geringfügig zu. Dies wurde durch den stabilisierenden Gegendruck der Unterlippe auf die Unterkiefer Schneidezähne erklärt (Alessandri-Bonetti et al., 2016). Insgesamt konnte gezeigt werden, dass mit zunehmender Therapiedauer die Proklination der Oberkiefer Schneidezähne ab- (Bartolucci et al., 2018) und die der Unterkiefer Schneidezähne zunimmt (Baldini et al., 2022), die Approximalkontakte auflockern (de Almeida et al., 2006a) und sowohl Overbite als auch Overjet abnehmen (Araie et al., 2018; Bartolucci et al.,

2018; Patel et al., 2019). Der Einfluss der Therapiedauer auf das Ausmaß der Zahnstellungsänderungen wurde in dieser Untersuchung nicht näher untersucht.

Doff et al. (2010) vermuten eine Zunahme des Schweregrades der dentalen Nebenwirkungen mit steigendem Alter (de Almeida et al., 2006a; Marklund, 2001). Die Autoren assoziierten mit zunehmendem Alter eine kaudalere Zungenbeinposition und damit einen zunehmenden Schweregrad der OSA (de Almeida et al., 2006b). Der erhöhte Schweregrad der OSA wiederum, würde eine stärkere Titration bedingen, die in einem ggf. parodontal kompromitierten Gebiss mit stärkeren Zahnstellungsänderungen verbunden sei (Cohen-Levy et al., 2013; Doff et al., 2010; Hamoda et al., 2019). Pliska et al., 2014 und auch die vorliegende Untersuchung fanden dagegen keinen Zusammenhang zwischen dem Alter und dem Ausmaß der Overbite und Overjet Veränderungen.

Grundsätzlich kann spekuliert werden, dass dentale Nebenwirkungen bei Patient*innen mit Implantaten geringer sind. Implantate unterliegen auf Grund des fehlenden parodontalen Ligamentes keinen Stellungsänderungen. Durch ihre statische Verankerung im Knochen könnten Sie damit die Kräfte der UPS, die auf das parodontale Ligament der Zähne einwirken und damit ungewünschte Zahnstellungsänderungen auslösen, reduzieren.

In einer Studie von Hamoda et al. (2019) konnte keine Korrelation zwischen der Anzahl der Zähne zu Beginn der UPS-Therapie und dem Ausmaß der beobachteten dentalen Veränderungen festgestellt werden. Im Gegensatz dazu fanden Minagi Hitomi Ono et al. (2018) bei 64 Patient*innen über einen 4 Jahres Zeitraum eine negative Korrelation zwischen der Zahnanzahl mit der Overjet Reduktion. Dementsprechend war eine niedrigere Zahnanzahl, vor allem im Oberkiefer mit größeren Overjet-Reduktionen verbunden (Minagi Hitomi Ono et al., 2018). In der vorliegenden Studie war die Anzahl der fehlenden Zähne mit $2,76 \pm 1,73$ im Ober- bzw. $2,60 \pm 1,60$ im Unterkiefer zu Behandlungsbeginn eher gering, und wurde daher nicht in die Regressionsanalyse einbezogen.

Das Rauchen wurde von Baldini et al. (2022) als Prädiktor für stärkere Overjet Veränderungen identifiziert. Die chronische Zahnfleischentzündung durch das Rauchen bewirkt eine Schwächung des Parodontiums (Leite et al., 2018) und macht sie dementsprechend anfälliger für Bewegungen. In unserer Studie wurde das Rauchverhalten nicht konsequent

dokumentiert, so dass über einen möglichen Zusammenhang des Rauchens mit Zahnstellungsänderungen keine Aussage getroffen werden kann.

Pliska et al. (2014) fanden keinen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und den dentalen Veränderungen, während Baldini et al. (2022) das männliche Geschlecht als Prädiktor für die stärkeren Overbite Veränderungen identifizieren konnten. In unserer Studie wurde der Einfluss des Geschlechtes nicht näher untersucht.

In einigen Studien (de Almeida et al., 2006b; Battagel und Kotecha, 2005; Pliska et al., 2014) wurde eine Assoziation zwischen einem initial hohen Overbite im Sinne eines Tiefbisses und einer stärkeren Overbite Abnahme im Laufe der UPS-Therapie festgestellt. Im Gegensatz dazu stellte Marklund (2006) einen initial hohen Overbite als protektiven Faktor für größere Overjet Abnahmen fest. Auch ein physiologischer Overbite scheint die Okklusion eher zu stabilisieren (Baldini et al., 2022), während Patient*innen mit geringem initialem Overbite im Verlaufe der UPS-Therapie zu einem anterioren Kreuzbiss tendierten (Pliska et al., 2014). Ein vorbestehender anterior offener Biss wurde dementsprechend von Baldini et al. (2022) als Prädiktor für eine stärkere Overbite Reduktion ermittelt. In unserer Studie konnte der initiale Overbite nicht als Prädiktor für zunehmende Overbite und Overjet Veränderungen identifiziert werden.

Pliska et al. (2014) beobachteten eine Korrelation zwischen einem initial hohen Overjet und einer Reduktion des Overbite und Overjet. Dies wird durch den größeren Freiraum der Unterkiefer Dentition bei der Protrusion erklärt (Pliska et al., 2014). Bei Alessandri-Bonetti et al. (2016) zeigten Patient*innen mit erhöhtem initialem Overjet nach 3,5 Jahren UPS-Therapie eine größere Overjet Reduktion als solche mit einem geringen initialen Overjet. Auch Battagel und Kotecha (2005) stellten bei einem größeren initialen Overjet eine größere Overjet Abnahme über die Therapiedauer fest. Der initiale Overjet wurde in unserer Studie nicht näher als Prädiktor für Overbite und Overjet Veränderungen untersucht.

Robertson et al. (2003) und Battagel und Kotecha (2005) konnten eine positive Korrelation zwischen der vertikalen Sperrung der UPS und der Abnahme des Overbite feststellen. Die Therapiedauer betrug bei Robertson et al. (2003) 2 und 2,5 Jahre und bei Battagel

und Kotecha (2005) 3,64 Jahre. Die Reduktionen des Overbite und Overjet waren statistisch signifikant und betrugen 0,4 mm und 0,5 mm (Robertson, 2003). Es wurde vermutet, dass diese Veränderungen durch eine geringe vertikale Sperrung minimiert werden könnten. Marklund (2006) stellte fest, dass eine geringe vertikale Sperrung der Mandibula mit einer geringeren Overbite Reduktion korreliert. Es sollte beachtet werden, dass die zunehmende vertikale Sperrung eine Reduzierung des pharyngealen Atemwegs bewirkt, die damit den therapeutischen Effekt der UPS reduziert (L'Estrange et al., 1996) und eine stärkere anteriore Rotation der Mandibula bewirkt. Eine andere Studie dagegen zeigte, dass eine größere vertikale Sperrung zu weniger orthodontischen Nebenwirkungen führt (Marklund, 2001). In unserer Studie wurde standardmäßig eine Sperrung von 5 mm gewählt, so dass zu den dentalen Nebenwirkungen in Abhängigkeit der vertikalen Sperrung keine Aussage getroffen werden kann.

Das Trageverhalten spielt für das Ausmaß der Zahnstellungsänderungen vermutlich eine entscheidende Rolle (Araie et al., 2018). In unserer Studie gab lediglich ein Patient an, die Schiene unregelmäßig zu tragen. Die Adhärenz wurde jedoch nicht objektiv z. B. mittels eingebautem Sensor gemessen, sondern wurde ähnlich dem Vorgehen von Alessandri-Bonetti et al. (2016) lediglich durch eine Befragung der Patient*innen beurteilt.

Venema et al. (2018) hat beschrieben, dass womöglich auch das Schienendesign einen Einfluss auf das Ausmaß der Zahnstellungsänderungen hat. Bei einem Schienendesign mit Fassung der Prämolaren und Molaren und Aussparung der Front- und Eckzähne konnten Ringqvist et al. (2003) keine signifikanten Overbite und Overjet Änderungen feststellen. Ursächlich könnte eine geringere Krafteinwirkung auf die Front- und Eckzähne sein (Venema et al., 2018). Nach Marklund (2006) wirkt sich das verwendete Schienenmaterial auf die Reduktionen des Overjet aus. Marklund et al. (2001) stellten in ihrer Studie weniger Zahnstellungsänderungen bei der Anwendung eines weichen Schienenmaterials (Elastomer; n=47) im Vergleich zu einem harten Schienenmaterial (Acryl, n=28) bei der Therapie von Patienten mit Schnarchen und OSA über einen Zeitraum von $2,5 \pm 0,5$ Jahren fest. Allerdings war auch bei den weichen elastomeren Geräten eine vergleichsweise geringe Protrusion von unter 6 mm mit einem deutlich geringeren Risiko einer Zahnbewegung verbunden als größere Protrusionen (Marklund et al. 2001). Laut der AWMF

S1 Leitlinie „Die Unterkieferprotrusionsschiene“ (2021) soll eine UPS aus stabilen und biokompatiblen Materialien mit sekundär verblockender Wirkung hergestellt werden um eine lange Haltbarkeit und gute Verträglichkeit zu gewährleisten. Der Einfluss des Schienematerials und Schienendesigns auf das Ausmaß und den Ursprung der okklusalen Veränderungen ist laut Hamoda et al. (2019) jedoch bisher noch unklar und erfordert weitere Untersuchungen.

In der vorliegenden Untersuchung wurden zum Zeitpunkt T1 42 Patient*innen von einer weichen Schiene aus Elastomer auf ein bimaxillär verankertes, sagittal adjustierbares Schienensystem aus starrem Material umgestellt. Eine Aufschlüsselung der Zahnstellungsänderungen auf verschiedenen Schientypen wurde nicht vorgenommen, da alle benutzten Schientypen bis auf die H-UPS® (Dr. Jörg Schlieper, Hamburg, Abb. 6), die den mittleren und seitlichen Schneidezähnen nur vestibulär anliegt, die Zähne komplett fassen und die Fallzahl für eine differenzierte statistische Auswertung zu gering war.

Überlagerungsmethode

Zur Erfassung von Zahnbewegungen mittels Überlagerung von Zahnmodellen wurden in der Literatur teils ankylosierte Zähne oder Implantate mit einer Einzelkronenversorgung als Referenzpunkte gewählt. Da weder ankylosierte Zähne noch Implantate im untersuchten Patientengut generalisiert festzustellen waren, schied diese Referenzpunktwahl in dieser Studie aus. Die Zähne selbst konnten ebenfalls nicht als Referenzpunkte gewählt werden, da deren Bewegung untersucht werden sollte. Digitale Messungen am dreidimensionalen Modell mittels Software zur Erkennung von Zahnstellungsänderungen infolge einer UPS-Therapie wurden bisher selten durchgeführt (Alessandri-Bonetti et al., 2016; Chen et al., 2008; Dorn, 2011). Wir haben uns für die digitale Überlagerung von Zahnmodellen entschieden, da keine Strahlenbelastung wie bei der cephalometrischen Auswertung entsteht und eine präzise, objektivierbare 3-dimensionale Auswertung der Stellungsänderung jedes einzelnen Zahnes möglich ist.

Das Hauptproblem der digitalen Bestimmung 3-dimensionaler Zahnstellungsänderungen besteht in der Referenzpunktauswahl im Ober- bzw. Unterkiefer. Zur Überlagerung des Oberkiefers wurden in einer Studie von Vasilakos et al. (2017) (n=16) 5 verschiedene Referenzflächen am Gaumen gewählt, um die Präzision der Überlagerung zu überprüfen.

Der mediale Teil des 3. Gaumenfaltenpaares und ein Bereich dorsal konnten dabei ein präzises, reproduzierbares Ergebnis liefern. Laut Stucki und Gkantidis (2020) können alle Gaumenfaltenpaare mit 5 mm Abstand zu den Zähnen als ähnlich präzise Überlagerungsstrukturen gewählt werden. Dementsprechend wurden in unserer Studie alle Gaumenfaltenpaare einschließlich einer Fläche von 1-2 cm dorsal des 3. Gaumenfaltenpaares mit 5 mm Abstand zu den Zähnen gewählt. Eine weitere Option, die Auswahl des OnyxCeph Algorithmus zur Überlagerung, wurde an fünf Modellen getestet aber wegen fehlender Stützung der Methodik durch die Literatur nicht weiterverfolgt.

Der Unterkiefer stellt eine besondere Herausforderung bei der Überlagerung dar, weil es hier keine stabilen anatomischen Strukturen gibt, die zur Positionierung der Modelle benutzt werden können. Ein Torus mandibularis, der im Unterkiefer eine stabile anatomische Struktur darstellt und damit als Referenz geeignet ist (An et al., 2015), liegt grundsätzlich nicht generalisiert vor. Das gleiche gilt für zahnärztliche Implantate. Auch in dieser Untersuchung konnten diese möglichen Strukturen daher nicht als Referenzpunkte genutzt werden. Der Unterkiefer wurde daher in der vorliegenden Untersuchung über das Koordinatensystem basierend auf der Okklusion und den Gaumenfalten des Oberkiefers ausgewertet (José Viñas et al., 2018). Diese Methode führt potenziell zu größeren Ungenauigkeiten in der Überlagerung und limitiert damit die Aussagekraft der Zahnstellungsänderungen im Unterkiefer.

Alternativen, Vorbeugung, Aufklärung, Recall

Als Alternative zur OSA-Therapie ohne dentale Nebenwirkungen können Zungenstabilisierungs-Geräte in Betracht gezogen werden. Die Studie von Deane (2009) verglich bei 27 Patient*innen die Therapie von OSA-Patienten mittels Zungenstabilisierungsgeräten und Unterkieferprotrusionsschienen. Es zeigten sich vergleichbare objektive Besserungen des AHI und ESS bei der Anwendung von beiden Systemen. Die Patient*innen bevorzugten allerdings deutlich die Therapie mittels einer UPS (Deane, 2009).

Marklund et al. (2010) verglichen im Rahmen einer Pilotstudie (n=30) eine UPS aus weichem Elastomer (n=10) mit einer kieferorthopädisch aktivierten UPS (n=9) aus dem gleichen Material. Die aktivierte Schiene wurde konstruiert, um die auftretenden Kräfte auf die oberen Schneidezähne zu verteilen. Bei 4 von 9 Patienten kam es bei der kieferortho-

pädisch aktivierten Schiene zu einer Zunahme des Overjet um $\geq 0,4\text{mm}$. Solch eine Schienengestaltung könnte also bei Patient*innen mit einem hohen Risiko für negative Bissveränderungen im Sinne von Abnahmen des Oberbite und Overjet indiziert sein. Zur Vermeidung unerwünschter dentaler Nebenwirkungen werden durch Ghazal et al. (2008) auch Strategien wie das Kauen von hartem Kaugummi, das Tragen einer Korrekturschiene, oder das Benutzen eines Silikonplättchen am Morgen diskutiert (Ghazal et al., 2008). In einer Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Kieferübungen bei UPS-Therapie auf die objektive Okklusion (Ueda et al., 2009) konnte gezeigt werden, dass im Vergleich zu keiner Intervention sowohl Kiefergymnastik als auch Übungen mit einem Silikonplättchen im anterioren Zahnbereich zu einer signifikanten Verbesserung der okklusalen Kontaktsituation und Kieferschließkraft führen. Diese Ergebnisse könnten darauf hinweisen, dass die Okklusionsänderungen im Rahmen der UPS-Therapie zumindest teilweise auch durch ein „Retraining“ der Muskulatur durch die Schienenposition verursacht sind (Ghazal et al., 2008).

Patient*innen nehmen die geschilderten dentalen Veränderungen häufig jedoch gar nicht wahr (Marklund, 2020). Grundsätzlich gilt es aber Patient*innen mit einem erhöhtem Risiko für Zahnstellungsänderungen im Vorfeld zu identifizieren (Pliska et al., 2014) und über diese Nebenwirkung aufzuklären. Ebenso ist ein individuelles Recallsystem erforderlich, um diese unerwünschten Zahnstellungsänderungen frühzeitig festzustellen und ihnen entgegenzuwirken. In der Literatur wird ein Recall-Intervall von 6-12 Monaten vorgeschlagen (Marklund, 2006; Sheats, 2020). Außerdem gilt es andere Therapiemöglichkeiten der OSA bei Patient*innen mit entsprechenden Risikofaktoren für unerwünschte dentale Veränderungen zu erwägen.

Die Bedeutung der beschriebenen dentalen Veränderungen muss in Bezug auf die Okklusionsverhältnisse jedes einzelnen Patienten*in bei Erstvorstellung neu erwogen werden. Hierbei ist es wichtig, die Verminderung der Apnoeereignisse in den Vordergrund der Behandlung zu stellen, da die medizinischen Vorteile der UPS-Therapie gegenüber den relativ geringen dentalen und skelettalen Nebenwirkungen überwiegen (Bartolucci et al., 2018).

Limitationen

Bei der Interpretation der Ergebnisse sind folgende Limitationen dieser Studie zu berücksichtigen.

Die Studie war eine retrospektive monozentrische Studie, was zu einer gewissen Verzerrung bzw. Selektionsbias bei der Patientenauswahl geführt haben könnte. Es wurde zwar sorgfältig darauf geachtet, dass alle verfügbaren Aufzeichnungen, die die Kriterien für die Mindestbehandlungsdauer (ca. ein Jahr) erfüllten, in die Auswertung eingingen, doch wurden Patienten, die die Behandlung in diesem Zeitraum abbrachen, nicht in die Analyse mit einbezogen. Zudem wurde die Compliance (Tragedauer der UPS) nicht objektiv gemessen. Auch wurde keine „Power-Analyse“ durchgeführt um die Anzahl erforderlicher Patienten zur Bestimmung von Zahnstellungsänderungen zu ermitteln.

Die Stichprobe, insbesondere die zur Verfügung stehenden Datensätze zum Zeitpunkt T2 ($31,9 \pm 25,4$ Monate; 2,7 Jahre) war mit $n=21$ zudem recht klein. Da es sich um eine retrospektive Studie handelt, konnten nur die zu dem Studiendesign passenden Gipsmodelle ausgesucht werden. In der untersuchten Praxis kamen die Patient*innen allerdings nach den ersten Recall Terminen deutlich weniger zu weiteren Kontrollen und somit konnte der weitere Verlauf der dentalen Veränderungen nicht erhoben werden. Somit fällt die Aussagekraft der dentalen Veränderungen über einen längeren Zeitraum deutlich geringer aus. Des Weiteren trugen im ersten Zeitraum ($11,9 \pm 7,1$ Monate; 1 Jahr) 42 von 58 Patient*innen eine Testschiene aus einem weichen Material, während 16 Patient*innen bereits mit einer definitiven Schiene versorgt waren. Zwar wurde die Testschiene nur für maximal 12 Monate getragen, doch könnte sich diese auf die Zahnstellungsänderung ausgewirkt haben. Auch wurde keine separate Auswertung der Auswirkung der verschiedenen definitiven Schienensysteme auf die Zahnstellungsänderung durchgeführt, da alle angewandten Schienensysteme, außer der H-UPS® (Dr. Jörg Schlieper, Hamburg, Abb. 6) den jeweiligen Zahnbogen komplett und starr umfassten und sich sonst zu kleine Gruppengrößen ergeben hätten.

Einen weiteren limitierenden Faktor stellt eine fehlende Kontrollgruppe ohne UPS zur Beurteilung physiologischer Zahnstellungsänderungen dar.

Bezüglich der Messmethode muss berücksichtigt werden, dass es im Unterkiefer keine verlässlichen über die Zeit konstanten Referenzpunkte gibt. Dementsprechend erfolgte die Beurteilung der Zahnstellungsänderungen im Unterkiefer über die Okklusion zum Oberkiefer und die Gaumenfalten und ist damit potenziell ungenau. Durch die kieferorthopädische Sockelung der Modelle bei T1 und T2 sind diese im Vergleich zu den Modellen bei T0 ohne entsprechende Sockelung als präziser anzusehen. Außerdem kann beim Matchen der Modelle eine gewisse Ungenauigkeit seitens der Software nicht ausgeschlossen werden.

Nicht berücksichtigt wurde ferner, dass bei 11 Patient*innen zu T1 eine Narval (Fa. Res-Med, Martinsried) Schiene eingegliedert wurde. Bei diesem Schienensystem könnten auch Modelle ohne Fassung der vorderen Zähne benutzt worden sein, was den Akten nicht zu entnehmen war. Da diskutiert wird, ob die Fassung der Frontzähne für auftretende Zahnstellungsänderungen relevant ist, könnte sich dies auf die hier gemessenen Zahnstellungsänderungen ausgewirkt haben.

Die Muskulatur oder die Kiefergelenkpositionen als mögliche Einflussfaktoren für die Bissveränderungen wurden nicht näher untersucht.

Auf die Frage, ob eine Testschiene generell bei Patient*innen zu empfehlen ist, wird in dieser Untersuchung nicht näher eingegangen. Grundsätzlich bieten Testschienen, wie in der vorliegenden Untersuchung bei 42 Patient*innen angewendet, die Möglichkeit kostengünstig festzustellen, ob die Patienten auf eine Therapie mittels UPS ansprechen. Zusätzlich bietet die Testschiene die Möglichkeit funktionelle Nebenwirkungen wie Kiefergelenk- oder Muskelschmerzen durch den Vorschub des Unterkiefers über Nacht vor der Anwendung einer definitiven Schiene zu ermitteln. Nach initialer UPS-Therapie kam es in einer Studie von Doff et al. (2012) bei 24 % der Patienten zu Schmerzen im kranio-mandibulären System.

Trotz der beschriebenen Limitationen und Fehlerquellen glauben wir dennoch, dass die präsentierten Ergebnisse nützliche Informationen über die dentalen Nebenwirkungen der Schienentherapie liefern. Weitere Langzeituntersuchungen über den Einfluss des Schientyps und des Schienenmaterials bei der Behandlung von Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe sind erforderlich.

5. Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war es das Ausmaß und die Progression dreidimensionaler Zahnveränderungen bei der Behandlung einer leichten bis schweren obstruktiver Schlafapnoe (OSA) mit einer Unterkieferprotrusionsschiene zu untersuchen.

Für diese retrospektive, monozentrische Studie wurden die dokumentierten klinischen Daten (AHI, Sauerstoffsättigung, ESS), der klinisch gemessene Overjet (OJ) und Overbite (OB), sowie die digitalisierten Gipsmodelle des Ober- und Unterkiefers von Patient*innen, die zwischen 2006 und 2020 mit einer UPS aufgrund einer obstruktiven Schlafapnoe behandelt wurden, ausgewertet. Zur Auswertung der dreidimensionalen Zahnstellungsänderungen wurden die Gipsmodelle gescannt (S600 Arti, Zirkozahn GmbH, Gai/Südtirol, Italien) und die virtuellen Modelle mit Hilfe der Computersoftware OnyxCeph (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland) überlagert und analysiert. Die Zähne wurden in einem anterioren Segment (Eckzahn zu Eckzahn) und einem posterioren Segment (bilateraler erster Prämolare zu zweitem Molar) zusammengefasst.

Die Werte wurden zu Behandlungsbeginn (T0), etwa ein Jahr nach Eingliederung der UPS (T1) und 2,7 Jahre (T2) später erfasst. Als statistische Methoden wurden der Shapiro Wilk Test, die Einfaktorielle Varianzanalyse, der Wilcoxon Test und die multiple lineare Regression verwendet.

Insgesamt wurden 58 Patient*innen im Alter von 24 bis 77 Jahren ($50,7 \pm 12,4$ Jahre; 44 Männer) in diese Studie aufgenommen. Die Auswertung der klinischen Daten und der dreidimensionalen Zahnstellungsänderungen erfolgte zu Beginn der UPS-Therapie (T0), nach $11,9 \pm 7,1$ Monaten (T1; Beobachtungszeitraum 1) und nach $31,9 \pm 25,4$ Monaten (T2; Beobachtungszeitraum 2) UPS-Therapie.

Der durchschnittliche BMI lag zu Beginn der Therapie bei 27,42 und der durchschnittliche DMFT bei 19,22. Der BMI verringerte sich über den gesamten Beobachtungszeitraum auf 26,22 während der DMFT auf 19,86 anstieg. In der Nachuntersuchung reduzierte sich der AHI statistisch signifikant ($p=0,001$), während die Sauerstoffsättigung statistisch signifikant ($p=0,012$) zunahm. Die Abnahme des klinisch gemessenen Overjet war statistisch

signifikant ($p=0,004$), sowie die Reduktion des klinisch gemessenen Overbite ($p=0,004$). Der PSI korrelierte mit der Abnahme des Overbite ($p=0,014$).

Es zeigte sich insbesondere die Tendenz der Oberkiefer Front- und Seitenzähne nach palatinal und distal zu wandern und zu kippen. Im Unterkiefer stellten sich ein entgegengesetztes Bewegungsmuster heraus, nämlich in Richtung vestibulär und mesial. Bei der computergestützten, dreidimensionalen Modellauswertung wurden folgende statistisch signifikante Veränderungen festgestellt:

- Oberkiefer Frontzähne: Inklination nach oral ($p=0,009$) und Translation nach oral ($p=0,002$) und distal ($p=0,037$).
- Oberkiefer Seitenzähne: Inklination nach oral ($p=0,010$), Kippung nach distal ($p<0,001$) und Translation nach distal ($p=0,004$).
- Unterkiefer Frontzähne: Inklination nach vestibulär ($p<0,001$) und Extrusion ($p=0,002$).
- Unterkiefer Seitenzähne: Inklination nach vestibulär ($p=0,004$) und Kippung nach mesial ($p=0,004$).
- Overjet: Reduktion ($p=0,000$)
- Overbite: Reduktion ($p=0,000$; $p=0,001$; $p=0,000$; $p=0,015$)

Die Ergebnisse dieser Studie deuten auf folgende Schlussfolgerungen hin:

- eine langfristige UPS-Therapie hat signifikante Auswirkungen auf die dreidimensionale Zahnstellung
- die dentalen Veränderungen umfassen die Tendenz zur Entwicklung einer Mesialokklusion, eines anterioren offenen Bisses und auch eine Veränderung der okklusalen Kontakte.
- die Daten deuten darüber hinaus darauf hin, dass die langfristige Verwendung einer UPS zu Zahnstellungsänderungen führen kann, die im Laufe der Zeit progressiv sein können. Eine Aufklärung der Patient*innen über die Nebenwirkungen und regelmäßige Recall Termine sind aufgrund der gezeigten Zahnstellungsänderungen infolge der UPS-Therapie obligat. Weitere Untersuchungen im Hinblick auf die Auswirkung verschiedener Schienensysteme zur Prävention dieser unerwünschten Veränderungen sind notwendig.

6. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lyon Elastomer Gerät "Testschiene".	29
Abb. 2: Somnodent Flex.	29
Abb. 3: Somnodent Fusion.	29
Abb. 4: IST-Classic.	29
Abb. 5: IST-Plus.	29
Abb. 6: H-UPS®.	29
Abb. 7: Narval CC.	29
Abb. 8: George-Bissgabel (Scheu-Dental GmbH, Iserlohn, Deutschland) mit Registriermaterial (Kaniebite extrem, Kaniedenta, Herford, Deutschland).	40
Abb. 9: Modul "Modellausrichtung": Entfernen der überflüssigen synthetischen Bereiche von Ober- und Unterkiefer.	46
Abb. 10: Modul "Segmentieren": Definieren der Grenze von Zähnen zu Gingiva.	46
Abb. 11: Modul "Segmentieren": Durch die Software ermittelte künstliche Wurzeln im Verlauf der Zahnachsen.	47
Abb. 12: Modul "Aligner": Markieren des Referenz-Bereiches (grün).	48
Abb. 13: Zeiträume und Zeitpunkte (T0, Ausgangssituation; T1, 1 Jahr nach Therapiebeginn; T2, 2,7 Jahre nach Therapiebeginn).	55
Abb. 14: Verwendete Schienensysteme zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten.	58
Abb. 15: Definitionen der anatomisch bedingten Punkte, Achsen und Bewegungen; Quelle: http://www.onyxwiki.net/doku.php?id=crowncoordinatesystem .	59
Abb. 16: Somnodent Flex Tragedauer 2009 bis 2011: Es zeigt sich eine deutliche Tendenz der Oberkiefer Zähne nach oral, sowie nach distal zu kippen und nach distal zu wandern.	70
Abb. 17: Somnodent Flex Tragedauer 2009 bis 2020: Die Tendenz der Unterkiefer Zähne nach vestibulär zu kippen, nach mesial zu kippen und nach mesial zu wandern wird ersichtlich.	70
Abb. 18: Statistisch signifikante Veränderungen über 2,7 Jahre im Oberkiefer.	70
Abb. 19: Statistisch signifikante Veränderungen über 2,7 Jahre im Unterkiefer.	71

7. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Therapieoptionen OSAS (DGSM, 2017).	16
Tab. 2: Länge der Untersuchungszeiträume in Monaten.	55
Tab. 3: Demografische Daten, klinische Befunde, PSG / PG Daten, verwendete Schienensysteme.	56
Tab. 4: Bewegungen der Zahngruppen in den Untersuchungszeiträumen 1 und 2.	63
Tab. 5: Statistischer Vergleich des Einflusses des Zeitraumes auf die Inklinatlon, Angulation und Rotation der verschiedenen Zahngruppen.	65
Tab. 6: Effekt des Untersuchungszeitpunktes auf den klinisch gemessenen Overbite und Overjet.	66
Tab. 7: Effekt des Untersuchungszeitpunktes auf den digital (WALA-Analyse) gemessenen Overbite und Overjet.	68
Tab. 8: Multiple lineare Regression für den Einfluß des Alters, der Gesamtprotrusion, des PSI und des initialen Overbite auf den klinischen und den digitalen (WALA-Analyse) gemessenen Overbite und Overjet zwischen T0 und T2.	69
Tab. 9: Bewegungen der Kronenachse -Inklation, Angulation und Rotation.	72
Tab. 10: Einzelzahnbewegungen nach mesial, vestibulär und okklusal (Ex- und Intrusion).	77

8. Literaturverzeichnis

Aarab G, Lobbezoo F, Hamburger HL, Naeije M. Effects of an oral appliance with different mandibular protrusion positions at a constant vertical dimension on obstructive sleep apnea. *Clin Oral Investig* 2010; 14: 339–45. <https://doi.org/10.1007/s00784-009-0298-9>.

AASM. Clinical Guideline for the Evaluation, Management and Long-term Care of Obstructive Sleep Apnea in Adults. *J Clin Sleep Med* 2009; 05: 263–76. <https://doi.org/10.5664/jcsm.27497>.

Abad VC, Guilleminault C. Treatment Options for Obstructive Sleep Apnea. 2009 2009.

Abdulraheem S, Schütz-Fransson U, Bjerklin K. Teeth movement 12 years after orthodontic treatment with and without retainer: relapse or usual changes? *Eur J Orthod* 2019: cjz020. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjz020>.

Akhondi SD. Vergleich der Zahnbögen-Geometrie prätherapeutischer Ober- und Unterkiefer mit dentaler Angle-Klasse I, II und III. Wien, 2019.

Alessandri-Bonetti G, D'Antò V, Stipa C, Rongo R, Incerti-Parenti S, Michelotti A. Dento-skeletal effects of oral appliance wear in obstructive sleep apnoea and snoring patients. *Eur J Orthod* 2016: cjw078. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjw078>.

de Almeida FR, Lowe AA, Otsuka R, Fastlicht S, Farbood M, Tsuiki S. Long-term sequellae of oral appliance therapy in obstructive sleep apnea patients: Part 2. Study-model analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006a; 129: 205–13. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.04.034>.

de Almeida FR, Lowe AA, Sung JO, Tsuiki S, Otsuka R. Long-term sequellae of oral appliance therapy in obstructive sleep apnea patients: Part 1. Cephalometric analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006b; 129: 195–204. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.10.001>.

Almeida MA de O. Stability of the palatal rugae as landmarks for analysis of dental casts 1995.

Alwafi AA, Hannam AG, Yen EH, Zou B. A new method assessing predicted and achieved mandibular tooth movement in adults treated with clear aligners using CBCT and individual crown superimposition. *Sci Rep* 2023; 13: 4084. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31339-8>.

An K, Jang I, Choi D-S, Jost-Brinkmann P-G, Cha B-K. Identification of a stable reference area for superimposing mandibular digital models. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie* 2015; 76: 508–19. <https://doi.org/10.1007/s00056-015-0310-8>.

Andrews LF. *The straight-wire appliance : syllabus of philosophy and techniques*. 2d ed., rev. suppl. [Place of Publication Not Identified]: [publisher not identified] [Place of publication not identified], 1975.

Andrews WAA. *The Six Elements of Orofacial Harmony™* 2021.

Araie T, Okuno K, Ono Minagi H, Sakai T. Dental and skeletal changes associated with long-term oral appliance use for obstructive sleep apnea: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev* 2018; 41: 161–72. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2018.02.006>.

Baldini N, Gagnadoux F, Trzepizur W, Meslier N, Dugas J, Gerves-Pinque C, et al. Long-term dentoskeletal side effects of mandibular advancement therapy in patients with obstructive sleep apnea: data from the Pays de la Loire sleep cohort. *Clin Oral Investig* 2022; 26: 863–74. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04064-7>.

Barnes M, McEvoy RD, Banks S, Tarquinio N, Murray CG, Vowles N, et al. Efficacy of Positive Airway Pressure and Oral Appliance in Mild to Moderate Obstructive Sleep Apnea. *Am J Respir Crit Care Med* 2004; 170: 656–64. <https://doi.org/10.1164/rccm.200311-1571OC>.

Bartolucci et al., Bortolotti F, Martrina S, Corazza G, Michelotti A, Alessandri-Bonetti G. Dental and skeletal long-term side effects of mandibular advancement devices in obstructive sleep apnea patients: a systematic review with meta-regression analysis | EndNote Click 2018. <https://kopernio.com/viewer?doi=10.1093%2Fejo%2Fcjy036&token=Wzl4Mzk4NzEsljEwLjEwOTMvZWpvL2NqeTAzNiJd.gICGYQm-GoizOZvbRFDX8t5yOWGk> (zugegriffen 14. Februar 2021).

Batra P, Kharbanda O, Duggal R, Singh N, Parkash H. Alkaline phosphatase activity in gingival crevicular fluid during canine retraction. *Orthod Craniofac Res* 2006; 9: 44–51. <https://doi.org/10.1111/j.1601-6343.2006.00358.x>.

Battagel JM, Kotecha B. Dental side-effects of mandibular advancement splint wear in patients who snore: Dental changes after mandibular advancement splints. *Clin Otolaryngol* 2005; 30: 149–56. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2273.2004.00944.x>.

Bondemark L. Craniomandibular status and function in patients with habitual snoring and obstructive sleep apnoea after nocturnal treatment with a mandibular advancement splint: a 2-year follow-up. *Eur J Orthod* 2000; 22: 53–60. <https://doi.org/10.1093/ejo/22.1.53>.

Bratton DJ, Gaisl T, Wons AM, Kohler M. CPAP vs Mandibular Advancement Devices and Blood Pressure in Patients With Obstructive Sleep Apnea: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA* 2015; 314: 2280. <https://doi.org/10.1001/jama.2015.16303>.

Broström A, Årestedt KF, Nilsen P, Strömberg A, Ulander M, Svanborg E. The side-effects to CPAP treatment inventory: the development and initial validation of a new tool for the measurement of side-effects to CPAP treatment: The side-effects to CPAP treatment inventory. *J Sleep Res* 2010; 19: 603–11. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2010.00825.x>.

Bumann A, Lotzmann U, Herausgeber. Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien: Farbatlant der Zahnmedizin. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2000. <https://doi.org/10.1055/b-002-54091>.

Bundesausschuss. Beschluss des Gemeinsamen Bundesausschusses. Behandlungsrichtlinie: Unterkieferprotrusionsschiene bei obstruktiver Schlafapnoe 2021.

Buysse DJ, Reynolds CF, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. The Pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res* 1989; 28: 193–213. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4).

Calhoun DA, Harding SM. Sleep and Hypertension. *Chest* 2010; 138: 434–43. <https://doi.org/10.1378/chest.09-2954>.

Carneiro - Barrera A, Díaz - Román A, Guillén - Riquelme A, Buela - Casal G. Weight loss and lifestyle interventions for obstructive sleep apnoea in adults: Systematic review and meta - analysis. *Obes Rev* 2019; 20: 750–62. <https://doi.org/10.1111/obr.12824>.

Carrizo SJ, Vicente E, Agusti AGN. Long-term cardiovascular outcomes in men with obstructive sleep apnoea-hypopnoea with or without treatment with continuous positive airway pressure: an observational study 2005; 365.

Cha BK, Lee JY, Jost-Brinkmann P-G, Yoshida N. Analysis of tooth movement in extraction cases using three-dimensional reverse engineering technology. *Eur J Orthod* 2007; 29: 325–31. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjm019>.

Chen A, Burger MS, Rietdijk-Smulders MAWJ, Smeenk FWJM. Mandibular advancement device: Effectiveness and dental side effects. A real-life study. *CRANIO®* 2022; 40: 97–106. <https://doi.org/10.1080/08869634.2019.1708610>.

Chen G, Chen S, Zhang X, Jiang R, Liu Y, Shi F, et al. Stable region for maxillary dental cast superimposition in adults, studied with the aid of stable miniscrews: Stable region for maxillary dental cast superimposition. *Orthod Craniofac Res* 2011; 14: 70–9. <https://doi.org/10.1111/j.1601-6343.2011.01510.x>.

Chen H, Lowe AA. Updates in oral appliance therapy for snoring and obstructive sleep apnea. *Sleep Breath* 2013; 17: 473–86. <https://doi.org/10.1007/s11325-012-0712-4>.

Chen H, Lowe AA, Strauss AM, de Almeida FR, Ueda H, Fleetham JA, et al. Dental changes evaluated with a 3D computer-assisted model analysis after long-term tongue retaining device wear in OSA patients. *Sleep Breath* 2008; 12: 169–78. <https://doi.org/10.1007/s11325-007-0141-y>.

Choi D-S, Jeong Y-M, Jang I, Jost-Brinkmann PG, Cha B-K. Accuracy and reliability of palatal superimposition of three-dimensional digital models. *Angle Orthod* 2010; 80: 685–91. <https://doi.org/10.2319/101309-569.1>.

Cohen-Levy J, Pételle B, Pinguet J, Limerat E, Fleury B. Forces created by mandibular advancement devices in OSAS patients: A pilot study during sleep. *Sleep Breath* 2013; 17: 781–9. <https://doi.org/10.1007/s11325-012-0765-4>.

Dagmar Norden. Therapiemöglichkeiten der OSA. News-Portal Zahnärztlichen Mitteilungen 2023. <https://www.zm-online.de/artikel/2023/zm-2023-12/welche-unterkieferprotrusionsschiene-passt-zu-meinem-patienten> (zugegriffen 4. Juli 2023).

Dai FF, Liu Y, Xu TM, Chen G. [Exploring a new method for superimposition of pre-treatment and post-treatment mandibular digital dental casts in adults]. *Beijing Da Xue Xue Bao* 2018; 50: 271–8.

de Almeida, Woodson BT. Long-Term Compliance and Side Effects of Oral Appliances Used for the Treatment of Snoring and Obstructive Sleep Apnea Syndrome. *Otolaryngol Neck Surg* 2005; 112. <https://doi.org/10.5664/jcsm.8978>.

Deane SA. Comparison of Mandibular Advancement Splint and Tongue Stabilizing Device in Obstructive Sleep Apnea: A Randomized Controlled Trial 2009; 32.

Dempsey JA, Sheel AW, St. Croix CM, Morgan BJ. Respiratory influences on sympathetic vasomotor outflow in humans. *Respir Physiol Neurobiol* 2002; 130: 3–20. [https://doi.org/10.1016/S0034-5687\(01\)00327-9](https://doi.org/10.1016/S0034-5687(01)00327-9).

DGHNO-KHC. S3-Leitlinie: Diagnostik und Therapie des Schnarchens des Erwachsenen 2019.

DGSM. S3 Leitlinie Nicht erholsamer Schlaf/Schlafstörung Kapitel „Schlafbezogene Atmungsstörungen bei Erwachsenen“ 2017.

DGZS. S1-Leitlinie - Die Unterkieferprotrusionsschiene (UPS): Anwendung in der zahnärztlichen Schlafmedizin beim Erwachsenen 2021.

DocCheck M bei. Schlafstörung. DocCheck Flexikon 2016. <https://flexikon.doc-check.com/de/Schlafst%C3%B6rung> (zugegriffen 16. Juni 2023).

Doff, Hoekema A, Wijkstra PJ, van der Hoeven JH, Huddleston Slater JJR, de Bont LGM, et al. Oral Appliance Versus Continuous Positive Airway Pressure in Obstructive Sleep Apnea Syndrome: A 2-Year Follow-up. *Sleep* 2013; 36: 1289–96. <https://doi.org/10.5665/sleep.2948>.

Doff MHJ, Finnema KJ, Hoekema A, Wijkstra PJ, de Bont LGM, Stegenga B. Long-term oral appliance therapy in obstructive sleep apnea syndrome: a controlled study on dental side effects. *Clin Oral Investig* 2013; 17: 475–82. <https://doi.org/10.1007/s00784-012-0737-x>.

Doff MHJ, Hoekema A, Pruijm GJ, Huddleston Slater JJR, Stegenga B. Long-term oral appliance therapy in obstructive sleep apnea: A cephalometric study of craniofacial changes. *J Dent* 2010; 38: 1010–8. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.08.018>.

Doff MHJ, Veldhuis SKB, Hoekema A, Slater JJRH, Wijkstra PJ, de Bont LGM, et al. Long-term oral appliance therapy in obstructive sleep apnea syndrome: a controlled study on temporomandibular side effects. *Clin Oral Investig* 2012; 16: 689–97. <https://doi.org/10.1007/s00784-011-0555-6>.

Dorn G. Protrusionsschiene_web.pdf. 2011.

E Silva LO, Guimarães TM, Pontes G, Coelho G, Badke L, Fabbro CD, et al. The effects of continuous positive airway pressure and mandibular advancement therapy on metabolic outcomes of patients with mild obstructive sleep apnea: a randomized controlled study. *Sleep Breath* 2021; 25: 797–805. <https://doi.org/10.1007/s11325-020-02183-1>.

Erlacher D. Sport und Schlaf: Angewandte Schlafforschung für die Sportwissenschaft. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58132-2>.

Ferguson KA, Cartwright R, Rogers R, Schmidt-Nowara W. Oral Appliances for Snoring and Obstructive Sleep Apnea: A Review. *Sleep* 2006; 29: 244–62. <https://doi.org/10.1093/sleep/29.2.244>.

Ford ML, Vorona RD, Ware JC. An Alternative Cause for Long Term Changes with Mandibular Advancement Devices. *J Clin Sleep Med* 2015; 11: 501–501. <https://doi.org/10.5664/jcsm.4620>.

Fransson AMC, Tegelberg Å, Johansson A, Wenneberg B. Influence on the masticatory system in treatment of obstructive sleep apnea and snoring with a mandibular protruding device: A 2-year follow-up. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004; 126: 687–93. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2003.10.040>.

Garcia-Garcia As, Martinez-Gonzalez Jm, Gomez-Font R, Soto-Rivadeneira A, Oviedo-Roldan L. Current status of the torus palatinus and torus mandibularis. *Med Oral Patol Oral Cirugia Bucal* 2010: e353–60. <https://doi.org/10.4317/medoral.15.e353>.

Garvey JF, Pengo MF, Drakatos P, Kent BD. Epidemiological aspects of obstructive sleep apnea. *J Thorac Dis* 2015; 7.

Gehrman PR, Martin JL, Shochat T, Nolan S, Corey-Bloom J, Ancoli-Israel S. Sleep-Disordered Breathing and Agitation in Institutionalized Adults With Alzheimer Disease. *Am J Geriatr Psychiatry* 2003; 11: 426–33. <https://doi.org/10.1097/00019442-200307000-00005>.

Gemeinsamer Bundesausschuss. Zusammenfassender Bericht des Unterausschusses „Ärztliche Behandlung“ des Gemeinsamen Bundesausschusses über die Beratungen von 1998 – 2004 zur Bewertung der Polygraphie und Polysomnographie im Rahmen der Differentialdiagnostik und Therapie der schlafbezogenen Atmungsstörungen gemäß §135 Abs.1 SGB V 2006.

George CFP. Sleep {middle dot} 5: Driving and automobile crashes in patients with obstructive sleep apnoea/hypopnoea syndrome. *Thorax* 2004; 59: 804–7. <https://doi.org/10.1136/thx.2003.007187>.

Ghadiri M, Grunstein RR. Clinical side effects of continuous positive airway pressure in patients with obstructive sleep apnoea. *Respirology* 2020; 25: 593–602. <https://doi.org/10.1111/resp.13808>.

Ghazal A, Jonas IE, Rose EC. Dental Side Effects of Mandibular Advancement Appliances – A 2-year Follow-up. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie* 2008; 69: 437–47. <https://doi.org/10.1007/s00056-008-0811-9>.

Gong X, Zhang J, Zhao Y, Gao X. Long-term therapeutic efficacy of oral appliances in treatment of obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome. *Angle Orthod* 2013; 83: 653–8. <https://doi.org/10.2319/060412-463.1>.

Hammond RJ, Gotsopoulos H, Shen G, Petocz P, Cistulli PA, Darendeliler MA. A follow-up study of dental and skeletal changes associated with mandibular advancement splint use in obstructive sleep apnea. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 132: 806–14. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.08.047>.

Hamoda MM, Almeida FR, Pliska BT. Long-term side effects of sleep apnea treatment with oral appliances: nature, magnitude and predictors of long-term changes. *Sleep Med* 2019; 56: 184–91. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2018.12.012>.

Han G, Li J, Wang S, Liu Y, Wang X, Zhou Y. In-vitro assessment of the accuracy and reliability of mandibular dental model superimposition based on voxel-based cone-beam computed tomography registration. *Korean J Orthod* 2019; 49: 97–105. <https://doi.org/10.4041/kjod.2019.49.2.97>.

Hansen K. Treatment and posttreatment effects of the Herbst appliance on the dental arches and arch relationships. *Semin Orthod* 2003; 9: 67–73. <https://doi.org/10.1053/sodo.2003.34026>.

Heinzer R, Marti-Soler H, Haba-Rubio J. Prevalence of sleep apnoea syndrome in the middle to old age general population. *Lancet Respir Med* 2016; 4: e5–6. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(16\)00006-0](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(16)00006-0).

Heinzer R, Vat S, Marques-Vidal P, Marti-Soler H, Andries D, Tobback N, et al. Prevalence of sleep-disordered breathing in the general population: the HypnoLaus study. *Lancet Respir Med* 2015; 3: 310–8. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(15\)00043-0](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(15)00043-0).

Heiser C, Edenharter G, Bas M, Wirth M, Hofauer B. Palatoglossus coupling in selective upper airway stimulation. *The Laryngoscope* 2017; 127. <https://doi.org/10.1002/lary.26487>.

Hoffstein V. Review of oral appliances for treatment of sleep-disordered breathing. *Sleep Breath* 2007; 11: 1–22. <https://doi.org/10.1007/s11325-006-0084-8>.

Hoggan BR, Sadowsky C. The use of palatal rugae for the assessment of anteroposterior tooth movements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001; 119: 7.

Iftikhar IH, Bittencourt L, Youngstedt SD, Ayas N, Cistulli P, Schwab R, et al. Comparative efficacy of CPAP, MADs, exercise-training, and dietary weight loss for sleep apnea: a network meta-analysis. *Sleep Med* 2017; 30: 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2016.06.001>.

Image Instruments GmbH. Kieferorthopädische Behandlungen virtuell planen 2018.

Jang I, Tanaka M, Koga Y, Iijima S, Yozgatian JH, Cha BK, et al. A Novel Method for the Assessment of Three-Dimensional Tooth Movement during Orthodontic Treatment. *Angle Orthod* 2009; 79: 447–53. <https://doi.org/10.2319/042308-225.1>.

Jerome M. Gibson. Long-term orthodontic tooth movement response to short-term force in the rat 1992.

Joachim T. Maurer T. Early diagnosis of sleep related breathing disorders. *N Engl J Med* 2008; 328: 1230–5. <https://doi.org/10.1056/NEJM199304293281704>.

John Kim, G. Gary Demerjian, Mayo Patel, André Barkhordarian. *Medical Comorbidities of Obstructive Sleep Apnea*. Dent. Sleep Med., Springer Cham, 2022.

Johns MW. A New Method for Measuring Daytime Sleepiness: The Epworth Sleepiness Scale. *Sleep* 1991; 14: 540–5. <https://doi.org/10.1093/sleep/14.6.540>.

José Viñas M, Pie De Hierro V, M. Ustrell-Torrent J. Superimposition of 3D digital models: A case report. *Int Orthod* 2018; 16: 304–13. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2018.03.017>.

Jung SY, Kim H, Min J-Y, Hwang KJ, Kim SW. Sleep hygiene-related conditions in patients with mild to moderate obstructive sleep apnea. *Auris Nasus Larynx* 2019; 46: 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.anl.2018.06.003>.

Kinzinger G, Frye L, Diedrich P. Class II Treatment in Adults: Comparing Camouflage Orthodontics, Dentofacial Orthopedics and Orthognathic Surgery – A Cephalometric Study to Evaluate Various Therapeutic Effects*. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie* 2009; 70: 63–91. <https://doi.org/10.1007/s00056-009-0821-2>.

Knappe SW, Bakke M, Svanholt P, Petersson A, Sonnesen L. Long-term side effects on the temporomandibular joints and oro-facial function in patients with obstructive sleep apnoea treated with a mandibular advancement device. *J Oral Rehabil* 2017; 44: 354–62. <https://doi.org/10.1111/joor.12485>.

KZBV. Bewertungsausschuss für die zahnärztlichen Leistungen 2021.

Lam B, Sam K, Mok WY, Cheung MT, Fong DY, Lam JC, et al. Randomised study of three non-surgical treatments in mild to moderate obstructive sleep apnoea. *Thorax* 2007; 62: 354–9. <https://doi.org/10.1136/thx.2006.063644>.

Leite FRM, Nascimento GG, Scheutz F, López R. Effect of Smoking on Periodontitis: A Systematic Review and Meta-regression. *Am J Prev Med* 2018; 54: 831–41. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2018.02.014>.

L'Estrange PR, Battagel JM, Harkness B, Spratley MH, Nolan PJ, Jorgensen GI. A method of studying adaptive changes of the oropharynx to variation in mandibular position in patients with obstructive sleep apnoea. *J Oral Rehabil* 1996; 23: 699–711. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.1996.00416.x>.

Lettieri CJ, Paolino N, Eliasson AH, Shah AA, Holley AB. Comparison of Adjustable and Fixed Oral Appliances for the Treatment of Obstructive Sleep Apnea. *J Clin Sleep Med* 2011; 07: 439–45. <https://doi.org/10.5664/JCSM.1300>.

Li H-Y, Wang P-C, Chen Y-P, Lee L-A, Fang T-J, Lin H-C. Critical Appraisal and Meta-Analysis of Nasal Surgery for Obstructive Sleep Apnea. *Am J Rhinol Allergy* 2011; 25: 45–9. <https://doi.org/10.2500/ajra.2011.25.3558>.

Li H-Y, Wang P-C, Lee L-A, Chen N-H, Fang T-J. Prediction of Uvulopalatopharyngoplasty Outcome: Anatomy-Based Staging System Versus Severity-Based Staging System 2018.

Li P, Ning X-H, Lin H, Zhang N, Gao Y-F, Ping F. Continuous positive airway pressure versus mandibular advancement device in the treatment of obstructive sleep apnea: a systematic review and meta-analysis. *Sleep Med* 2020; 72: 5–11. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.03.015>.

Lin S-Y, Hung M-C, Lu L-H, Sun J-S, Tsai S-J, ZWei-Chieng Chang J. Treatment of class II malocclusion with Invisalign®: A pilot study using digital model-integrated maxillofacial cone beam computed tomography. *J Dent Sci* 2023; 18: 353–66. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2022.08.027>.

van der Linden FPGM. Changes in the position of posterior teeth in relation to ruga points. *Am J Orthod* 1978; 74: 142–61. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(78\)90081-7](https://doi.org/10.1016/0002-9416(78)90081-7).

Malhotra A, Huang Y, Fogel R, Lazic S, Pillar G, Jakab M, et al. Aging Influences on Pharyngeal Anatomy and Physiology: The Predisposition to Pharyngeal Collapse. *Am J Med* 2006; 119: 72.e9-72.e14. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2005.01.077>.

van Mark A, Weiler SW, Schröder M, Otto A, Jauch-Chara K, Groneberg DA, et al. The impact of shift work induced chronic circadian disruption on IL-6 and TNF- α immune responses 2010.

Marklund M. Subjective versus objective dental side effects from oral sleep apnea appliances. *Sleep Breath* 2020; 24: 111–7. <https://doi.org/10.1007/s11325-019-01852-0>.

Marklund M. Predictors of long-term orthodontic side effects from mandibular advancement devices in patients with snoring and obstructive sleep apnea. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129: 214–21. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.10.004>.

Marklund M. Orthodontic side-effects of mandibular advancement devices during treatment of snoring and sleep apnoea. *Eur J Orthod* 2001; 23: 135–44. <https://doi.org/10.1093/ejo/23.2.135>.

Marklund M, Braem MJA, Verbraecken J. Update on oral appliance therapy. *Eur Respir Rev* 2019; 28: 190083. <https://doi.org/10.1183/16000617.0083-2019>.

Marklund M, Legrell PE. An orthodontic oral appliance: A randomized, controlled pilot study. *Angle Orthod* 2010; 80: 1116–21. <https://doi.org/10.2319/012210-46.1>.

Marklund M, Stenlund H, Franklin KA. Mandibular Advancement Devices in 630 Men and Women With Obstructive Sleep Apnea and Snoring. *Chest* 2004; 125: 1270–8. <https://doi.org/10.1378/chest.125.4.1270>.

Martínez-Gomis J, Willaert E, Nogues L, Pascual M, Somoza M, Monasterio C. Five Years of Sleep Apnea Treatment with a Mandibular Advancement Device: Side Effects and Technical Complications. *Angle Orthod* 2010; 80: 30–6. <https://doi.org/10.2319/030309-122.1>.

Martins O de FM, Chaves Junior CM, Rossi RRP, Cunali PA, Dal-Fabbro C, Bittencourt L. Side effects of mandibular advancement splints for the treatment of snoring and obstructive sleep apnea: a systematic review. *Dent Press J Orthod* 2018; 23: 45–54. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.23.4.045-054.oar>.

Mavropoulos A, Karamouzos A, Kiliaridis S, Papadopoulos MA. Efficiency of Noncompliance Simultaneous First and Second Upper Molar Distalization: A Three-dimensional Tooth Movement Analysis. *Angle Orthod* 2005; 75: 532–9. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2005\)75\[532:EONSFA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2005)75[532:EONSFA]2.0.CO;2).

McEvoy RD, Antic NA, Heeley E, Luo Y, Ou Q, Zhang X, et al. CPAP for Prevention of Cardiovascular Events in Obstructive Sleep Apnea. *N Engl J Med* 2016; 375: 919–31. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1606599>.

Meyer A. Zahnärztliche Schlafmedizin - Therapiesicherheit mit dem Solinger Modell. Quintessenz Verl-GmbH 2016.

Minagi Hitomi Ono, Okuno Kentaro, Nohara Kanji, Sakai Takayoshi. Predictors of Side Effects With Long-Term Oral Appliance Therapy for Obstructive Sleep Apnea. *J Clin Sleep Med* 2018; 14: 119–25. <https://doi.org/10.5664/jcsm.6896>.

Nashi N, Kang S, Barkdull GC, Lucas J, Davidson TM. Lingual Fat at Autopsy: The Laryngoscope 2007; 117: 1467–73. <https://doi.org/10.1097/MLG.0b013e318068b566>.

Netzer NC, Stoohs RA, Netzer CM, Clark K, Strohl KP. Using the Berlin Questionnaire To Identify Patients at Risk for the Sleep Apnea Syndrome. *Ann Intern Med* 1999; 131: 485. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-131-7-199910050-00002>.

Ong TH, Raudha S, Fook-Chong S, Lew N, Hsu AAL. Simplifying STOP-BANG: use of a simple questionnaire to screen for OSA in an Asian population. *Sleep Breath* 2010; 14: 371–6. <https://doi.org/10.1007/s11325-010-0350-7>.

Otsuka R, De Almeida FR, Lowe AA. The effects of oral appliance therapy on occlusal function in patients with obstructive sleep apnea: A short-term prospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 131: 176–83. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.03.028>.

Pancherz H. The mechanism of Class II correction in Her&t appliance treatment 1982; 82.

Pantin CC, Hillman DR, Tennant M. Dental Side Effects of an Oral Device to Treat Snoring and Obstructive Sleep Apnea. *Sleep* 1999; 22: 237–40. <https://doi.org/10.1093/sleep/22.2.237>.

Paredes N, Colak O, Gargoum A, Miguez M, Mayoral P, Lagravère Vich M. Anteroposterior and Vertical Effects of Mandibular Advancement Devices in Sleep-Disordered Patients: A Systematic Review. *J Dent Sleep Med* 2021; 8. <https://doi.org/10.15331/jdsm.7194>.

Patel S, Rinchuse D, Zullo T, Wadhwa R. Long-term dental and skeletal effects of mandibular advancement devices in adults with obstructive sleep apnoea: A systematic review. *Int Orthod* 2019; 17: 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2019.01.004>.

Pattipati M, Gudavalli G, Zin M, Dhulipalla L, Kolack E, Karki M, et al. Continuous Positive Airway Pressure vs Mandibular Advancement Devices in the Treatment of Obstructive Sleep Apnea: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *Cureus* 2022. <https://doi.org/10.7759/cureus.21759>.

Peavy DC, Kendrick GS. The effects of tooth movement on the palatine rugae. *J Prosthet Dent* 1967; 18: 536–42. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(67\)90219-3](https://doi.org/10.1016/0022-3913(67)90219-3).

Pépin JL, Leger P, Veale D, Langevin B, Robert D, Lévy P. Side Effects of Nasal Continuous Positive Airway Pressure in Sleep Apnea Syndrome. *Chest* 1995; 107: 375–81. <https://doi.org/10.1378/chest.107.2.375>.

Perez CV, De Leeuw R, Okeson JP, Carlson CR, Li H-F, Bush HM, et al. The incidence and prevalence of temporomandibular disorders and posterior open bite in patients receiving mandibular advancement device therapy for obstructive sleep apnea. *Sleep Breath* 2013; 17: 323–32. <https://doi.org/10.1007/s11325-012-0695-1>.

Perogamvros L, Dang-Vu TT, Deseilles M, Schwartz S. Sleep and dreaming are for important matters. *Front Psychol* 2013; 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00474>.

Phillips CL, Grunstein RR, Darendeliler MA, Mihailidou AS, Srinivasan VK, Yee BJ, et al. Health Outcomes of Continuous Positive Airway Pressure versus Oral Appliance Treatment for Obstructive Sleep Apnea: A Randomized Controlled Trial. *Am J Respir Crit Care Med* 2013; 187: 879–87. <https://doi.org/10.1164/rccm.201212-2223OC>.

Pinto VL, Sharma S. Continuous Positive Airway Pressure. StatPearls, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023.

Pliska BT, Almeida FR. Tooth Movement Associated With CPAP Therapy. *J Clin Sleep Med* 2018; 14: 701–2. <https://doi.org/10.5664/jcsm.7080>.

Pliska BT, Nam H, Chen H, Lowe AA, Almeida FR. Obstructive Sleep Apnea and Mandibular Advancement Splints: Occlusal Effects and Progression of Changes Associated with a Decade of Treatment. *J Clin Sleep Med* 2014; 10: 1285–91. <https://doi.org/10.5664/jcsm.4278>.

Puhan MA, Suarez A, Cascio CL, Zahn A, Heitz M, Braendli O. Didgeridoo playing as alternative treatment for obstructive sleep apnoea syndrome: randomised controlled trial. *BMJ* 2006; 332: 266–70. <https://doi.org/10.1136/bmj.38705.470590.55>.

Radeke J, Von Der Wense C, Lapatki BG. Comparison of orthodontic measurements on dental plaster casts and 3D scans. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie* 2014; 75: 264–74. <https://doi.org/10.1007/s00056-014-0217-9>.

Rana A, Raut A, Mathur A. The Occlusal Side Effects of Mandibular Advancement Device Therapy in Adult Sleep Apnea Patients: A Systematic Review. *Cureus* 2023. <https://doi.org/10.7759/cureus.48682>.

Reitan K. Clinical and histologic observations on tooth movement during and after orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1967; 53: 721–45. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(67\)90118-2](https://doi.org/10.1016/0002-9416(67)90118-2).

Ringqvist M, Walker-Engström M-L, Tegelberg Å, Ringqvist I. Dental and skeletal changes after 4 years of obstructive sleep apnea treatment with a mandibular advancement device: a prospective, randomized study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 124: 53–60. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(03\)00240-3](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(03)00240-3).

Robertson C. Dental and occlusal changes during mandibular advancement splint therapy in sleep disordered patients. *Eur J Orthod* 2003; 25: 371–6. <https://doi.org/10.1093/ejo/25.4.371>.

Rodenbeck A. Manual der American Academy of Sleep Medicine: Überblick über die Updateversion 2.0. *Somnologie - Schlafforschung Schlafmed* 2013; 17: 122–30. <https://doi.org/10.1007/s11818-013-0611-3>.

Rose EC, Barthlen GM, Staats R, Jonas IE. Therapeutic efficacy of an oral appliance in the treatment of obstructive sleep apnea: A 2-year follow-up. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002a; 121: 273–9. <https://doi.org/10.1067/mod.2002.121006>.

Rose EC, Staats R, Virchow C, Jonas IE. Occlusal and Skeletal Effects of an Oral Appliance in the Treatment of Obstructive Sleep Apnea. *Chest* 2002b; 122: 871–7. <https://doi.org/10.1378/chest.122.3.871>.

Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016; 149: 161–70. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.06.029>.

Rotenberg BW, Murariu D, Pang KP. Trends in CPAP adherence over twenty years of data collection: a flattened curve. *J Otolaryngol - Head Neck Surg* 2016; 45: 43. <https://doi.org/10.1186/s40463-016-0156-0>.

Ruf S, Hansen K, Pancherz H. Does orthodontic proclination of lower incisors in children and adolescents cause gingival recession? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998; 114: 100–6. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(98\)70244-6](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(98)70244-6).

Ruf S, Hourfar J, von Bremen J, Ludwig B. Weniger Nebeneffekte durch Minipins? – ZWP online – das Nachrichtenportal für die Dentalbranche 2013. <https://www.zwp-online.info/fachgebiete/kieferorthopaedie/miniimplantate/weniger-nebeneffekte-durch-mini-pins> (zugegriffen 27. September 2023).

Ryan S. Mechanisms of cardiovascular disease in obstructive sleep apnoea. *J Thorac Dis* 2018; 10: S4201–11. <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.08.56>.

Sampaio-Fernandes M, Pinto R, Sampaio-Fernandes M, Sampaio-Fernandes J, Marques D, Figueiral M. Accuracy of silicone impressions and stone models using two laboratory scanners: a 3D evaluation. *Int J Prosthodont* 2022. <https://doi.org/10.11607/ijp.8074>.

Sateia MJ. International Classification of Sleep Disorders-Third Edition. *Chest* 2014; 146: 1387–94. <https://doi.org/10.1378/chest.14-0970>.

Scherr SC, Dort LC, Almeida FR, Bennett KM, Blumenstock NT, Demko BG, et al. Definition of an Effective Oral Appliance for the Treatment of Obstructive Sleep Apnea and Snoring: A Report of the American Academy of Dental Sleep Medicine. *J Dent Sleep Med* 2014. <https://doi.org/10.15331/jdsm.3738>.

Schlieper J. Abstract: Stellenwert der zahnärztlichen Therapie vor und während der Therapie mit Unterkieferprotrusionsschienen (UPS) bei Patienten mit obstruktiven schlafbezogenen Atmungsstörungen - eine retrospektive Untersuchung mit einem programmtechnischen Vektordiagramm 2016.

Schulz R, Grebe M, Eisele H-J, Mayer K, Weissmann N, Seeger W. Vaskuläre Folgeerkrankungen bei obstruktiver Schlafapnoe. *Med Klin* 2006; 101: 321–7. <https://doi.org/10.1007/s00063-006-1041-9>.

Schütz TCB, Cunha TCA, Moura-Guimaraes T, Luz GP, Ackel-D'Elia C, Da Silva Alves E, et al. Comparison of the effects of continuous positive airway pressure, oral appliance and exercise training in obstructive sleep apnea syndrome. *Clinics* 2013; 68: 1168–74. [https://doi.org/10.6061/clinics/2013\(08\)17](https://doi.org/10.6061/clinics/2013(08)17).

Schwab RJ, Badr SM, Epstein LJ, Gay PC, Gozal D, Kohler M, et al. An Official American Thoracic Society Statement: Continuous Positive Airway Pressure Adherence Tracking Systems. The Optimal Monitoring Strategies and Outcome Measures in Adults. *Am J Respir Crit Care Med* 2013; 188: 613–20. <https://doi.org/10.1164/rccm.201307-1282ST>.

Schwarting S, Huebers U, Heise M, Schlieper J, Hauschild A. Position paper on the use of mandibular advancement devices in adults with sleep-related breathing disorders: A position paper of the German Society of Dental Sleep Medicine (Deutsche Gesellschaft Zahnärztliche Schlafmedizin, DGZS). *Sleep Breath* 2007; 11: 125–6. <https://doi.org/10.1007/s11325-007-0116-z>.

Schwartz JP, Raveli TB, Schwartz-Filho HO, Raveli DB. Changes in alveolar bone support induced by the Herbst appliance: a tomographic evaluation. *Dent Press J Orthod* 2016; 21: 95–101. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.21.2.095-101.oar>.

Serra E, Perinetti G, D'Attilio M, Cordella C, Paolantonio M, Festa F, et al. Lactate dehydrogenase activity in gingival crevicular fluid during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 124: 206–11. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(03\)00407-4](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(03)00407-4).

Sharp IG, Minick G, Carey C, Shellhart CW, Tilliss T. Assessment of simulated vs actual orthodontic tooth movement with a customized fixed lingual appliance using untreated posterior teeth for registration and digital superimposition: A retrospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2022; 161: 272–80. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2021.02.018>.

Sheats RD. Management of side effects of oral appliance therapy for sleep-disordered breathing: summary of American Academy of Dental Sleep Medicine recommendations. *J Clin Sleep Med* 2020; 16: 835–835. <https://doi.org/10.5664/jcsm.8394>.

Sheats RD, Schell TG, Blanton AO, Braga PM, Demko BG, Dort LC, et al. Management of Side Effects of Oral Appliance Therapy for Sleep-Disordered Breathing. *J Dent Sleep Med* 2017; 04: 111–25. <https://doi.org/10.15331/jdsm.6746>.

Smith CT, Aubrey JB, Peters KR. Different Roles for REM and Stage 2 Sleep in Motor Learning: A Proposed Model. *Psychol Belg* 2004; 44: 81. <https://doi.org/10.5334/pb.1018>.

Smith I, Lasserson TJ, Wright JJ. Drug therapy for obstructive sleep apnoea in adults. In: *The Cochrane Collaboration, Herausgeber. Cochrane Database Syst. Rev., Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, CD003002.pub2.* <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003002.pub2>.

Speike C. Inauguraldissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. 2019 2019.

Stoohs RA. Widerstandssyndrom der oberen Atemwege. *Dtsch Ärztebl* 2007.

Stuck BA, Maurer JT, Schlarb AA, Schredl M, Weeß H-G. *Praxis der Schlafmedizin*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54383-2>.

Stucki S, Gkantidis N. Assessment of techniques used for superimposition of maxillary and mandibular 3D surface models to evaluate tooth movement: a systematic review. *Eur J Orthod* 2020; 42: 559–70. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjz075>.

Sugiyama Y. The level of cathepsin B in gingival crevicular fluid during human orthodontic tooth movement. *Eur J Orthod* 2003; 25: 71–6. <https://doi.org/10.1093/ejo/25.1.71>.

Susan Redline. *Principles and Practice of Sleep Medicine (Sixth Edition)*. Elsevier, 2917.

Terán-Santos J, Jimenez-Gomez A, Cordero-Guevara J. The Association between Sleep Apnea and the Risk of Traffic Accidents. *N Engl J Med* 1999; 340: 847–51. <https://doi.org/10.1056/NEJM199903183401104>.

The International Classification of Sleep Disorders – Third Edition (ICSD-3). 2014.

Trpkova B, Major P, Prasad N, Nebbe B. Cephalometric landmarks identification and reproducibility: A Meta analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997; 112: 165–70. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(97\)70242-7](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(97)70242-7).

Tsuda H, Almeida FR, Masumi S, Lowe AA. Side effects of boil and bite type oral appliance therapy in sleep apnea patients. *Sleep Breath* 2010; 14: 227–32. <https://doi.org/10.1007/s11325-009-0304-0>.

Tuncer BB. Levels of Interleukin-8 During Tooth Movement. *Angle Orthod* 2005; 75.

Ueda H, Almeida FR, Chen H, Lowe AA. Effect of 2 jaw exercises on occlusal function in patients with obstructive sleep apnea during oral appliance therapy: A randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 135: 430–1. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.12.013>.

Ueda H, Almeida FR, Lowe AA, Ruse ND. Changes in Occlusal Contact Area during Oral Appliance Therapy Assessed on Study Models. *Angle Orthod* 2008; 78: 866–72. <https://doi.org/10.2319/100107-470.1>.

Uniken Venema JAM, Doff MHJ, Joffe-Sokolova D, Wijkstra PJ, Van Der Hoeven JH, Stegenga B, et al. Long-term obstructive sleep apnea therapy: a 10-year follow-up of

mandibular advancement device and continuous positive airway pressure. *J Clin Sleep Med* 2020; 16: 353–9. <https://doi.org/10.5664/jcsm.8204>.

Uniken Venema JAM, Rosenmöller BRAM, de Vries N, de Lange J, Aarab G, Lobbezoo F, et al. Mandibular advancement device design: A systematic review on outcomes in obstructive sleep apnea treatment. *Sleep Med Rev* 2021; 60: 101557. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2021.101557>.

Vanderveken OM, Devolder A, Marklund M, Boudewyns AN, Braem MJ, Okkerse W, et al. Comparison of a Custom-made and a Thermoplastic Oral Appliance for the Treatment of Mild Sleep Apnea. *Am J Respir Crit Care Med* 2008; 178: 197–202. <https://doi.org/10.1164/rccm.200701-114OC>.

Vasilakos G, Schilling R, Halazonetis D, Gkantidis N. Assessment of different techniques for 3D superimposition of serial digital maxillary dental casts on palatal structures. *Sci Rep* 2017; 7: 5838. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06013-5>.

Venema J, Stellingsma C, Doff M, Hoekema A. Dental Side Effects of Long-Term Obstructive Sleep Apnea Therapy: A Comparison of Three Therapeutic Modalities. *J Dent Sleep Med* 2018; 5: 39–46. <https://doi.org/10.15331/jdsm.7022>.

Verse T, Hörmann K. The Surgical Treatment of Sleep-Related Upper Airway Obstruction. *Dtsch Arztebl Int* 2011. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2010.0216>.

Wang X, Gong X, Yu Z, Gao X, Zhao Y. Follow-up study of dental and skeletal changes in patients with obstructive sleep apnea and hypopnea syndrome with long-term treatment with the Silensor appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015; 147: 559–65. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.01.013>.

Ward FW. Obstructive Sleep Apnea. *N Engl J Med* 2002.

Weiss JW, Remsburg S, Garpestad E, Ringler J, Sparrow D, Parker JA. Hemodynamic Consequences of Obstructive Sleep Apnea. *Sleep* 1996; 19: 388–97. <https://doi.org/10.1093/sleep/19.5.388>.

Wenzel S, Smith E, Leiacker R, Fischer Y. Effektivität und Langzeit-Compliance der Therapie mit Rückenlage-Verhinderungsweste bei obstruktiver Schlafapnoe. *Laryngo-Rhino-Otol* 2007; 86: 579–83. <https://doi.org/10.1055/s-2007-966179>.

Weschler D. Efficiency of Three Mandibular Anchorage Forms in Herbst Treatment: A Cephalometric Investigation. *Angle Orthod* 2005; 75.

Winitsky N, Naimi - Akbar A, Nedelcu R, Jemt T, Smedberg J. 3 - D tooth movement adjacent to single anterior implants and esthetic outcome. A 14 - to 20 - year follow - up study. *Clin Oral Implants Res* 2021; 32: 1328–40. <https://doi.org/10.1111/clr.13833>.

Yilmaz RS, Darling AI, Levers BGH. Mesial drift of human teeth assessed from ankylosed deciduous molars. *Arch Oral Biol* 1980; 25: 127–31. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(80\)90088-6](https://doi.org/10.1016/0003-9969(80)90088-6).

Young T, Finn L, Peppard PE, Szklo-Coxe M, Austin D, Nieto FJ, et al. Sleep Disordered Breathing and Mortality: Eighteen-Year Follow-up of the Wisconsin Sleep Cohort 2018.

Zachow S. Computergestützte 3D Osteotomieplanung in der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie unter Berücksichtigung der räumlichen Weichgewebeanordnung 2005.

9. Danksagung

Mein aufrichtiger Dank gilt Frau Priv.-Doz. Dr. Sabine Linsen, Oberärztin der Fachabteilung Zahnärztliche Prothetik, Propädeutik und Werkstoffwissenschaften des Universitätsklinikum Bonn für die Ermöglichung meiner Promotion und die wertvolle Betreuung.

Viel Dank gilt außerdem meiner Familie, insbesondere meinem Bruder Felix Kares und meinem Vater Horst Kares, die mich intensiv unterstützt und gefördert haben.

Sehr herzlich möchte ich auch Herrn Dr. Alexander Meyer aus Solingen für die Kooperation und die Bereitstellung der Patientendaten und Modelle danken.

Weiterhin dankbar bin ich dem leitenden Oberarzt Dr. Nikolas Daratsianos aus der Fachabteilung Kieferorthopädie aus Bonn, Dr. Milan Stoilov aus der Abteilung Prothetik in Bonn, Herrn Max Schultheis von Schultheis Zahntechnik in Solingen und Christian Neendorff aus Neuwied.