

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie  
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Skelettale Verankerung mittels eines Gaumenimplantats –  
Häufigkeit und Indikationsspektrum

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der  
Zahnmedizin  
der Universitätsmedizin  
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Zeynep Yildizhan, geb. Boyraz  
aus Berlin

Mainz, 2020

Wissenschaftlicher Vorstand:



1. Gutachter:



2. Gutachter:



Tag der Promotion:

30. Juni 2020

*Meinen Eltern gewidmet*

# Inhalt

1	Einleitung .....	1
2	Literaturdiskussion .....	3
2.1	Verankerung in der Kieferorthopädie .....	3
2.2	Skelettale Verankerung .....	5
2.3	Enossale Implantate .....	7
2.4	Gaumenimplantat Orthosystem .....	9
2.5	Direkte und indirekte skelettale Verankerung .....	12
2.6	Chirurgische Insertion .....	12
2.7	Behandlungsschritte zur Herstellung einer Suprakonstruktion .....	13
2.8	Die Suprakonstruktion .....	14
3	Material und Methode .....	23
3.1	Patientengut .....	23
3.2	Ein- und Ausschlusskriterien .....	23
3.3	Chirurgisches Vorgehen .....	24
3.4	Auswertungsparameter .....	24
3.5	Statistische Auswertung .....	25
4	Ergebnisse .....	26
4.1	Anzahl und Alter der Patienten .....	26
4.2	Geschlecht .....	27
4.3	Zahnbewegung im Oberkiefer und Bewegung im Ober- und Unterkiefer .....	28
4.4	Quadranten, in denen mit Hilfe der Suprakonstruktion Zähne bewegt wurden ...	28
4.5	Sagittale Bewegung .....	29
4.6	Mesialisieren .....	31
4.7	Klasse-II-Gummizüge .....	32
4.8	Distalisieren .....	33
4.9	Art der Suprakonstruktion .....	34
4.10	Vertikale Bewegung .....	34
4.11	Vertikale Bewegung im Oberkiefer und im Ober- und Unterkiefer .....	36
4.12	Kombiniert sagittal und vertikale Bewegung .....	37
4.13	Transversale Bewegung .....	38
4.14	Verlagerte Zähne .....	39
4.15	Zahnersatz .....	40
4.16	Anzahl der Aufgaben der Suprakonstruktion .....	41
4.17	Direkte oder indirekte Verankerung .....	43
4.18	Erneuerung von Klebestellen .....	44
4.19	Zeitlicher Ablauf der Behandlungsaufgaben: simultan versus konsekutiv .....	45
4.20	Anzahl der notwendigen Suprakonstruktionen während der Behandlung .....	46
5	Diskussion .....	47
5.1	Ausblick .....	52
6	Zusammenfassung .....	53
7	Literaturverzeichnis .....	55

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gaumenimplantat (Straumann®, Basel, Schweiz) ist in zwei verschiedenen enossalen Durchmessern erhältlich (4,1 mm und 4,8 mm). Der enossale Teil des Implantats mit SLA®-Oberfläche hat eine Länge von 4,2 mm. Der glatte Hals des Implantats weist eine Höhe von 1,8 mm auf (Basisinformationen zum Palatal Implant / Institut Straumann® AG 2006).....	10
Abbildung 2:	Gaumenimplantat mit Einheilkappe .....	13
Abbildung 3:	Mainzer Implantat Pendulum (MIP) (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) .....	15
Abbildung 4:	Beidseitige Distal-Jet Apparatur (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) .....	16
Abbildung 5:	Einseitige Distal-Jet Apparatur (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) .....	16
Abbildung 6:	Implantatgestützter Palatinalbogen mit Drahtextensionen nach dorsal. Zur Vermeidung einer Extrusion der Frontzähne dienen Gummiketten, die mit der Suprakonstruktion und den Frontzähnen verbunden sind (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz). .....	17
Abbildung 7:	Einseitiges Mesialisieren (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) .....	18
Abbildung 8:	Beidseitiges Mesialisieren durch Transpalatinalbogen (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz).....	18
Abbildung 9:	Beidseitiges Mesialisieren durch Power-Hooks (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz).....	19
Abbildung 10:	Mesialisieren im UK durch Klasse-II-Gummizüge (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz).....	19
Abbildung 11:	Mesialisieren im OK und UK durch Verankerung der Eckzähne im Oberkiefer (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) (Es handelt sich um denselben Patienten wie in Abb. 10) .....	20
Abbildung 12:	Intrusion Zahn 14, 15 und 16; Ersetzen eines Zahnes (11) und Distalisieren und Derotieren Zahn 26 (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) .....	20
Abbildung 13:	Extrusion mehrerer retinierter Zähne (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) .....	21

Abbildung 14:	Extrusion eines retinierten verlagerten rechten oberen Eckzahns (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) .....	21
Abbildung 15:	Temporärer Ersatz regio 12 durch einen Zahn an der Suprakonstruktion (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) .....	22
Abbildung 16:	Anzahl der behandelten Patienten .....	26
Abbildung 17:	Anzahl der Patienten in den verschiedenen Lebensaltern .....	27
Abbildung 18:	Geschlecht der untersuchten Patienten in Prozent.....	27
Abbildung 19:	Zahnbewegung im Oberkiefer (OK) und Behandlung im Ober- und Unterkiefer (OK + UK).....	28
Abbildung 20:	Zahnbewegungen mit Hilfe der Suprakonstruktion pro Quadrant (Q). .....	29
Abbildung 21:	Häufigkeit sagittaler Bewegungen .....	30
Abbildung 22:	Beispiel für das Mesialisieren der Seitenzähne im Oberkiefer. Der Patient hat eine linguale Multibracket Apparatur (hier: Incognito®). Die Frontzähne werden distal an den zweiten Inzisivi durch die Suprakonstruktion stabilisiert, mithilfe von Gummiketten werden die Molaren mesialisiert (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz).....	31
Abbildung 23:	Verwendung von Klasse II Gummizügen.....	32
Abbildung 24:	Mesialisieren der UK - Molaren durch Klasse-II-Gummizüge (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)(vgl. Abb. 10). .....	32
Abbildung 25:	Distalisieren im OK.....	33
Abbildung 26:	Distalisieren der Seitenzähne durch Gummiketten, die mit den zu bewegendenden Zähnen und an den Ösen der Suprakonstruktion angebracht sind. Der Patient hat eine linguale Multibracket Apparatur (hier: Incognito®) (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) .....	33
Abbildung 27:	Art der Distalisierungsapparatur und Häufigkeit .....	34
Abbildung 28:	Häufigkeit vertikaler Bewegungen im OK (Foto: vgl: Abb. 12) .....	35
Abbildung 29:	Intrusion Zahn 27; der Zahn ist durch fehlenden Antagonisten extrudiert (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) .....	35
Abbildung 30:	Vertikale Bewegungen .....	36
Abbildung 31:	Kombiniert sagittale und vertikale Zahnbewegung .....	37
Abbildung 32:	Transversale Bewegung.....	38
Abbildung 33:	Häufigkeit transversaler Erweiterung und Kompression .....	38

Abbildung 34:	Extrusion Zahn 13 und 23 mithilfe von Hebelarmen (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz).....	40
Abbildung 35:	Temporärer Zahnersatz Regio 21 (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) .....	40
Abbildung 36:	Anzahl der Aufgaben der Suprakonstruktion .....	41
Abbildung 37:	Unifunktional: Extrusion eines retinierten und verlagerten Zahnes (21) (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) .....	42
Abbildung 38:	Bifunktional: Mesialisieren der Seitenzähne und Ersetzen eines Zahnes (Zahn 12) (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) .....	42
Abbildung 39:	Multifunktional: Mesialisieren der Seitenzähne im ersten Quadranten und gleichzeitiges Distalisieren der Seitenzähne im zweiten Quadranten durch Gummiketten, die an den Ösen der Suprakonstruktion und der zu bewegenden Zähne angebracht sind. Temporärer Zahnersatz in Regio 12 und 22. (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz).....	43
Abbildung 40:	Klasse-II-Gummizüge zum Mesialisieren der UK Seitenzähne (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) (Es handelt sich um denselben Patienten wie in Abb. 39) .....	43
Abbildung 41:	Häufigkeit direkter und indirekter Verankerung und kombiniert direkte und indirekte Verankerung.....	44
Abbildung 42:	Direkte Verankerung; Mesialisieren des Zahnes 27 mittels einer Gummikette (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) .....	44
Abbildung 43:	Häufigkeit der notwendigen Reparatur der Klebestelle zwischen Zahn und Suprakonstruktion .....	45
Abbildung 44:	Gleichzeitig (simultan) und nacheinander (konsekutiv) durchgeführte Behandlungsaufgaben mittels eines Gaumenimplantats .....	45
Abbildung 45:	Anzahl der pro Patient benötigten Suprakonstruktionen während der Behandlung.....	46

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich konventionelle Verankerung mit TSAD (temporary skeletal anchorage devices).....	7
Tabelle 2: Gegenüberstellungen Gaumenimplantat vs. Minischrauben.....	12
Tabelle 3: Häufigkeit sagittaler Bewegung.....	30
Tabelle 4: Häufigkeit des Mesialisierens im Oberkiefer, Unterkiefer und in beiden Kiefern.....	31
Tabelle 5: Vertikale Bewegung im Oberkiefer (OK) und Oberkiefer (OK) + Unterkiefer (UK).....	37
Tabelle 6: Häufigkeit der Einstellung der verlagerten Zähne.....	39

## Abkürzungsverzeichnis

CT	Computertomographie
DVT	Digitale Volumetomographie
GI	Gaumenimplantat
GISP	Grazer Implantat Stabilisierte Pendulum
MIP	Mainzer Implantat Pendulum
M <sub>1</sub>	erster Molar
M <sub>2</sub>	zweiter Molar
N	Häufigkeit
Ni-Ti	Nickel-Titan
OK	Oberkiefer
P <sub>1</sub>	erster Prämolare
P <sub>2</sub>	zweiter Prämolare
Q	Quadrant
SD	Standardabweichung
SLA <sup>®</sup>	sand-blasted, large-grit, acid-etched
SPSS	Statistical Package
TMA <sup>™</sup>	Titan-Molybdän-Alloy
TPA	Transpalatinalarch
TAD	Temporary Anchorage Devices
TSAD	Temporary Skeletal Anchorage Devices
UK	Unterkiefer

# 1 Einleitung

Angle beschrieb 1907 die Kieferorthopädie als das zahnmedizinische Fachgebiet, das sich mit der Verhütung, Erkennung und Behandlung von Fehlstellungen der Kiefer und der Zähne befasst (Diedrich 1993). Um Malokklusion und Dysgnathien behandeln zu können, benötigt man bei manchen Patienten eine maximale Verankerung. Unter dem Begriff der Verankerung versteht man das Abfangen oder den kontrollierten Einsatz reaktiver Kräfte und Momente in den drei Raumebenen (Diedrich 1993). Die Verankerung ist ein grundlegendes Problem bei der Behandlung von Malokklusion und Dysgnathien (Wehrbein und Göllner 2007). Wie bereits von Newton 1687 definiert, basiert die Belastung der Verankerungseinheit auf den Bedingungen des statischen Gleichgewichtes ( $actio = reactio$  / Wirkung = Gegenwirkung) (Diedrich 1993). Um unerwünschte Nebenwirkungen der Verankerungseinheit zu minimieren, werden verschiedene intra- und extraorale kieferorthopädische Behandlungsapparaturen eingesetzt (Lietz und Müller-Hartwich 2006). Als intraorale Verankerungshilfe sind zum Beispiel die Klasse-II-Gummizüge zu erwähnen, die bei einer längerfristigen Anwendung unerwünschte Nebeneffekte produzieren können. Solche wären im Unterkiefer Mesialisierung der Molaren, Protrusion der Front und/oder Kippung der Okklusionsebene (Tweed 1941). Der Erfolg beim Einsatz extraoraler Geräte ist stark von der Mitarbeit der Patienten abhängig (Gray et al. 1983). In diversen Studien wurde eine geringe Compliance der Patienten nachgewiesen (Bos et al. 2007, Brandão et al. 2006, Cole 2002). 1990 wiesen Bauer und Diedrich in einer Studie nach, dass bei 61% der erwachsenen Patienten eine geringe Bereitschaft bestand, einen Headgear nachts zu tragen (Bauer und Diedrich 1990). Da die Akzeptanz extraoraler Verankerungsmittel bei Erwachsenen aufgrund erheblicher ästhetischer Beeinträchtigung im beruflichen und sozialen Umfeld sehr gering ist, sind positionsstabile, osseointegrierte Implantate das Mittel der Wahl (Diedrich 1993). Die Verwendung intraoraler, complianceunabhängiger Verankerungshilfen in Form von Minischrauben oder Miniimplantaten hat im Laufe der Jahre zugenommen. Die TADs (Temporary Anchorage Devices) sind temporär eingesetzte Miniimplantate, die nur zu Zwecken der Kieferorthopädie verwendet werden und in der Regel nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung entfernt werden. Sie können in drei Gruppen eingeteilt werden: a) Kortikalisschrauben,

die bukkal interradi­kulär im Ober- und Unterkiefer oder in den medianen/paramedianen Gaumen gesetzt werden; b) Bone-Anchor, welche auch bukkal interradi­kulär im Ober- und Unterkiefer und in die Crista zygomaticoalveolaris gesetzt werden, und c) Gaumenimplantate, d.h. längenreduzierte Miniimplantate, die im anterioren Gaumen median oder paramedian inseriert werden (Jung und Kunkel 2016). Wehrbein wies 2009 in einer Studie an 22 Probanden (19 Männer, drei Frauen) im Alter zwischen 18 und 63 Jahren nach, dass die Knochendichte im Hartgaumen höher als im Alveolarknochen ist, und somit eine gute Primärstabilität der Gaumenimplantate unabhängig vom Alter erreicht werden kann (Wehrbein 2009). In verschiedenen Artikeln wird über Verlust- und Überlebensrate der Gaumenimplantate (Jung et al. 2012a, Papageorgiou et al. 2012, Schätzle et al. 2009) in Bezug auf einzelne Insertionstechniken (Meursinge Reynders et al. 2012) oder Konstruktionsentwürfe (Migliorati et al. 2013) berichtet. Andere Artikel beschäftigen sich mit den Indikationen zur kieferorthopädischen Behandlung mittels skelettaler Verankerung (Jung et al. 2010, Nienkemper et al. 2012, Nienkemper et al. 2014), mit Fallberichten (Seo et al. 2015, Yanagita et al. 2014), Übersichten (Janssen et al. 2008, Reynders et al. 2009) oder Expertenmeinungen (Baumgaertel 2014, Leung et al. 2008, Papadopoulos und Tarawneh 2007, Sugawara 2014, Wehrbein und Göllner 2007). Bisher ist noch nicht geklärt, inwieweit die Verwendung von skelettalen Verankerungen tatsächlich erforderlich ist. Es fehlen Zahlen zu Indikationshäufigkeit und -spektrum.

Skelettale Verankerung ist somit heutzutage ein probates Mittel zur Erweiterung des kieferorthopädischen Behandlungsspektrums. Die Indikation der Anwendung muss immer individuell und indikationsabhängig gestellt werden. Daher ist das Ziel der vorliegenden Untersuchung, die Häufigkeit einer Gaumenimplantat-gestützten skelettalen Verankerung, sowie die verschiedenen Formen der Suprakonstruktionen und der dadurch möglichen Bewegungsrichtungen der Zähne am Patientengut der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz über einen Zeitraum von vier Jahren zu erheben. Teile der Ergebnisse dieser Arbeit wurden 2015 bereits vorveröffentlicht (Krieger et al. 2015).

## 2 Literaturdiskussion

Im Folgenden wird die bisherige, zum Thema vorliegende Literatur dargestellt.

### 2.1 Verankerung in der Kieferorthopädie

Eine complianceunabhängige, intraorale maximale Verankerung ist bei verschiedenen kieferorthopädischen Behandlungen wünschenswert, um Zähne ohne Nebenwirkungen bewegen zu können. 1907 wurde von Angle der Begriff der Verankerung eingeführt.

„Die Bewegung eines oder mehrerer Zähne in eine der verschiedenen Richtungen ist nur durch Anwendung einer Kraft möglich, die in Übereinstimmung mit den Gesetzen der Mechanik und Dynamik erfolgt. Nach den wohlbekannten Gesetzen der Physik halten sich Wirkung und Gegenwirkung das Gleichgewicht und sind einander entgegengesetzt; daraus folgt, dass der Widerstand der Verankerung größer, als der des zu bewegenden Zahnes sein muss. Die idealste Verankerung wäre natürlich eine unbewegliche Basis.“ (Diedrich 1993)

Goldman und Gianelly weiteten 1972 die Definition der Verankerung aus und führten die Begriffe maximale, moderate und minimale Verankerung in die Kieferorthopädie ein und beschrieben somit das Ausmaß, in welchem sich die Zähne der aktiven und reaktiven Einheit nach Kraftapplikation bewegen dürfen (Goldman und Gianelly 1972). Unter maximaler Verankerung versteht man, dass bei einer Extraktionstherapie der Lückenschluss allein durch Distalisieren der Eckzähne und Retraktion der Frontzähne von mesial erreicht werden soll, dabei wird das Seitenzahnsegment maximal verankert. Bei der moderaten Verankerung, auch mittlere, midi oder reziprok genannt, erfolgt der Lückenschluss von mesial und distal in gleichen Beträgen ( $actio = reactio$ ). Bei der minimalen Verankerung erfolgt der Lückenschluss durch Mesialisieren des Seitenzahnsegments (Kahl-Nieke 2001).

Diedrich definierte 1993 die kieferorthopädische Verankerung als „das Abfangen oder den kontrollierten Einsatz reaktiver Kräfte und Momente in der sagittalen, vertikalen und transversalen Ebene“ (Diedrich 1993). Bei der Verankerungsplanung muss die jeweilige Verankerungssituation und die biologische Verankerungsqualität der Zähne

genau analysiert werden. Demzufolge ist zu erwähnen, dass das Widerstandspotential der Ankerzähne durch drei Faktoren beeinflusst wird:

1. Desmodontale Verankerungsqualität
2. Steigerung der biologischen Verankerung
3. Muskelaktivität / okklusale Kräfte (Diedrich 1993)

Zu 1.) Jespen maß 1963 in einer Studie die Wurzeloberflächen der gesamten Ober- und Unterkieferdentition und kam zum folgenden Ergebnis: die Wurzeloberfläche der Zähne M<sub>2</sub>, M<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>1</sub> im Unterkiefer haben bei einem physiologischen Attachmentniveau eine Wurzeloberfläche von insgesamt 2500 cm<sup>2</sup> und die Front- und Eckzähne insgesamt nur 1200 cm<sup>2</sup>. Im Oberkiefer beträgt die Größe der Wurzeloberfläche der Seitenzähne insgesamt 2640 cm<sup>2</sup> und die der Frontzähne insgesamt 1310 cm<sup>2</sup> (Jepsen 1963). Ein weiterer Aspekt ist das Attachmentniveau, das für die Verankerungsqualität der Zähne von Bedeutung ist. Aufgrund der Konusform der Wurzeln wird bei Attachmentverlust die Verankerungsqualität der Zähne beeinträchtigt. Beispielsweise kann bei einer Reduktion des marginalen Knochens um 5 mm bei einem unteren Prämolaren ein Verlust der Verankerungsfläche um 50% die Folge sein (Schroeder 1992). Die Verankerungsqualität ist außerdem noch von der Dichte und der Struktur des Alveolarknochens abhängig. Die Kompakta kann aufgrund ihrer gegenüber der Spongiosa höheren Knochendichte höheren Widerstand gegenüber unerwünschten Zahnbewegungen aufbauen (Diedrich 1993).

Zu 2.) Diese Eigenschaft wird durch gezielte Positionsveränderung der Zähne (Molarenwurzel) für die desmodontale Verankerung genutzt. Mit dem Einsatz des Utility-Bogens hat Ricketts das Phänomen der Kortikalisverankerung beschrieben. Der Utility-Bogen kann durch Informationen, die in den Bogen gebogen werden (Tip back, Toe in, bukkaler Wurzeltorque und Expansion) die Molaren gegen die vestibuläre Kortikalis bewegen (Ricketts et al. 1988). Im Unterkiefer kann aufgrund der breiten Kompakta eine gute Verankerung erzielt werden, dies ist jedoch im Oberkiefer aufgrund der fragilen Knochenlamelle etwas problematischer. Diese Art der Verankerung kann allerdings Wurzelresorptionen verursachen, da die Molaren nach dem Nutzen der Verankerung wieder repositioniert werden müssen (Diedrich 1993). Auch Tweed hat durch Positionsveränderung der Zähne ein Verankerungskonzept beschrieben. Es wurden Tip-back-Biegungen für die Unterkiefermolaren und Prämolaren vorgenommen und

Klasse-III-Züge eingehängt, um die vertikale Position der Unterkieferfrontzähne zu erhalten. Der Lückenschluss erfolgte dann mit Closing Loops. Erst nach erfolgtem Lückenschluss im Unterkiefer erfolgte dann die Extraktion im Oberkiefer, denn die vollständige Dentition des Oberkiefers hatte den Klasse-III-Zügen als Verankerung gedient. Die Lücken im Oberkiefer wurden dann schließlich mithilfe von Klasse-II-Zügen geschlossen (Tweed 1941). Carrière beginnt mit der Extraktionstherapie im Oberkiefer unter Einsatz eines Headgears, später erfolgt der Lückenschluss im Unterkiefer mit Klasse-III-Zügen (Carrière 1985). Durch den intensiven Einsatz der intermaxillären Gummizüge kann es bei vertikalem Wachstumsmuster und schwacher Kaumuskulatur oder bei reduziertem Attachment zur Molarenextrusion führen (Diedrich 1993). Als weitere Verankerung ist die desmodontale Verankerung zu erwähnen. Ein gezieltes Ankylosieren der Verankerungszähne wird von Shapiro und Kokich (1984) und Guyman et al. (1980) empfohlen, dabei wird der Zahn extrahiert, die Wurzeloberfläche kurretiert und anschließend der Zahn in eine künstlich geschaffene Alveole implantiert (Guyman et al. 1980, Shapiro und Kokich 1984). Nach einer sechswöchigen Einheilungsphase dient der ankylosierte Zahn als natürliches Implantat.

Zu 3.) Die biologische Verankerungsqualität der Zähne hängt auch von der Muskelaktivität und den okklusalen Kräften ab (Diedrich 1993).

## 2.2 Skelettale Verankerung

In der Kieferorthopädie haben sich als temporäre skelettale Verankerungselemente sowohl das Gaumenimplantat als auch das orthodontische Miniimplantat etabliert. Da die Bezeichnung TAD (temporary anchorage devices) streng genommen auch konventionelle Verankerungselemente bezeichnen würde, ist der Begriff TSAD (temporary skeletal anchorage devices) für temporäre skelettale Verankerungselemente zutreffender (Choo et al. 2009, Hourfar und Lisson 2017). Eine complianceunabhängige, ästhetisch uneingeschränkte kieferorthopädische Behandlung ist, vor allem auch bei Erwachsenen, in der modernen Kieferorthopädie durch den Einsatz von TSADs weit verbreitet. Das Behandlungsspektrum wird durch die Möglichkeiten der skelettalen Verankerung erweitert. Die Verankerung wird vom Behandler bestimmt und ist somit nicht den unkalkulierbaren Reaktionen des Desmodonts überlassen (Wehrbein und Göllner 2007).

Aufgrund der erhöhten Ausfallrate der im Alveolarknochen inserierten Minischrauben sind die drehmomentresistenten Gaumenimplantate von großem Interesse. Sie zeigen eine 1,92-fach niedrigere Verlustrate als Minischrauben (Schätzle et al. 2009). Jung et al. wiesen 2012 in einer multizentrischen Untersuchung eine Verlustrate von 4,6% nach. 11 von 239 inserierten Gaumenimplantaten gingen in einem Untersuchungszeitraum von 10 Jahren verloren; neun Gaumenimplantate während der Heilungsphase und zwei unter funktioneller Belastung (Jung et al. 2012a). 2014 führten Rodriguez et al. eine Literaturrecherche durch, in der die Verlustraten von Minischrauben untersucht wurden. Das Ergebnis zeigte, dass die Überlebensrate der Minischrauben ortsabhängig ist: diejenigen, die in den vorderen Gaumen gesetzt werden, zeigen jedoch höhere Erfolgsraten (Rodriguez et al. 2014). In diversen Studien wird berichtet, dass sowohl Gaumenimplantate als auch Minischrauben, die in den vorderen Gaumen gesetzt werden, eine gute Basis für eine Suprakonstruktion bieten, um verschiedene Behandlungsaufgaben durchführen zu können (Jung et al. 2009, Jung et al. 2010, Nienkemper et al. 2012 Wehrbein et al. 1996a). In der nachfolgenden Tabelle wird der Vergleich zwischen der konventionellen Verankerung (Headgear, Delairemaske, Klasse-II-Gummizüge, usw.) zur skelettalen Verankerung aufgeführt (Tabelle1).

Tabelle 1: Vergleich konventionelle Verankerung mit TSAD (temporary skeletal anchorage devices)

	Konventionelle Verankerung	TSAD
Compliance nötig?	ja	nein
Positionsstabilität der Verankerung?	ja	nein
Chirurgischer Eingriff nötig?	nein	ja
Zusatzkosten?	nein	ja
Eventuelle Schädigung von Verankerungszähnen?	ja	nein
Alter des Patienten	Jedes Alter, wenn keine PA-Schädigung	Ab 11 Jahre
Behandlung bei fortgeschrittenem Attachmentverlust?	nein	ja
Behandlung bei reduzierter Zahnzahl?	nein	ja
Vermeidung von Nebenwirkungen?	nein	ja
Reduktion der Behandlungsdauer?	nein	ja
Verbesserte Ästhetik?	nein	ja

### 2.3 Enossale Implantate

Implantate sind alloplastische Materialien, die in Körpergewebe eingesetzt werden (Schlegel und Neukam 2002). Die in der Zahn- und Humanmedizin eingesetzten Implantate bestehen in der Regel aus einer Titanlegierung. Titan hat viele bemerkenswerte Eigenschaften, es ist u.a. biokompatibel, röntgenopak und korrosionsbeständig (Kappert 2005). Durch den technischen Fortschritt und die Weiterentwicklung der

Materialien konnten in der Kieferorthopädie neue Behandlungstechniken eingeführt werden, u.a. stehen neue Möglichkeiten der skelettalen Verankerung zur Verfügung. Diverse experimentelle Studien belegen, dass in den Alveolarfortsatz inserierte osseointegrierte prothetische Implantate orthodontischen Kraftapplikation widerstehen und somit zur maximalen intraoralen Verankerung in Form von orthodontisch-prothetische Nutzung herangezogen werden können (Creekmore und Eklund 1983, Gainsforth und Higley 1945, Gray et al. 1983, Ödman et al. 1994). 1996 beschrieben Wehrbein et al., dass in den Alveolarfortsatz inserierte Implantate als orthodontische Behandlung bei einer vollständigen Dentition oder bei zu schließenden Extraktionslücken keine Anwendung finden können, da aufgrund der durchzuführenden Zahnbewegungen in diesen Fällen die Pars alveolaris als Insertionsort nicht zur Verfügung steht. Zwangsläufig müssen orthodontische Verankerungsimplantate in andere topographisch-anatomische Regionen inseriert werden, wie zum Beispiel im Gaumen (Wehrbein et al. 1996b). Dieser hat jedoch ein geringeres vertikales Knochenangebot (Triaca et al. 1992, Wehrbein 1994, Wehrbein et al. 1996b). 2009 wurde in einer Studie von Wehrbein nachgewiesen, dass die Knochendichte des Hartgaumens höher ist als im Alveolarknochen und somit eine gute Primärstabilität der TSADs erreicht werden kann (Wehrbein 2009). Wehrbein und Göllner schrieben: „Die folgenden anatomischen Regionen wurden für den Einsatz von skelettalen orthodontischen Verankerungselementen beschrieben:

- das interradikuläre Septum des bezahnten Alveolarfortsatzes,
- der supraapikale und infrazygomatikale Bereich,
- der retromolare Bereich des Unterkiefers und
- der mediane oder paramediane anteriore Gaumen“ (Wehrbein und Göllner 2007).

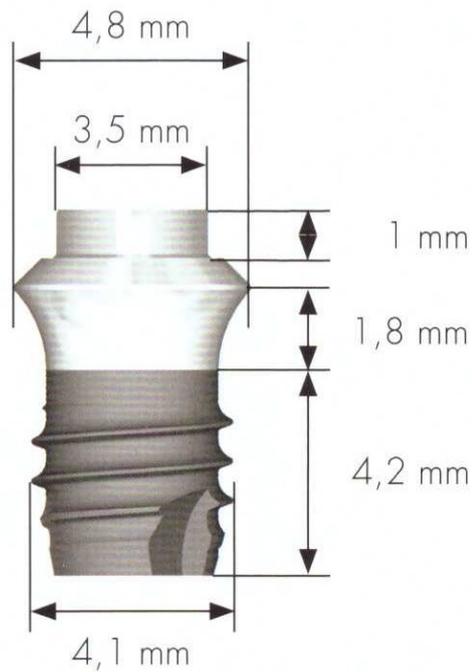
1993 haben Wehrbein und Diedrich in einer durchgeführten tierexperimentellen Studie nachgewiesen, dass osseointegrierte Titanimplantate während einer Kraftapplikation von 2N stabil bleiben und somit als Verankerungselemente für eine länger andauernde orthodontische Zahnbewegung geeignet sind. In der Studie wurden bei zwei Foxhounds (3 Jahre alt, männlich) jeweils sechs Prämolaren extrahiert und nach einer Alveolenheilungsphase (12 Wochen) pro Hund sechs Brånemark<sup>®</sup>-Implantate (Durchmesser 3,75 mm, Länge 10 mm) in die abgeheilten Extraktionsbereiche inseriert. Die Eingliederung der fertiggestellten orthodontischen Apparatur erfolgte nach 25 Wochen

Implantateinheilungsphase. Es fanden keine klinischen Implantatdislokationen statt. Um die Osteodynamik zu dokumentieren, erfolgte eine Infusion kalziumaffiner Farbstoffe in jeder zweiten Woche. Nach 26-wöchiger Kraftapplikationsphase wurden die Tiere geopfert, um die histologischen Präparate gewinnen zu können. Diese zeigten, dass die kontinuierliche Kraftapplikation eine marginale Knochenapposition an den Implantaten induzieren kann (Wehrbein und Diedrich 1993).

Wehrbein beschrieb 2000, dass orthodontische Verankerungsimplantate folgende Anforderungen erfüllen sollten: Positionsstabilität, geringe Belastung bei Im- und Explantation, zuverlässige Fixierung orthodontischer Drähte und einfache Handhabung (Wehrbein 2000).

## **2.4 Gaumenimplantat Orthosystem**

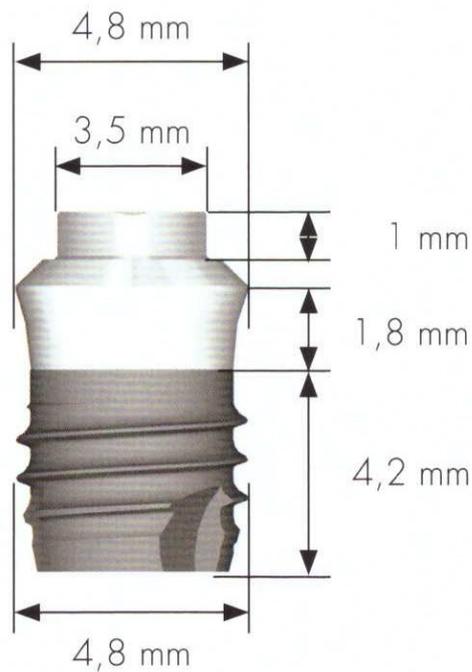
Gaumenimplantate sind längenreduzierte Implantate aus Titan, die seit 1996 auf dem Markt sind. Gaumenimplantate leiten sich aus der konventionellen Implantat-Technik ab. Sie sind speziell für die Anwendung im Gaumen konzipiert worden (Jung und Kunkel 2016). Das Gaumenimplantat Orthosystem (Straumann®, Peter Merian-Weg 12, 4052 Basel, Schweiz) (siehe Abbildung 1) ist ein Titanimplantat (Reintitan) und gliedert sich in vier Abschnitte: ein selbstschneidendes Gewinde (enossaler Teil), das einen Durchmesser von 4,1 mm oder 4,8 mm hat, eine SLA®-Oberfläche (sandblasted, large grid, acid-etched), die der Oberflächenvergrößerung dient (die Länge beträgt 4,2 mm als enossaler Teil des Implantats), der zylindrische transmukosale Halsteil, der eine Höhe von 1,8 mm aufweist, sowie eine verschraubbare, orthodontische Aufbaukappe (Institut Straumann® AG 2006, Züger et al. 2015).



Ø 4,1 mm  
Art.-Nr. 042.335S



Aufsicht



Ø 4,8 mm  
Art.-Nr. 042.336S



Aufsicht

**Abbildung 1:** Gaumenimplantat (Straumann®, Basel, Schweiz) ist in zwei verschiedenen enossalen Durchmessern erhältlich (4,1 mm und 4,8 mm). Der enossale Teil des Implantats mit SLA®-Oberfläche hat eine Länge von 4,2 mm. Der glatte Hals des Implantats weist eine Höhe von 1,8 mm auf (Basisinformationen zum Palatal Implant / Institut Straumann® AG 2006).

Mithilfe des Orthosystems kann eine maximale orthodontische Verankerung im Gaumen erreicht werden. 1996 wurde in einer Pilotstudie von Wehrbein et al. bei sechs Patienten mit einer Angle Klasse II/1 ein Ortho-Implantat® in den midsagittalen Bereich des anterioren Gaumens inseriert. Die Implantatbelastung erfolgte nach einer dreimonatigen Einheilungsphase. Neun Monate lang wurden die Implantate während der orthodontischen Behandlung belastet. Während dieser Behandlung wurden die ersten Prämolaren extrahiert und die Extraktionslücken allein durch die Retraktion der Front bei maximaler Verankerung der Seitenzähne ohne complianceabhängige Behandlungshilfen, wie Headgear oder Klasse-II-Gummizüge, geschlossen. Als alleinige Verankerung wurde das osseointegrierte Implantat verwendet. Die Behandlungen wurden mit Erfolg abgeschlossen (Wehrbein et al. 1996b). Somit stellt das Gaumenimplantat (Straumann®, Basel, Schweiz) eines der sichersten skelettalen Verankerungskonzepte im Gaumen dar (Jung et al. 2011a; Jung et al. 2012b). Bei einer zwölfwöchigen Einheilungsphase des Gaumenimplantats beträgt die Knochenbedeckungsrate zwischen 34% – 93% (Wehrbein et al. 1998). Indikationsspektren für das Gaumenimplantat sind eine unzureichende desmodontale Verankerungsmöglichkeit bei fortgeschrittenem Attachmentverlust und reduzierter Zahnzahl, Vermeidung von Nebenwirkungen konventioneller Verankerungshilfen sowie Reduktion der Tragedauer der Apparatur und eine verbesserte Ästhetik (Wehrbein und Göllner 2007).

Das Orthosystem® kann aufgrund seiner kurzen enossalen Länge (nur 4,2 mm) den Ansprüchen des Gaumens gerecht werden. In diversen Studien wurde über den medianen oder paramedianen anterioren Gaumen als Insertionsort für skelettale orthodontische Verankerungsmittel berichtet (Bantleon et al. 2002, Bernhart et al. 2000, Crismani et al. 2006, Glatzmaier et al. 1996, Wehrbein und Merz 1998, Wehrbein et al. 1999). Diese Erkenntnis führte dazu, dass seither die moderne Kieferorthopädie immer häufiger zum Einsatz von skelettalen Verankerungsmitteln, wie Kortikalischrauben und Gaumenimplantaten greift und die complianceabhängigen intra- und extraoralen Verankerungsmitteln wie Headgear, Delairemaske und herausnehmbare Apparaturen in den Hintergrund drängen (Berens et al. 2006, Kyung et al. 2003, Park 2003, Wehrbein et al. 1996b, Wehrbein et al. 2008, Wiechmann et al. 2007). Skelettale Verankerungen für kieferorthopädische Behandlungszwecke waren Teil vieler Untersuchungen (Meursinge Reynders et al. 2012, Migliorati et al. 2013, Papageorgiou et al. 2012, Schätzle et al. 2009). Insbesondere drehmomentresistente TSADs, wie das

Gaumenimplantat und Minischrauben, weckten das Interesse für complianceunabhängige, ästhetisch uneingeschränkte kieferorthopädische Behandlungen. In Tabelle 2 ist eine Gegenüberstellung zwischen Gaumenimplantaten und Minischrauben aufgelistet.

Tabelle 2: Gegenüberstellungen Gaumenimplantat vs. Minischrauben

	Gaumenimplantat	Minischrauben
Verletzungsgefahr der Zähne und der umliegenden Struktur	selten	ja (Zahnwurzel)
Häufigkeit chirurgischer Eingriffe	1x bei Implantation 1x bei Explantation	1x bei Implantation 1x bei Explantation
Anzahl der Verankerungselemente	1 Implantat	ggf. mehrere Schrauben notwendig
Verankerungsverlust	nein	ja
Implantatverlust	selten	häufig

## 2.5 Direkte und indirekte skelettale Verankerung

Bei einer direkten skelettalen Verankerung wird das skelettale Verankerungssegment zur Bewegung eines Zahnes oder Zahnsegments direkt belastet. Hingegen wird bei einer indirekten skelettalen Verankerung ein Zahn oder eine Zahngruppe mit dem skelettalen Verankerungselement verbunden (z.B. Transpalatinalbügel). Dieser skelettal verankerte Zahn wird dann durch die Kraftquelle zur Bewegung anderer dentaler Verankerungseinheiten belastet (Wehrbein und Göllner 2007).

## 2.6 Chirurgische Insertion

Die Vorgehensweise beim Einsetzen eines Gaumenimplantates ist ähnlich wie bei herkömmlichen Zahnimplantaten. Das Gaumenimplantat wird auf Höhe der ersten Prämolaren dorsal der rugae palatina im medianen oder paramedianen anterioren Gaumenbereich gesetzt. Mithilfe einer kleinen Mukosa-Stanze wird die palatinale Schleimhaut an der Insertionsstelle entnommen. Eine Kugelfräse, die zur Ankörnung dient,

wird bis zur Hälfte in den Knochen versenkt. Mithilfe des Spiralbohrers des Ortho<sup>®</sup>-Instrumentariums wird das Implantatlager aufbereitet. Abschließend wird das selbstschneidende Implantat mit einer Ratsche eingebracht und mit einer Einheilkappe versorgt (Jung et al. 2012b) (siehe Abbildung 2). Die Patienten werden nach der Insertion des Gaumenimplantates über die notwendige Mundhygiene aufgeklärt. Bei Bedarf einer postoperativen Analgesie wird ein Schmerzmittel verordnet. Bei der Insertion des Gaumenimplantats in den medianen oder paramedianen Gaumen besteht selten eine Gefahr der Verletzung von Zahnwurzeln oder umliegender anatomischer Strukturen (Wehrbein und Göllner 2007), die Insertion von Minischrauben jedoch kann zu Komplikationen führen (Hembree et al. 2009, Kuroda et al. 2007), wie z.B. eine Verletzung der Zahnwurzel. Gaumenimplantate werden nach der kieferorthopädischen Behandlung mit einem maschinell angetriebenen Trepanbohrer (Wehrbein und Göllner 2007) oder mittels Piezochirurgie wieder entfernt (Züger et al. 2015). Da beide Verfahren invasive Eingriffe sind, können bei der Entfernung der Implantate Komplikationen auftreten. Durch neuere Studien wurde ein weniger invasives Verfahren entwickelt. Mittels eines Ausdrehwerkzeuges, das eine kongruente Dreiecksform zum Gaumenimplantat hat, kann das Implantat unter Lokalanästhesie durch Rausdrehen wieder entfernt werden (Züger et al. 2015).



**Abbildung 2:** Gaumenimplantat mit Einheilkappe

## 2.7 Behandlungsschritte zur Herstellung einer Suprakonstruktion

Ca. zehn bis zwölf Wochen nach Insertion kann das Gaumenimplantat belastet werden. Zur Herstellung der Suprakonstruktion wird eine Abformung des Oberkiefers genommen. Dabei wird die Einheilkappe abgenommen und eine konfektionierte

Abformkappe auf das Gaumenimplantat gesetzt, bis diese einrastet. Danach kann der Oberkiefer mit Alginat abgeformt werden. Dabei muss die Abformkappe positionsstabil als Negativ in der Abformmasse sitzen. Der Patient wird dann wieder mit einer Einheilkappe entlassen (Jung et al. 2012b). Im Labor wird dann auf die Abformkappe ein Manipulierimplantat gesetzt, das wiederum nach Herstellen des Gipsmodells die exakte Position des Gaumenimplantates wiedergibt. Darauf wird die geplante Konstruktion durch geeignete Laborverfahren hergestellt. Die Gestaltung der Suprakonstruktion ist abhängig von den Behandlungsaufgaben.

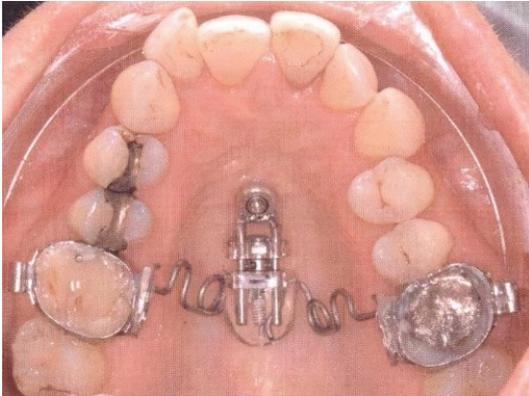
## **2.8 Die Suprakonstruktion**

Nach einer zwölfwöchigen Einheilphase des Gaumenimplantates erfolgt die Abformung des Gaumens mit einem in das Gaumenimplantat gesetzten Abdruckpfosten. Somit kann nach Herstellung des Gipsmodells eine für die individuellen Verankerungszwecke konzipierte Suprakonstruktion hergestellt werden. Die Suprakonstruktion ist eine durch das Gaumenimplantat gestützte Konstruktion, mit der man je nach Gestaltung der Konstruktion die Möglichkeit zur gewünschten Zahnbewegung schafft. Die Suprakonstruktion wird individuell, je nach Behandlungsaufgaben und -indikation, entweder zur direkten (z.B. Pendulum Apparatur; Abb. 3) oder indirekten Verankerung (z.B. Trans-/Palatinalbügel) durch den Zahntechniker im Labor hergestellt. Die Materialien sind orthodontische Drähte aus Stahl. Die einzelnen Elemente werden miteinander durch den Einsatz eines Laserschweißgerätes verbunden (Jung et al. 2012b; Jung et al. 2012c). Im Folgenden werden sechs unterschiedliche Behandlungsaufgaben der Suprakonstruktion dargelegt.

### *a. Behandlungsaufgabe: Distalisieren*

Zum Distalisieren der Seitenzähne im ersten und zweiten Quadranten kann eine implantatgestützte Pendulum-Apparatur gesetzt werden (siehe Abbildung 3). Dabei werden jeweils Bänder auf den ersten Oberkiefermolaren (Mo- oder Bipendulum) und ggf. auch auf den zweiten Oberkiefermolaren (Quadpendulum) angebracht, die über eine Pendulumfeder aus Stahl- oder TMA<sup>™</sup>-Draht mit einer Kunststoffpelotte am vorderen

Gaumen verbunden sind. In die Kunststoffpelotte ist eine Distalschraube eingearbeitet, die wiederum mit dem Abutment des Gaumenimplantats verschweißt ist.



**Abbildung 3:** Mainzer Implantat Pendulum (MIP) (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)

Mithilfe dieser Apparatur werden die Molaren durch Aktivierung der Distalschraube und TMA<sup>TM</sup>-Federn distalisiert. Die Molaren erfahren durch die Aktivierung der Feder einen pendelartigen Bogenradius. Zur Reduzierung dieses unerwünschten Effekts sollten die Helices der TMA<sup>TM</sup>- bzw. Stahl-Federn möglichst nahe der Gaumenmitte liegen. Auf diese Weise wird der Radius der Kreisbögen vergrößert. Bei dieser Mechanik handelt es sich um eine direkte Implantatverankerung.

Vor Eingliederung der Apparatur muss Folgendes beachtet werden:

- die TMA<sup>TM</sup>-Bögen müssen um ca. 40-45° nach distal aktiviert werden
- um eine distale Kronenkipfung zu vermeiden, muss eine Aufrichte-Aktivierung erfolgen
- durch eine Toe-in-Biegung wird die Rotation der Molaren in distobukkaler Richtung vermieden.

Die Distalschraube wird intraoral sechs- bis achtmal pro Sitzung aktiviert. Durch die Verlagerung des Drehmittelpunkts und eine Neuanpassung des Kreisbogens bei der Aktivierung der Schraube erfahren die Molaren eine körperliche Bewegung/Distalisierung. Die reziproken Kräfte, beispielsweise Mesialisieren der anterioren Dentition, werden ossär abgefangen (Jung et al. 2012b).

Als weitere Apparaturen zum Distalisieren sind die Distal-Jet-Apparatur und das bogengeführte Druckfedersystem zu erwähnen. Die Apparaturen können ein- oder

beidseitig gestaltet werden. Sie bestehen aus einer Feder-Teleskop-Steckverbindung, die mit einem individuell gebogenen Draht an Molarenbändern fixiert ist, oder Druckspiralfedern zwischen den durch das GI ankylosierten Verankerungszähnen und den zu bewegenden Zähnen. In diesen Fällen sind die Distalbewegungen geradlinig, weil starre Führungsstäbe bzw. -bögen als Leitschiene dienen. Durch die direkte ossäre Verankerung werden auch hier die unerwünschten reziproken Kräfte abgefangen (Jung et al. 2012b) (Abbildung 4 und 5).



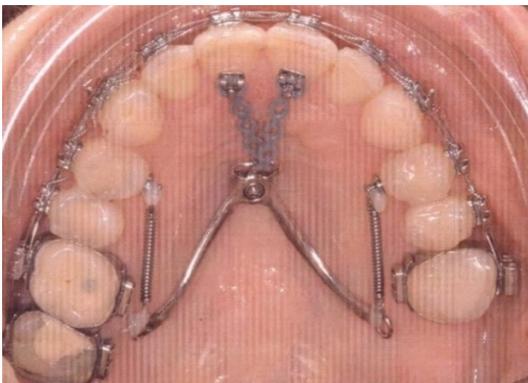
**Abbildung 4:** Beidseitige Distal-Jet Apparatur (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)



**Abbildung 5:** Einseitige Distal-Jet Apparatur (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)

Eine weitere Möglichkeit zum Distalisieren ist die Kombination implantatgestützter Palatinalbögen mit einer vestibulär oder lingual angebrachten Multibracketapparatur. Die Suprakonstruktion besteht aus zwei Drahtextensionen (Stainless Steel) nach dorsal,

die in einer Öse enden. Hier werden elastische Gummiketten oder Ni-Ti-Zugfedersysteme eingehängt (ca. 150p pro Seite) und mit der anterioren Dentition verbunden, um so die Front- und Seitenzähne distalisieren zu können. Da hierbei Nebenwirkungen wie Kippung der Okklusionsebene bzw. Entstehung eines Tiefbisses auftreten können, wird zur Vermeidung im anterioren Bereich der Suprakonstruktion ein halbmondförmiges Attachment angelötet, das wiederum mit den Frontzähnen durch Gummiketten (ca. 75p) verbunden ist, um eine Extrusion der Front zu vermeiden (Jung et al. 2012b) (Abbildung 6).



**Abbildung 6:** Implantatgestützter Palatinalbogen mit Drahtextensionen nach dorsal. Zur Vermeidung einer Extrusion der Frontzähne dienen Gummiketten, die mit der Suprakonstruktion und den Frontzähnen verbunden sind (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz).

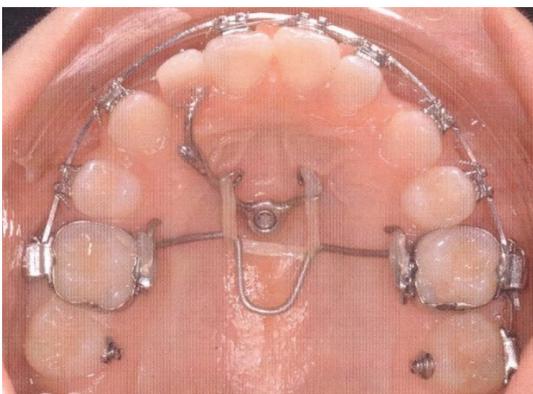
*b. Behandlungsaufgabe: Mesialisieren im Oberkiefer*

Zum Mesialisieren der Seitenzähne im Oberkiefer oder für einen Lückenschluss von distal können Gummiketten oder Federn zwischen Ösen an der Suprakonstruktion und Power-Hooks an den zu bewegenden Zähnen gespannt werden. Die Power-Hooks werden palatinal an den zu bewegenden Zähnen befestigt, entweder mit Composite direkt auf den Zahn geklebt oder über Molarenbänder fixiert (Abbildung 7).



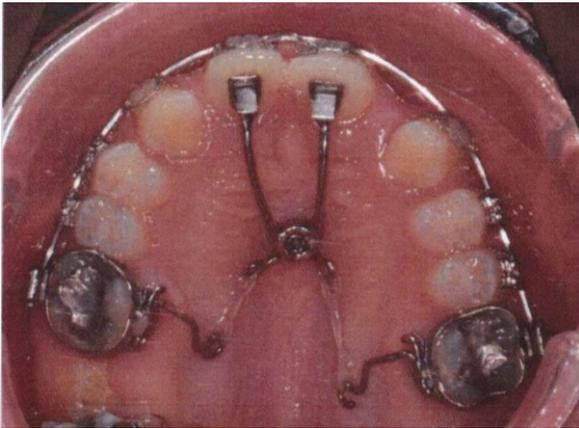
**Abbildung 7:** Einseitiges Mesialisieren (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)

Für ein beidseitiges Mesialisieren im Oberkiefer kann man die Frontzähne mithilfe einer Suprakonstruktion in V-Form mit dem Abutment des Gaumenimplantats starr verbinden und somit über Gummiketten die Molaren, die mit einem Transpalatinalbügel verbunden sind, mesialisieren (Abbildung 8).



**Abbildung 8:** Beidseitiges Mesialisieren durch Transpalatinalbogen (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)

In Abbildung 9 wird mithilfe von Power-Hooks beidseitig mesialisiert.



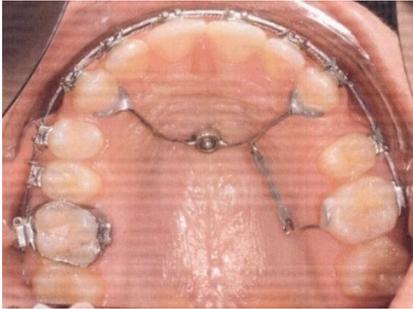
**Abbildung 9:** Beidseitiges Mesialisieren durch Power-Hooks (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)

*c. Behandlungsaufgabe: Mesialisieren im Unterkiefer*

Zum Mesialisieren der Seitenzähne im Unterkiefer kann man Klasse-II-Gummizüge einhängen (Abbildung 10). Die Befestigung der Gummizüge im Oberkiefer erfolgt an den durch die Suprakonstruktion temporär ankylosierten Eckzähnen (siehe Abbildung 11) (indirekte skelettale Verankerung) oder direkt an der Suprakonstruktion mittels Ösen (direkte Verankerung).



**Abbildung 10:** Mesialisieren im UK durch Klasse-II-Gummizüge (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)



**Abbildung 11:** Mesialisieren im OK und UK durch Verankerung der Eckzähne im Oberkiefer (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) (Es handelt sich um denselben Patienten wie in Abb. 10)

*d. Behandlungsaufgabe: Intrudieren*

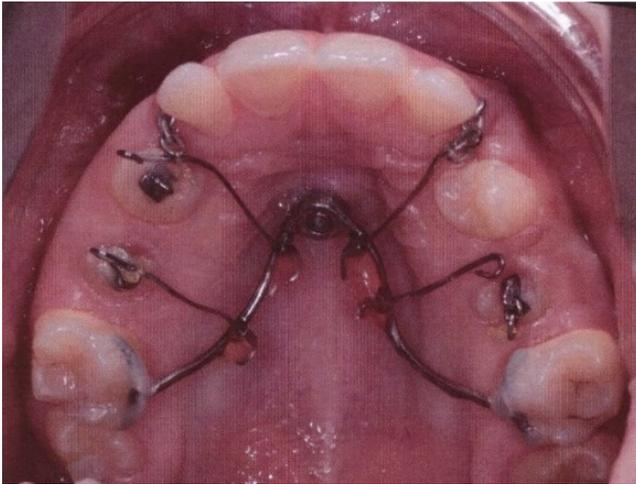
Zum Intrudieren einzelner Zähne oder Zahngruppen dient als maximale Verankerung ein Ausleger, der mit dem GI-Abutment verbunden ist. Gegen diesen können einzelne Zähne, die palatinal mit einem Knöpfchen versehen sind, durch Gummiketten intrudiert werden (Abbildung 12).



**Abbildung 12:** Intrusion Zahn 14, 15 und 16; Ersetzen eines Zahnes (11) und Distalisieren und Dero-  
tieren Zahn 26 (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)

e. *Behandlungsaufgabe: Extrudieren*

Bei der Extrusion verlagelter Zähne werden die ersten Molaren mithilfe eines am Implantatabutment fixierten TPA maximal verankert. Mithilfe von Stahl- oder TMA<sup>TM</sup>-Teilhögen, die über Crosswasher an der Suprakonstruktion befestigt sind, können die impaktierten Zähne eingestellt werden (Abbildung 13 und 14).



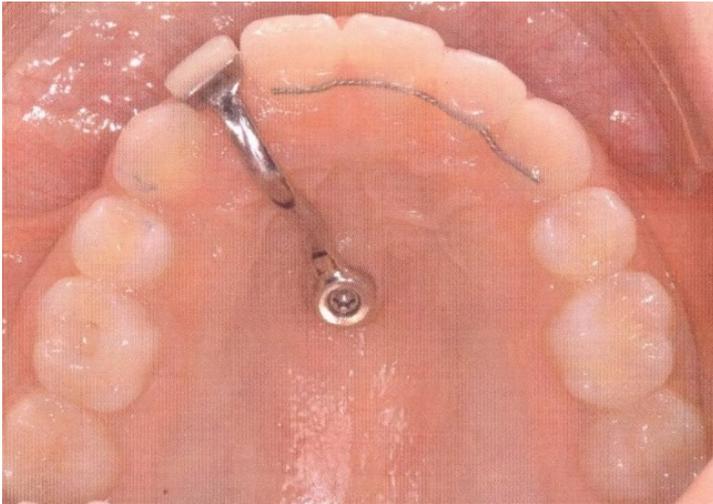
**Abbildung 13:** Extrusion mehrerer retinierter Zähne (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)



**Abbildung 14:** Extrusion eines retinierten verlagerten rechten oberen Eckzahns (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)

*f. Behandlungsaufgabe: Zahnersatz*

Mithilfe eines Auslegers kann die Suprakonstruktion sowohl als temporärer Zahnersatz als auch als dauerhafter Zahnersatz genutzt werden (Abbildung 15). Nach Abschluss des Wachstums kann die endgültige Versorgung der Lücken, z.B. mit Implantat und Krone, erfolgen.



**Abbildung 15:** Temporärer Ersatz regio 12 durch einen Zahn an der Suprakonstruktion (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)

### **3 Material und Methode**

Die lokale Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz erteilte am 15.01.2014 eine allgemeine Genehmigung für retrospektive, anonymisierte Studien. Die vorliegende Studie fällt unter diese Kategorie und benötigt daher keine eigene Anfrage bei der Ethikkommission.

#### **3.1 Patientengut**

In der vorliegenden retrospektiven Studie, vorveröffentlicht in Krieger et al., wurde das Patientenkollektiv der Poliklinik für Kieferorthopädie der Johannes Gutenberg Universität Mainz ausgewertet (Krieger et al. 2015). Die Unterlagen aller Patienten, die im Zeitraum von Januar 2009 bis Dezember 2012, unabhängig von Alter und Geschlecht, in kieferorthopädischer Behandlung waren, wurden in die Studie einbezogen.

#### **3.2 Ein- und Ausschlusskriterien**

Das Haupteinschlusskriterium der vorliegenden Arbeit ist die erstmalige Belastung einer Suprakonstruktion im Untersuchungszeitraum (Januar 2009 bis Dezember 2012). Als weiteres Kriterium dient die erfolgreiche Insertion eines Gaumenimplantats (zweite Generation, enossaler Anteil: Länge 4,2 mm; Durchmesser 4,1 mm; Ortho-System<sup>®</sup>, Straumann<sup>®</sup>, Basel, Schweiz), d.h. eine erfolgreiche Heilungsphase, keine Implantatmobilität oder unerwünschte Bewegung der Suprakonstruktion während der orthodontischen Belastung. Patienten mit multipler Aplasie (>2 Aplasien pro Quadrant), einer Gaumenspalte, anderen syndromassoziierten kraniofazialen Anomalien oder Fehlbildungen wurden ausgeschlossen. Nach der Rekrutierung wurde die Häufigkeit und das Indikationsspektrum mithilfe von Patientendokumentationen analysiert.

### 3.3 Chirurgisches Vorgehen

45 von den 56 Gaumenimplantaten wurden in der Abteilung für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie der Johannes Gutenberg-Universitätsmedizin Mainz inseriert und 11 Implantate in der Oralchirurgischen Abteilung der selbigen Universitätsmedizin.

Die Insertionen erfolgten alle unter lokaler Anästhesie. Alle Gaumenimplantate wurden mit Erfolg und ohne chirurgische Komplikation inseriert und nach einer mindestens zwölfwöchigen Einheilungsphase kieferorthopädisch belastet. Die Verlustrate der inserierten Gaumenimplantate während der kieferorthopädischen Behandlung lag bei 0%.

### 3.4 Auswertungsparameter

Von allen Patienten, die in den Jahren 2009 – 2012 Gaumenimplantat-gestützte Suprakonstruktionen erhalten hatten, wurden folgende Unterlagen analysiert:

- Patientenakten
- Fotodokumentationen
- Modelle
- Röntgenbilder
- Laboraufträge

Die Suprakonstruktionen wurden hinsichtlich der individuellen Funktionalität der Struktur in drei Unterklassen eingeteilt:

1. unifunktionale,
2. bifunktionale,
3. multifunktionale Behandlungsaufgaben

Unifunktionale Behandlungsaufgaben wurden als ein Kraftvektor definiert, bifunktionale Behandlungsaufgaben als zwei auftretende Kräfte und multifunktionale Behandlungsaufgaben als mehr als zwei Kraftvektoren.

Folgende Parameter der kieferorthopädischen Aufgaben mit Unterstützung der Suprakonstruktion wurden erhoben:

1. *Sagittale Zahnbewegung*
  - a) *Mesialisieren von  $\geq 1$  Zahn*
  - b) *Distalisieren von  $\geq 1$  Zahn*
  - c) *Beides (gleichzeitiges Mesialisieren und Distalisieren verschiedener Zähne)*
2. *Vertikale Zahnbewegung*
  - d) *Extrudieren von  $\geq 1$  Zahn*
  - e) *Intrudieren von  $\geq 1$  Zahn*
  - f) *Beides (gleichzeitiges Extrudieren und Intrudieren verschiedener Zähne)*
3. *Kieferorthopädische Bewegung von retinierten und/oder verlagerten Zähnen*
4. *Anzahl der Aufgaben der Suprakonstruktion*
5. *Quadranten, in denen mit Hilfe der Suprakonstruktion Zähne bewegt wurden*
6. *Direkte oder indirekte Verankerung*
7. *Art bzw. Design der Suprakonstruktion*
8. *Erneuerung von Klebestellen*
9. *Zeitlicher Ablauf der Behandlungsaufgaben*
10. *Anzahl der notwendigen Suprakonstruktionen während der Behandlung*

In dieser Studie wurden die Behandlungsergebnisse nicht beurteilt, daher kann keine Aussage über die Effizienz gemacht werden. Diese Untersuchung stellt ausschließlich eine deskriptive Analyse des vorhandenen Materials dar.

### **3.5 Statistische Auswertung**

Zur statistischen Analyse wurden alle erhobenen Daten für die weitere Bearbeitung anonymisiert.

Die Erfassung und deskriptive Analyse dieser Daten erfolgte mit der SPSS-Software (Statistical Package for Social Science) für Windows, Version 21.0 (SPSS-Software Corp., Chicago, IL, USA). Mittelwert, Minimum, Maximum und Standardabweichung (SD), sowie die relativen Häufigkeiten wurden ermittelt.

## 4 Ergebnisse

Von den insgesamt 1350 neu aufgenommenen Patienten in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz im Zeitraum von Januar 2009 bis Dezember 2012 erhielten 66 Patienten eine Gaumenimplantat-gestützte Suprakonstruktion. Von diesen 66 Patienten hatten 10 Patienten multiple Nichtanlagen (>2 fehlende Zähne pro Quadrant). In dieser Studie wurden die 56 Patienten ohne multiple Nichtanlagen untersucht (Abbildung 16).



Abbildung 16: Anzahl der behandelten Patienten

### 4.1 Anzahl und Alter der Patienten

Das Durchschnittsalter der 56 Patienten lag bei  $19,6 \pm 4,4$  Jahren; der jüngste Patient war 11 Jahre und der älteste Patient 52 Jahre alt (Abbildung 17).

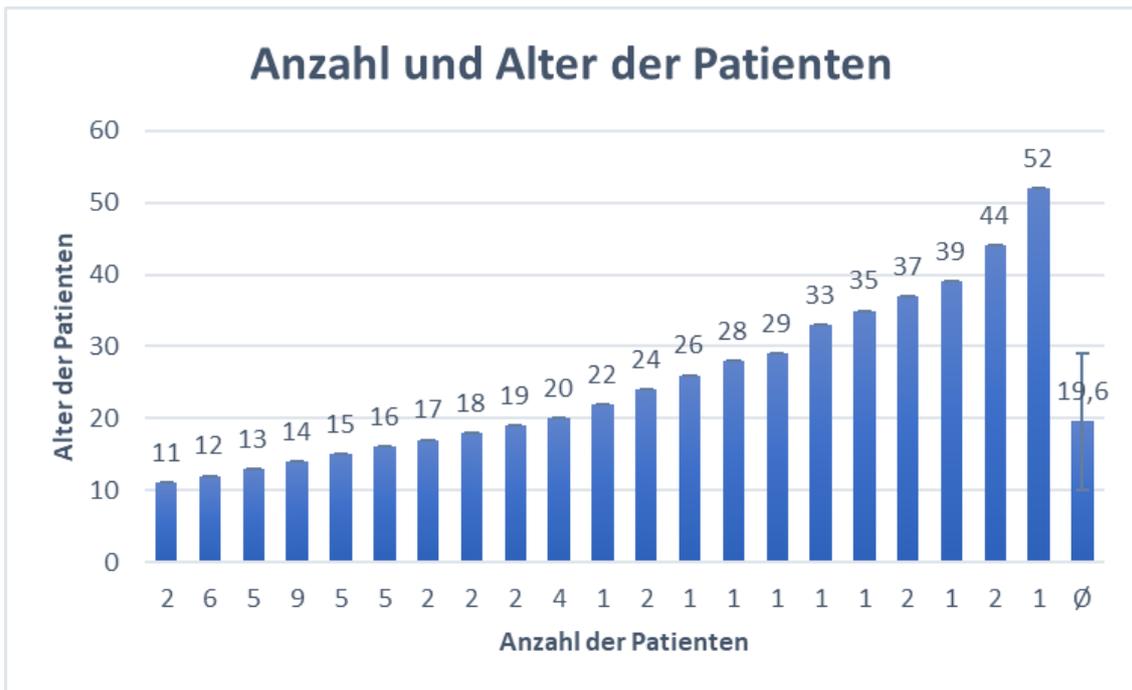


Abbildung 17: Anzahl der Patienten in den verschiedenen Lebensaltern

## 4.2 Geschlecht

Von den 56 der mit Suprakonstruktion behandelten Patienten waren 34 weiblich (60,7% der mit Suprakonstruktion behandelten Patienten) und 22 männlich (39,3% der mit Suprakonstruktion behandelten Patienten) (Abbildung 18).

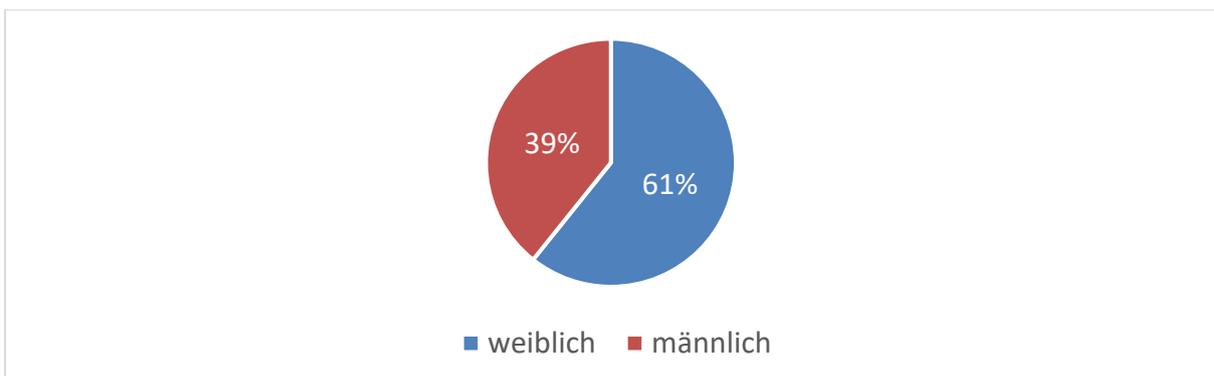
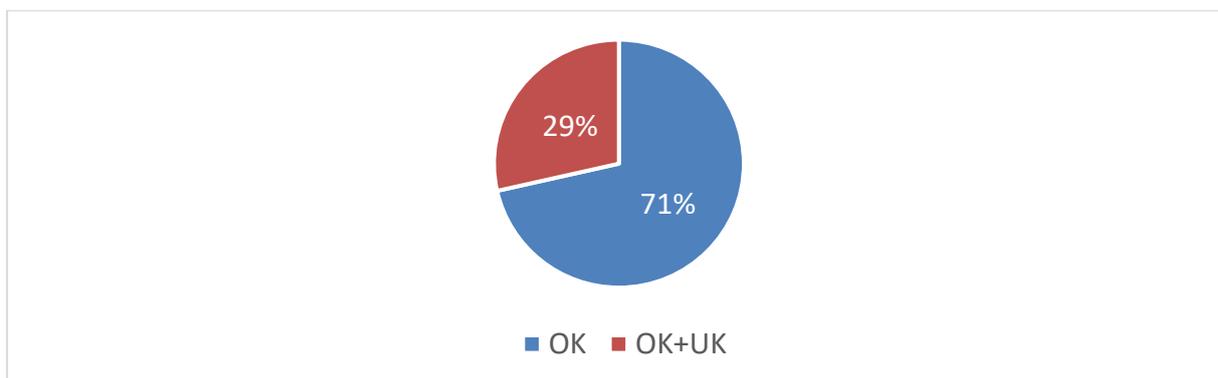


Abbildung 18: Geschlecht der untersuchten Patienten in Prozent

### 4.3 Zahnbewegung im Oberkiefer und Bewegung im Ober- und Unterkiefer

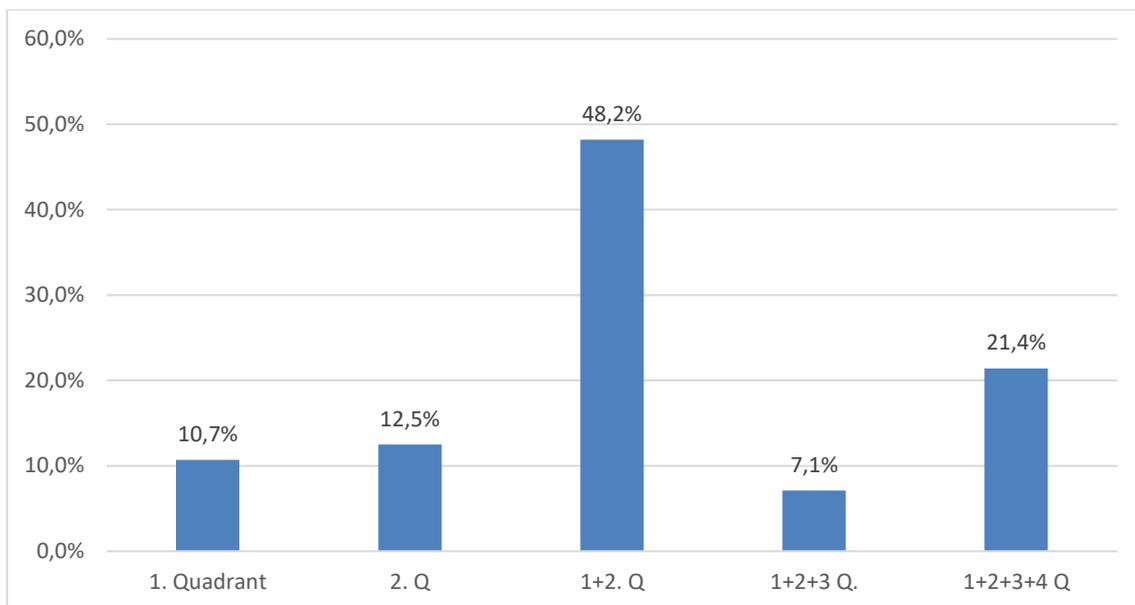
Bei 40 Patienten (71,4% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) wurde die skelettale Verankerung nur für Bewegungen im Oberkiefer (OK) und bei 16 Patienten (28,5% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) für Bewegungen in beiden Kiefern (OK + UK) genutzt (Abb. 19).



**Abbildung 19:** Zahnbewegung im Oberkiefer (OK) und Behandlung im Ober- und Unterkiefer (OK + UK)

### 4.4 Quadranten, in denen mit Hilfe der Suprakonstruktion Zähne bewegt wurden

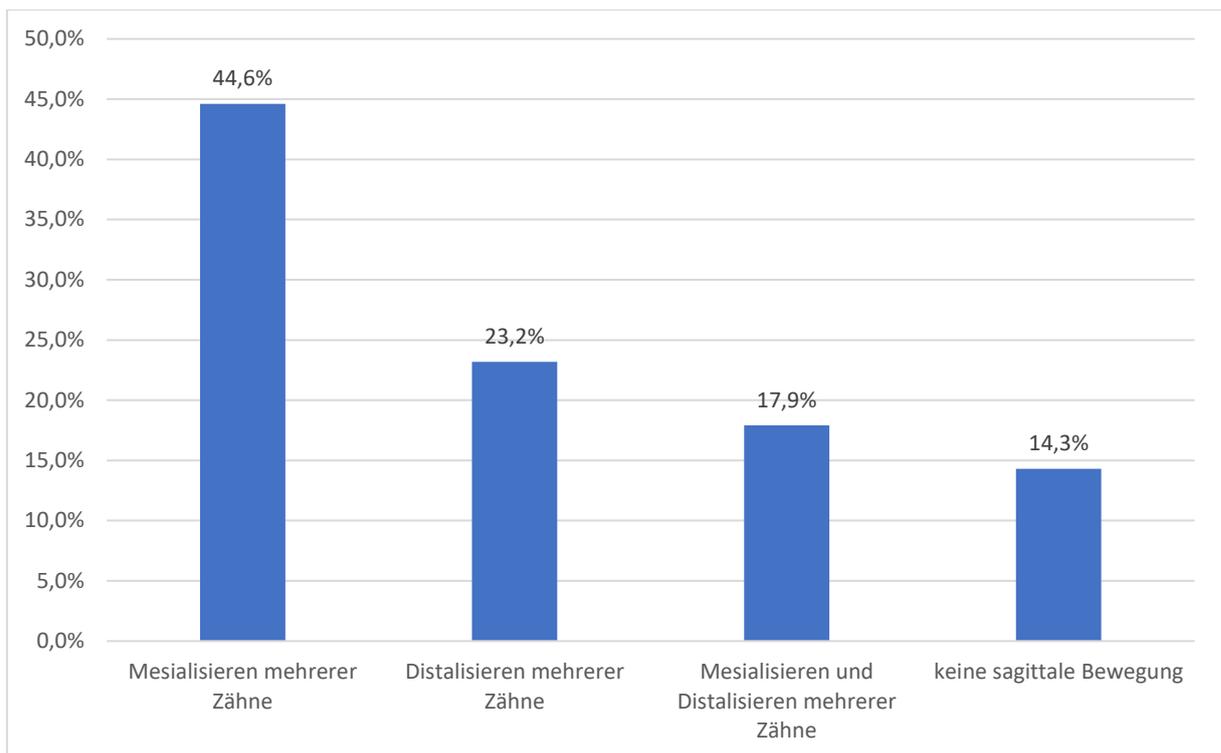
Zahnbewegungen mit Hilfe der Suprakonstruktion erfolgten bei 6 Patienten (10,7% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) im 1. Quadranten; bei 7 Patienten (12,5% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) im 2. Quadranten; bei 27 Patienten (48,2% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) im 1. und 2. Quadranten; bei 4 Patienten (7,1% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) im 1., 2. und 3. Quadranten und bei 12 Patienten (21,4% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) in allen 4 Quadranten (Abbildung 20).



**Abbildung 20:** Zahnbewegungen mit Hilfe der Suprakonstruktion pro Quadrant (Q).

## 4.5 Sagittale Bewegung

Das Mesialisieren mehrerer Zähne erfolgte bei 25 Patienten (44,6% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten); Distalisieren mehrerer Zähne erfolgte bei 13 Patienten (23,2% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten); gleichzeitiges Distalisieren und Mesialisieren mehrerer Zähne erfolgte bei 10 Patienten (17,9% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) und bei 8 Patienten (14,3% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) wurde keine sagittale Bewegung durchgeführt (Abbildung 21).



**Abbildung 21:** Häufigkeit sagittaler Bewegungen

In Tabelle 3 wird die Häufigkeit sagittaler Bewegungen der Patienten, die mithilfe eines Gaumenimplantats behandelt wurden, aufgelistet.

Tabelle 3: Häufigkeit sagittaler Bewegung

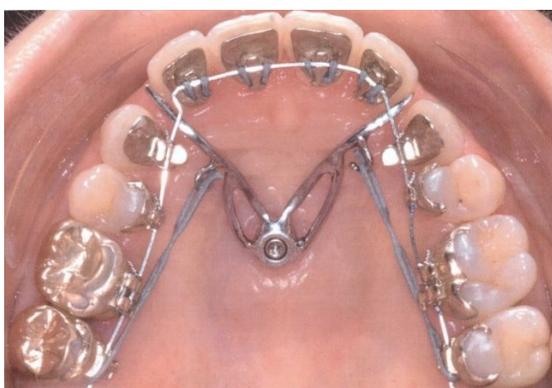
Mögliche sagittale Bewegung	Häufigkeit [n]	Prozent [%]
Mesialisieren mehrerer Zähne	25	44,6
Distalisieren mehrerer Zähne	13	21,4
Mesialisieren und distalisieren mehrerer Zähne	10	17,9
Gesamt Distalisieren	23	41,1

## 4.6 Mesialisieren

Bei 36 Patienten (64,3% der 56 Patienten) wurden Zähne mesialisiert: bei 21 Patienten (37,5% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) nur im Oberkiefer (Abbildung 22), bei 2 Patienten (3,6% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) nur im Unterkiefer und bei 13 Patienten (23,2% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) wurden sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer Zähne mesialisiert (Tabelle 4).

Tabelle 4: Häufigkeit des Mesialisierens im Oberkiefer, Unterkiefer und in beiden Kiefern

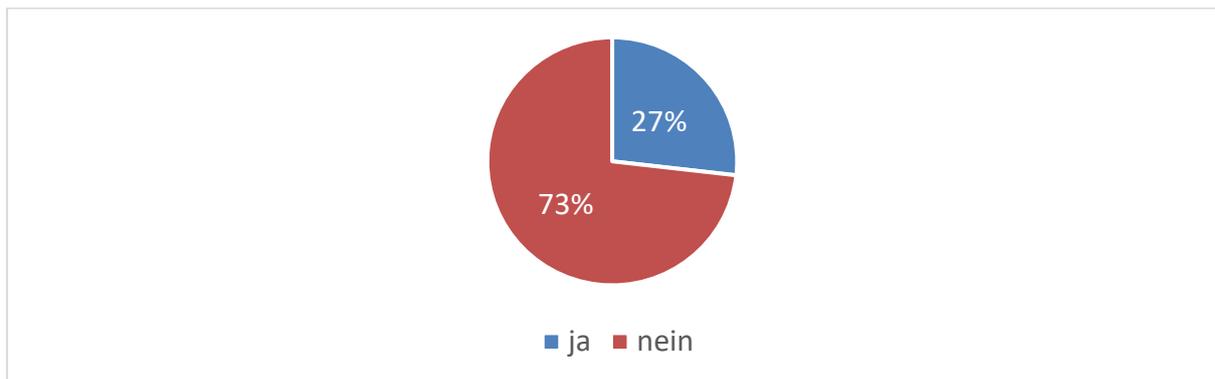
Kiefer in dem mesialisiert wurde	Häufigkeit	Prozent
	[n]	[%]
Mesialisieren im OK	21	37,5
Mesialisieren im UK	2	3,6
Mesialisieren im OK+UK	13	23,2
Gesamt Mesialisieren	36	64,3



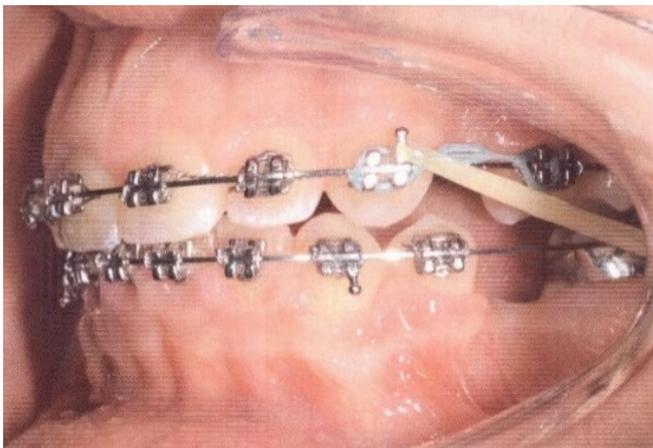
**Abbildung 22:** Beispiel für das Mesialisieren der Seitenzähne im Oberkiefer. Der Patient hat eine linguale Multibracket Apparatur (hier: Incognito®). Die Frontzähne werden distal an den zweiten Inzisivi durch die Suprakonstruktion stabilisiert, mithilfe von Gummiketten werden die Molaren mesialisiert (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz).

## 4.7 Klasse-II-Gummizüge

Die Behandlung mit Klasse-II-Gummizügen zur Mesialisierung der Seitenzähne im Unterkiefer wurde bei 15 Patienten (26,8% der Patienten mit Mesialisierungsaufgaben) durchgeführt (Abbildung 23 und 24).



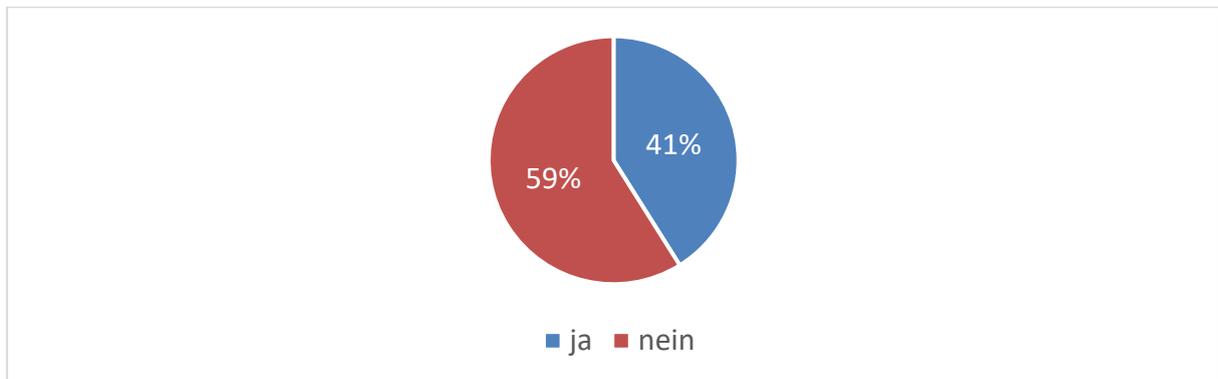
**Abbildung 23:** Verwendung von Klasse II Gummizügen



**Abbildung 24:** Mesialisieren der UK - Molaren durch Klasse-II-Gummizüge (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)(vgl. Abb. 10).

## 4.8 Distalisieren

Bei 23 (41,1% der Patienten mit Distalisierungsaufgaben) der mit Gaumenimplantat versorgten Patienten wurden Zähne im Oberkiefer distalisiert (Abbildung 25 und 26).



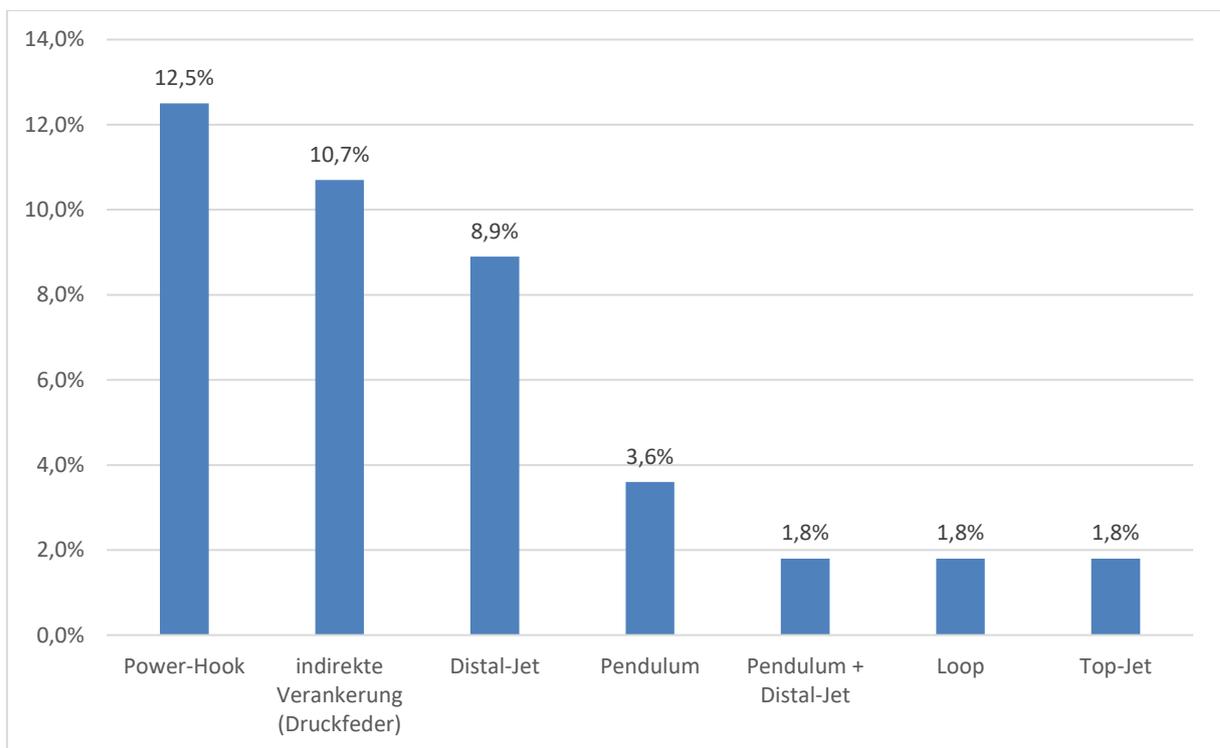
**Abbildung 25:** Distalisieren im OK



**Abbildung 26:** Distalisieren der Seitenzähne durch Gummiketten, die mit den zu bewegenden Zähnen und an den Ösen der Suprakonstruktion angebracht sind. Der Patient hat eine linguale Multibracket Apparatur (hier: Incognito®) (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)

## 4.9 Art der Suprakonstruktion

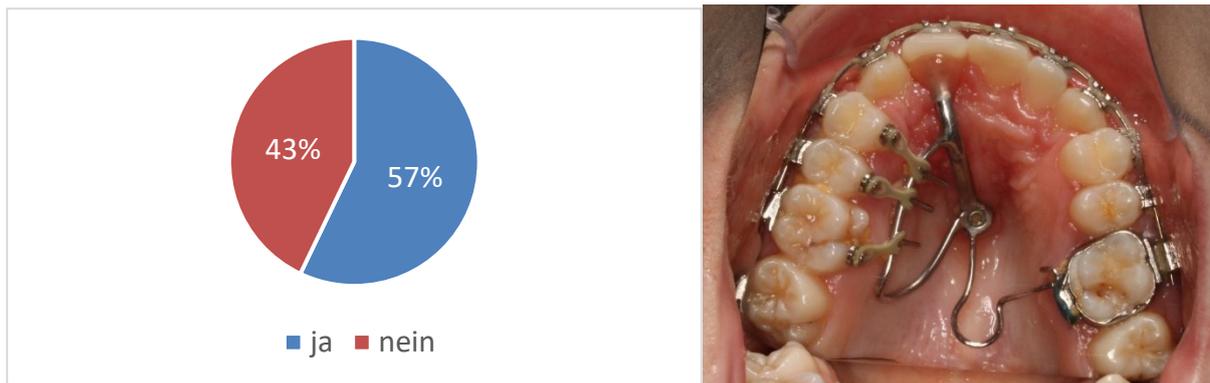
In Abbildung 27 ist die Häufigkeit der verschiedenen Distalisierungsapparaturen dargestellt. Von insgesamt 23 Gaumenimplantat-gestützten Distalisierungsapparaturen kam der Power-Hook an sieben Patienten zum Einsatz. Die Druckfeder wurde bei sechs Patienten eingesetzt, der Distal-Jet wurde bei fünf Patienten eingesetzt, die Pendulum Apparatur wurde bei zwei Patienten eingesetzt und der Top-Jet oder die Pendulum-Apparatur in Kombination mit dem Distal-Jet oder einem Loop wurden jeweils bei einem Patienten eingesetzt.



**Abbildung 27:** Art der Distalisierungsapparatur und Häufigkeit

## 4.10 Vertikale Bewegung

Bei 32 Patienten (57,1% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) wurden vertikale Bewegungen durchgeführt (Abbildung 28).

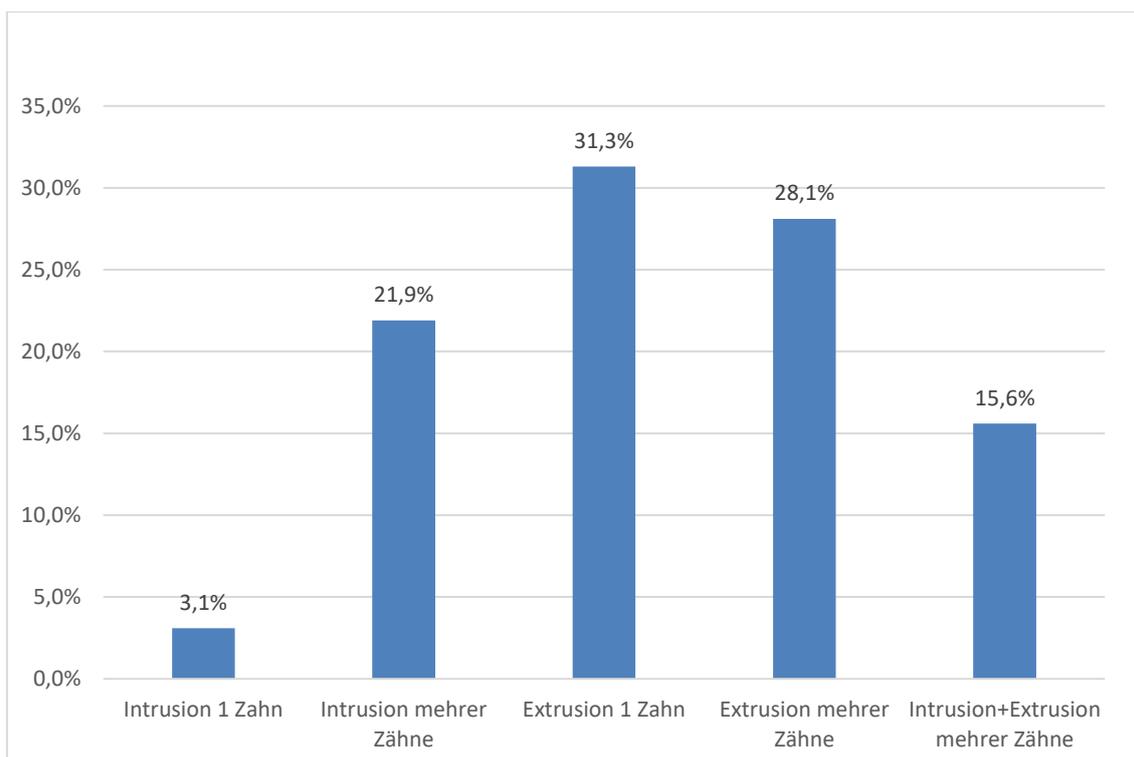


**Abbildung 28:** Häufigkeit vertikaler Bewegungen im OK (Foto: vgl: Abb. 12)

Die Intrusion eines einzelnen Zahnes erfolgte bei einem Patienten (3,1% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten); Intrusion mehrerer Zähne erfolgte bei 7 Patienten (21,9% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten). Die Extrusion eines Zahnes erfolgte bei 10 Patienten (31,3% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten); Extrusion mehrerer Zähne erfolgte bei 9 Patienten (28,1% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten); Intrusionen und Extrusionen mehrerer Zähne gleichzeitig erfolgte bei 5 Patienten (15,6% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) (Abbildung 29).



**Abbildung 29:** Intrusion Zahn 27; der Zahn ist durch fehlenden Antagonisten extrudiert (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)



**Abbildung 30:** Vertikale Bewegungen

#### **4.11 Vertikale Bewegung im Oberkiefer und im Ober- und Unterkiefer**

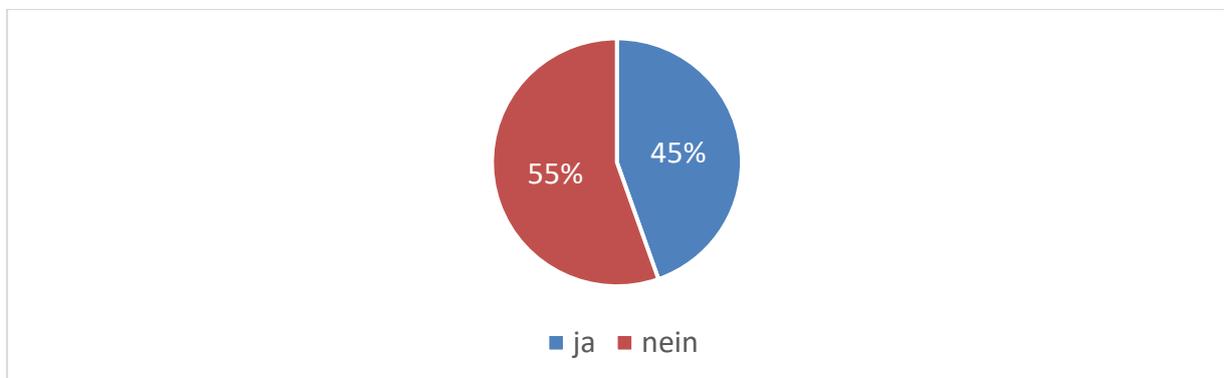
Bei 32 Patienten (57,2% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) von insgesamt 56 erfolgte an 29 Patienten (51,8% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) eine vertikale Zahnbewegung im Oberkiefer und an drei Patienten (5,4% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) erfolgte die Bewegung sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer (Tabelle 2).

Tabelle 5: Vertikale Bewegung im Oberkiefer (OK) und Oberkiefer (OK) + Unterkiefer (UK)

Mögliche vertikale Bewegung	Häufigkeit [n]	Prozent [%]
Vertikale Bewegung im OK	29	51,8
Vertikale Bewegung im OK+UK	3	5,4
Gesamt Vertikale Bewegung	32	57,2
Keine vertikale Bewegung	24	42,8
Gesamt Patientenzahl	56	100,0

#### 4.12 Kombiniert sagittal und vertikale Bewegung

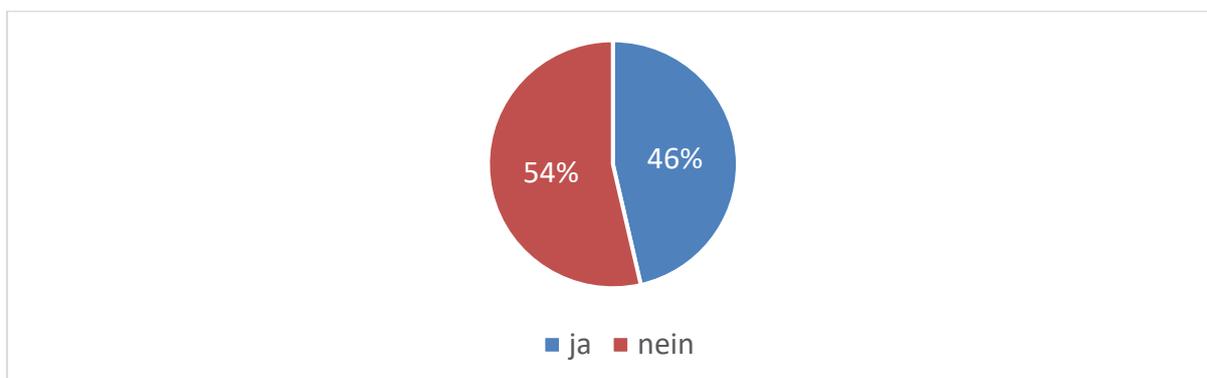
Bei 25 Patienten (44,6% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) wurden sowohl sagittale als auch vertikale Zahnbewegungen durchgeführt (Abbildung 31).



**Abbildung 31:** Kombiniert sagittale und vertikale Zahnbewegung

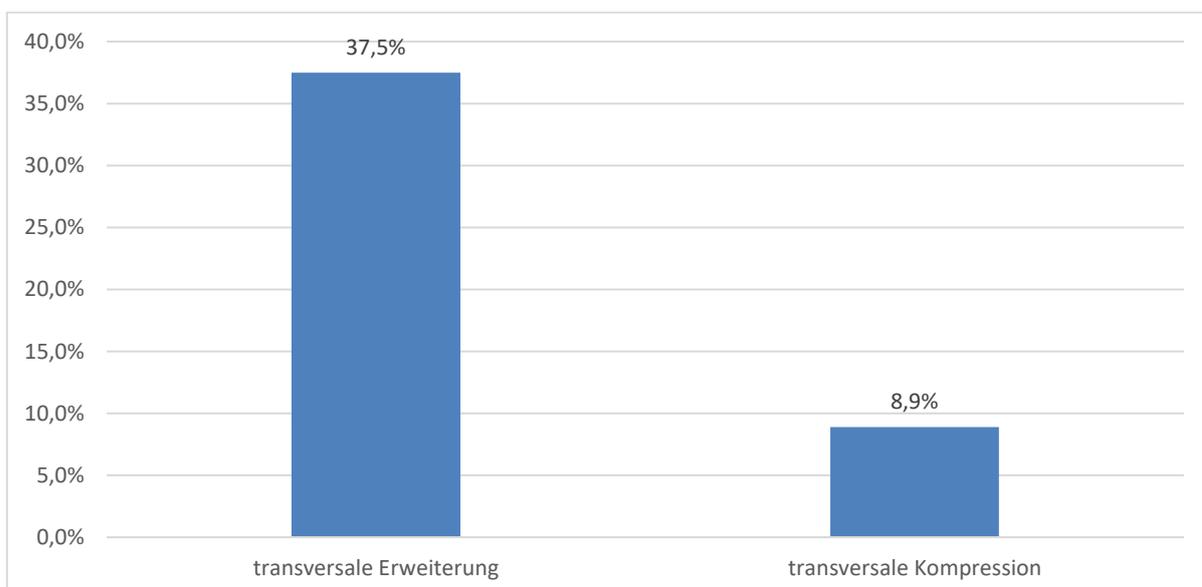
### 4.13 Transversale Bewegung

In Abbildung 32 wird die Häufigkeit der transversalen Bewegung dargestellt. Sie erfolgte an 26 Patienten (46,4% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten).



**Abbildung 32:** Transversale Bewegung

Bei 21 Patienten (37,5% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) wurde transversal erweitert und bei 5 Patienten (8,9% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) eine transversale Kompression durchgeführt (Abbildung 33).



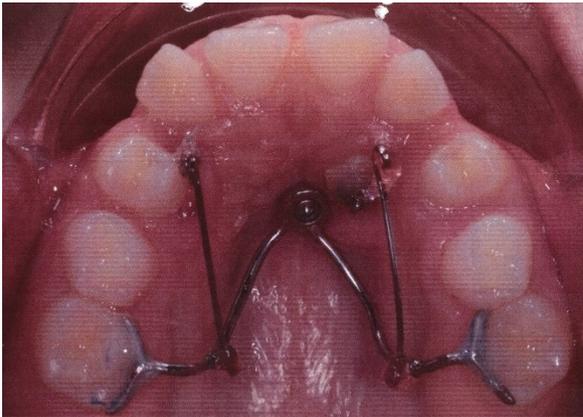
**Abbildung 33:** Häufigkeit transversaler Erweiterung und Kompression

#### 4.14 Verlagerte Zähne

Tabelle 6 zeigt die Anzahl und die Orte der verlagerten Zähne. Bei 19 Patienten (33,9% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) konnten die verlagerten Zähne mit Hilfe der Suprakonstruktion in den Zahnbogen eingestellt werden. Zum Zeitpunkt der Studie konnte noch nicht erfasst werden, wie viele Zähne nicht eingeordnet werden konnten, da die Patienten noch in laufender Behandlung waren.

Tabelle 6: Häufigkeit der Einstellung der verlagerten Zähne

Ort der verlagerten Zähne	Häufigkeit [n]	Prozent der mit Suprakonstruktion versorgten Pati- enten [%]
13	4	7,1
13 und 15	1	1,8
13 und 23	3	5,4
15	1	1,8
18	1	1,8
22 und 23	1	1,8
23	4	7,1
37 und 47	1	1,8
13, 15, 23	1	1,8
13, 16, 23	1	1,8
13,15,23,25	1	1,8
Σ der Patienten mit verlagerten Zähnen	19	33,9
keine Verlagerung	37	66,1



**Abbildung 34:** Extrusion Zahn 13 und 23 mithilfe von Hebelarmen (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)

#### 4.15 Zahnersatz

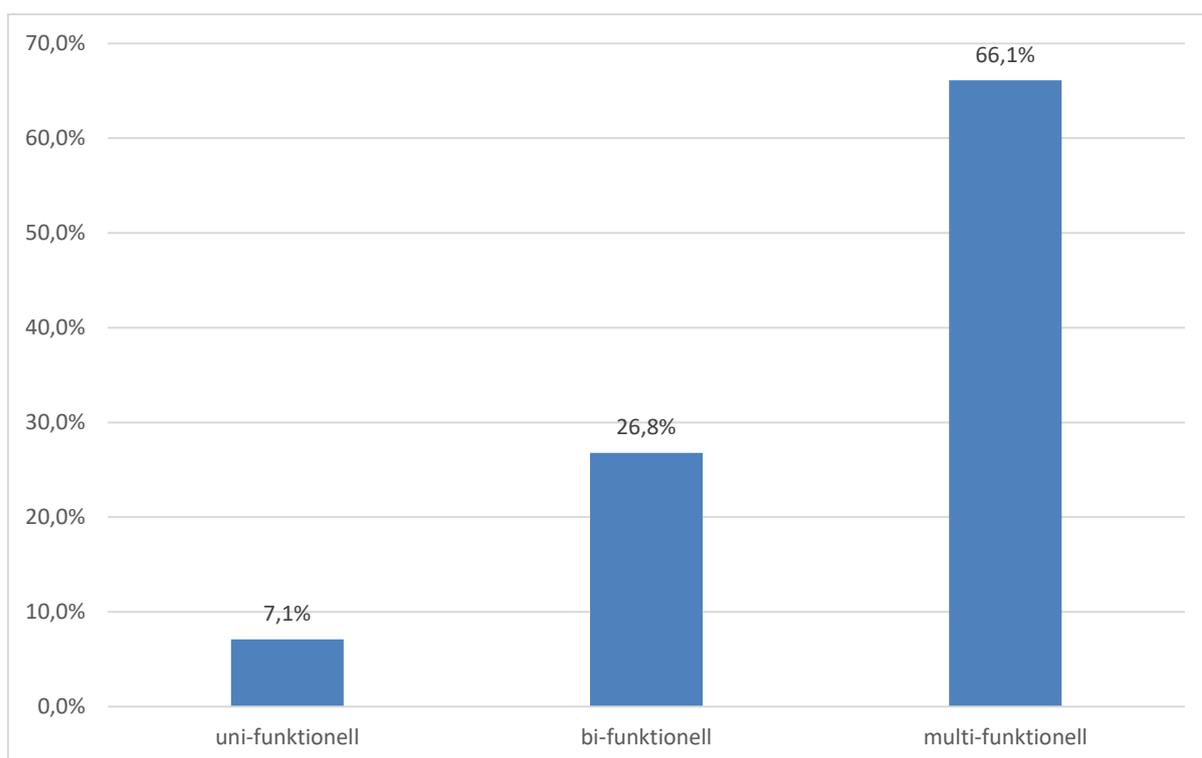
Von insgesamt 56 Patienten mit GI-gestützter Suprakonstruktion wurde diese bei 9 Patienten (16,1% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) zum Ersatz eines oder mehrerer fehlender Zähne genutzt: Die Regionen 11, 12 und 21 wurden je zweimal ersetzt. Bei zwei Patienten wurden je die Regionen 12 und 22 und bei einem Patienten die Regionen 14 und 24 ersetzt (Abbildung 35).



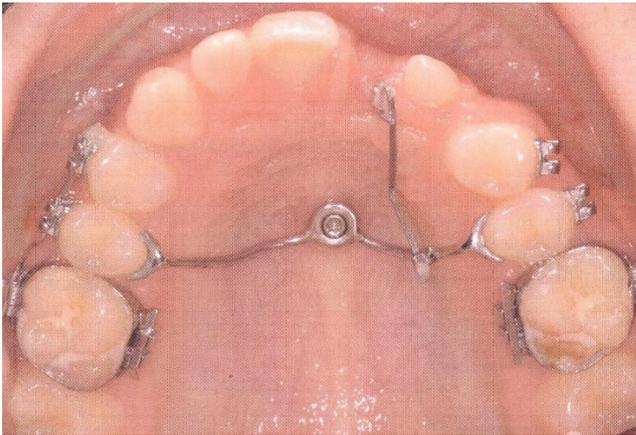
**Abbildung 35:** Temporärer Zahnersatz Regio 21 (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)

#### 4.16 Anzahl der Aufgaben der Suprakonstruktion

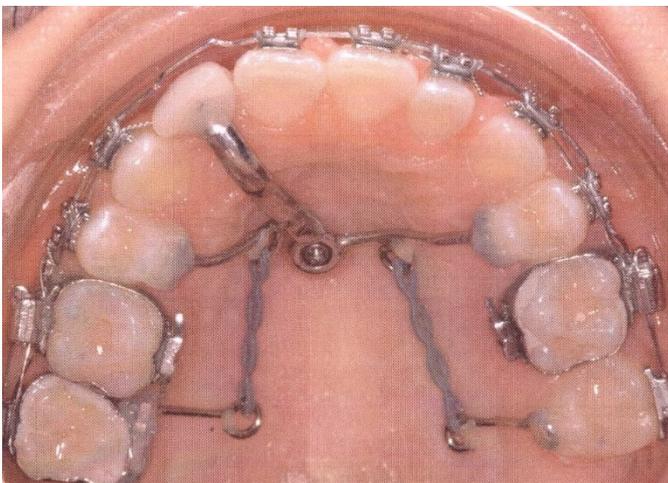
Bei insgesamt 4 Patienten wurde die Suprakonstruktion für unifunktionelle Behandlungsaufgaben eingesetzt (7,1% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten); bei 15 Patienten für bifunktionelle Behandlungsaufgaben (26,8% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) und bei 37 Patienten wurde die Suprakonstruktion für multifunktionelle Behandlungsaufgaben eingesetzt (66,1% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) (Abbildung 36).



**Abbildung 36:** Anzahl der Aufgaben der Suprakonstruktion



**Abbildung 37:** Unifunktional: Extrusion eines retinierten und verlagerten Zahnes (21) (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)



**Abbildung 38:** Bifunktional: Mesialisieren der Seitenzähne und Ersetzen eines Zahnes (Zahn 12) (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)



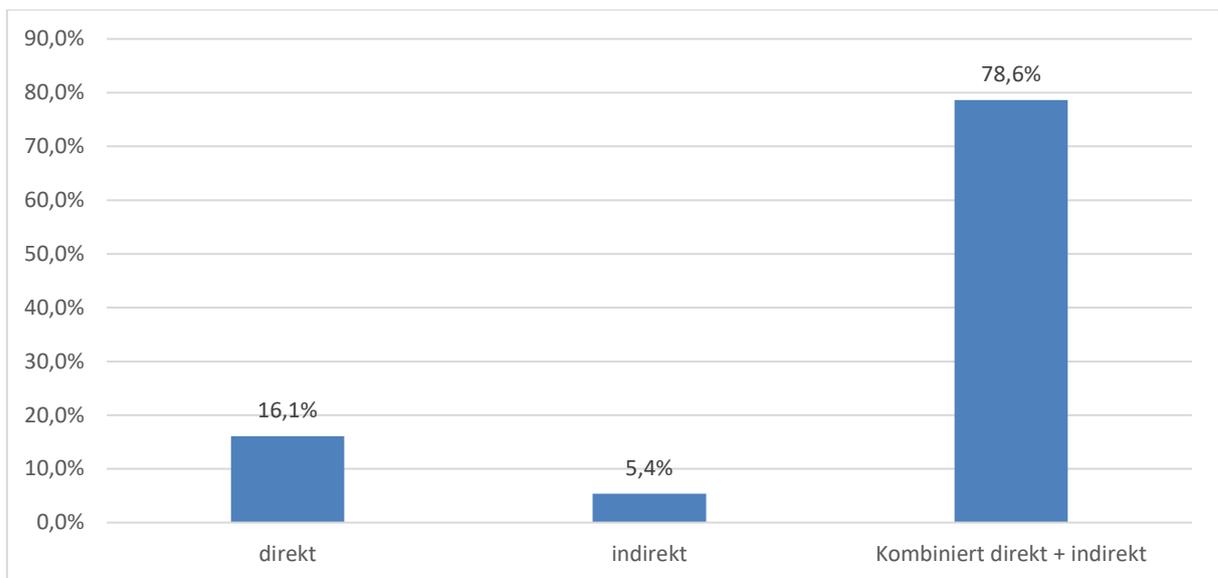
**Abbildung 39:** Multifunktional: Mesialisieren der Seitenzähne im ersten Quadranten und gleichzeitiges Distalisieren der Seitenzähne im zweiten Quadranten durch Gummiketten, die an den Ösen der Suprakonstruktion und der zu bewegenden Zähne angebracht sind. Temporärer Zahnersatz in Regio 12 und 22. (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz).



**Abbildung 40:** Klasse-II-Gummizüge zum Mesialisieren der UK Seitenzähne (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz) (Es handelt sich um denselben Patienten wie in Abb. 39)

#### 4.17 Direkte oder indirekte Verankerung

Die Verankerung erfolgte bei 9 Patienten direkt (16,1% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten), bei 3 Patienten indirekt (5,4% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) und bei 44 Patienten (78,6% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) erfolgte die Verankerung kombiniert direkt und indirekt (Abbildung 41 und 42).



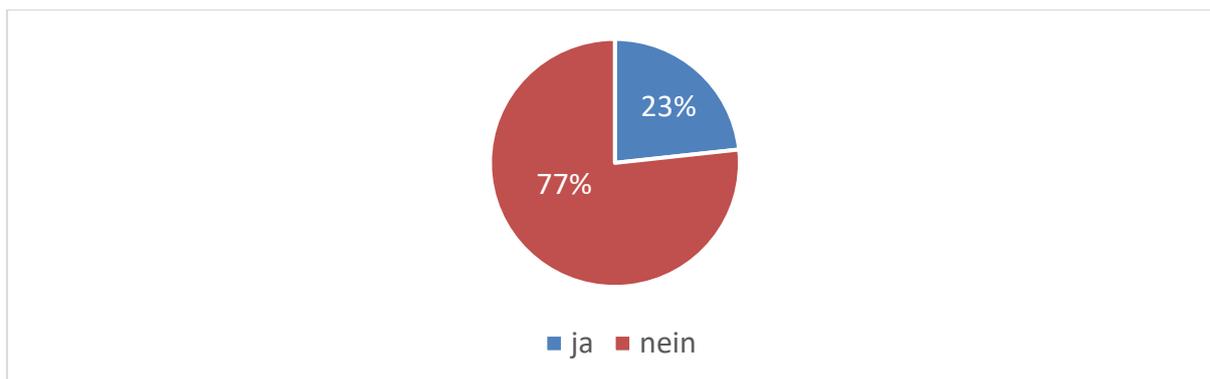
**Abbildung 41:** Häufigkeit direkter und indirekter Verankerung und kombiniert direkte und indirekte Verankerung



**Abbildung 42:** Direkte Verankerung; Mesialisieren des Zahnes 27 mittels einer Gummikette (Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz)

#### 4.18 Erneuerung von Klebestellen

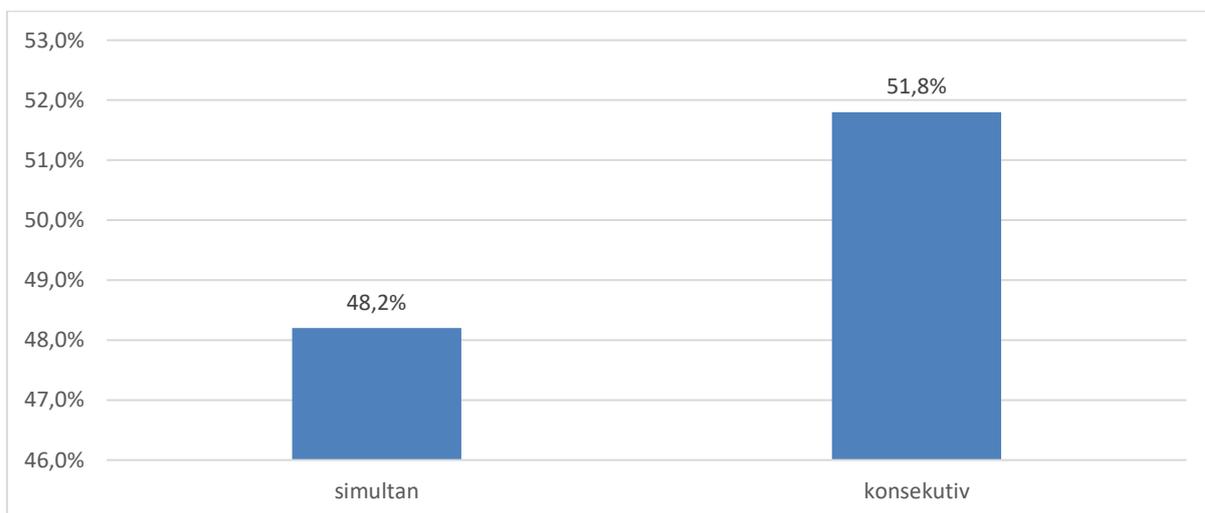
In 23,2% der Fälle (bei 13 Patienten, die mit einer Suprakonstruktion behandelt wurden) trat ein Verlust der Verbindungsstelle zwischen Zahn und Suprakonstruktion mehr als zweimal pro Patient auf (Abbildung 43). Es handelt sich hierbei meistens um Patienten mit impaktierten Zähnen.



**Abbildung 43:** Häufigkeit der notwendigen Reparatur der Klebestelle zwischen Zahn und Suprakonstruktion

#### 4.19 Zeitlicher Ablauf der Behandlungsaufgaben: simultan versus konsekutiv

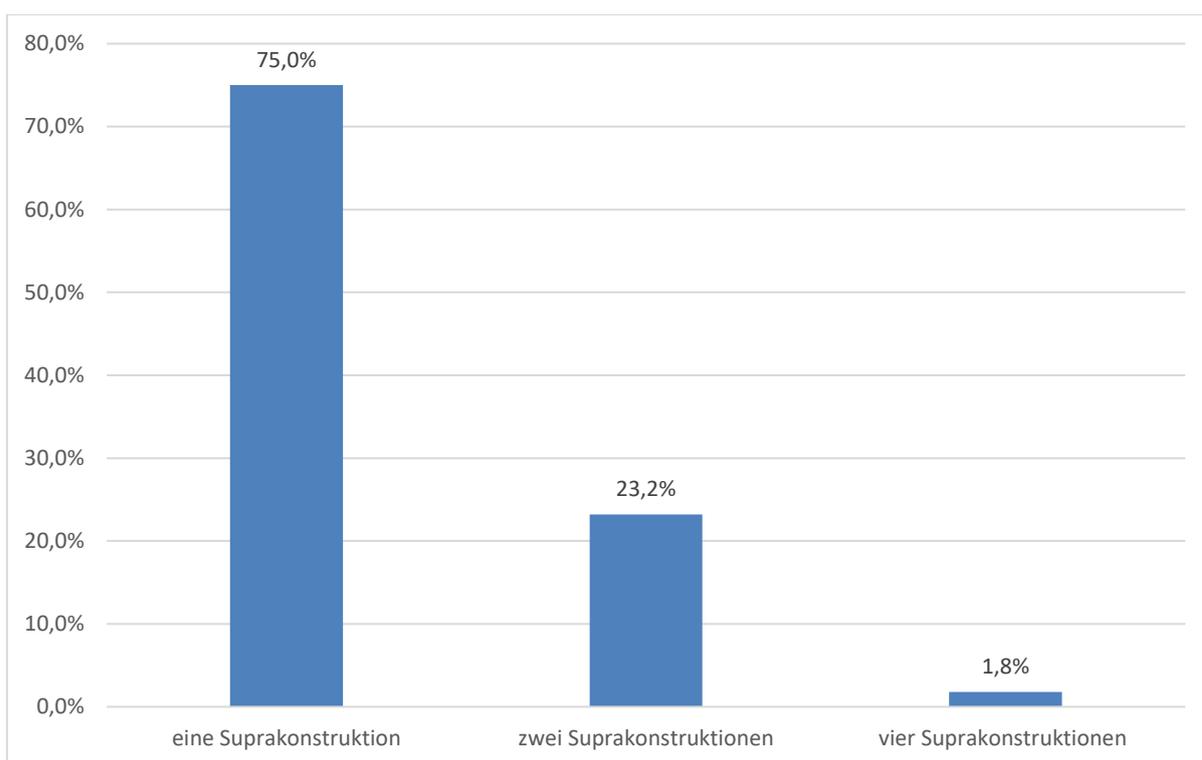
Bei 27 Patienten (48,2% der mit einer Suprakonstruktion versorgten Patienten) wurden die Behandlungsaufgaben simultan, d.h. gleichzeitig, durchgeführt; bei 29 Patienten (51,8% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) erfolgten die Behandlungsaufgaben konsekutiv, d.h. die Behandlungsaufgaben wurden nacheinander durchgeführt (Abbildung 44).



**Abbildung 44:** Gleichzeitig (simultan) und nacheinander (konsekutiv) durchgeführte Behandlungsaufgaben mittels eines Gaumenimplantats

## 4.20 Anzahl der notwendigen Suprakonstruktionen während der Behandlung

Bei 42 Patienten (75% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) wurden während der gesamten Behandlung mit einer Suprakonstruktion alle Behandlungsaufgaben gelöst, 13 Patienten (23,2% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) benötigten zwei und ein Patient (1,8% der mit Suprakonstruktion versorgten Patienten) vier Suprakonstruktionen (Abbildung 45).



**Abbildung 45:** Anzahl der pro Patient benötigten Suprakonstruktionen während der Behandlung

## 5 Diskussion

Verschiedene Studien haben sich mit dem Indikationsspektrum einer skelettalen Verankerung befasst (Jung et al. 2010, Nienkemper et al. 2012, Nienkemper et al. 2014). Die Häufigkeit für die Indikation einer skelettalen Verankerung mittels eines Gaumenimplantats in Bezug auf die Gesamtheit der kieferorthopädischen Patienten ist jedoch noch nicht untersucht worden.

Wie bereits in Krieger et al. dargelegt, war es das Ziel dieser Studie, Indikationsspektrum und Häufigkeit der skelettalen Verankerung mittels Gaumenimplantat und Suprakonstruktionen in einem Zeitraum von vier Jahren zu erheben und zu bewerten (Krieger et al. 2015).

Bei den 1350 im Untersuchungszeitraum von vier Jahren (Januar 2009 – Dezember 2012) neu aufgenommenen Patienten wurde bei nur 56 Patienten (4,2%) die Indikation zur skelettalen Verankerung mittels eines Gaumenimplantates gestellt. Studien zur Frequenz der Nutzung von anderen skelettalen Verankerungselementen in Patientenkollektiven liegen bis heute in der Literatur nicht vor.

Ein Vergleich von Daten aus der Literatur mit der Dauer der Behandlungen an der Poliklinik für Kieferorthopädie kann momentan noch nicht durchgeführt werden, da die kieferorthopädischen Behandlungen zum Untersuchungszeitpunkt noch nicht vollständig beendet waren. Diese Fragestellung muss in einer weiteren Untersuchung geklärt werden.

Die Mehrzahl (34) der insgesamt 56 Patienten, die mit einer Suprakonstruktion behandelt wurden, waren weiblich. Dieses Ergebnis zeigt entweder, dass mehr Frauen kieferorthopädisch behandelt werden als Männer, oder Frauen eine ästhetisch uneingeschränkte Behandlung präferieren. Das Durchschnittsalter der Patienten betrug  $19,5 \pm 4,4$  Jahre, wobei der jüngste Patient 11 Jahre und der älteste Patient 52 Jahre alt war. In der heutigen Zeit ist eine complianceunabhängige Verankerung eine unverzichtbare Behandlungsmöglichkeit, weil die Patienten aufgrund der Ganztagschulen und der vielen Freizeitangebote und sozialen Aktivitäten keine Möglichkeit hätten, extraorale Verankerungsmittel während der erforderlichen Zeit zu tragen. Diese Erkenntnis führt dazu, dass die skelettale Verankerung mittels eines Gaumenimplantats die complianceabhängigen extra- und intraoralen Verankerungsmittel wie z.B. Headgear,

Delaire-Maske oder Klasse-II-Gummizüge immer mehr ersetzt und in den Hintergrund drängt. In diversen Studien wurde eine geringe Compliance der Patienten nachgewiesen (Bos et al. 2007, Brandão et al. 2006, Cole 2002).

In den meisten Fällen (71,4%) wurde in der vorliegenden Untersuchung das Gaumenimplantat für die Behandlung im Oberkiefer eingesetzt. Die Patientenbehandlung fand bei 48,2% im ersten und im zweiten Quadranten statt. In 26,8% der Fälle diente das Gaumenimplantat über Klasse-II-Gummizüge zum Mesialisieren der Seitenzähne im Unterkiefer. Das bedeutet, dass das Gaumenimplantat als skelettale Verankerung vor allem für multifunktionelle Behandlungsaufgaben eingesetzt werden sollte.

Bei den Einzelindikationen wurden am häufigsten (in 85,7% der Fälle) sagittale Zahnbewegungen durchgeführt. Auch nach einer im Jahr 2010 durchgeführten RCT-Studie von Jung et al., in der über das Indikationsspektrum für Gaumenimplantate mit Sofortbelastung und nach der Einheilphase des Gaumenimplantats berichtet wurde, erfolgen die Zahnbewegungen hauptsächlich in sagittaler Richtung. Es wurde festgestellt, dass die Hauptindikation skelettal verankerter Bewegungen sowohl Mesialisieren und Distalisieren als auch die Retraktion der Front waren (Jung et al. 2010). Nienkemper et al. (2014) und Yanagita et al. (2014) berichten in ihren Studien ausschließlich über das Distalisieren der Seitenzähne im Oberkiefer. Byloff und Kärcher beschreiben 2018 die Molarendistalisierung anhand eines Patientenbeispiels mit frontal offenem Biss mit Hilfe einer Pendulum-Apparatur, dem Grazer Implantat Stabilisierte Pendulum (GISP). Hier zeigen die Autoren, dass mithilfe der Pendulum-Apparatur die Bewegung in allen drei Ebenen erfolgen kann (Byloff und Kärcher 2018). In einem weiteren Fallbeispiel wurde auch hier das Distalisieren der Seitenzähne bei einem Patienten mit frontal offenem Biss dargestellt. Mithilfe eines Benesliders und zweier in den Gaumen inserierten Minischrauben wurde die Molarendistalisierung der Seitenzähne im Oberkiefer durchgeführt (Bräutigam et al. 2019). Beim Gaumenimplantat ist nur eine Schraube erforderlich.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass mit Hilfe des Gaumenimplantats über die Hälfte der Behandlungsaufgaben multifunktionell durchgeführt werden können (66,1%) und bei nur vier Patienten die Suprakonstruktion für unifunktionelle Behandlungsaufgaben eingesetzt wurde. Auch Nienkemper et al. berichten in einer Studie von 2012 über mehrere Behandlungsaufgaben mittels skelettaler Verankerung

durch Mini-Implantate (Nienkemper et al. 2012). Ob dadurch eine Zeitersparnis bei der Behandlung erreicht wird, sollte in weiteren Studien geklärt werden.

In der Untersuchung von Nienkemper erfolgte bei 19 Patienten ein konsekutiver Einsatz zweier implantatgetragener Mechaniken; bei 24 Patienten wurden die Mini-Implantate simultan durch zwei Mechaniken belastet. Es wird berichtet, dass bis auf eine Ausnahme alle Behandlungsaufgaben gelöst wurden. In der hier vorliegenden Studie erfolgte eine konsekutive Behandlung mittels Suprakonstruktion an 29 Patienten, d.h. die Behandlungsaufgaben wurden nacheinander durchgeführt und an 27 Patienten erfolgten die Behandlungsaufgaben simultan, d.h. die Behandlungsaufgaben wurden gleichzeitig durchgeführt. Im Vergleich zu der Studie von Nienkemper et al. (2012) muss jedoch betont werden, dass in der vorliegenden Studie die Behandlungsaufgaben mit nur einem Implantat gelöst werden konnten. Zusammenfassend ist zu sagen, dass mittels einer skelettalen Verankerung im Gaumen mehrere Behandlungsaufgaben sowohl konsekutiv als auch simultan gelöst werden können. Sofern die zu behandelnden Befunde es zulassen, sollte wegen der signifikant kürzeren Behandlungsdauer eine simultane Nutzung angestrebt werden (Nienkemper et al. 2012).

Nienkemper et al. (2012) berichten desweiteren in ihrer Studie über Verankerungsverlust und über eine Verlustrate von Mini-Implantaten bei insgesamt fünf der 43 untersuchten Patienten. In einer weiteren Studie von Thean et al. (2018) liegt die Verlustrate von Mini-Schrauben bei 8,5%, das sind 15 von den insgesamt 176 inserierten Mini-schrauben an 65 Patienten. Ziel der Studie war, festzustellen, wie sich die Verlustrate bei mit zwei Schrauben befestigten Platten im Gegensatz zu mit drei Schrauben verankerten Platten änderte. Das Ergebnis war, dass die Drei-Schrauben-Verankerung geringfügig stabiler war als die mit zwei Schrauben (Thean et al. 2018). Somit kann man schlussfolgern, dass – im Gegensatz zu den Studien von Thean mit einem Verlust von 8,5% und Nienkemper von 11,6% – in der vorliegenden Studie die Verlustrate für das Gaumenimplantat bei 0% liegt. Auch benötigte man in der vorliegenden Studie nur ein einziges Implantat für eine skelettale Verankerung bei der Durchführung der kieferorthopädischen Behandlung; dies bedeutet neben einer besseren Planbarkeit der Behandlungszeit, dass der Patient nur einen invasiven Eingriff bei der Insertion benötigt. Es konnte auch gezeigt werden, dass mit nur einem Implantat, hier das Gaumenimplantat Orthosystem® (Straumann®), diverse Behandlungsaufgaben durchgeführt werden können.

In einer Studie von Chang und Tseng (2014) wurde die Knochendichte und das Knochenangebot vor dem Einsetzen skelettaler Verankerungen mittels Computertomographie (CT) und digitaler Volumentomographie (DVT) bestimmt. Ergebnis dieser Studie war, dass der Erfolg bei der Platzierung skelettaler Verankerungen mithilfe von CT-Aufnahmen zur Bestimmung des Knochenangebots hoch ist (Chang und Tseng 2014). Um bei der Insertion orthodontischer skelettaler Verankerungen die anatomischen Strukturen nicht oder wenig zu verletzen, vertreten einige andere Autoren die Meinung, immer bildgebende Verfahren einzusetzen (Gahleitner et al. 2004, Kyung et al. 2003). Beim Einsatz eines CTs als diagnostisches Hilfsmittel zur Beurteilung des Knochenangebots für den Einsatz von skelettalen Verankerungsmitteln beträgt eine effektive Dosis 860,0  $\mu\text{Sv}$ . Die effektive Strahlendosis einer Panoramaschichtaufnahme hingegen hat nur 14,2  $\mu\text{Sv}$  und die einer Fernröntgenseitenaufnahme 5,6  $\mu\text{Sv}$  (Ludlow et al. 2008). Ob ein CT den Nutzen-Risikofaktor zur Erstellung von diagnostischen Unterlagen rechtfertigt, sollte kritisch betrachtet werden. In einer Studie von Jung et al. wurde festgestellt, dass das laterale Cephalogramm das minimale Knochenangebot im Gaumen darstellt. Nur in Einzelfällen ist ein DVT zur Beurteilung des Knochenangebotes erforderlich. Insofern tritt in den meisten Fällen bei der Insertion des Gaumenimplantats keine zusätzliche Strahlenbelastung auf (Jung et al. 2011b; Jung et al. 2012d). In der vorliegenden Studie wurde bei keinem der Patienten ein DVT oder CT angefertigt. Nur bei drei Patienten mussten im Verlauf der aktiven Behandlung Lötstellen (z.B. am Cross-Washer) an der Suprakonstruktion erneuert werden. Um das Problem dieser bekannten Schwachstelle zu beheben, ist zu überlegen, ob die Laserschweißnaht oder die an der Basis aufgebrauchten Hilfsteile zu verstärken sind.

Auch die Verbindungsstelle zwischen Zahn und Power-Hooks bzw. Transpalatinalbügel (TPB), die über eine Gummikette mit der Suprakonstruktion verbunden ist, mussten neu geklebt werden. Die Überlegung wäre, evtl. an der Basis der Power-Hooks bzw. Transpalatinalbügel, die Oberfläche der Basis netzstrukturartig (ähnlich wie die Basis eines Brackets) zu vergrößern, damit sich diese flächig mit dem Zahn verbinden kann. Im Rahmen dieser Studie wurden mithilfe der Suprakonstruktion insgesamt neun Patienten mit einem temporären Zahnersatz versorgt. Die Versorgung der Lücken im Frontzahnbereich sind insbesondere für die Phonetik, Ästhetik, die Kau- und Abbeißfunktion von Bedeutung (Fröhlich und Körber 1977, Brunner und Kundert 1988 [2005]). Zahnverlust, v.a. im Frontzahnbereich, kann auch psychosoziale

Entwicklungsstörungen verursachen (Tetsch 2019). In einer Studie wurde nachgewiesen, dass bei noch nicht abgeschlossenem Wachstum ein dentales Implantat nicht indiziert ist, da diese das Wachstum des Kieferareals hemmen und eine Infraokklusion der implantatgetragenen Krone zu beobachten ist. Somit würde das Implantat mit dem prothetisch versorgten Zahn in Infraposition bleiben (Papageorgiou et al. 2018). Tetsch beschreibt in seiner Studie von 2019 jedoch, dass bei einer Implantation im Oberkiefer-Frontzahnbereich beim adoleszenten Patienten keine signifikanten Einbußen der Ästhetik zu beobachten sind. Die Patienten wurden halbjährlich bis zum Abschluss des Wachstums untersucht und die Ergebnisse ausgewertet. Durch ein Diagnostik-Konzept kann die Implantatposition bestimmt werden und eine Insertion in Richtung der prospektiven Wachstumsrichtung erfolgen (Tetsch 2019). Auf der anderen Seite zeigen allerdings Metaanalysen, dass beim erwachsenen Patienten nach Langzeituntersuchungen die Implantate noch in Infraposition geraten können (Papageorgiou et al. 2018). Ob es sich dabei um Wachstumsprozesse oder Remodelationsvorgänge handelt, ist unklar. Auch sind sowohl konventionelle als auch Klebebrücken aufgrund des notwendigen Beschleifens gesunder Pfeilerzähne bei jugendlichen Patienten nicht indiziert. Daher ist eine nichtinvasive Versorgung der Zahnlücke wünschenswert. Diese kann man temporär (als Langzeitprovisorium bis zum Abschluss des Wachstums) gut mit einer Suprakonstruktion, die am Gaumenimplantat befestigt ist, überbrücken (Jung et al. 2019).

Jung präferiert in ihrem jüngsten Fallbericht bei Aplasien den kieferorthopädischen Lückenschluss mit Unterstützung eines Gaumenimplantats (Jung 2019). Sie beschreibt, dass die Autotransplantation zwar eine Alternative bei Nichtanlagen im Kindes- und Adoleszenzalter sei (wenn keine kieferorthopädische Behandlung eingeplant ist), diese jedoch nur ein geringes Zeitfenster bezüglich der Transplantation habe und ein späterer Eingriff die Gefahr eines Resorptionsrisikos nach sich ziehe. Der Vorteil eines kieferorthopädischen Lückenschlusses liegt auf der Hand: Bei Abschluss der Behandlung ist die Langzeitstabilität der Behandlungsergebnisse gesichert, da der Lückenschluss mit natürlichen Zähnen erfolgt. Des Weiteren sind zu einem späteren Zeitpunkt – nach Abschluss der Wachstumsphase – keine prothetischen Maßnahmen wie Implantat oder Brücke notwendig (Jung 2019).

Eine Veröffentlichung (Jones et al. 2020) beschreibt, dass durch neuere Techniken skelettaler Verankerungen in der kieferorthopädischen Behandlung schwerwiegende

okklusale und dentofaziale Diskrepanzen, die bisher allein durch kieferchirurgische Eingriffe behandelt wurden, nun durch gezielte Bewegungen der Zähne mithilfe temporärer skelettaler Verankerungen korrigiert werden können. Das maxillofaziale Wachstum wird durch gezielte Zahnbewegungen beeinflusst. Die Studie von Jones et al. beschreibt, dass durch diese Maßnahmen die Kieferorthopädie immer mehr an Bedeutung gewinnt (Jones et al. 2020).

## **5.1 Ausblick**

Weitere Forschungen im Themengebiet der skelettalen Verankerung in der Kieferorthopädie sind erforderlich. Wünschenswert wäre die Durchführung von prospektiven, randomisierten, klinischen Studien zu folgenden Themen: Vergleich konventioneller Verankerungen versus Minischrauben versus Gaumenimplantat versus Miniplatten bei den verschiedenen Indikationen innerhalb kieferorthopädischer Behandlungen. Zudem könnten folgende Aspekte untersucht werden: unerwünschte Nebenwirkungen, Verlustrate bei den verschiedenen Verankerungssystemen und Behandlungskosten. Die Realisierung dieser Art von Studien könnte sich allerdings schwierig gestalten, da ethische Aspekte, ausreichende Patientenzahl und finanzielle Limitationen die Durchführung solcher Studien erschweren.

## 6 Zusammenfassung

4,2% aller in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz begonnenen Behandlungen im untersuchten Zeitraum von vier Jahren (2009 – 2012) benötigten eine Behandlung mittels eines Gaumenimplantats.

Im Rahmen dieser Studie konnte gezeigt werden, dass das Gaumenimplantat hauptsächlich für multifunktionale Verankerungszwecke verwendet, sowie bei einem Drittel der Patienten auch als skelettale Verankerung für Behandlungsaufgaben im Unterkiefer eingesetzt wurde. In Bezug auf die Indikationen ergab sich, dass in den meisten Fällen eine sagittale Zahnbewegung durchgeführt wurde. Mesialisieren der Seitenzähne wurde häufiger als das Distalisieren durchgeführt. Es lag während des untersuchten Zeitraums kein Implantatverlust vor. Eine Kombination aus sagittalen und vertikalen Bewegungen fand bei 25 der Probanden (44,6%) statt. Bei 48 der behandelten Patienten (85,7%) erfolgten sagittale Bewegungen, davon bei 23,2% Distalisieren mehrerer Zähne, bei 44,6% Mesialisieren  $\geq 1$  Zahn, sowie bei 17,9% (n=10 Patienten) Mesialisieren und Distalisieren (MLV-Korrektur). Bei 14,3% (n=8) wurden keine sagittalen Bewegungen durchgeführt. Kieferbezogen wurden bei 41,1% im OK distalisiert (23 Patienten), bei 37,5% im OK mesialisiert (21 Patienten), sowie bei 23,2% im OK und UK mesialisiert (13 Patienten). Vertikale Zahnbewegungen wurden bei 32 der behandelten Patienten (57,1%) durchgeführt. Am häufigsten erfolgte die Intrusion mehrerer Zähne (19,6% aller Patienten). Die Einordnung verlagerter Zähne erfolgte bei 19 Patienten (33,9%). Bei 9 Patienten (16,1%) wurden ein oder mehrere fehlende Zähne ersetzt (temporärer Zahnersatz). Es fanden sich bei 4 Patienten (7,1%) unifunktionale Behandlungsaufgaben, bei 15 Patienten (26,8%) bifunktionelle und bei 37 Patienten (66,1%) multifunktionelle Behandlungsaufgaben.

Die Suprakonstruktion musste bei drei der 56 Patienten repariert werden (5,4%). In 23,2 % der Fälle (n=13) trat ein Verlust der Verbindungsstelle auf, hierbei handelte es sich meist um Patientenfälle mit impaktierten Eckzähnen.

In Bezug auf die individuellen Behandlungsaufgaben der Suprakonstruktion waren 7,1% (n=4) der Fälle unifunktional, d.h. nur ein auf das Gaumenimplantat geladener Kraftvektor, 26,8% (n=15) bi-funktional und 66,1% (n=37) multifunktional.

Die Indikation für skelettale Verankerung mittels eines Gaumenimplantats sollte also besonders in den Fällen gestellt werden, bei denen multifunktionale Behandlungsaufgaben erfüllt werden müssen.

---

## 7 Literaturverzeichnis

Bantleon H-P, Bernhart T, Crismani AG, Zachrisson BU (2002) Stable orthodontic anchorage with palatal osseointegrated implants. *World Journal of Orthodontics* 3(2):109–16.

Bauer W, Diedrich P (1990) Motivation und Erfolgsbeurteilung erwachsener Patienten zur kieferorthopädischen Behandlung: Interpretation einer Befragung. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie* 51(3):180–8.

Baumgaertel S (2014) Temporary skeletal anchorage devices: the case for miniscrews. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 145(5):558–64.

Berens A, Wiechmann D, Dempf R (2006) Mini- and micro-screws for temporary skeletal anchorage in orthodontic therapy. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie* 67(6):450–8.

Bernhart T, Dörtbudak O, Wehrbein H, Baier C, Bantleon H-P, Kucher G (2000) Das Gaumenimplantat. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie* 32(3):209–29.

Bos A, Kleverlaan CJ, Hoogstraten J, Prah-Andersen B, Kuitert R (2007) Comparing subjective and objective measures of headgear compliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 132(6):801–5.

Brandão M, Pinho HS, Urias D (2006) Clinical and quantitative assessment of headgear compliance: a pilot study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 129(2):239–44.

Bräutigam M, Nienkemper M, Wilmes B, Drescher D (2019) Kombination von Lingualtechnik und skelettaler Verankerung zur Korrektur eines frontal offenen Bisses bei Angle Klasse II/1 mit bialveolärer Protrusion. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie* 51(2):103–12.

Byloff F, Kärcher H (2018) Das Grazer Implantat Stabilisierte Pendulum (GISP) zur Distalisierung im Oberkiefer. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie* 50(4):293–303.

- 
- Carrière J (1985) Die ‚C‘-Variable, ein Mittel zur Verankerungskontrolle. Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie 17(3):223–38.
- Chang H-P, Tseng Y-C (2014) Miniscrew implant applications in contemporary orthodontics. The Kaohsiung Journal of Medical Sciences 30(3):111–5.
- Choo H, Kim S-H, Huang JC (2009) Tad, a misnomer? American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 136(2):145–6.
- Cole WA (2002) Accuracy of patient reporting as an indication of headgear compliance. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 121(4):419–23.
- Creekmore TD, Eklund MK (1983) The possibility of skeletal anchorage. Journal of Clinical Orthodontics 17(4):266–9.
- Crismani AG, Bernhart T, Schwarz K, Celar AG, Bantleon H-P, Watzek G (2006) Ninety percent success in palatal implants loaded 1 week after placement: a clinical evaluation by resonance frequency analysis. Clinical Oral Implants Research 17(4):445–50.
- Diedrich P (1993) Verschiedene orthodontische Verankerungssysteme: eine kritische Betrachtung. Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie 54(4):156–71.
- Fröhlich und Körber 1977, Brunner und Kundert 1988 (2005) Zahnverlust und seine Folgen. In: Strub JR, Türp JC, Witkowski S, Hürzeler MB, Kern M, Hrsg. Prothetik Band III. 3. Aufl. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH, 889–910 [Von den Herausgebern übernommen aus: Fröhlich E, Körber, E (1977) Die prothetische Versorgung des Lückengebisses, München sowie Brunner T, Kundert M (1988) Gerüstprothetik, München].
- Gahleitner A, Podesser B, Schick S, Watzek G, Imhof H (2004) Dental CT and orthodontic implants: imaging technique and assessment of available bone volume in the hard palate. European Journal of Radiology 51(3):257–62.
- Gainsforth BL, Higley LB (1945) A study of orthodontic anchorage possibilities in basal bone. American Journal of Orthodontics and Oral Surgery 31(8):406–17.

- 
- Glatzmaier J, Wehrbein H, Diedrich P (1996) Biodegradable implants for orthodontic anchorage: a preliminary biomechanical study. *European Journal of Orthodontics* 18(5):465–9.
- Goldman HM, Gianelly AA (1972) Histology of tooth movement. *Dental Clinics of North America* 16(3):439–48.
- Gray JB, Steen ME, King GJ, Clark AE (1983) Studies on the efficacy of implants as orthodontic anchorage. *American Journal of Orthodontics* 83(4):311–7.
- Guyman GW, Kokich VG, Oswald RJ (1980) Ankylosed teeth as abutments for palatal expansion in the rhesus monkey. *American Journal of Orthodontics* 77(5):486–99.
- Hembree M, Buschang PH, Carrillo R, Spears R, Rossouw PE (2009) Effects of intentional damage of the roots and surrounding structures with miniscrew implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 135(3):280.e1-280.e9.
- Hourfar J, Lissou JA (2017) Wissenschaftliche Stellungnahme zur Verankerung mit Gaumenimplantaten und Kortikalisschrauben in der Kieferorthopädie [Internet]. Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie e.V. (DGKFO). Stellungnahmen der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie e.V. – April 2017 [zitiert am 10.01.2020]. URL: [https://www.dgkfo-vorstand.de/fileadmin/redaktion/veroeffentlichungen/DGKFO-Stellungnahme\\_Implantatverankerung\\_2017-04.pdf](https://www.dgkfo-vorstand.de/fileadmin/redaktion/veroeffentlichungen/DGKFO-Stellungnahme_Implantatverankerung_2017-04.pdf)
- Institut Straumann AG (2006) Straumann® Orthosystem: Basisinformation zum Palatal Implant [Internet]. [zitiert am 10.01.2020]. URL: [https://www.straumann.com/content/dam/media-center/straumann/de-ch/documents/brochure/technical-information/ch\\_151.108\\_de\\_straumann\\_palatalimplantat.pdf](https://www.straumann.com/content/dam/media-center/straumann/de-ch/documents/brochure/technical-information/ch_151.108_de_straumann_palatalimplantat.pdf)
- Janssen KI, Raghoobar GM, Vissink A, Sandham A (2008) Skeletal anchorage in orthodontics: a review of various systems in animal and human studies. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* 23(1):75–88.
- Jepsen A (1963) Root surface measurement and a method for x-ray determination of root surface area. *Acta Odontologica Scandinavica* 21(1):35–46.
- Jones JP, Elnagar MH, Perez DE (2020) Temporary skeletal anchorage techniques. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America* 32(1):27–37.

- 
- Jung BA (2019) Lückenschluss bei Hypodontie regio 25, 35 und 45 durch skelettale Verankerung. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie* 51(4):277–82.
- Jung BA, Kunkel M (2016) Skelettale Verankerungselemente: wissenschaftliches Update. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie* 48(3):163–9.
- Jung BA, Kunkel M, Wehrbein H (2012b) Skelettal verankerte Apparaturen: Gaumenimplantatgestützte Therapiemöglichkeiten zur Klasse-II-Behandlung - das Orthosystem 38(10):1196–208.
- Jung BA, Kunkel M, Wehrbein H (2012c) Skelettal verankerte Apparaturen: Teil 2 - Labortechnische Herstellung, Indikation, Kontraindikation und Behandlungsbeispiel des Orthosystems. *Quintessenz Zahntechnik* 38(11):1412–22.
- Jung BA, Löblein S, Götzmann K (2019) Labortechnische Herstellung eines gaumenimplantatgestützten temporären Lückenhalters. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie* 51(4):238–9.
- Jung BA, Wehrbein H, Heuser L, Kunkel M (2011b) Vertical palatal bone dimensions on lateral cephalometry and cone-beam computed tomography: implications for palatal implant placement. *Clinical Oral Implants Research* 22(6):664–8.
- Jung BA, Wehrbein H, Wagner W, Kunkel M (2012d) Preoperative diagnostic for palatal implants: is CT or CBT necessary? *Clinical Implant Dentistry Related Research* 14(3):400–5.
- Jung BA, Kunkel M, Göllner P, Liechti T, Wehrbein H (2009) Success rate of second-generation palatal implants. *The Angle Orthodontist* 79(1):85–90.
- Jung BA, Kunkel M, Göllner P, Liechti T, Wagner W, Wehrbein H (2012a) Prognostic parameters contributing to palatal implant failures: a long-term survival analysis of 239 patients. *Clinical Oral Implants Research* 23(6):746–50.
- Jung BA, Harzer W, Gedrange T, Kunkel M, Moergel M, Diedrich P, Lüdicke G, Wehrbein H (2010) Spectrum of indications for palatal implants in treatment concepts involving immediate and conventional loading. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie* 71(4):273–80.
- Jung BA, Kunkel M, Göllner P, Liechti T, Moergel M, Noelken R, Borbély P, Wehrbein H (2011a) Does thread design influence relative bone-to-implant contact rate of

---

palatal implants? *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie* 72(3):204–13.

Kahl-Nieke B (2001) Einführung in die Kieferorthopädie. 2. Aufl. München: Urban & Fischer, 185-186.

Kappert HF (2005) Metalle in der Zahnmedizin und ihre Verarbeitung aus klinischer Sicht. In: Strub JR, Türp JC, Witkowski S, Hürzeler MB, Kern M, Hrsg. *Prothetik Band II*. 3. Aufl. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH, 575–606.

Krieger E, Yildizhan Z, Wehrbein H (2015) One palatal implant for skeletal anchorage: frequency and range of indications. *Head & Face Medicine* [Aufsatznummer: 15] 11(1).

Kuroda S, Yamada K, Deguchi T, Hashimoto T, Kyung H-M, Takano-Yamamoto T (2007) Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* [Supplement] 131(4): S68-S73.

Kyung H-M, Park HS, Bae S-M, Sung J-H, Kim I-B (2003) Development of orthodontic micro-implants for intraoral anchorage. *Journal of Clinical Orthodontics* 37(6):321-328.

Leung MT-C, Lee TC-K, Rabie ABM, Wong RW-K (2008) Use of miniscrews and miniplates in orthodontics. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 66(7):1461–6.

Lietz T, Müller-Hartwich R (2006) Zahnerhaltung durch kieferorthopädische Maßnahmen: Minischrauben erweitern die therapeutischen Möglichkeiten. *Das Deutsche Zahnärzteblatt* 115(3):91–102.

Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, White SC (2008) Patient risk related to common dental radiographic examinations: the impact of 2007 international commission on radiological protection recommendations regarding dose calculation. *Journal of the American Dental Association* 139(9):1237–43.

Meursinge Reynders RA, Ronchi L, Ladu L, van Etten-Jamaludin F, Bipat S (2012) Insertion torque and success of orthodontic mini-implants: a systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 142(5):596-614.e5.

- 
- Migliorati M, Benedicenti S, Signori A, Drago S, Cirillo P, Barberis F, Silvestrini Biavati A (2013) Thread shape factor: evaluation of three different orthodontic miniscrews stability. *European Journal of Orthodontics* 35(3):401–5.
- Nienkemper M, Wilmes B, Pauls A, Drescher D (2012) Mehrfachnutzung von Mini-Implantaten für verschiedene Aufgaben. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie* 73(6):467–76.
- Nienkemper M, Wilmes B, Pauls A, Yamaguchi S, Ludwig B, Drescher D (2014) Treatment efficiency of mini-implant-borne distalization depending on age and second-molar eruption. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie* 75(2):118–32.
- Ödman J, Lekholm U, Jemt T, Thilander B (1994) Osseointegrated implants as orthodontic anchorage in the treatment of partially edentulous adult patients. *The European Journal of Orthodontics* 16(3):187–201.
- Papadopoulos MA, Tarawneh F (2007) The use of miniscrew implants for temporary skeletal anchorage in orthodontics: a comprehensive review. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics* 103(5):e6-e15.
- Papageorgiou SN, Zogakis IP, Papadopoulos MA (2012) Failure rates and associated risk factors of orthodontic miniscrew implants: a meta-analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 142(5):577-595.e7.
- Papageorgiou SN, Eliades T, Hämmerle CH (2018) Frequency of infraposition and missing contact points in implant-supported restorations within natural dentitions over time: a systematic review with meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research [Supplement]* 29(S18):309–25.
- Park HS (2003) Clinical study on success rate of microscrew implants for orthodontic anchorage. *The Korean Journal of Orthodontics* 33(3):151–6.
- Reynders R, Ronchi L, Bipat S (2009) Mini-implants in orthodontics: a systematic review of the literature. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 135(5):564.e1-564.e19.
- Ricketts RM, Bench RW, Gugino CF, Hilgers JJ, Schulhof RJ (1988) *Bioprogressive Therapie*. 2. Aufl. Heidelberg: Dr. Alfred Hüthig Verlag, 131-138.

- 
- Rodriguez JC, Suarez F, Chan H-L, Padial-Molina M, Wang H-L (2014) Implants for orthodontic anchorage: success rates and reasons of failures. *Implant Dentistry* 23(2):155–61.
- Schätzle M, Männchen R, Zwahlen M, Lang NP (2009) Survival and failure rates of orthodontic temporary anchorage devices: a systematic review. *Clinical Oral Implants Research* 20(12):1351–9.
- Schlegel KA, Neukam FW (2002) Geschichte der Implantologie. In: Reichart PA, Hausamen J-E, Becker J, Neukam FW, Schliephake H, Schmelzeisen R, Hrsg. *Zahnärztliche Chirurgie Band I*. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH, 389–477.
- Schroeder HE (1992) *Orale Strukturbiologie: Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks*. 4. Aufl. Stuttgart: Thieme, 187-190.
- Seo Y-J, Chung K-R, Kim S-H, Nelson G (2015) Camouflage treatment of skeletal class iii malocclusion with asymmetry using a bone-borne rapid maxillary expander. *The Angle Orthodontist* 85(2):322–34.
- Shapiro PA, Kokich VG (1984) Treatment alternatives for children with severe maxillary hypoplasia. *European Journal of Orthodontics* 6(2):141–7.
- Sugawara J (2014) Temporary skeletal anchorage devices: the case for miniplates. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 145(5):559–65.
- Tetsch J (2019) Implantate im Wachstumsalter: Darf man das? Soll man das? Muss man das? *Bayerisches Zahnärzteblatt* 56(Juli/August):62–71.
- Thean D, Gebauer D, Wan K, Vujcich N, Goonewardene M (2018) Retrospective comparison of the number of screws used for fixation of skeletal anchorage plates in orthodontics, and their failure rates. *The British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery* 56(10):941–5.
- Triaca A, Antonini M, Wintermantel E (1992) Ein neues Titan-Flachschrauben-Implantat zur orthodontischen Verankerung am anterioren Gaumen. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie* 24(24):251–7.
- Tweed CH (1941) The application of the principles of the edgewise arch in the treatment of malocclusion: I. *The Angle Orthodontist* 11(1):5–11.

- 
- Wehrbein H (1994) Enossale Titanimplantate als orthodontische Verankerungselemente: experimentelle Untersuchungen und klinische Anwendung. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie* 55(5):236–50.
- Wehrbein H (2000) Implantate zur orthodontischen Verankerung. In: Diedrich P, Hrsg. *Kieferorthopädie II. Studienausg. der 4. Aufl.* München: Elsevier, Urban & Fischer, 157–68.
- Wehrbein H (2009) Bone quality in the midpalate for temporary anchorage devices. *Clinical Oral Implants Research* 20(1):45–9.
- Wehrbein H, Diedrich P (1993) Endosseous titanium implants during and after orthodontic load: an experimental study in the dog. *Clinical Oral Implants Research* 4(2):76–82.
- Wehrbein H, Merz BR (1998) Aspects of the use of endosseous palatal implants in orthodontic therapy. *Journal of Esthetic Dentistry* 10(6):315–24.
- Wehrbein H, Göllner P (2007) Skelettale Verankerung in der Kieferorthopädie: Grundlagen und klinische Anwendung. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie* 68(6):443–61.
- Wehrbein H, Feifel H, Diedrich P (1999) Palatal implant anchorage reinforcement of posterior teeth: a prospective study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 116(6):678–86.
- Wehrbein H, Jung BA, Kunkel M (2008) Wissenschaftliche Stellungnahme zur kieferorthopädischen Verankerung mit Kortikalisschrauben und Gaumenimplantaten [Internet]. Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie e.V. (DGKFO). Stellungnahmen der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie e.V. – Oktober 2008 [zitiert am 10.01.2020]. URL: [https://www.dgkfo-vorstand.de/fileadmin/redaktion/veroeffentlichungen/Stellungnahme\\_DGKFO\\_KS\\_und\\_GI\\_Wehrbein\\_Jung\\_Kunkel\\_08-09-26.pdf](https://www.dgkfo-vorstand.de/fileadmin/redaktion/veroeffentlichungen/Stellungnahme_DGKFO_KS_und_GI_Wehrbein_Jung_Kunkel_08-09-26.pdf)
- Wehrbein H, Glatzmaier J, Mundwiler U, Diedrich P (1996b) Das Orthosystem: ein neues Implantatsystem zur orthodontischen Verankerung am Gaumen. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie* 57(3):142–53.

---

Wehrbein H, Merz BR, Diedrich P, Glatzmaier J (1996a) The use of palatal implants for orthodontic anchorage: design and clinical application of the orthosystem. *Clinical Oral Implants Research* 7(4):410–6.

Wehrbein H, Merz BR, Hämmerle CH, Lang NP (1998) Bone-to-implant contact of orthodontic implants in humans subjected to horizontal loading. *Clinical Oral Implants Research* 9(5):348–53.

Wiechmann D, Meyer U, Büchter A (2007) Success rate of mini- and micro-implants used for orthodontic anchorage: a prospective clinical study. *Clinical Oral Implants Research* 18(2):263–7.

Yanagita T, Nakamura M, Kawanabe N, Yamashiro T (2014) Class ii malocclusion with complex problems treated with a novel combination of lingual orthodontic appliances and lingual arches. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 146(1):98–107.

Züger M, Hänggi M, Kühl S, Filippi A (2015) Ein neues Explantationsverfahren für Gaumenimplantate. *Quintessenz Zahnmedizin* 66(2):197–202.

---

## **Danksagung**

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird die Danksagung in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

---

## **Beruflicher Werdegang**

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird mein beruflicher Werdegang in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.