

Aus der Klinik für Kieferorthopädie,
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Univ.-Prof. Dr. Jörg Lisson

**Klinischer Vergleich der Verankerung mit Minischrauben
bei Mechaniken zum Lückenschluss im Molaren-
und Prämolarenbereich**

Eine Longitudinalstudie

***Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät***

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2012

vorgelegt von Tim Fabian Zesewitz
geboren am 18.06.1985 in Trier

Tag der Promotion : 28.08.2012
eingereicht am : 09.05.2012
Dekan : Univ.-Prof. Dr. M. D. Menger
Prüfungsvorsitzender : Univ.-Prof. Dr. M. Hannig
1. Berichterstattender: Univ.-Prof. Dr. J. A. Lisson
2. Berichterstattender: Priv.-Doz. Dr. F. P. Nothdurft

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	1
1.1 Abstract	2
2 Einleitung	4
2.1 Einführung in die Thematik	4
2.1.1 Begriffsdefinition	5
2.2 Behandlungskonzept mit Minischrauben.....	6
2.2.1 Position und Insertion der Minischraube	7
2.2.2 Osseointegration.....	8
2.2.3 Direkte / Indirekte Verankerung.....	9
2.2.4 Aktive Elemente.....	10
2.2.5 Biomechanische Aspekte.....	10
2.3 Anwendungsbereich von Minischrauben.....	12
2.4 Therapie von Schalllücken im Seitenzahnbereich.....	13
2.4.1 Kieferorthopädischer Lückenschluss.....	16
2.4.2 Konventionelle Brücke	19
2.4.3 Adhäsivbrücke, Inlaybrücke, Teilkronenbrücke	20
2.4.4 Teilprothese.....	21
2.4.5 Implantat mit Einzelkronenversorgung	22
2.5 Fragestellung.....	24
3 Material und Methode	25
3.1 Patienten	25
3.1.1 Bildmaterial.....	25
3.1.2 Gipsmodelle.....	26
3.1.3 Tabellenaufbau	27
3.2 Position und Breite der Schalllücke	29
3.3 Position und Dimension der Minischraube	30
3.4 Direkte / Indirekte Verankerung	30
3.5 Aktive Elemente.....	31
3.6 Reaktion der Nachbarzähne	31
3.7 Nebenwirkungen.....	33
3.8 Wurzelkonfiguration	34
3.9 Wurzelresorption	35
3.10 Verhalten des Knochenniveaus	36
3.11 Behandlungsdauer.....	37
3.12 Statistische Analyse.....	37

4 Ergebnisse	38
4.1 Patienten	38
4.2 Position und Breite der Schaltlücke	38
4.3 Position und Dimension der Minischraube	39
4.4 Direkte / Indirekte Verankerung	39
4.5 Aktive Elemente.....	40
4.6 Reaktion der Nachbarzähne	42
4.7 Nebenwirkungen.....	43
4.8 Wurzelkonfiguration	45
4.9 Wurzelresorption	46
4.10 Verhalten des Knochenniveaus	47
4.11 Behandlungsdauer.....	47
5 Diskussion	48
5.1 Patienten	48
5.2 Position und Breite der Schaltlücke	48
5.3 Position und Dimension der Minischraube	49
5.4 Direkte / Indirekte Verankerung	50
5.5 Aktive Elemente.....	50
5.6 Reaktion der Nachbarzähne	51
5.7 Nebenwirkungen.....	52
5.8 Wurzelkonfiguration	52
5.9 Wurzelresorption	53
5.10 Verhalten des Knochenniveaus	53
5.11 Behandlungsdauer.....	54
5.12 Therapie von Schaltlücken im Seitenzahnbereich.....	55
5.12.1 Konventionelle Verankerung vs. Minischraube.....	55
5.12.2 Brückenversorgung vs. Minischraube	56
5.12.3 Implantat vs. Minischraube	57
5.12.4 Minischraubenverankerter Lückenschluss	58
5.13 Schlussfolgerung	59
6 Literaturverzeichnis	62
7 Dank	71

1 Zusammenfassung

In der vorliegenden retrospektiven Studie sollte dargestellt werden, ob der singuläre Lückenschluss im Molaren- und Prämolarenbereich mit Hilfe skelettal verankerter Mechaniken erfolgreich durchgeführt werden kann. Weiterhin sollten mögliche Veränderungen am Restzahnbogen, das Verhalten des Knochenniveaus und der Einfluss verschiedener aktiver Elemente auf das Behandlungsergebnis untersucht werden. Zur Anwendung kamen Zugfedern, Teleskopfedern und T-Loops.

Das Untersuchungsgut bestand aus je zwei Orthopantomogrammen, je zwei Modellpaaren und den Akten von 63 Patienten, die sich zwischen 2006 und 2009 zum kieferorthopädischen Lückenschluss einer singulären Schaltlücke im Seitenzahnbereich in einer Fachpraxis für Kieferorthopädie vorstellten. Die Patienten wiesen entweder die Nichtanlage eines bleibenden (Prä-)molaren oder einen zerstörten und daraufhin entfernten (Prä-)molaren auf. Das Alter der Patienten betrug zwischen 10 und 57 Jahre und lag im Median bei 15,7 Jahren. Bis auf die Einschränkung des Behandlungszeitraumes fand keine Selektion des Patientengutes statt. Die Röntgenbilder wurden mit der Software Sidexis und die Gipsmodelle mit einer Schieblehre ausgewertet. Pro Patient wurden insgesamt 37 Werte ermittelt. Das Haupterfolgskriterium stellte eine geschlossene Lücke dar. Weiterhin galten als Nebenkriterien die Auswirkungen der Verankerungsart, der verwendeten aktiven Elemente und der Wurzelkonfiguration auf die Therapie. Außerdem wurden die Position und Dimension der Minischraube, die Behandlungsdauer und das Knochenniveau bewertet.

Die Schaltlücke konnte bei 87,3% der Patienten allein durch die kieferorthopädische Behandlung geschlossen werden. Bei 12,7% der Patienten wurde der definitive Lückenschluss nach geringgradig verbliebenen Restlücken mit einem minimalinvasiven, adhäsiven Kompositaufbau erreicht. Bei diesen Patienten wurde die Minischraube jeweils zu 50% mit Teleskopfedern oder Zugfedern gekoppelt. Bei der Therapie mit T-Loops traten keine Restlücken auf.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass der skelettal verankerte singuläre Lückenschluss ohne reaktiven Verankerungsverlust gelingt. Die Minischraube kann durch verschiedene aktive Elemente mit dem Zahn gekoppelt werden, wobei die Krafteinleitung auf Höhe des Widerstandszentrums wichtig ist. Aufgrund der Wurzelkonfiguration kann vorab keine Prognose über die Zahnbewegung gegeben werden. Geringes Knochenangebot ist kein Ausschlusskriterium für den orthodontischen Lückenschluss. Eine signifikante Zunahme an krestalem Knochen kann nicht erwartet werden. Die Zahnbewegung erfolgt mit ca. 0,8 mm/Monat und führt zu einem Abschluss der Behandlung nach etwa 10 Monaten. Daher sollte vor allem bei heranwachsenden Patienten die Möglichkeit der kieferorthopädischen Behandlung mit skelettaler Verankerung bedacht werden.

Im Vergleich mit einer Implantat- oder Brückenversorgung kann beim minischraubenverankerten Lückenschluss abgesehen von der Schraubeninsertion auf größere invasive Eingriffe, wie die Implantation oder Pfeilerpräparation, verzichtet werden. Die dauerhafte Applikation von intraossären (Implantat) oder koronaren (Zahnersatz) Fremdmaterialien entfällt.

1.1 Abstract

In the present retrospective study it should be shown if singular space closure in the molar and premolar region may be successfully conducted with the aid of skeletal anchored mechanics. Furthermore, possible changes on the remaining dental arch, behaviour of the bone level and the influence of different active elements on the treatment outcome should be examined. Coil springs, telescope springs and t-loops have been applied.

There were 63 patients who came to an orthodontic office between 2006 and 2009 to get an orthodontic space closure of a singular tooth gap in the lateral tooth area. Two orthopantomograms, two sets of plaster models and the charts have been evaluated from each patient. Either the patients had an aplasia of a permanent (pre-) molar or a destroyed and therefore removed (pre-) molar. The patients were aged between 10 and 57 years while the median age was 15,7 years. No selection of the patient materials took place, except the period of treatment. The radiographs were analysed by the software Sidexis and the plaster models with a calliper rule. Altogether 37 values were calculated for each patient. The main criterion for success was a closed gap. Moreover, the impact of the kind of anchorage, the active elements which were used and the root configuration on the therapy have been seen as side criteria. Additionally, the miniscrew' s position and dimension, the duration of treatment and the bone level have been evaluated.

In 87,3% of the patients the edentulous space could be closed because of the orthodontic treatment. At 12,7% of the patients the definite space closure after small remaining gaps could be reached with a minimally invasive, adhesive composite build-up. In these patients the miniscrew was linked with telescope springs or coil springs in 50% each. The therapy with t-loops did not reveal any residual gaps.

The results of this study show that the skeletal anchored singular space closure succeeds without reactive anchorage loss. The miniscrew can be coupled with the tooth through different active elements taking into account that the application of force at the centre of resistance is important. Due to the root configuration a final outlook for the tooth movement cannot be anticipated. Reduced bone level is not an exclusion criterion for the orthodontic space closure. A significant increase of crestal bone cannot be expected. The tooth

movement is done with approximately 0,8 mm per month and leads to an ending of the therapy after roughly 10 months. Especially in adolescent patients it should be noted that the possibility of orthodontic treatment with skeletal anchorage is a possible treatment option. In comparison to implant or bridge work, bigger invasive interventions like implantation or abutment preparation can be avoided with miniscrew anchored space closure except of the screw insertion. The permanent application of intraosseous (implant) or coronary (denture) not autologous materials is no longer required.

2 Einleitung

2.1 Einführung in die Thematik

Edward H. Angle führte 1907 den Begriff der Verankerung in die Kieferorthopädie ein [1]. Er schrieb in seinem Buch „Treatment of malocclusion of teeth“: „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.“ Weiterhin führte er noch an, dass die ideale Verankerung für kieferorthopädische Zahnbewegungen eine unbewegliche Basis im Sinne einer stationären Abstützung sei.

Grundlage dieser biomechanischen Überlegungen ist Newtons drittes Gesetz der Bewegung „*actio est reactio*“. Dieses Gesetz ist in der Kieferorthopädie von großer Relevanz, da neben den angestrebten Zahnbewegungen auch immer mit einer reaktiven Bewegung der Verankerungszähne gerechnet werden muss. Somit gilt eine sichere Verankerung als Basis jeder kieferorthopädischen Behandlung. Proffit definiert die Verankerung als Widerstand gegen ungewollte Zahnbewegung [99]. Allgemein ist sie auch definiert als „das Abfangen oder der kontrollierte Einsatz aller reaktiven Kräfte und Momente“ [35].

Für die Kieferorthopädie wurde diese von Angle erwünschte „unbewegliche Basis“ schon vor über 60 Jahren entdeckt. Als nahezu unbewegliche Basis wurde der Kieferknochen zur Insertion von Implantaten genutzt. So setzten Gainsforth und Highley im Jahre 1945 Vitallium-Schrauben als skelettale Verankerungseinheit in die Unterkiefer von sechs Hunden ein, um mit Hilfe von Edeldrähten orthodontische Kräfte zu applizieren [43]. Linkow implantierte ein enossales Blattimplantat als Verankerungselement von Gummizügen zur Retraktion der Oberkieferfrontzähne [72]. Beide Studien erzielten jedoch keine zufriedenstellenden Langzeitergebnisse, da es zu Entzündungsreaktionen und folglich zum Verlust der Implantate kam. Durch die Entdeckung der Biokompatibilität von Titan verhalfen Brånemark und Aspegren zu einer Lösung dieses Problems. Der lichtmikroskopisch nachgewiesene direkte Kontakt der Titan-Implantate mit dem Knochen, ohne Auslösung einer abstoßenden Reaktion, ließ das Konzept der Osseointegration entstehen [2]. So konnte 1969 eine fünfjährige Überlebensrate der Implantate mit lichtmikroskopisch nachgewiesener Osseointegration aufgezeigt werden [11]. Creekmore und Eklund stellten 1983 einen klinischen Bericht vor, in welchem sie die Insertion von Vitallium-Schrauben in die *Spina nasalis anterior* zur Therapie eines Patienten mit starkem Overbite beschrieben [24]. Es folgten weitere, umfassendere tierexperimentelle und klinische Studien von Turley, Douglass und Roberts [37, 107, 127]. Der Einsatz von dentalen Implantaten konnte sich seit

1980 in Spezialfällen zur orthodontischen Verankerung bewähren. Zu einem gängigen kieferorthopädischen Therapieinstrument konnte das dentale Implantat wegen seiner ungeeigneten Größe und den hohen Kosten nicht werden. Allerdings konnten mit Hilfe der skelettalen Verankerung reaktive Nebenwirkungen, wie sie bei desmodontaler Verankerung auftreten, erfolgreich verhindert werden. Kanomi untersuchte 1997 auf orthodontische Bedürfnisse angepasste Implantate mit geringerem Durchmesser [58]. Hierbei handelte es sich um modifizierte Osteosyntheseschrauben mit einer Länge von 6 mm und einem Durchmesser von 1,2 mm, welche ursprünglich aus dem Bereich der Miniplattenosteosynthese stammten. Da das Design noch unausgereift war und bei der Kopplung der kieferorthopädischen Attachments an den Implantatkopf improvisiert werden musste, kam es durch eingeschränkte Hygienefähigkeit zu Irritationen der Mundschleimhaut. Die folgenden Systeme wurden permanent in ihrer Gestaltung optimiert. Dabei ging es vor allem um den Gewindeaufbau und das Design des Schraubenkopfes [23]. Costa und Melsen publizierten 1998, dass das Minischrauben Konzept relativ leicht zu beherrschen ist, die Behandlungsdauer verkürzt werden kann und die Belastung für den Patienten gering gehalten wird [23]. Es folgten Artikel über Mikro-Implantat Systeme von Park [93, 94].

Wehrbein und Glatzmeier stellten mit dem Orthosystem (Fa. Straumann) ein Implantatsystem vor, welches speziell für die kieferorthopädischen Bedürfnisse entwickelt wurde [46, 131]. Diese Implantate werden erfolgreich im Gaumen eingesetzt, sind aber für die breite kieferorthopädische Anwendung in der Praxis nicht das Mittel der Wahl, da der Aufwand zu groß ist.

In den letzten 15 Jahren wurde zudem mit Miniplatten eine weitere erfolgreiche Möglichkeit der skelettalen kieferorthopädischen Verankerung beschrieben [21, 87]. Sie erfordert jedoch deutlich größeren chirurgischen Aufwand und erhöht die Belastung für den Patienten [19, 66].

Heute werden Minischraubensysteme in Kliniken und privaten kieferorthopädischen Praxen benutzt. Dies ist unter anderem durch gute Ergebnisse, zahlreich auf dem Markt angebotene Systeme, steigende Patientenakzeptanz [19] und viele Einsatzmöglichkeiten der Minischrauben begründet. Minischrauben mit einem Durchmesser von ca. 1,6 mm und einer Länge von 6-10 mm gelten als etablierte kieferorthopädische Verankerungselemente [20, 22, 74, 96]

2.1.1 Begriffsdefinition

Die verschiedenen Implantat-Systeme basieren auf zwei grundsätzlich unterschiedlichen Ausgangsmodellen [77]. Zum einen gibt es die auf prothetischen Implantaten basierenden

Systeme mit einer rauen Oberfläche und einer größeren Dimension, welche eine Einheilzeit von 3-6 Monaten und vor der Belastung eine Osseointegration voraussetzen [15]. In diese Kategorie fallen die kieferorthopädischen Implantate, die retromolaren Implantate und die Gaumen-Implantate [92]. Zum anderen existierten die Systeme, welche ursprünglich auf den aus der Chirurgie bekannten Osteosyntheseschrauben beruhen. Diese Kategorie von Implantaten hat einen kleineren Durchmesser, eine geringere Länge und eine glatte, maschinenpolierte Oberfläche.

Mini-Implantate, Minischrauben, Mikro-Implantate, Mikroschrauben und viele andere Begriffe werden häufig synonym als Möglichkeiten zur skelettalen Verankerung gebraucht [92]. Die Präfixe Mini- und Micro- werden oft verwendet, um sowohl Schrauben, als auch Implantate derselben Größe zu beschreiben. Da das aus dem Griechischen stammende Wort „Mikro“ hauptsächlich für sehr kleine Dimensionen, welche besser unter dem Mikroskop betrachtet werden, angewandt wird, findet in dieser Studie im Folgenden der Term „Minischrauben“ Verwendung.

2.2 Behandlungskonzept mit Minischrauben

Minischraubensysteme zeichnen sich durch ihre reduzierten Dimensionen in Länge und Durchmesser aus. Diese Gestaltung vermindert eine Beeinträchtigung der Integrität benachbarter anatomischer Strukturen und bietet ein breites Indikationsspektrum [69] (→ Kap. 2.3). Es sollten Minischrauben mit einem Durchmesser von ca. 1,6 mm und einer Länge von 6-10 mm verwendet werden [20, 22, 74, 96]. Sie sind von der Compliance des Patienten unabhängig, sobald sie inseriert wurden. Das Behandlungsprinzip beruht auf der skelettalen Verankerungsmöglichkeit, welche unabhängig von der Osseointegration eine sofortige mechanische Belastung ermöglicht [115]. Die unmittelbare Belastung der Minischraube stellt einen großen Vorteil im Vergleich zu Miniplatten oder dentalen Implantaten dar [23, 24, 28, 86, 94]. Viele Autoren beschreiben, dass Minischrauben umgehend belastet werden können [16, 23, 79, 78, 88].

Die Schrauben werden je nach System entweder selbstbohrend direkt, oder selbstschneidend nach dem Vorbohren inseriert. Für die Planung der Verankerung (→ Kapitel 2.2.3) und des Insertionsortes (→ Kapitel 2.2.1) sind die üblichen diagnostischen Unterlagen (Modelle, Fotos, Orthopantomogramm, Fernröntgenseiten-Aufnahme) und die klinische Inspektion ausreichend [115].

2.2.1 Position und Insertion der Minischraube

Die Schraubenposition ist beim (Prä-) Molarenlückenschluss in erster Linie von der zu schließenden Zahnücke abhängig. Es muss dabei beachtet werden, welche Einschränkungen durch das Knochenangebot, den Wurzelverlauf und die Weichgewebsverhältnisse gegeben sind. Zusätzlich sind einige weitere Faktoren zu beachten: So ist es aus biomechanischer Sicht angebracht, die Schraube in einen Interdentalraum mesial der zu schließenden Zahnücke zu inserieren, wenn eine direkte

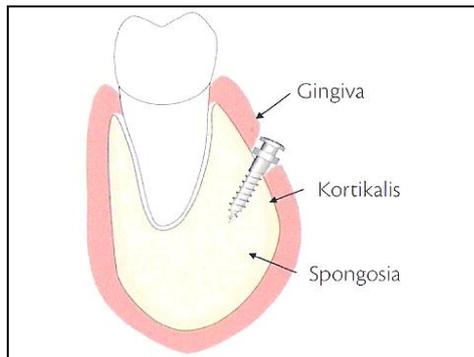


Abb. 1: Anatomische Strukturen, die in Wechselwirkung mit den Schraubenbestandteilen stehen (Ludwig, 2007)

Verankerung mit dem Zahn angestrebt wird. In einem Übersichtsartikel geben Ludwig *et al.* zwei Grundregeln vor. Zum einen gilt: Je weiter distal die Schraube gesetzt wird, desto mehr interdentaler Knochenbreite ist vorhanden. Zum Anderen gilt, dass das Knochenangebot nach apikal hin zunimmt [73]. Dies bestätigt die Auswertung von computertomographischen Datensätzen [114, 121].

Bei der Insertion durchdringt die Minischraube Gingiva, Kortikalis und Spongiosa (→ Abb. 1). Diese verschiedenen Gewebe müssen im Schraubendesign und bei der Insertionstechnik berücksichtigt werden (→ Abb. 2). Der

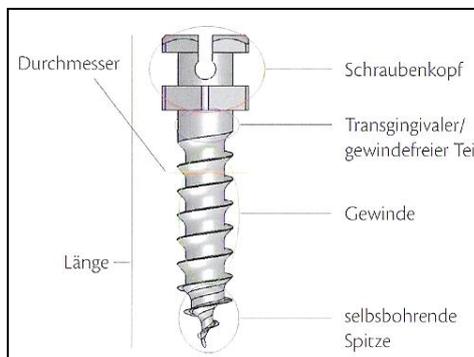


Abb. 2: Aufbau einer Minischraube (Ludwig, 2007)

Schraubenkopf dient der Kopplung mit der kieferorthopädischen Apparatur. Der transgingivale, gewindefreie Teil berücksichtigt die anatomischen Merkmale der Gingiva und beugt Entzündungen vor. Das Gewinde sorgt für die geforderte Primärstabilität und die selbstbohrende Spitze für eine sichere Findung der gewünschten Position [74].

Bei Berücksichtigung, dass der durchschnittliche Außendurchmesser einer Minischraube 1,6 mm beträgt und nach Lietz die Minimalforderung von 0,5 mm zirkumferenten Knochens gegeben ist [69], muss interradikulär ein Knochenangebot von mindestens 2,6 mm vorhanden sein. Die Wahl des idealen Insertionsortes der Minischraube wird allerdings von der Mukogingivallinie nach kaudal hin begrenzt. Die Minischraube sollte nicht im Bereich der beweglichen Schleimhaut eingedreht werden, da hier durch die ständige Bewegung eine Reibung der Schleimhaut am Schraubenkopf entsteht und es zu Schmerzen, Weichteilirritationen und einer Entzündungsreaktion mit folgendem Schraubenverlust kommen kann [73, 82, 114].

Da nur Gingiva und Periost einen Insertionsschmerz wiedergeben können, erfolgt die Insertion meist unter oberflächlicher Anästhesie. Die Minischraube muss manuell oder maschinell mit einer kontinuierlichen Bewegung bei geringem und gleichmäßigem Drehmoment eingedreht werden, um unerwarteten Kontakt mit benachbarten anatomischen Strukturen fühlen zu können. Unterbrochene oder unrunde Drehabläufe weiten das Knochenlager und begrenzen die Primärstabilität. Ebenso kann es bei einer starken mechanischen Belastung zu einer Ermüdungsfraktur kommen [115].

Nach dem Eindrehen muss die Schraube primär stabil sein und die Ausrichtung des funktionellen Schraubenkopfes für die Aufnahme der Konstruktion geeignet sein. Der Halt der Minischraube wird unmittelbar nach der Implantation rein mechanisch durch Verdrängen und Zusammenpressen des umgebenden Knochens erreicht [74].

2.2.2 Osseointegration

Die skelettale Verankerung basiert auf dem Prinzip der Osseointegration. Unter diesem Begriff versteht man einen im Lichtmikroskop sichtbaren, direkten, funktionellen und strukturellen Verbund zwischen dem Knochengewebe und der Oberfläche eines belasteten Implantats [10, 12]. Im Gegensatz zu dentalen Implantaten können Minischrauben schon vor erfolgter Osseointegration belastet werden, was die Behandlungszeit verkürzt [92]. Die unmittelbare und dauerhafte Belastung des Knochens mit einer geringen Kraft wirkt sich günstig auf die Gewebsintegration aus und fördert die Qualität der Verankerung [109, 115]. In einem direkten Vergleich konnte gezeigt werden, dass es nach 18 Wochen bei den unmittelbar belasteten Minischrauben zu einer minimal höheren Kalzifizierung als bei den nicht belasteten Minischrauben gekommen ist [89]. Die Osseointegration nimmt mit der Zeit, die sich die Minischraube im Knochen befindet, zu [32, 78] und beträgt in einer Studie von Melsen 10-60% [78]. Deshalb ist eine Entfernung der Minischraube nach Abschluss der Behandlung durch einfaches Ausdrehen möglich und erwünscht [69, 115, 128]. Dies ist zurückzuführen auf die polierte Oberfläche der Minischrauben, welche die Kontaktfläche zwischen Implantat und Knochen reduziert [55].

2.2.3 Direkte / Indirekte Verankerung

Bei der Art der Verankerungsstrategie unterscheidet man zwischen direkter und indirekter Verankerung [137]. Die direkte Verankerung der Lückenschlussmechanik (→ Abb. 3) zeichnet eine rein minischraubengetragene Verankerung aus. Somit resultiert eine



Abb. 3: Direkte Verankerung der Lückenschlussmechanik an der Minischraube in regio 33-34. Hier ist die Minischraube über eine NiTi-Zugfeder direkt mit Zahn 36 verbunden.

2-Punkt-Mechanik, deren größter Vorteil im Aufbau zweier voneinander unabhängiger Kraftsysteme besteht [73]. Hier beeinflussen sich die Lückenschlussmechanik und die anteriore Ausformung des Zahnbogens nicht gegenseitig. Außerdem ist die direkte Verankerung einfacher in der Handhabung und es kann eine schnelle Zahnbewegung erzielt werden [115]. Eine direkte Verankerung ist jedoch nur sinnvoll, wenn die Position der Schraube der erforderlichen

Kraftwirkungslinie entspricht [132]. Dies ist bei der Mesialisierung von Prämolaren und Molaren bei der interradikulären Insertion im Prämolarenbereich meist der Fall. Falls aber anatomische Gegebenheiten wie Wurzelengstand oder non-attached Gingiva keine solche Position ermöglichen, ist ein anderer Bereich zu wählen und auf eine indirekte Verankerung



Abb. 4: Indirekte Verankerung: Hier ist die Minischraube an Zahn 45 befestigt und stabilisiert so den Hauptbogen.

zurückzugreifen.

Bei der indirekten Verankerung (→ Abb. 4) wird eine desmodontal-skelettale Verankerungseinheit gebildet. Gegen diese Einheit können die Zähne dann orthodontisch bewegt werden. Die Minischraube stabilisiert den Hauptbogen, welcher wiederum den anterioren Zahnbogen gegen die reaktiven Kräfte sichert [73] und die Lückenschlussmechanik enthält. Wenn weitere Zahnstellungen korrigiert werden

sollen, bietet sich eine komplette Bebänderung an. Im Vergleich von direkter zu indirekter Verankerung weisen beide Vor- und Nachteile auf, die es vor der Therapie gegeneinander abzuwägen gilt. Die geringere Implantatbelastung gilt als Vorteil bei der indirekten Verankerung, weil sich die Belastung auf die skelettale und dentale Verankerungseinheit aufteilt [137]. Als Nachteil der indirekten Verankerung ist neben dem genannten Risiko des Verankerungsverlustes die kompliziertere Handhabung zu nennen.

2.2.4 Aktive Elemente

Die Mechaniken, welche die implantierte Minischraube mit der zu bewegenden Zahneinheit verbinden, sind vielfältig. So muss man je nach klinischem Bedarf das optimale der im Folgenden genannten aktiven Elemente auswählen [73]:



Abb. 5: Verschiedene Kopplungselemente: a) Elastikkette, b) Zugfeder, c) Zugschraube, d) Teleskopfeder und e) T-Loop

Ein mögliches aktives Zugelement ist die Elastikkette (→ Abb. 5a), welche jedoch ein geringes und schnell abfallendes Kraftniveau aufweist. Sie ist sehr schnell und unkompliziert applizierbar. Die Nickel-Titan Zugfedern (→ Abb. 5b) sind aufgrund ihrer nahezu konstanten Kraftabgabe biomechanisch günstiger als elastische Ketten [137]. Allerdings sind sie bisher nur in wenigen Längen erhältlich. Eine weitere Möglichkeit zur Verbindung stellt die Zugschraube (→ Abb. 5c) dar. Diese kann zuhause durch einen Stellschlüssel aktiviert werden, ist aber für den Behandler zeitaufwändiger im Einbau. Die Teleskopfeder (→ Abb. 5d) bietet ein für die Bewegung ausreichendes Kraftniveau, ist intraoral jedoch zeitaufwändig anzupassen. Ein T-Loop (→ Abb. 5e) bietet ein optimales Kraftniveau, welches durch Aktivierung modifizierbar ist. Hier sind wegen der individuellen Herstellung und Anpassung genaue Kenntnisse in der Segmentbogentechnik notwendig.

Jedes dieser Kopplungselemente bietet ein individuelles Kraftniveau zur Zahnbewegung. Der Kraftbedarf ist in der Literatur allerdings selten beschrieben. Freudenthaler wählt in seiner Studie mit Erfolg eine Sofortbelastung von 1,5 N [41]. Kyung entscheidet sich ebenfalls für eine einwirkende Kraft von 1,5 N [67]. Chen wählt eine Belastung von 1-3 N [19]. Miyawaki [82] empfiehlt wie Ludwig eine Kraft von etwa 2 N, welche erreicht werden muss, um Seitenzähne zu bewegen. Dies wird am Besten mit individuell gebogenen T-Loop-Federn in 17x25 β -Titan-Qualität erreicht [73].

2.2.5 Biomechanische Aspekte

Unabhängig davon, welches System verwendet wird, fallen bei der skelettalen Verankerung die Auswirkungen eines exzentrischen Kraftansatzes deutlicher aus, als bei der konventionellen kieferorthopädischen Technik, bei welcher jegliche Kräfte über den

Hauptbogen verteilt werden [73]. Durch den exzentrischen Kraftansatz auftretende Probleme sind die Mesialrotation und die Mesialangulation.

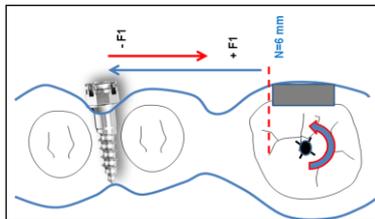


Abb. 6: Mesialrotation durch einseitige Kräfteinwirkung

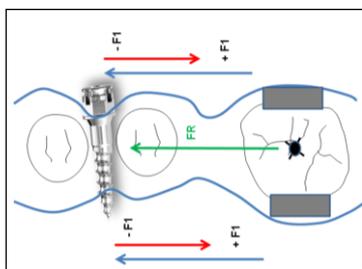


Abb. 7: Parallele Führung des Zahnes durch eine bilateral angreifende Kraft

Die Monokortikale vestibuläre Verankerung der Minischraube lässt an einem bukkal gesetztem Bracket die Kraft einseitig auf den Zahn einwirken. Dabei kommt es häufig zu einer unerwünschten Mesialrotation des Zahnes (→ Abb. 6) [73]. Brettin hat zu dieser Thematik eine In-vitro-Studie mit 22 monokortikal und 22 bikortikal verankerten Minischrauben durchgeführt. Er stellte fest, dass die bikortikal verankerten Minischrauben eine signifikant höhere Widerstandsfähigkeit haben, die Belastung für die Kortikalis minimieren, eine höhere Festigkeit gewährleisten und zwei Verankerungspunkte für die kieferorthopädische Kopplung bieten [13]. Morarend hat 2009 gezeigt, dass mit einer bikortikal inserierten Minischraube eine höhere Festigkeit und Stabilität erreicht, der Schraubendurchmesser reduziert und somit das Indikationsspektrum erhöht werden kann [84]. Freudenthaler empfiehlt ebenfalls eine bikortikale Verankerung [41]. Vorzugsweise sollte daher auf eine bikortikal verankerte Minischraube zurückgegriffen werden. So kann der Zahn durch eine bilateral angreifende Kraft parallel geführt werden (→ Abb. 7).

Die Mesialangulation des Zahnes ist eine weitere biomechanische Herausforderung. Wird bei einer direkten Verankerung beispielsweise eine elastische Kette zwischen Schraubenkopf und Bracket angebracht, führen die wirkenden Kräfte zu einer Neigung des Molaren nach mesial (→ Abb. 8). Das ist darin begründet, dass das Widerstandszentrum des Zahnes im Wurzelbereich liegt und sich der Zahn daher um das etwas oberhalb liegende Rotationszentrum dreht. Dieses aufgrund der dichteren Kompakta vor allem im Unterkiefer auftretende Problem kann durch eine nachträgliche Aufrichtung oder durch eine Verlegung des Kraftansatzes gelöst werden (→ Abb. 9). Das nachträgliche Aufrichten des Zahnes nimmt zusätzliche Zeit in Anspruch.

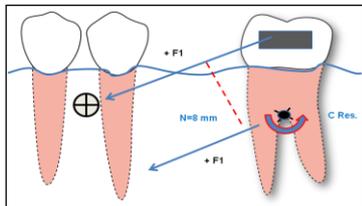


Abb. 8: Der vertikale Höhenversatz zwischen Bracket und Schraubenkopf kann zu einer Mesialangulation des Zahnes führen.

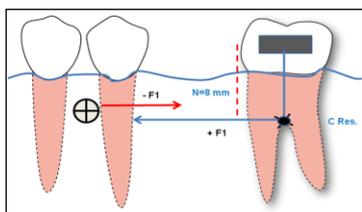


Abb. 9: Verlegung des Kraftansatzes nach kaudal zur Erzeugung eines parallelen Kraftvektors.

Somit ist eine unmittelbare Verlegung des Kraftansatzes nach kaudal und die dadurch folgende Erzeugung eines parallelen Kraftvektors eine geeignete Alternative. Dies kann erreicht werden, indem ein handgebogener Verlängerungsarm oder ein individuell adaptierbarer

Space-Jet parallel zum Zahn an der Zahnkrone befestigt wird und die Verbindung zum Schraubenkopf ab dort senkrecht zum Zahn erfolgen kann. Die so erfolgte Krafteinleitung auf Höhe des Widerstandszentrums verhindert eine Mesialangulation des Zahnes [73]. Freudenthaler *et al.* haben dieses Problem ebenfalls erkannt und gleichartig gelöst [41].

2.3 Anwendungsbereich von Minischrauben

Minischrauben bieten aufgrund ihrer reduzierten Dimension in Länge und Durchmesser ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten. Durch den Wegfall der reaktiven Kräfte an den Verankerungszähnen werden sie vorzugsweise bei den kieferorthopädischen Aufgabenstellungen herangezogen, welche eine absolute Verankerung bedingen. Diese sind vor allem sagittale und vertikale Bewegungen im Zahnbogen [115]. Sie umfassen im Einzelnen [132]:

- den Lückenschluss von mesial
- den Lückenschluss von distal
- die In- und Extrusion von Front- und Seitenzähnen
- die Distalisierung und Mesialisierung von Zahngruppen
- die Mittellinienkorrektur
- die Molarenaufrichtung

Im Vergleich mit den anderen skelettalen Verankerungskonzepten (→ Kap. 2.1) haben Minischrauben folgende Vorteile [132]:

- einfache Insertions- und Explantationstechnik
- relativ günstiger Preis
- Anwendung in diversen anatomischen Bereichen beider Kiefer

Die Literatur zur Anwendung von Minischrauben bietet ein umfassendes Spektrum an Artikeln. Der Großteil der Studien befasst sich mit Erfolgsfaktoren, In- und Extrusion von Zähnen, dem Vergleich verschiedener Systeme, dem Aufrichten gekippter Molaren, der Distalisierung von Zähnen oder der Zahnbogenkoordination und weniger mit der Mesialisierung von Zähnen [28, 59, 86, 92].

2.4 Therapie von Schatlücken im Seitenzahnbereich

Schatlücken im Bereich der Prämolaren und des Sechs-Jahr-Molaren treten häufig auf und können verschiedene Ursachen haben. Diese sind meistens tief zerstörte und nicht erhaltungswürdige erste Molaren oder nicht angelegte zweite Prämolaren.

McCaul beschreibt, dass 33,8% der Zahnextraktionen in der Altersgruppe bis 21 Jahre auf die Molaren fallen. 57,5% der extrahierten Zähne sind Prämolaren, wobei davon 84,5% aus kieferorthopädischen Gründen gezogen wurden [76]. Die ersten und zweiten Molaren sind neben den Prämolaren die Zähne, welche am Häufigsten extrahiert werden [76]. Der erste bleibende Molar ist im bleibenden Gebiss der Zahn mit der höchsten Kariesprävalenz [80, 85]. Eine Untersuchung der Frankfurter Uniklinik zeigte, dass etwa 12% der Patienten bereits vor dem kieferorthopädischen Behandlungsbeginn ein oder mehrere Molaren fehlten [115]. Eine Untersuchung von 1400 Kindern zeigte 1968, dass bei achtjährigen Kindern etwa 70-85% der Sechs-Jahr-Molaren kariesfrei waren, bei den 13-14 Jährigen jedoch nur 9-18% [29]. Dies deutet auf einen rapiden Anstieg der Kariesprävalenz in der Pubertät hin. Liegt eine Schatlücke im Seitenzahnbereich vor, so ist zu 60% der erste Molar betroffen [49]. Heute ist der Kariesbefall durch verbesserte Prophylaxe und optimierte Therapiemöglichkeiten zur minimalinvasiven Füllungstherapie geringer [83]. Der kariesbedingte Verlust von Zähnen ist durch die deutlich verbesserte Zahnpflege und das wachsende Zahnbewusstsein in der Bevölkerung rückläufig. Dennoch betreffen auch heute noch 22,5% aller kariesgeschädigten Zahnoberflächen den 1. Molar [33]. Stark kariösen Zähnen kann zwar mit fortschrittlicher, defektorientierter Adhäsivtechnik und endodontischen Behandlungen begegnet werden, aber solch stark zerstörte Zähne, welche einmal in den Restorations-Zyklus aufgenommen wurden, müssen im späteren Verlauf mit erhöhter Wahrscheinlichkeit extrahiert werden [45].

Eine Hypodontie beschreibt die Nichtanlage von bis zu vier typischen Zähnen. In der westeuropäischen Bevölkerung besteht bei ca. 30% der Menschen im bleibenden Gebiss eine Aplasie von Zähnen, wobei die dritten Molaren am Häufigsten betroffen sind. Wenn man diese außer Betracht lässt, ist bei 6-10% der Bevölkerung im bleibenden Gebiss eine Hypodontie vorhanden. Dabei sind die zweiten Prämolaren mit 2,5 - 4% die Zähne, die am Häufigsten nicht angelegt sind [8, 123].

Ein Lückenschluss ist somit häufig im Prämolaren- und Molarenbereich nötig. Oft stellt sich die Frage, ob die Lücke nach der Extraktion geschlossen werden sollte, oder ob der vorhandene Milchmolar bzw. weitgehend zerstörte Sechs-Jahr-Molar zumindest noch temporär erhalten werden sollte. Möglicherweise kann auch ein Implantat mit Einzelzahnkrone eine Option oder eine Brückenversorgung indiziert sein.

Der Lückenschluss dient der Wiederherstellung von Kaufunktion, Ästhetik, Okklusion und Phonetik. Die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität steigt [110] und das allgemeine Wohlbefinden verbessert sich ebenfalls [101]. Daneben kommen prophylaktische Funktionen hinzu: Veränderungen der Zahnstellung, wie Wanderungen, Kippungen und Drehungen von Nachbarzähnen sowie Elongationen von Antagonisten können verhindert werden. Als Alternativen zum kieferorthopädischen Lückenschluss sind Implantate mit Einzelkronenversorgung (→ Kap. 2.4.5), konventionelle Brücken (→ Kap. 2.4.2), Teilprothesen (→ Kap. 2.4.4) und Adhäsivbrücken (→ Kap. 2.4.3) als Zahnersatz vorhanden [65, 119]. Ein Goldstandard für die Versorgung jeder Schallücke ist nicht vorhanden. Jede Behandlungsalternative hat spezifische Vor- und Nachteile, welche bei der jeweiligen Therapieplanung berücksichtigt werden müssen. Tabelle 1 zeigt die Übersicht einiger Vor- und Nachteile.

Behandlungsmethode	Vorteile	Nachteile
Kieferorthopädischer Lückenschluss mit Minischraubenverankerung	<ul style="list-style-type: none"> • Schonung der Zahnhartsubstanz • Lückenschluss mit eigenen Zähnen • Verzicht auf Zahnersatzmaterialien • Knochenerhalt 	<ul style="list-style-type: none"> • Lange Behandlungsdauer • Einordnungsfähiger dritter Molar notwendig
Kieferorthopädischer Lückenschluss mit konventioneller Verankerung	<ul style="list-style-type: none"> • Schonung der Zahnhartsubstanz • Lückenschluss mit eigenen Zähnen • Verzicht auf Zahnersatzmaterialien • Knochenerhalt 	<ul style="list-style-type: none"> • reziproke Verlagerung der Ankerzähne muss in einem zweiten Schritt kompensiert werden • Mittellinienüberwanderung möglich • Lange Behandlungsdauer • Einordnungsfähiger dritter Molar notwendig • Bei extraoraler Verankerung: hohe Compliance notwendig • Eingeschränkte Ästhetik während der Behandlungsphase
Brückenversorgung	<ul style="list-style-type: none"> • Kurze Behandlungsdauer • Auch bei schlechter Compliance möglich • Günstiger als Implantatversorgung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wachstum des Alveolarfortsatzes muss abgeschlossen sein • Hoher Verlust von Zahnhartsubstanz • Risiko der Entstehung von Sekundärkaries • Schwierige Reinigung • Retentionsverlust möglich • Gefahr der Alveolarfortsatzatrophie
Adhäsivbrücke	<ul style="list-style-type: none"> • Präparation von nur ca. 10% der Zahnhartsubstanz • Geringere Invasivität als konventionelle Brücken • Geringe Gefahr der Pulpairritation • Kurze Behandlungsdauer 	<ul style="list-style-type: none"> • Stark eingeschränkte Indikation • Hoher klinischer Aufwand • Langzeiterfahrungen mit neuen, optimierten Verfahren fehlen • Gefahr der Alveolarfortsatzatrophie
Teilprothese	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Kosten • kurze Behandlungsdauer 	<ul style="list-style-type: none"> • eingeschränkte Phonetik, Ästhetik und Funktion • provisorische Lösung • kein festsitzender Zahnersatz • Kariesprädispositionsstelle im Bereich der Klammern
Implantatversorgung	<ul style="list-style-type: none"> • Schonung der Zahnhartsubstanz • Herstellung einer idealen Neutralverzahnung möglich • Sehr hohe Erfolgsraten 	<ul style="list-style-type: none"> • Wachstum des Alveolarfortsatzes muss abgeschlossen sein • Hohe Behandlungskosten • Lange Einheilzeit des Implantates • Bei geringem Knochenangebot sind weitere Maßnahmen notwendig

Tab. 1: Vor- und Nachteile der verschiedenen Versorgungsalternativen einer Schallücke im Molaren- oder Prämolarenbereich.

2.4.1 Kieferorthopädischer Lückenschluss

Der singuläre kieferorthopädische Lückenschluss im Seitenzahnbereich kann eine Alternative zur prothetischen Versorgung darstellen und ist primär beim Vorliegen einer neutralen Eckzahnrelation mit akzeptablem sagittalem und vertikalem Überbiss möglich. Der anteriore Zahnbogen gilt in diesem Fall als unveränderbare Konstante, an dem außer einem eventuellen Alignment keine Korrektur, aber auch keine negative Veränderung vorgenommen werden sollte [73]. Das Vorliegen von unilateralen Lückensituationen zählt beim Fehlen weiterer rechtfertigender Gründe zur systematischen Ausgleichsextraktion zu einer schwierigeren Aufgabenstellung für den Kieferorthopäden [73]. Beim kieferorthopädischen Lückenschluss ist mit einer Behandlungsdauer von mehreren Monaten zu rechnen. Dies ist mit dem hohen natürlichen Verankerungswert der Molaren [143], weiten Mesialisierungswegen und begrenzten Zahnbewegungsraten zu begründen [5, 103, 106]. Beim kieferorthopädischen Lückenschluss sind verschiedene Verankerungsformen möglich. So muss zwischen intraoraler, extraoraler und skelettaler Verankerung unterschieden werden.

Ein Großteil der kieferorthopädischen Behandlungen wird mit festsitzenden kieferorthopädischen Geräten, sogenannten Multibracketapparaturen, durchgeführt. Die hierzu verwendeten Brackets werden in der Regel mittels Adhäsivtechnik auf den vestibulären Zahnflächen befestigt. Bei dieser intraoralen, desmodontalen Verankerung besteht jedoch immer das Risiko des Verankerungsverlustes. Graber hat in seinem Buch bereits 1972 gezeigt, dass es selten gelingt, Molarenlücken zu schließen ohne ungewollte Zahnbewegungen, wie zum Beispiel eine Lingualkippung der Frontzähne, als Nebeneffekt zu erhalten [48]. Dies wurde in weiteren Studien bestätigt [39, 44]. Grundsätzlich hat jeder Zahn ein eigenes Verankerungspotential und eine eigene Wahrscheinlichkeit sich zu bewegen, wenn eine Kraft gegen den Zahn gerichtet wird. Dies wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst [34]:

- Attachmentlevel
- Größe der Wurzeloberfläche
- Dichte und Struktur des Alveolarknochens
- parodontale Regenerationsrate
- muskuläre Aktivität
- okklusale Kräfte
- Richtung und Größe der einwirkenden Kraft

In einem Review zur kieferorthopädischen Verankerung und auftretendem Verankerungsverlust wurden insgesamt 14 Artikel ausgewertet [39]. Alle beschäftigten sich entweder mit dem Prämolaren-Lückenschluss oder der Molaren-Distalisation, basierend auf konventioneller, desmodontaler Verankerung. Bei den dort untersuchten dentalen Verankerungskonzepten konnte keine optimale Methode gefunden werden, denn es trat bei allen Studien ein Verankerungsverlust auf und es kam zu Zahnkippen und Zahnlücken im anterioren Bereich. Zudem wird dort eine Studie gefordert, welche auch die skelettale Verankerung berücksichtigt.

Ist das rein desmodontale Verankerungspotential angesichts des gewünschten Behandlungszieles inadäquat, sollte auf weitere intra- und / oder extraorale Verankerungshilfen zurückgegriffen werden, um unerwünschte Nebeneffekte zu vermeiden [34]. Verankerungshilfen wie Headgear oder Gesichtsmasken ermöglichen eine stationäre Verankerung, sind allerdings mit potentiellen Nachteilen, wie der Compliance-Abhängigkeit und der Sichtbarkeit, verbunden [34]. Wegen der äußerlichen Sichtbarkeit ist es schwierig, die meist jungen Patienten von der Dringlichkeit des Tragens zu überzeugen. Diedrich stellte fest, dass die geringe Compliance, resultierend in einem diskontinuierlichen Tragen des Headgears, problematisch ist [34].

Einige Verankerungsmöglichkeiten sind somit von der aktiven Mitarbeit des Patienten abhängig, andere bergen das Risiko eines Verankerungsverlustes in sich. Der steigende Bedarf an kieferorthopädischen Therapiemöglichkeiten, welche eine minimale Compliance voraussetzen und gleichzeitig eine maximale Verankerung bieten, hat zur Verwendung von Minischrauben geführt. Durch die Etablierung skelettaler Verankerungstechniken wird heute ein asymmetrischer Lückenschluss ohne reaktiven Verankerungsverlust am anterioren Zahnbogen umsetzbar.

Generell gilt, dass Minischrauben-Systeme in den Fällen genutzt werden können, in denen die Unterstützung der Zähne als Verankerungselement qualitativ oder quantitativ nicht gewährleistet werden kann und eine konventionelle Behandlungsmethode nicht durchführbar ist [108]. Neben dem Lückenschluss von Nichtanlagen bei den meist noch recht jungen Patienten, entsteht in der zahnmedizinisch immer besser versorgten und bis ins fortgeschrittene Alter größtenteils bezahnten Gesellschaft eine steigende Nachfrage nach alternativen Versorgungen einzelner verloren gegangener Zähne. Die skelettale Verankerung über Minischrauben ist vor allem dann indiziert, wenn der Anspruch besteht, dass keine ungewollten reaktiven Kräfte auf die übrigen Zähne wirken [40, 108].

Die Insertion einer Minischraube (→ Kap. 2.2) ist ein invasiver Vorgang und es besteht trotz aktueller methodischer Fortschritte die kalkulierbare Komplikation des Schraubenverlustes.

Daher muss die Lückenversorgung mit dem Patienten kritisch besprochen werden und eine Aufklärung über alle Alternativen erfolgen. Generell muss im zu therapierenden Quadranten der jeweilige Weisheitszahn angelegt und einordnungsfähig sein, um eine vollständige Abstützung der Antagonisten zu gewährleisten.

Folgende Richtlinien müssen bei der Behandlung mit Minischrauben zutreffen [73] (→ Abb. 10):

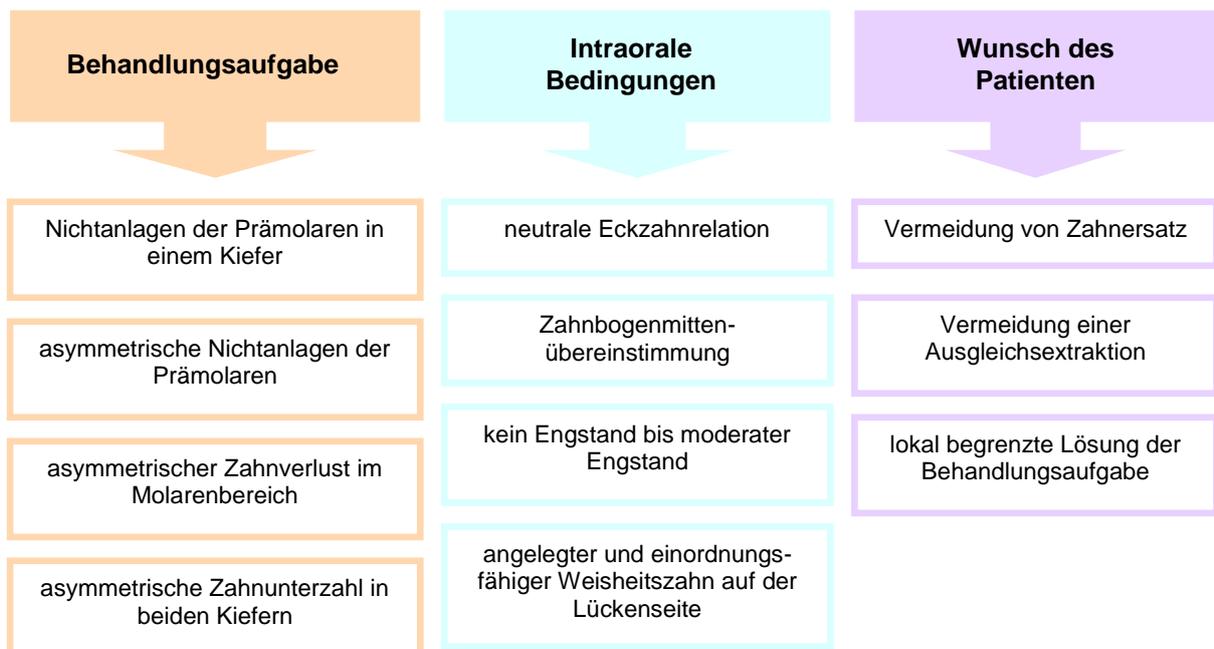


Abb. 10: Richtlinien zur Mesialisierung posteriorer Zahngruppen. (Ludwig, 2009)

Als Alternativen sind Implantate mit Einzelkronenversorgung, Brücken, Klebebrücken oder auch Teilprothesen vorhanden (→ Kap. 2.4.2 – 2.4.5).

2.4.2 Konventionelle Brücke

Unter einer Brückenversorgung versteht man festsitzenden Zahnersatz, welcher fehlende Zähne ersetzt. Der Brückenzahnersatz besteht aus den Pfeilerzähnen, den darauf zementierten oder adhäsiv befestigten Brückenankern und mindestens einem Brückenzwischenstück, durch welches der fehlende Zahn ersetzt wird (→ Abb. 11a-c).



Abb. 11: Versorgung einer Schallücke in regio 26 mit einer vollkeramischen Brücke. (a) Zahn 26 musste aufgrund einer fortgeschrittenen Parodontitis extrahiert werden. (b) zeigt die präparierten Pfeiler, (c) die zementierte Brücke.

Im Seitenzahnbereich wird die Brücke in der Regel auf zwei lückenbegrenzenden Pfeilerzähnen abgestützt. Brücken werden heute aus vollkeramischen Werkstoffen [111], Edelmetalllegierungen oder edelmetalfreien Legierungen hergestellt [52]. Im sichtbaren Bereich sind Brückenanker und -glieder zu verblenden, wobei eine Keramikverblendung einer Kunststoffverblendung überlegen ist [52].

Brücken werden an den durch präparative Maßnahmen vorbereiteten natürlichen Zähnen fixiert [119]. Je nachdem aus welchem Werkstoff die Brücke hergestellt werden soll, müssen die präparativen Maßnahmen in unterschiedlicher Ausführung vorgenommen werden. So liegen die Richtwerte bei Präparationen für Vollgusskronen im Prämolaren- und Molarenbereich bei einer zirkulären Reduktion von 0,8 mm und einer okklusalen Reduktion von 1,2 mm. Bei Metallkeramik- und Vollkeramikronen liegt die zirkuläre Reduktion bei 1,2 mm und okklusal bei 1,5 mm [119]. In jedem Fall ist eine möglichst minimalinvasive Präparation mit dem Ziel der Pulpaschonung zu bevorzugen [97]. Da die mechanische Retention mit der Stumpfhöhe steigt, ist eine Mindeststumpfhöhe von 5 mm je Pfeilerzahn bei einem Präparationswinkel von $<15^\circ$ empfohlen [138]. Nach dem Beschleifen ist die Dentinwunde der Pfeilerzähne durch ein Kunststoffprovisorium abzudecken [52]. Diese temporäre Phase erstreckt sich etwa über zehn Tage, da der definitive Brückenzahnersatz im zahntechnischen Labor hergestellt werden muss. Das Brückenzwischenstück ist konvex oder eiförmig (ovate pontic) der Gingiva aufliegend zu gestalten, um Schmutznischen zu vermeiden [144].

Brücken im Seitenzahnbereich sind dann indiziert, wenn es durch den Zahnverlust oder durch Nichtanlage von Zähnen zu Störungen der Phonetik, Ästhetik und vor allem der Kaufunktion gekommen ist, oder wenn mit solchen Störungen zu rechnen ist [119].

Begünstigt wird die Indikation von Brücken, wenn die Pfeilerzähne bereits Zahnhartsubstanzdefekte aufweisen und / oder mit Füllungen bzw. Kronen versorgt waren. Kontraindiziert ist Brückenzahnersatz bei periapikalen Entzündungen, insuffizienten Wurzelkanalfüllungen und bei unzureichender Retention eines Pfeilerzahnes. Ebenfalls gibt es spezielle Kontraindikationen wie zu große Spannweiten und ein zu geringer Restzahnbestand. Außerdem sollte man aufgrund der stattfindenden Umbauvorgänge des Alveolarfortsatzes nach der Extraktion eines Zahnes zwischen drei und sechs Monaten mit der Anfertigung definitiver Brückenversorgungen warten [119]. Bei Jugendlichen unter 18 Jahren ist aufgrund des in der Regel großen Pulpenkavums und des nicht abgeschlossenen Wachstums definitiver, festsitzender Brückenzahnersatz nicht indiziert [119]. Auch wenn eine Brücke die Regelversorgung bei Erwachsenen darstellt, ist zu bedenken, dass es meist zum Verlust von viel gesunder Zahnhartsubstanz kommt. Darüber hinaus kann Sekundärkaries entstehen, sowie ein Retentionsverlust der Brücke auftreten [119]. Zudem ist bei einer Brücke die schlechtere Zugänglichkeit für häusliche Hygienemaßnahmen gegeben. Vor allem bei jungen Patienten ist ein kritischer Aspekt der zu erwartende Knochenabbau im Bereich des Brückenzwischengliedes. So ist nach dem Verlust eines persistierenden Milchzahnes nach drei Jahren mit einer Abnahme der Kieferkambbreite von 25% zu rechnen. Nach sechs Jahren beträgt die Abnahme bereits über 30% [90]. Dieser zu erwartende Knochenabbau unter dem Brückenzwischenglied macht eine spätere Implantation sehr aufwändig [4].

Die Langzeitergebnisse bei konventionellen Brücken sind ausführlich dokumentiert und zeigen gute Ergebnisse. Kerschbaum *et al.* fertigten mehrere Studien zu Brückenversorgungen an und geben die mittlere Tragezeit von Brücken mit 20 Jahren an [61]. Bei Scurria *et al.* lag die 10-Jahres-Überlebensrate bei 87% [116]. Meta-Analysen von Creugers und Scurria zeigen ebenfalls gute Ergebnisse. So analysierte Creugers 42 klinische Studien zur Überlebensrate von Brückenzahnersatz. Bei 4118 Brücken errechnete er nach der Kaplan-Meier-Methode eine Überlebensrate von 74% nach 15 Jahren Tragezeit [26].

2.4.3 Adhäsivbrücke, Inlaybrücke, Teilkronenbrücke

Bei Adhäsivbrücken werden im Vergleich zu konventionellen Brücken die Pfeilerzähne nicht komplett überkront. Das Brückenzwischenglied wird mittels Säure-Ätztechnik adhäsiv an den Nachbarzähnen befestigt. Eine solche Adhäsivbrücke wird nach ihrer Entwicklungsstätte auch Maryland-Brücke genannt [119]. Diese Technik hat bezüglich der Pfeilerzähne den

Vorteil, dass der präparative Eingriff deutlich geringer ausfällt. Ähnlich der Adhäsivbrücke werden bei Inlay- und Teilkronenbrücken die Pfeilerzähne nicht zirkulär beschliffen, sondern entsprechende okklusal-approximale Innenkavitäten präpariert.

Der Vorteil dieser Brückensysteme besteht somit in einem geringeren Abtrag von Zahnhartsubstanz. Im Vergleich zu einer konventionellen Kronenpräparation mit 75% Substanzabtrag, werden bei einer Adhäsivbrückenpräparation nur etwa 10% der Zahnhartsubstanz entfernt [38, 119]. Dementsprechend ist die Indikation für eine solche Brücke dann zu stellen, wenn die vitalen Pfeilerzähne eine relative Kariesfreiheit aufweisen [119]. Kontraindiziert sind Adhäsivbrücken auch trotz relativer Kariesfreiheit, wenn die Zahnlücken breiter als die Größe des zu ersetzenden Zahnes sind, die Pfeilerstellung durch Kippung ungünstig erscheint, das Schmelzangebot zu gering ist, ungünstige okklusale Verhältnisse wie ein tiefer Biss vorliegen, oder die Compliance und Mundhygiene auf Seiten des Patienten nicht ausreichend erscheinen [119].

Die Erfolgsraten von Adhäsivbrücken sind geringer als die der konventionellen Brücken. In einer Studie von Creugers wurden 203 Adhäsivbrücken über mehr als zehn Jahre nachuntersucht. Hier lag im Seitenzahnbereich eine Überlebensrate von 57% vor [25]. In einer 15-Jahres-Studie wurde ebenfalls eine geringere Zuverlässigkeit als bei herkömmlichen Brücken gezeigt [63].

2.4.4 Teilprothese

Eine Teilprothese kann ebenfalls zum Lückenschluss herangezogen werden. Hier werden die fehlenden Zähne durch konfektionierte Kunststoffzähne ersetzt, welche in einer Kunststoffbasis verankert der Schleimhaut aufliegen. Der Halt dieser Prothesen erfolgt über Klammern, die im Unterschnitt der benachbarten Zähne zu liegen kommen. Um ein Absinken der Prothese zu vermeiden, werden an den Klammern okklusale Auflagen angebracht. Im Vergleich mit anderen Versorgungsmöglichkeiten stellt die Teilprothese für den Patienten mit Lückengebiss eine kostengünstige Lösung dar. In der Regel wird aber erst auf eine Teilprothese zurückgegriffen, wenn mehrere Zähne innerhalb eines Kiefers fehlen. Die DGZMK hat in einer Stellungnahme zu klammerverankerten Teilprothesen die Indikationen und Kontraindikationen der Versorgung zusammengestellt [75]. Die klassische Indikation besteht bei uni- oder bilateral verkürzten Zahnreihen (Kennedy Klasse I / II). Zum Ersatz von Einzelzahnschaltlücken werden Teilprothesen nur sehr selten herangezogen. Aufgrund der Probleme beim Prothesenhalt und der eingeschränkten Ästhetik wird eine Teilprothese bei einer Einzelzahnschaltlücke lediglich als Provisorium bis zur Fertigstellung der definitiven Arbeit eingesetzt [119]. Die DGZMK empfiehlt in einer wissenschaftlichen Mitteilung eine

Teilprothese nur, wenn der Zugang zur Mundhöhle erschwert ist oder wenn die Kosten für den Patienten eine sehr wichtige Rolle spielen [52].

2.4.5 Implantat mit Einzelkronenversorgung

Mit Hilfe eines enossalen Implantats kann ein Lückenschluss erfolgen (→ Abb. 12). Bei den dentalen Implantaten beruht die Verbindung zwischen der Implantatoberfläche und dem angrenzenden Knochen auf Osseointegration [11].



Abb. 12: (a-c) zeigen die Versorgung der Schaltlücke regio 26 durch ein Implantat mit vollkeramischer Krone. Eine Neutralverzahnung konnte aufgrund des fehlenden Zahnes 24 nicht erreicht werden. (d) zeigt den abschließenden Zahnfilm. Es wurde ein Implantat mit 4,5 mm Durchmesser verwendet. (Fotos: PD Dr. Nothdurft, Homburg)



Unter diesem Begriff versteht man einen im Lichtmikroskop sichtbaren, direkten, funktionellen und strukturellen Verbund zwischen dem Knochengewebe und der Oberfläche eines belasteten Implantats [10]. Es wird angenommen, dass die osseointegrierten Implantate den umgebenden Knochen in einer Weise belasten, welche den physiologischen Verhältnissen an der natürlichen Zahnwurzel ähnelt [68]. Bei gesunden Verhältnissen tragen die Implantate direkt zur Aufrechterhaltung des Alveolarknochens bei, da die Lasteinleitung und Lastverteilung in den Alveolarknochen die metabolischen Prozesse im Knochen unterstützen [134]. Dentale Implantate können entweder sofort nach der Extraktion gesetzt werden, nach 4 bis 6 Wochen Wartezeit, oder als Spätimplantate nach Verknöcherung der Alveolen [119]. Die DGZMK empfiehlt eine Einheilzeit von 3-6 Monaten. Implantate dienen der Pfeilervermehrung und können somit als Halteelemente für Prothesen, als Pfeiler für festsitzende Brücken, oder wie für diese Studie relevant, als Pfeiler für festsitzende Einzelzahnkronen verwendet werden. Der Kronenzahnersatz kann mit dem Implantat verschraubt oder auf dem Implantat zementiert werden. Indiziert sind Implantate vor allem bei vorliegender Kennedy Klasse III (Schaltlücke im Seitenzahnbereich) und intakter Zahnhartsubstanz der lückenbegrenzenden Zähne bei ausreichendem Knochenangebot [95, 119].

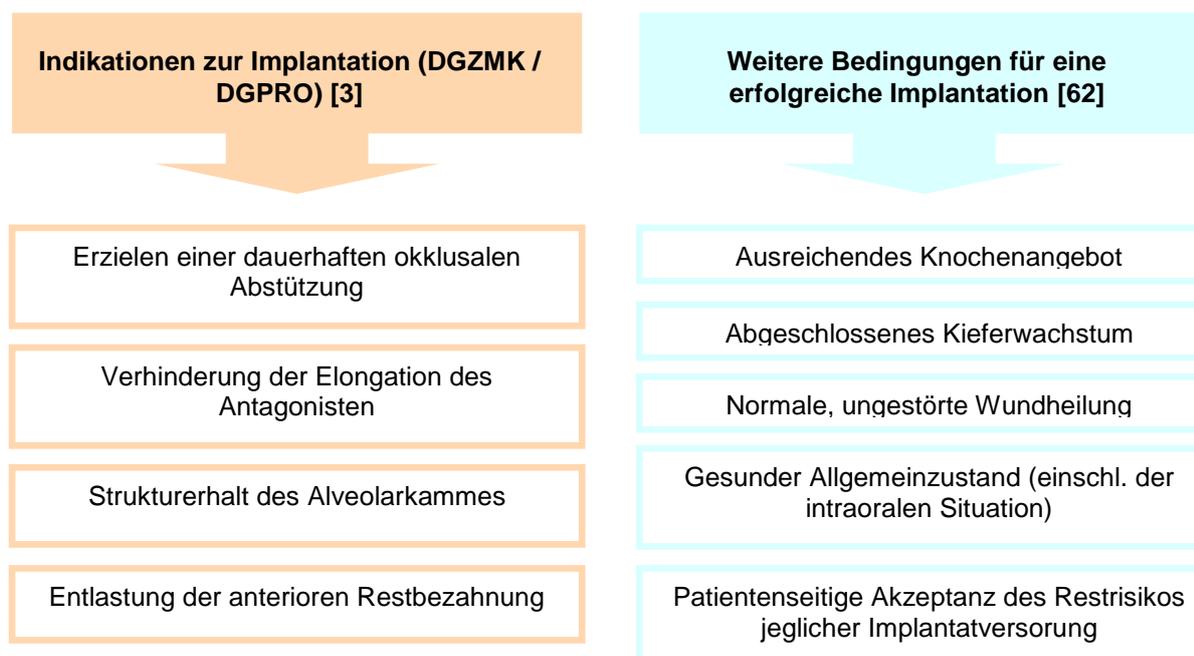


Abb. 13: Linke Spalte: Indikationen zur Implantation laut einer gemeinsamen Stellungnahme von DGZMK und DGPro [3]. Rechte Spalte: Grundvoraussetzungen nach Koeck, welche eine erfolgreiche Implantation erst möglich machen [62].

Das vorhandene Knochenangebot ist ein sehr wichtiger Faktor. Im Unterkiefer besteht im Bereich der Molaren und Prämolaren eine Verletzungsgefahr des *Nervus alveolaris inferior*, wenn nicht genügend Knochen vorhanden ist. Bei starker Atrophie des Alveolarfortsatzes kann jedoch durch weitere Operationen das vorhandene Knochenangebot erweitert werden. Dies kann beispielsweise durch ein autologes Knochentransplantat aus der *Crista iliaca* des Beckens oder durch Einsatz von künstlichem Knochenersatzmaterial geschehen. Ändert sich bereits eine Grundbedingung, so führt dies zur Risikoerhöhung und damit zur Beeinträchtigung der Erfolgswahrscheinlichkeit [14].

Bezogen auf die vorliegende Fragestellung ist ein Nachteil der dentalen Implantate, dass sie nicht vor Abschluss des Alveolarfortsatzwachstums eingesetzt werden sollten, da sie die Entwicklung des umliegenden Knochens und sogar die Eruption der angrenzenden Zähne beeinträchtigen können [104, 117, 124]. Wenn Implantate vor dem Wachstumsabschluss von *Maxilla* und *Mandibula* gesetzt werden, kann das Implantat somit in eine Infraposition gelangen [104]. Dieser Umstand würde funktionelle und ästhetische Probleme verursachen, welche zu Folgebehandlungen führen würden. Bei Männern ist das Wachstum des Schädels meist nicht vor dem 21. Lebensjahr beendet, bei Frauen meist nicht vor dem 17. Lebensjahr [42, 104].

Bei Einzelzahnversorgungen zeigen sowohl die Implantate, als auch der jeweilige Zahnersatz gute Langzeitresultate. So zeigte Priest in einer Studie mit 116 Einzelzahnimplantaten, dass nach 10 Jahren eine Überlebensrate von 97,4% vorlag [98].

Haas *et al.* zeigten, dass von 76 Einzelzahnimplantaten, die mit Einzelkronen versorgt wurden, nach 10 Jahren 93% intakt waren [50]. Scheller *et al.* haben in einer multizentrischen Studie die Überlebensrate von 99 Einzelzahnimplantaten und 99 Einzelkronen über 5 Jahre hinweg untersucht. Die Überlebensrate der Kronen betrug dort 91,1% und die der Implantate 95,9% [113].

2.5 Fragestellung

Da sich in der gesamten Literatur zur Mesialisierung von (Prä-)molaren bisher nur Fallberichte [41, 65, 86] und keine umfassenden Studien finden, ist es Ziel der vorliegenden Arbeit herauszufinden, ob und in wie weit unterschiedliche jeweils mit Minischrauben verankerte Mechaniken in der Lage sind, einen singulären Lückenschluss im Prämolaren – oder Molarenbereich zu erwirken.

3 Material und Methode

3.1 Patienten

Es wurden Patienten untersucht, bei denen zwischen Juli 2006 und August 2009 eine Schalllücke im Molaren- oder Prämolarenbereich mit Hilfe einer skelettal verankerten Mechanik geschlossen wurde. Die Patienten stellten sich entweder mit der Nichtanlage eines bleibenden Zahnes oder mit einer Lücke aufgrund einer indizierten Extraktion im Seitenzahnbereich vor. Die Unterlagen der untersuchten Patienten stammen aus einer Fachpraxis für Kieferorthopädie. Untersucht wurden 63 Patienten, 35 weibliche und 28 männliche. Ausgewertet wurden Panorama-Schichtaufnahmen, zugehörige Situationsmodelle und die jeweiligen Karteikarten.

3.1.1 Bildmaterial

Von jedem Patienten lag je eine Panoramascichtaufnahme (OPT) von Beginn und Ende der Behandlung vor. Zudem waren von jedem Patienten intraorale Fotos vom Therapieverlauf vorhanden.

Für die Anfertigung aller OPT wurde ein Röntgengerät der Firma Sirona (Orthophos XG Ceph®, Spannung: 64 kV, Stromstärke: 8 mA, Belichtungsdauer: 14,1 s) verwendet. Bei dem Strahlensensor handelt es sich um einen CCD-Sensor. Falls der Patient zu Behandlungsbeginn bereits ein aktuelles, analog angefertigtes OPT aufweisen konnte, wurde diese mit einem DIN-A4-Durchlicht-Scanner (Brother MFC-9420CN LAN) der Firma Brother International GmbH® eingescannt und mit Hilfe der Software MFL-Pro Suite der Firma Brother International GmbH auf einen Personalcomputer mit dem Betriebssystem Microsoft® Windows XP Professional übertragen und zur Auswertung verwendet.

Alle Orthopantomogramme wurden mit Hilfe der Software Sidexis neXt Generation 1.52 (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim) vermessen (→ Abb. 14).

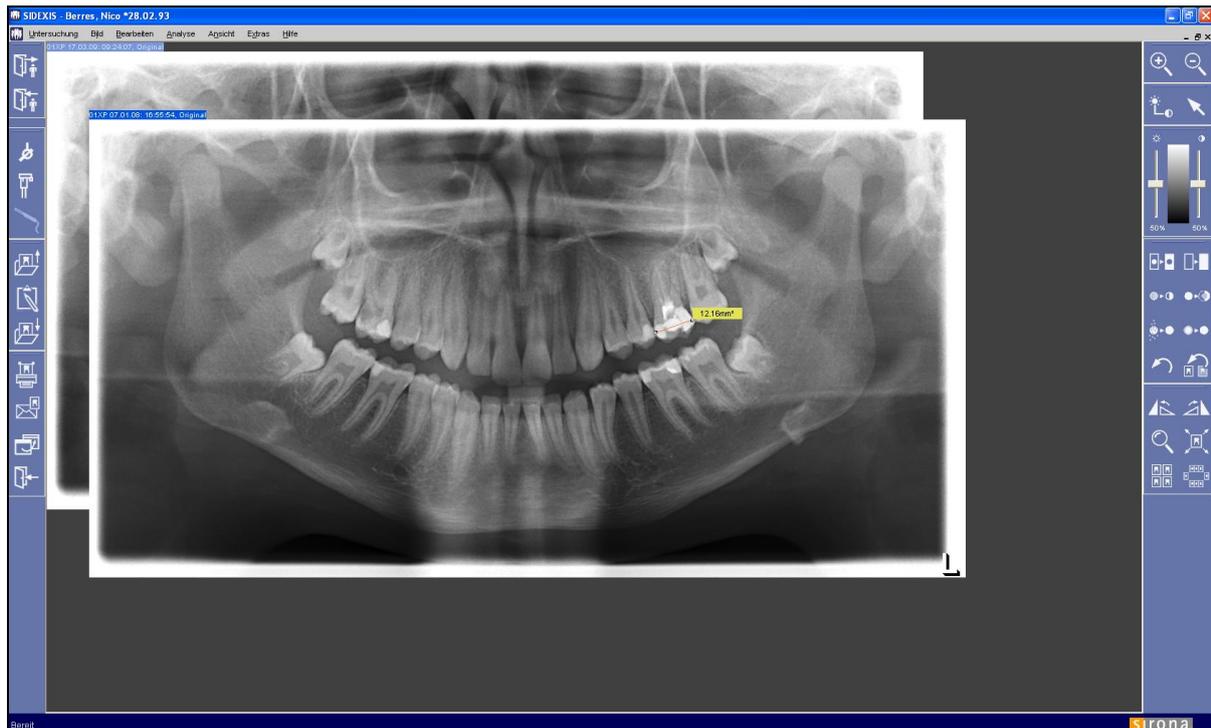


Abb. 14: Die digitale Messung der Breite von Zahn 26 in einem Orthopantomogramm mit der Computer Software Sidexis. Hier im Beispiel die Messung einer Zahnbreite in der Übersicht.

Die Panorama-Schichtaufnahmen wurden auf folgende Kriterien hin untersucht:

- Breite der Schaltlücke bei Behandlungsbeginn und –ende (→ Kap. 3.2)
- Reaktion der Nachbarzähne (→ Kap. 3.6)
- Nebenwirkungen im Restzahnbogen (→ Kap. 3.7)
- Wurzelkonfiguration der zu bewegenden Zähne (→Kap. 3.8)
- Wurzelresorption der zu bewegenden Zähne (→Kap. 3.9)
- Verhalten des Knochenniveaus (→Kap. 3.10)

3.1.2 Gipsmodelle

Von jedem Patienten wurde je ein Modell zu Behandlungsbeginn und –ende erstellt. Die Modelle wurden aus Hartgips des Typs III in der Farbe weiß hergestellt. Alle 126 Gipsmodelle wurden mit Hilfe einer Schieblehre vermessen. Die Messung erfolgte am Kontaktpunkt der lückenbegrenzenden Zähne (→ Abb. 15)



Abb. 15: Vermessung eines Gipsmodelles. Hier wurde mit der Schieblehre die Lückenbreite zwischen den Zähnen 45 und 47 vor dem Behandlungsbeginn gemessen.

Die Gipsmodelle wurden nach folgenden Aspekten vermessen:

- Breite der Schaltlücke bei Behandlungsbeginn und –ende (→ Kap. 3.2)
- Reaktion der Nachbarzähne (→ Kap. 3.6)
- Nebenwirkungen im Restzahnbogen (→ Kap. 3.7)

3.1.3 Tabellenaufbau

Aus den Patientenakten wurden stets die im Folgenden genannten Daten extrahiert und statistisch auswertbar in alphabetischer Reihenfolge des Nachnamens (Spalte A) in eine Tabelle eingetragen. Für die Spalten A bis Y wurden sämtliche relevanten Daten aus den Patientenakten, Röntgenbildern und Gipsmodellen verwertet. Die Spalten AB bis AO enthalten die aus den festgestellten Daten errechneten Werte, die für die Studie wertvoll waren. Der Aufbau der Tabelle wird im Folgenden erläutert:

Spalte	Inhalt	Werte (Beschreibung)	Abkürzungen	Einheit	Ergebnisse
A	Patientenname	Nachname, Vorname			
B	Geschlecht	weiblich ; männlich	W, M		→ 4.1
C	Intention der Behandlung	Nichtanlage des Zahnes / zerstörter Zahn	NA, Z		→ 4.1
D	Geburtsdatum				→ 4.1
E	Behandlungsbeginn	Datum der Pin Insertion			→ 4.11
F	Behandlungsende	Behandlungsabschluss			→ 4.11
G	Position der Zahnücke	Position nach FDI-Schema			→ 4.2
H	Position der Minischraube	Lage mesial des eingetragenen Zahnes ; 0=Gaumen	3, 4, 5, 6, 0		→ 4.3
I	Länge der Minischraube	6 ; 8 ; 10		mm	→ 4.3
J	Wurzelkonfiguration	konvergierend ; divergierend ; Pfahlwurzel ; unauffällig	k, d, p, n		→ 4.8
K	Wurzelresorption	ja ; nein	1, 2		→ 4.9
L	Reaktion der Nachbarzähne	keine Veränderung ; gekippt ; körperlich gefolgt	1, 2, 3		→ 4.6
M	Aktives Element	T-Loop ; Teleskopfeder ; Zugfeder ; Kombinationen	1, 2, 3, 4, 5		→ 4.5
N	Lingualzug	ja ; nein	1, 2		→ 4.5
O	Verankerung	direkt ; indirekt ; kombiniert	1, 2, 3		→ 4.4
P	Lückenbreite am Gipsmodell	mit Schieblehre gemessene Zahlenwerte		mm	→ 4.2
Q	Lückenbreite am OPT	mit Sidexis gemessene Zahlenwerte		mm	→ 4.2
R	Größe der Restlücken	mit Schieblehre gemessene Zahlenwerte		mm	→ 4.2
S	Knochniveau am OPT	mesial der Zahnücke, vor Behandlung gemessen		mm	→ 4.10
T	Knochniveau am OPT	distal der Zahnücke, vor Behandlung gemessen		mm	→ 4.10
U	Knochniveau am OPT	mesial der Zahnücke, nach Behandlung gemessen		mm	→ 4.10
V	Knochniveau am OPT	distal der Zahnücke, nach Behandlung gemessen		mm	→ 4.10
W	Gegenkieferhinderung	keine ; elongiert ; Zahn als Platzhalter vorhanden	1, 2, 3		→ 4.7
X	Veränderungen des Restzahn Bogens	elongierte Antagonisten ; Infraokklusion wurde angehoben ; eingeordnet ; Kreuzverzahnung ; Lücken sind entstanden	1, 2, 3, 4, 5		→ 4.7
Y	Komplikationen	Pinverlust ; aufgetretene Kiefergelenksbeschwerden	1, 2		→ 4.7
AB	Behandlungsdauer	mit DATEDIF aus E und F errechnet		Monate	→ 4.11
AC	kumulierte Lückenbreite	aus P und Q errechnet		mm	→ 4.2
AD	Lückenschlussgeschwindigkeit	aus AB und AC errechnet		mm/Monat	→ 4.11
AF	Behandelter Kiefer	mit IF aus G bestimmt, ob Lücke im OK bzw. UK	1, 2		→ 4.3
AG	Lückenbreiten im OK	mit IF aus G und AC bestimmt		mm	→ 4.2
AH	Lückenbreiten im UK	mit IF aus G und AC bestimmt		mm	→ 4.2
AI	Lückenschlussgeschwindigkeit im OK	aus AF UND AD bestimmt		mm/Monat	→ 4.11
AJ	Lückenschlussgeschwindigkeit im UK	aus AF UND AD bestimmt		mm/Monat	→ 4.11
AK	Lückenschlussgeschwindigkeit (konvergierend)	aus AB und AC bezogen auf Wurzelform J		mm/Monat	→ 4.11
AL	Lückenschlussgeschwindigkeit (divergierend)	aus AB und AC bezogen auf Wurzelform J		mm/Monat	→ 4.11
AM	Lückenschlussgeschwindigkeit (Pfahlwurzel)	aus AB und AC bezogen auf Wurzelform J		mm/Monat	→ 4.11
AN	Lückenschlussgeschwindigkeit (unauffällige Wurzel)	aus AB und AC bezogen auf Wurzelform J		mm/Monat	→ 4.11
AO	Vergrößerungsfaktor Lückenbreite OPT zu Gipsmodell	aus Q / P errechnet			→ 4.2

Tab. 2: Aufbau der Tabelle, in welche alle erfassten Daten der 63 Patienten eingetragen wurden. Basierend auf der Analyse von Gipsmodellen, Röntgenbildern und der Extraktion aus den Karteikarten.

3.2 Position und Breite der Schallücke

Die Position der Schallücke wurde anhand der OPT nach dem internationalen FDI-Schema bestimmt und numerisch in die Tabelle eingetragen (→ Tab. 2, Spalte G).

Die Lückenbreite wurde auf den OPT anhand der Aufnahmen zu Behandlungsbeginn und -ende bestimmt (→ Abb. 16). Dies erfolgte mit dem im Computerprogramm Sidexis integrierten Messwerkzeug „Länge messen“. Als Referenzpunkte dienten bei allen Messungen die Punkte der Zahnkronen, welche am weitesten in die Lücke hineinragten. Nach Ausmessung der jeweiligen Lückenbreite wurde diese numerisch in der Einheit Millimeter und somit statistisch auswertbar in die angefertigte Tabelle eingefügt (→ Tab. 2, Spalte Q)

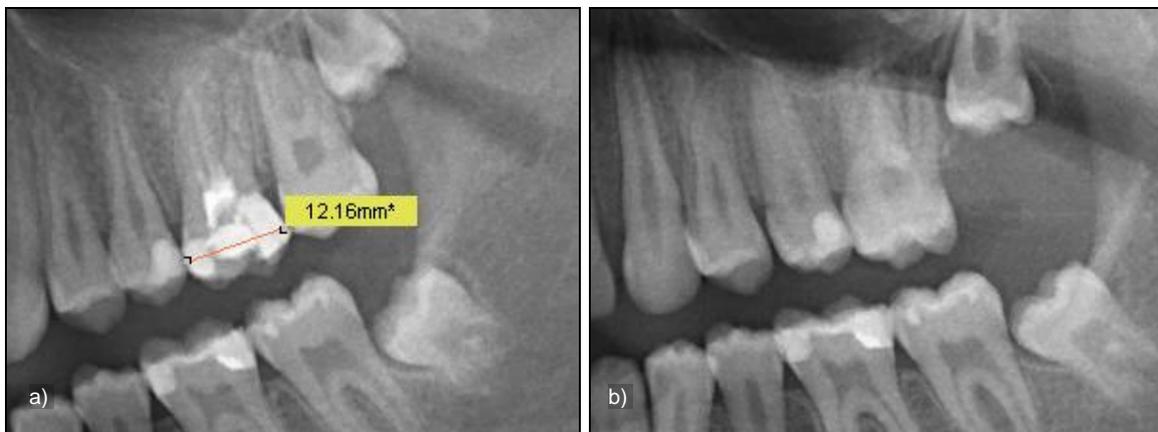


Abb. 16: (a) zeigt die Breite der entstehenden Lücke vor der Extraktion des stark zerstörten Zahnes 26. (b) zeigt die geschlossene Lücke nach der Behandlung.

An den Gipsmodellen wurde die Breite der Zahnücke mit einer Schieblehre in mesio-distaler Richtung gemessen, wobei der geringste Abstand der lückenbegrenzenden Zähne als Referenz genommen wurde (→ Abb. 17). Im Falle einer verbliebenen Lücke wurde diese an den Modellen, welche nach Behandlungsende hergestellt wurden, gleichermaßen festgestellt. Nach Ausmessung der jeweiligen Distanzen wurden diese numerisch in der Einheit Millimeter und somit statistisch auswertbar in die angefertigte Tabelle eingefügt (→ Tab. 2, Spalten P, R).

Durch den vorhandenen Film-Objekt-Abstand bei Röntgenaufnahmen waren auf den OPT größere Lückenbreiten als auf den Gipsmodellen zu erwarten. Der Vergrößerungsfaktor wurde für jeden Patienten errechnet (→ Tab. 2, Spalte AO).

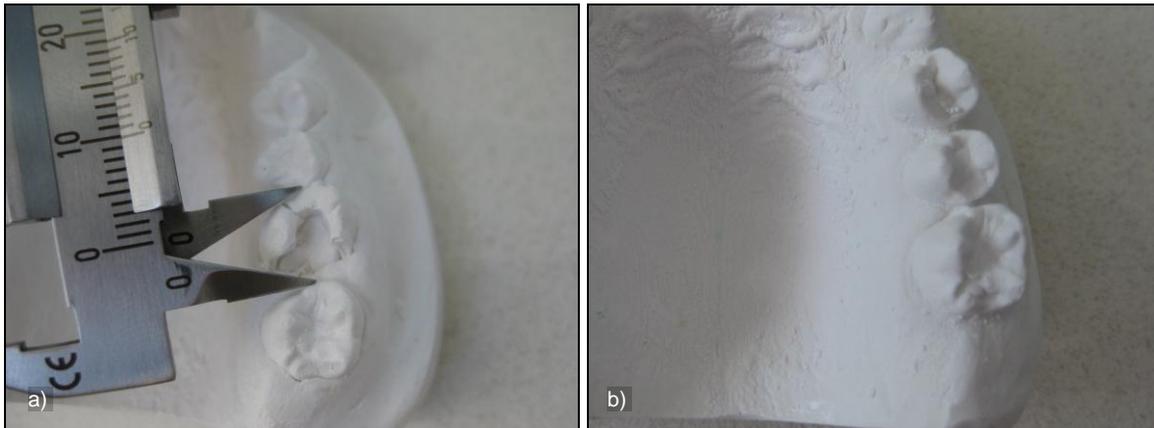


Abb. 17: Messung der Lückenbreite. (a) zeigt die Vermessung des Modells mit der Schieblehre vor der Extraktion des zerstörten Zahnes 26 und vor Beginn der Lückenschlusstherapie. (b) zeigt die geschlossene Lücke nach Extraktion von Zahn 26 und abgeschlossener Mesialisierung von Zahn 27.

3.3 Position und Dimension der Minischraube

Die Position und die Dimension der Minischraube wurden anhand der Karteikarten ermittelt. Die Daten wurden mit der in der Patientenakte vorhandenen Fotodokumentation abgeglichen und gegebenenfalls ergänzt.



Abb. 18: Durch Anodisieren der Oberfläche wird die Dimension der Minischraube angezeigt: Rosé: 6mm, Pink: 8mm, Gold: 10mm.

Die Position der Minischraube wurde nach dem FDI-Schema festgelegt und numerisch in die Tabelle eingetragen (→ Tab. 2, Spalte H). Der eingetragene Wert entsprach dem Zahn, zu dessen Wurzel die Minischraube mesial gesetzt wurde. Bei einer Insertion der Minischraube im Gaumen wurde der Wert „0“ eingetragen.

Die Dimension der Minischraube (→ Abb. 18) wurde nach ihrer Länge numerisch in die Tabelle eingetragen (→ Tab. 2, Spalte I).

3.4 Direkte / Indirekte Verankerung

Die Art der Verankerung (→ Kap. 2.2.3) wurde anhand der Karteikarten ermittelt und mit der Fotodokumentation abgeglichen. Die Behandlung erfolgte entweder mit direkter Verankerung (Gruppe 1), indirekter Verankerung (Gruppe 2) oder kombiniert (Gruppe 3). Die Ergebnisse wurden numerisch in die Tabelle eingetragen (→ Tab. 2, Spalte O).

3.5 Aktive Elemente

Das verwendete aktive Element (→ Kap. 2.2.4) wurde anhand der Karteikarten ermittelt und mit der Fotodokumentation abgeglichen. Es wurden T-Loops (Gruppe 1), Teleskopfedern (Gruppe 2) oder Zugfedern (Gruppe 3) verwendet (→ Abb. 19). Wurden zwei verschiedene Systeme gleichzeitig (bei Lingualzug) oder nacheinander verwendet, so wurde dies als Kombination vermerkt (Gruppen 4 und 5; → Abb. 19c). Die Werte wurden numerisch und somit statistisch auswertbar in die Tabelle eingetragen (→ Tab. 2, Spalte M). Alle Gruppen wurden auf verbliebene Restlücken (→ Tab. 2, Spalte R) hin untersucht.

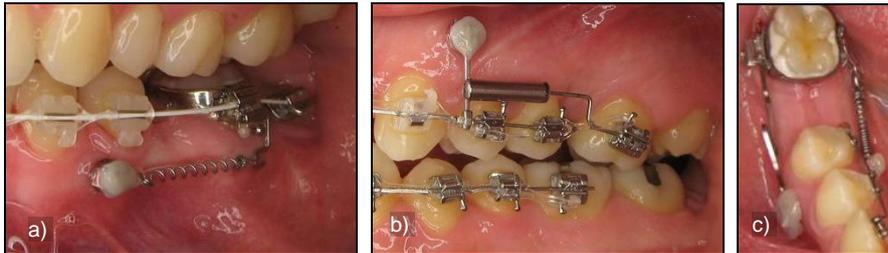


Abb. 19: Aufstellung der verschiedenen Systeme. (a) zeigt die Versorgung mit einer Zugfeder, (b) die Versorgung mit einer Teleskopfeder, (c) eine bilateral angreifende Lückenschlussmechanik, bukkal über einen T-Loop, lingual über eine Zugfeder.

3.6 Reaktion der Nachbarzähne

Die Reaktion der Nachbarzähne des zu bewegenden Zahnes wurde in drei verschiedene Gruppen eingeteilt. Es wurde berücksichtigt, ob die Nachbarzähne gekippt, dem bewegten Zahn körperlich gefolgt, oder an der ursprünglichen Position verharrt sind und sich somit eine Lücke gebildet hat. Bei den gekippten Zähnen wurde mit Hilfe des Messwerkzeuges „Winkel messen“ im Programm Sidexis der Winkel zwischen Zahn und Kauebene gemessen und mit der identisch durchgeführten Messung im OPT nach Behandlungsende verglichen (→ Abb. 22). Die Kauebene ist definiert durch den Interinzisalpunkt und die distobukkale Höcker der zweiten Molaren im Unterkiefer. Die Neigung des Zahnes wurde vergleichbar mit der Methode nach Heckmann bestimmt: Die Senkrechte zur Verbindungslinie der Höckerspitzen wurde durch die Furkation gelegt. Patienten, bei denen die Winkeldifferenz von 10° überschritten wurde, wurden in die Gruppe 2 (gekippte Nachbarzähne, → Abb. 22) eingestuft. Sind bei den gefolgten Zähnen röntgenologisch keine Lücken distal des bewegten Zahnes entstanden, wurde dieser Patient in Gruppe 3 aufgenommen (→ Abb. 20). Sind die Zähne nur teilweise dem mesialisierten Zahn gefolgt sind, wurde dieser Patient in Gruppe 1 eingestuft (→ Abb. 21). Nach Zuordnung der jeweiligen Situation wurde diese in die angefertigte Tabelle eingefügt (→ Tab. 2, Spalte L).

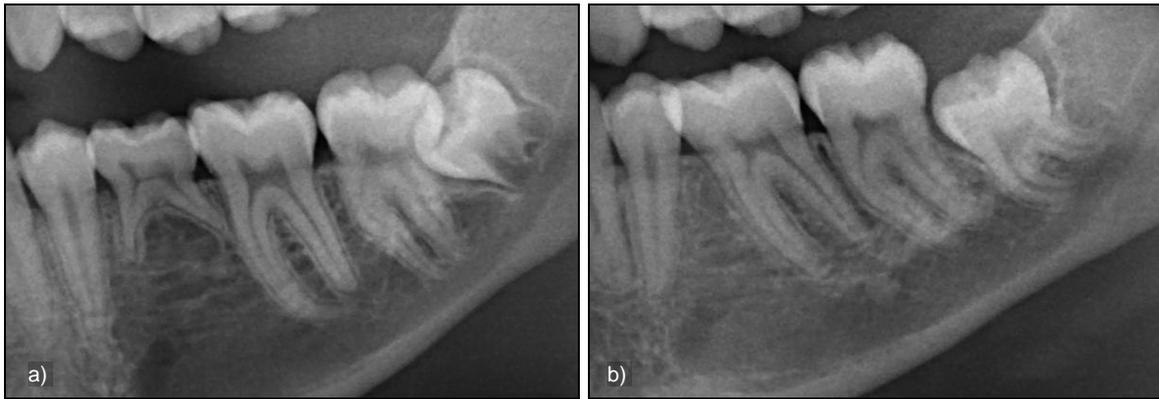


Abb. 20: Körperlich gefolgte Nachbarzähne. (a) zeigt die Zähne 75, 36, 37 und 38 vor der Behandlung. (b) zeigt Zahn 36 nach dem Lückenschluss und die Zähne 37, 38, welche körperlich gefolgt sind, ohne zu kippen.



Abb. 21: Entstandene Lücke. (a) zeigt eine langjährig bestehende Lücke. In (b) ist diese Lücke auch nach der Behandlung der 41-jährigen Patientin teilweise verblieben. Diese wurde durch einen minimalinvasiven, adhäsiven Aufbau geschlossen.

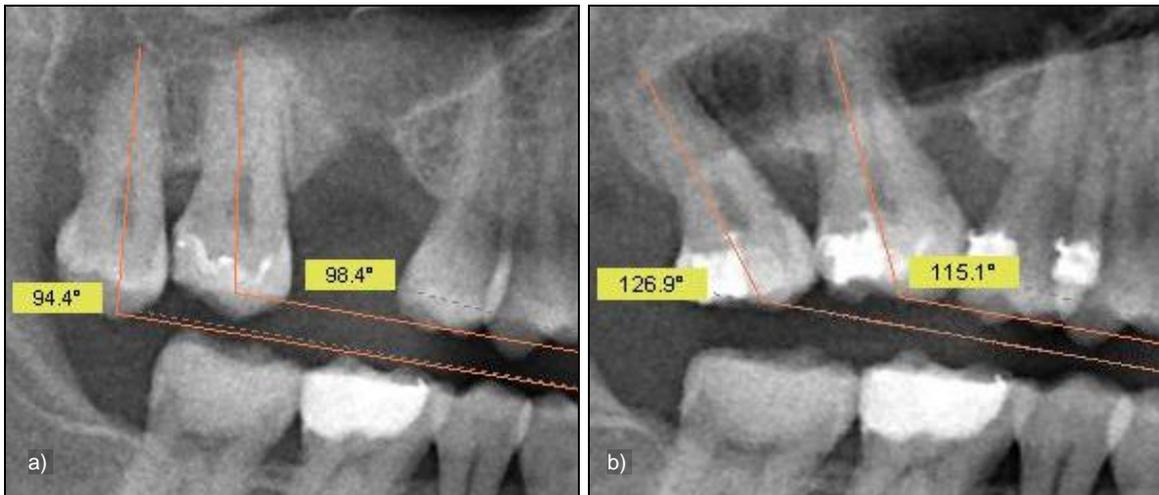


Abb. 22: Darstellung der Veränderung des gemessenen Winkels vor und nach der Behandlung. Zu Behandlungsbeginn (a) betrug der Winkel zwischen Zahn 17 und Kauebene 94,4° und bei Zahn 18 betrug er 98,4°; nach der Behandlung (b) 115,1° bzw. 126,9°, womit die Differenz jeweils >10° betrug und die Zähne somit als gekippt eingestuft wurden.

3.7 Nebenwirkungen

Hier wurden alle übrigen, nicht aktiv bewegten Zähne des jeweiligen Kiefers und des Gegenkiefers evaluiert. Diese konnten an den Modellpaaren und den OPT beobachtet und klassifiziert werden. In Gruppe 1 wurden alle Patienten eingestuft, bei welchen ein vor Behandlungsbeginn elongierter Antagonist während der Behandlung intrudiert wurde (→ Abb. 23). In Gruppe 2 wurden die Patienten eingeordnet, bei denen während der Behandlung eine vorher vorhandene Infraokklusion angehoben wurde. Falls ein bewegter Zahn zu Behandlungsbeginn in mangelhafter, oder außerhalb der Okklusion stand und im Therapieverlauf eingeordnet wurde, wurde dies in Gruppe 3 eingeordnet. Die Patienten, welche in Gruppe 4 eingeordnet wurden, wiesen nach Behandlungsende einen Kreuzbiss auf (→ Abb. 40). Sind durch die Zahnbewegung anderweitig Lücken entstanden, konnten diese am Abschlussmodell festgestellt werden und wurden in Gruppe 5 eingeordnet (→ Abb. 24). Nach Zuordnung der jeweiligen Situation in eine der fünf Gruppen wurde diese in 1-5 kategorisiert und somit statistisch auswertbar in die angefertigte Tabelle eingefügt (→ Tab. 2, Spalte X).

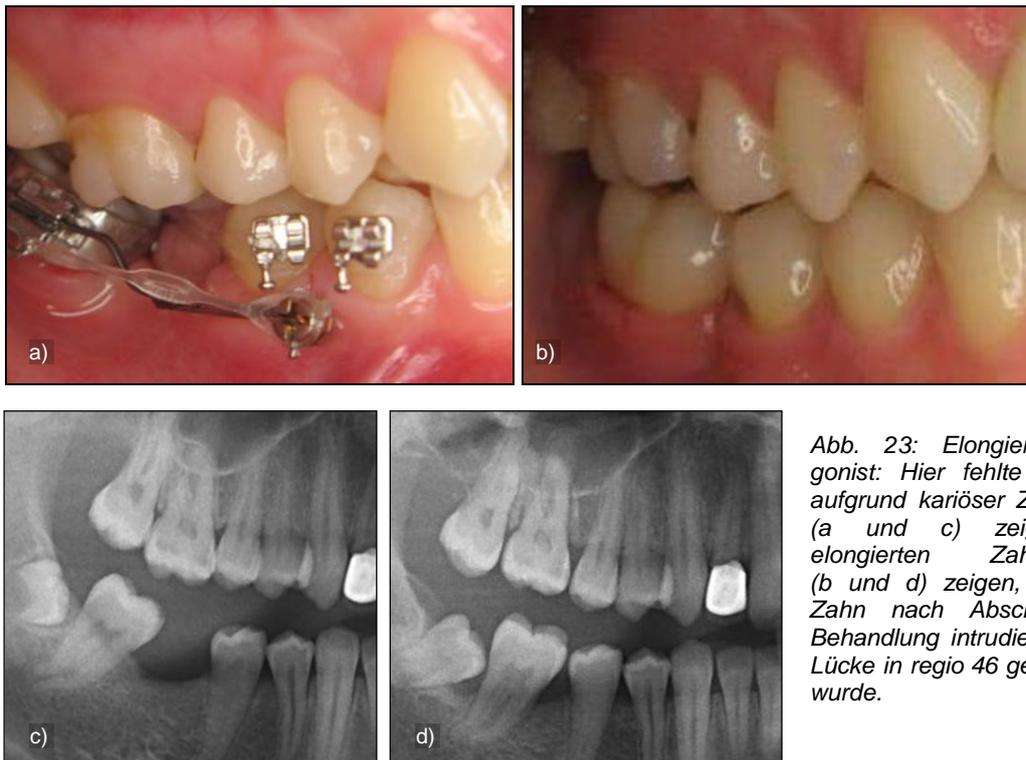


Abb. 23: Elongierter Antagonist: Hier fehlte Zahn 46 aufgrund kariöser Zerstörung. (a und c) zeigen den elongierten Zahn 16. (b und d) zeigen, dass der Zahn nach Abschluss der Behandlung intrudiert und die Lücke in regio 46 geschlossen wurde.

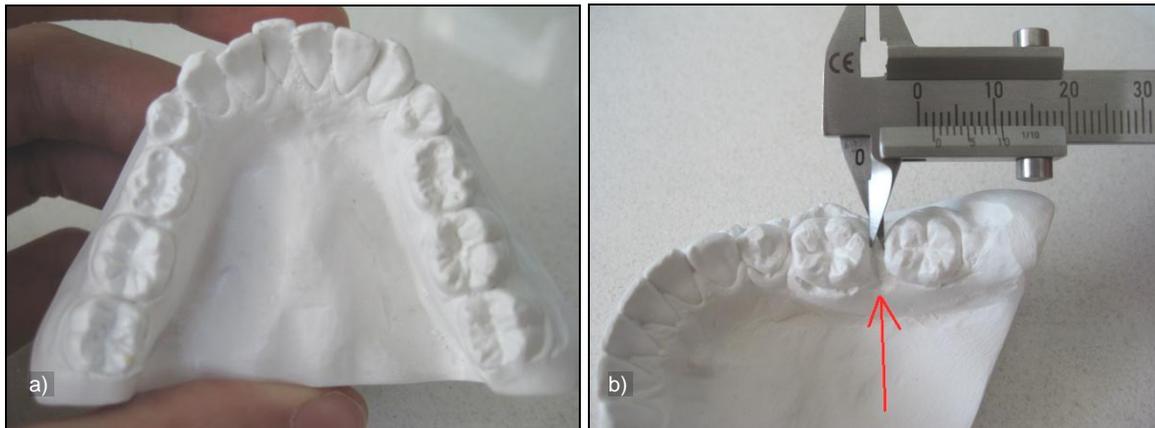


Abb. 24: (a-b) zeigen das Modell eines Patienten mit Nichtanlage von Zahn 35 und 45. Es wurde eine Restlücke gemessen (roter Pfeil), welche im Verlauf der Behandlung zwischen Zahn 46 und 47 entstanden ist. Diese konnte nach dem Untersuchungszeitraum noch geschlossen werden.

Außerdem wurde jedes Modellpaar nach vorhandenen Gegenkieferhinderungen untersucht. Alle Patienten, bei denen es zu keiner ersichtlichen Behinderung kam, wurden in Gruppe 1 aufgenommen. Falls zu Behandlungsbeginn noch ein zerstörter und später zu extrahierender Zahn in der Lücke vorhanden war, welcher die Zahnreihen gegeneinander stabilisieren und einer Elongation der Antagonisten entgegen wirken konnte, wurde dieser Patient in Gruppe 3 aufgenommen (→ Abb. 25). War der Antagonist bereits in die vorhandene Lücke elongiert, so wurde dieser Patient in Gruppe 2 eingestuft (→ Abb. 23). Nach Zuordnung der jeweiligen Situation in eine Gruppe wurde diese in die Werte 1, 2 und 3 kategorisiert und somit statistisch auswertbar in die angefertigte Tabelle eingefügt (→ Tab.2, Spalte W).

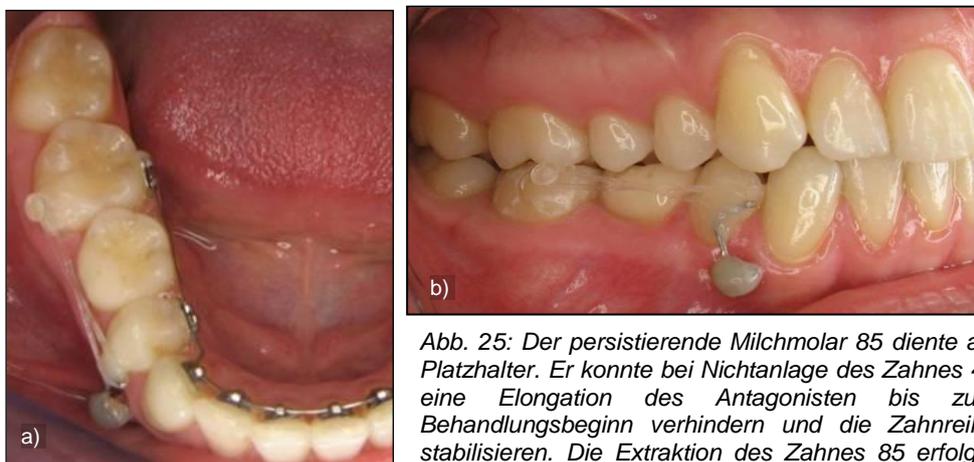


Abb. 25: Der persistierende Milchmolar 85 diente als Platzhalter. Er konnte bei Nichtanlage des Zahnes 45 eine Elongation des Antagonisten bis zum Behandlungsbeginn verhindern und die Zahnreihe stabilisieren. Die Extraktion des Zahnes 85 erfolgte erst nach Insertion der Minischraube und Befestigung der Lückenschlussmechanik.

3.8 Wurzelkonfiguration

Die Wurzeln der zu bewegenden Zähne wurden in vier verschiedene Gruppen eingestuft. Eingeteilt wurde in Pfahlwurzel (Gruppe p, → Abb. 26a), divergierende Wurzelkonfiguration (Gruppe d, → Abb. 26b), konvergierende Wurzelkonfiguration (Gruppe k, → Abb. 26c) und

unauffällig verlaufende Wurzelform (Gruppe n, → Abb. 26d). Dabei konnten durch das Vorhandensein der 2-dimensionalen Röntgenaufnahmen nur die Wurzeln der Molaren in mesio-distaler Richtung beurteilt werden. Nach Zuordnung der jeweiligen Situation zu einem Konfigurationstypen wurde diese kategorisiert und somit statistisch auswertbar in die angefertigte Tabelle eingefügt (→ Tab. 2, Spalte J).

Die Zahnbewegungsgeschwindigkeit bezogen auf die Wurzelkonfiguration wurde in den Spalten AK, AL, AM und AN der angefertigten Tabelle berechnet.



Abb. 26: Beispiele der vier differenzierten Wurzelkonfigurationen: (a) zeigt Zahn 27 mit Pfahlwurzel, (b) zeigt Zahn 36 mit divergierender Wurzelkonfiguration, (c) zeigt Zahn 37 mit konvergierender Wurzelkonfiguration und (d) zeigt Zahn 47 mit unauffälliger Wurzelkonfiguration.

3.9 Wurzelresorption

Eine Wurzelresorption kann physiologisch (Zahnwechsel) oder pathologisch (iatrogen) auftreten. Da die kieferorthopädischen Behandlungsmaßnahmen unphysiologisch auf die Zähne einwirken, ist eine iatrogene Wurzelresorption möglich. Diese kann an der Zahnwurzel apikal oder lateral zu einer Schädigung, im Sinne eines Substanzverlustes, führen. Ab einem gewissen Ausmaß kann die Wurzelresorption anhand des Röntgenbildes beurteilt werden. Ein nicht resorbierter Apex zeigt sich spitz zulaufend, ein resorbierter Apex abgerundet. Zur Beurteilung der Patienten dieser Studie wurden die zu bewegenden Zähne anhand des OPT untersucht. Dabei wurde die Resorption durch visuelle Inspektion der Röntgenbilder beurteilt

und eine ja / nein Entscheidung getroffen. Die Patienten, bei denen es zu einer Wurzelresorption kam, wurden in die Gruppe 1 aufgenommen (→ Abb. 27), die übrigen Patienten wurden in Gruppe 2 aufgenommen. Nach Zuordnung der jeweiligen Situation in eine der beiden Gruppen wurde diese kategorisiert und somit statistisch auswertbar in die angefertigte Tabelle eingefügt (→ Tab. 2, Spalte K).

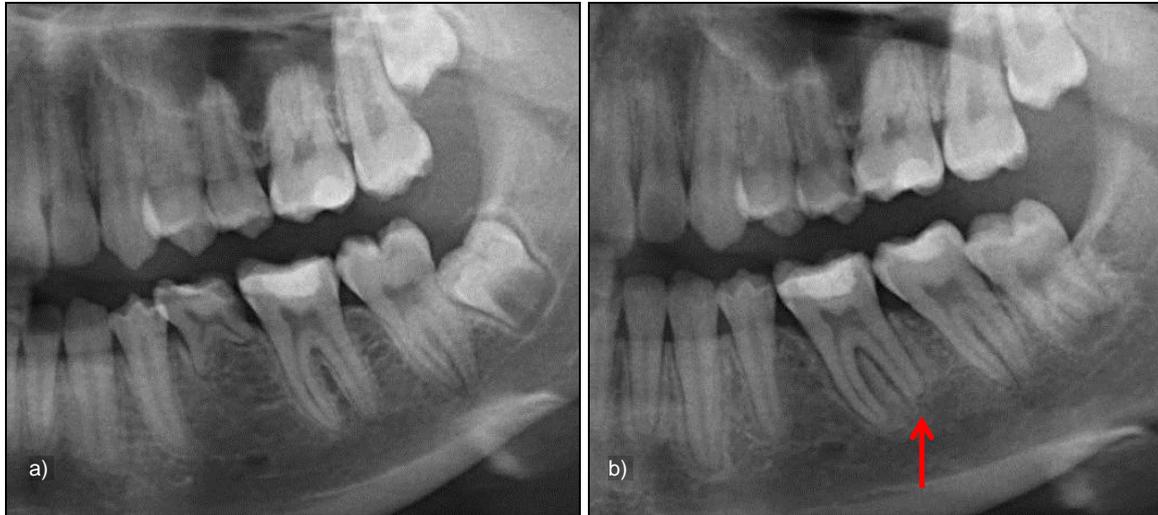


Abb. 27: Beispiel der Wurzelresorption bei einem mesialisierten Zahn. (a) zeigt Zahn 36 vor der Behandlung, (b) zeigt Zahn 36 nach der Behandlung mit erkennbar resorbierten Wurzeln (roter Pfeil).

3.10 Verhalten des Knochenniveaus

Unter dem Begriff der „biologischen Augmentation“ versteht man gezielte Zahnbewegungen, bei welchen der Zahn auf dem Weg durch den Knochen ausreichend ortsständiges Material hinterlässt bzw. generiert. Das Knochenniveau wurde anhand der lückenbegrenzenden Zähne von der Schmelz-Zement-Grenze aus bis hin zum Alveolarfortsatz beurteilt (→ Abb. 28). Dies erfolgte mit dem im Computerprogramm Sidexis integrierten Messwerkzeug „Länge messen“. Als Referenzpunkte dienten die als röntgenologische Verschattung klar ersichtliche Schmelz-Zement-Grenze und die kristalste Stelle des *Limbus alveolaris* als knöcherne Begrenzung. Es wurden die OPT zu Behandlungsbeginn und nach Abschluss der Behandlung ausgewertet und daraufhin miteinander verglichen. Nach Ausmessung der jeweiligen Distanzen wurden diese numerisch in der Einheit Millimeter und somit statistisch auswertbar in die angefertigte Tabelle eingefügt (→ Tab. 2, Spalten S, T, U, V).

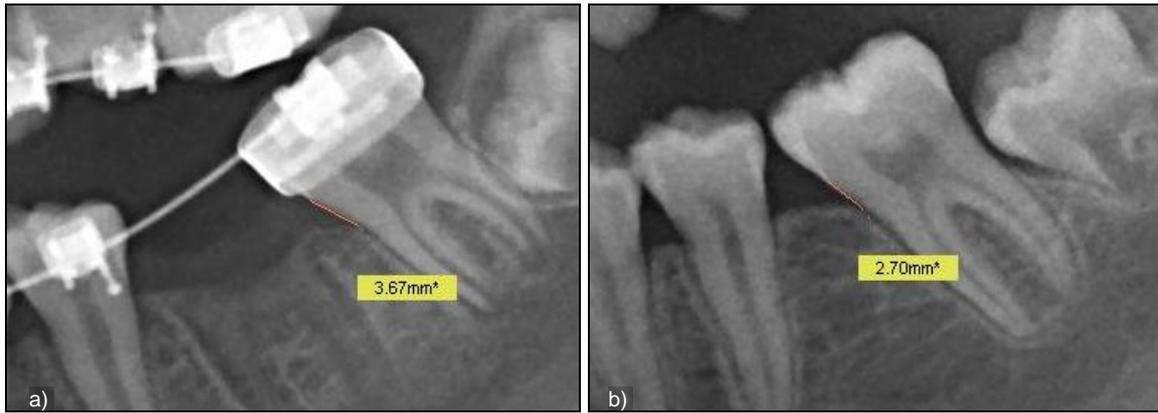


Abb. 28: Messung des Knochenniveaus vor und nach der Behandlung. (a) Das Knochenniveau wurde vor der Behandlung mit 3,67mm von der Schmelz-Zement-Grenze bis zur krestalsten Stelle des Limbus alveolaris gemessen. (b) zeigt ein Knochenniveau von 2,70mm nach der Behandlung.

3.11 Behandlungsdauer

Aus den Patientenakten wurden der Behandlungsbeginn mit Insertion der Minischraube und das Behandlungsende nach Entfernung der Minischraube festgelegt. Die Daten wurden in die Tabelle eingetragen (→ Tab. 2, Spalten E, F) und mit der Funktion „DATEDIF“ wurde die Behandlungsdauer errechnet. Die Werte wurden statistisch auswertbar in die Tabelle eingetragen (→ Tab. 2, Spalte AB).

Aus der errechneten Behandlungsdauer und der Lückenbreite (Tab. 2, Spalte AC) wurde die Lückenschlussgeschwindigkeit in mm/Monat errechnet (Tab. 2, Spalte AD).

3.12 Statistische Analyse

Zur Erfassung aller erhobenen Variablen und zur statistischen Analyse kam ein Personalcomputer mit dem Betriebssystem Microsoft® Windows XP zur Anwendung. Die Tabellenkalkulation wurde mit Microsoft® Office Excel 2003 und die Textverarbeitung mit Microsoft® Office Word 2003 durchgeführt. In Microsoft Excel wurden zur Verarbeitung der tabellarischen Daten die Funktionen „DATEDIF“, „IF“ und „SUMME“ verwendet. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe von SPSS® 18 für Windows (SPSS Inc., Chicago).

4 Ergebnisse

4.1 Patienten

Die Patienten waren bei Behandlungsbeginn durchschnittlich $21,42 \pm 11,57$ Jahre alt. 35 der 63 Patienten waren weiblich (55,6%) und 28 männlich (44,4%). Der früheste Behandlungsbeginn erfolgte im Alter von 10 Jahren, der späteste im Alter von 57,9 Jahren. Es wurden 126 Gipsmodelle und 126 OPT ausgewertet.

Die Intention der Behandlung war bei 26 Patienten die Nichtanlage eines bleibenden Zahnes, was einer Häufigkeit von 41,3% entspricht. Bei 37 Patienten (58,7%) war der Grund der Behandlung ein zerstörter Zahn der zweiten Dentition.

4.2 Position und Breite der Schallücke

Am häufigsten erfolgte die Behandlung im Bereich der unteren zweiten Prämolaren. Dort war bei 36,5% der Patienten die zu schließende Schallücke lokalisiert. Es folgten die unteren ersten Molaren. Diese fehlten bei 27% der Patienten. Bei 20,6% der Patienten befand sich die zu behandelnde Lücke an Stelle der oberen ersten Molaren. Bei Patienten mit einem zerstörten Zahn war dies zu 81% der erste Molar und bei Patienten mit einer Nichtanlage war dies zu 84,6% der zweite untere Prämolare.

Zahn	Häufigkeit	Prozent
14	2	3,2
15	2	3,2
16	5	7,9
24	2	3,2
25	2	3,2
26	8	12,7
27	1	1,6
34	1	1,6
35	13	20,6
36	6	9,5
45	10	15,9
46	11	17,5
Gesamt	63	100,0

Tab. 3: Häufigkeit und Lokalisation der zu schließenden singulären Lücke.

Die Breite der Ausgangslücke betrug im arithmetischen Mittel 8,69 mm am Modell und 9,79 mm im OPT. Der Vergrößerungsfaktor variierte zwischen 1,01 und 1,22. Er betrug im Mittel 1,12, im Median 1,13 und wich maximal 10,9% vom Durchschnittswert ab. Die kleinste Schallücke betrug am Modell 3 mm, die größte 13 mm. Im Durchschnitt betrug die verbliebene Lücke 0,64 mm. Bei 55 von 63 Patienten (87,3%) ist keine Restlücke verblieben.

4.3 Position und Dimension der Minischraube

Die Position der Minischraube wurde bei 29 Patienten und damit zu 46,0% mesial des ersten Prämolaren gewählt (→ Abb. 29a). Zu 36,5% fand die Insertion der Minischraube zwischen dem ersten und zweiten Prämolaren statt (→ Abb. 29b). Bei acht Patienten wurde die Minischraube in den anterioren Gaumen gesetzt (→ Abb. 29c). Bei drei weiteren Patienten, also zu 4,8%, wurde eine andere Position gewählt.

Am häufigsten fanden mit 47,62% die Minischrauben mit 8 mm Verwendung, gefolgt von den Minischrauben mit 10 mm Länge, welche zu 28,57% inseriert wurden. Zu 23,81% wurden die 6mm Minischrauben verwendet. Alle Minischrauben (*Ortho easy®*, *Forestadent*) hatten einen Durchmesser von 1,7 mm.



Abb. 29: (a) zeigt die Insertion der Minischraube mesial des ersten Prämolaren. Dies war in dieser Studie der am häufigsten gewählte Insertionsort. (b) zeigt die Insertion zwischen den beiden Prämolaren. (c) zeigt die Insertion von zwei Minischrauben im anterioren Gaumen.

4.4 Direkte / Indirekte Verankerung

Bei 79,4% der Patienten wurde eine direkte Verankerung der Lückenschlussmechanik verwendet. Bei 12,7% der Patienten erfolgte eine indirekte Verankerung. Bei weiteren fünf Patienten wurden während des Behandlungsverlaufes beide Verankerungsformen angewandt (→ Abb. 30).

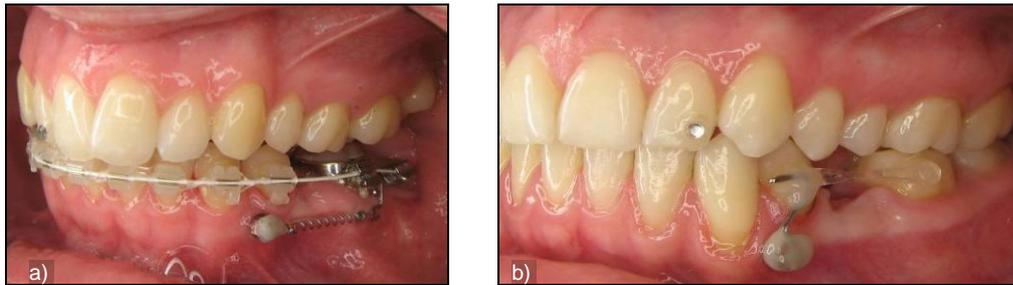


Abb. 30: Direkte und indirekte Verankerung. (a) zeigt eine direkte Verankerung mit Zugfeder. Sie dient der Mesialisierung von Zahn 36. (b) zeigt eine indirekte Verankerung. Die Minischraube stabilisiert Zahn 34 durch Fixierung mittels eines Klebeverbundes. Zahn 36 soll mesialisiert werden.

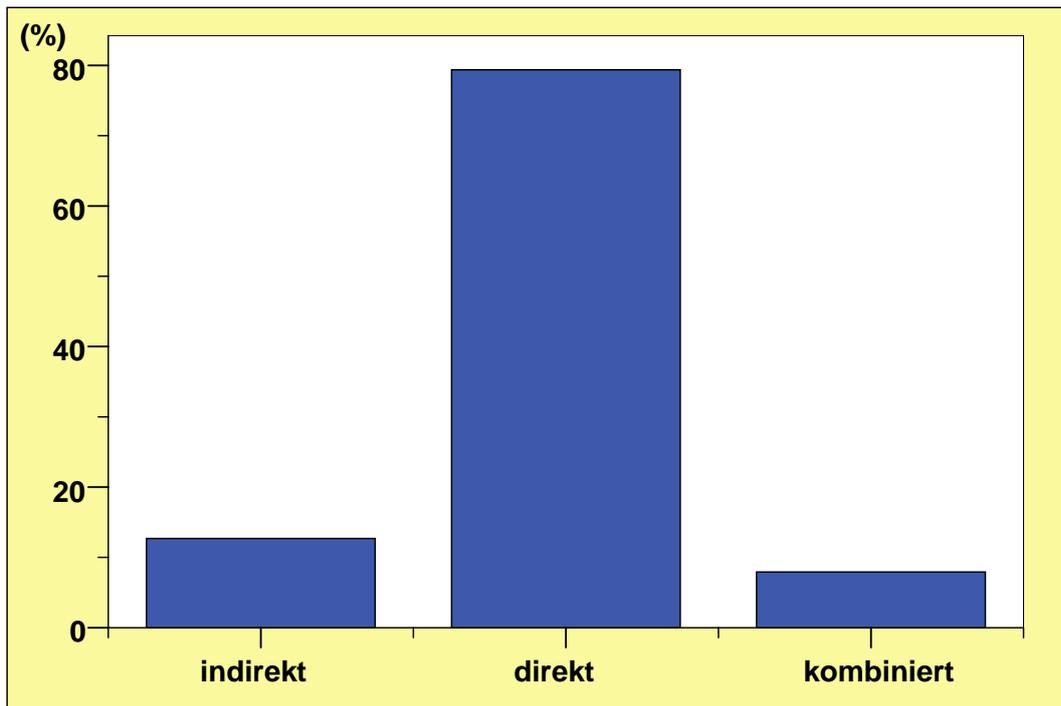


Abb. 31: Häufigkeit der verwendeten Verankerungsform.

4.5 Aktive Elemente

Bei 32 Patienten (50,8%) wurde eine Zugfeder verwendet. Bei 17 Patienten (27%) kam eine Teleskopfeder zum Einsatz. Zu 12,7% (8 Patienten) wurde ein T-Loop verwendet. Zeitlich aufeinander folgende Kombinationen und die Kombination von Systemen aufgrund bikortikaler Verankerung wurden bei sechs Patienten dokumentiert (→ Abb. 32, 33)

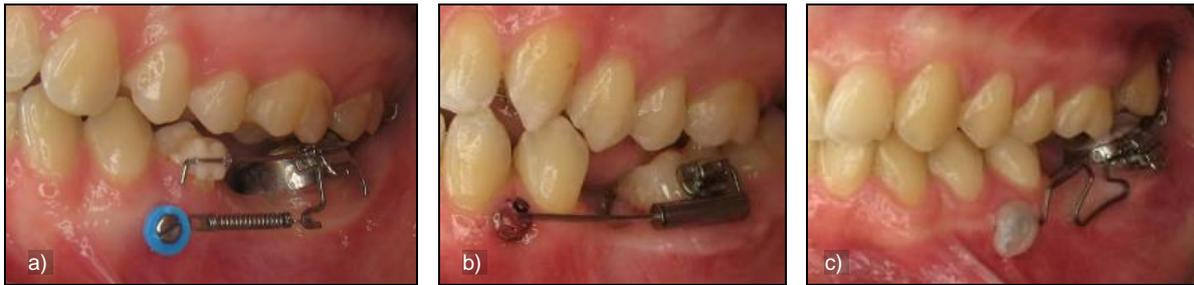


Abb. 32: Aufstellung der verschiedenen Systeme. (a) zeigt die Versorgung mit einer Zugfeder, (b) die Versorgung mit einer Teleskopfeder und (c) die Versorgung mit einem T-Loop.

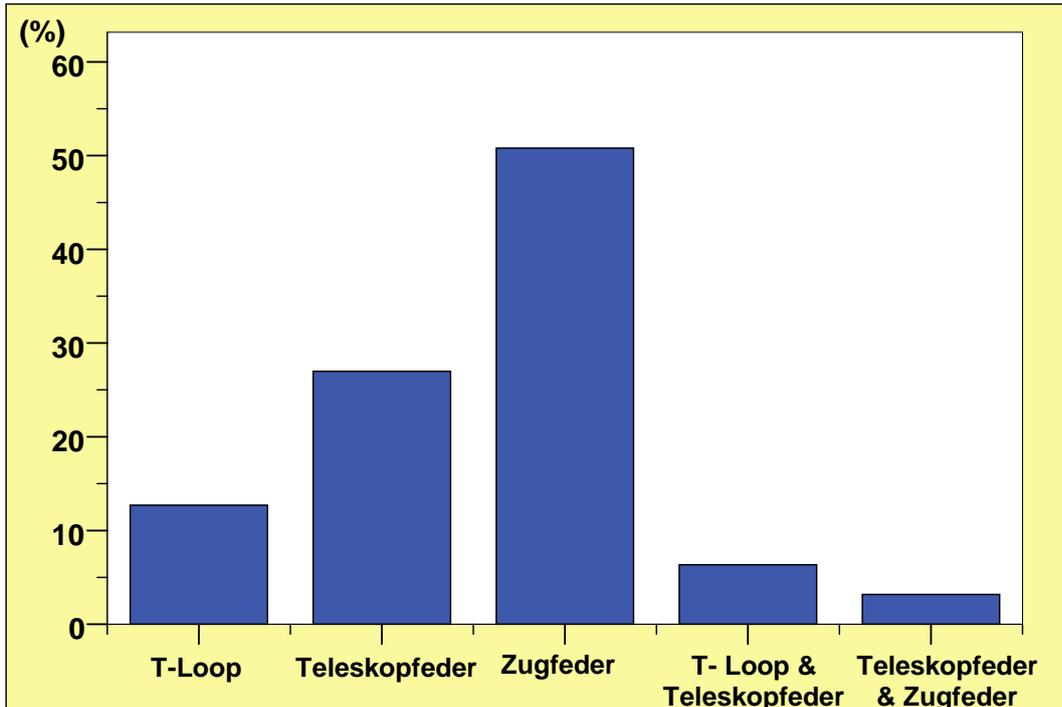


Abb. 33: Prozentuale Häufigkeit der zum Lückenschluss verwendeten Systeme.

Ein Lingualzug bei bikortikaler Verankerung fand bei 21 Patienten Anwendung, was einer Häufigkeit von 33,3% bezogen auf die gesamte Untersuchungsgruppe entspricht (→ Abb. 34c). Isoliert auf den Unterkiefer bezogen, wurde bei 52,5% der Patienten auf einen Lingualzug zurückgegriffen. Keine der acht verbliebenen Restlücken trat in Gruppe 1, drei in Gruppe 2, drei in Gruppe 3, keine in Gruppe 4 und zwei in Gruppe 5 auf.

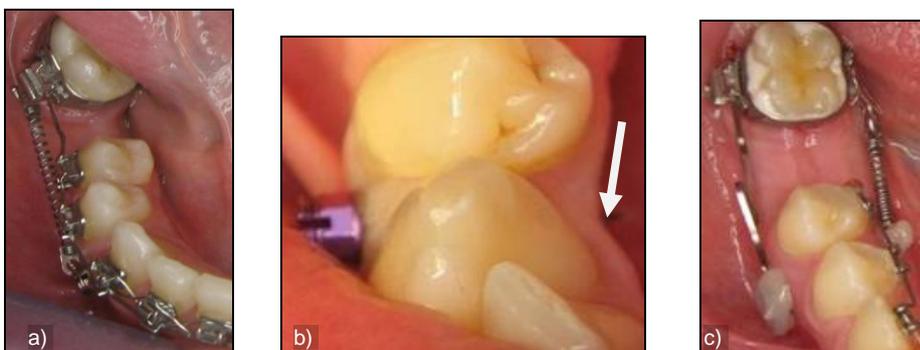


Abb. 34: (a) zeigt einen Patienten, bei dem der Lückenschluss ohne Lingualzug erfolgte. (b) zeigt eine bikortikal gesetzte Minischraube in der Nahaufnahme. Der weiße Pfeil zeigt die Schraubenspitze. (c) zeigt einen Patienten, bei welchem zusätzlich zum bukkalen T-Loop lingual eine Zugfeder angebracht wurde.

4.6 Reaktion der Nachbarzähne

Bei 49,2% der Patienten sind die benachbarten Zähne dem distal lückenbegrenzenden Zahn körperlich gefolgt (→ Abb. 36). Das waren zu 47,9% die Zähne 7 und 8, und zu 42,9% die Zähne 6, 7 und 8. Bei 21 Patienten - das entspricht 33,3% - sind die distal gelegenen Seitenzähne nicht komplett mit aufgewandert, sondern nur teilweise gefolgt oder an der ursprünglichen Stelle verharret (→ Abb. 38). Somit sind bei diesen 33,3% Lücken entstanden. Bei 17,5% der Patienten ist eine Angulation der Nachbarzähne aufgetreten (→ Abb. 37).

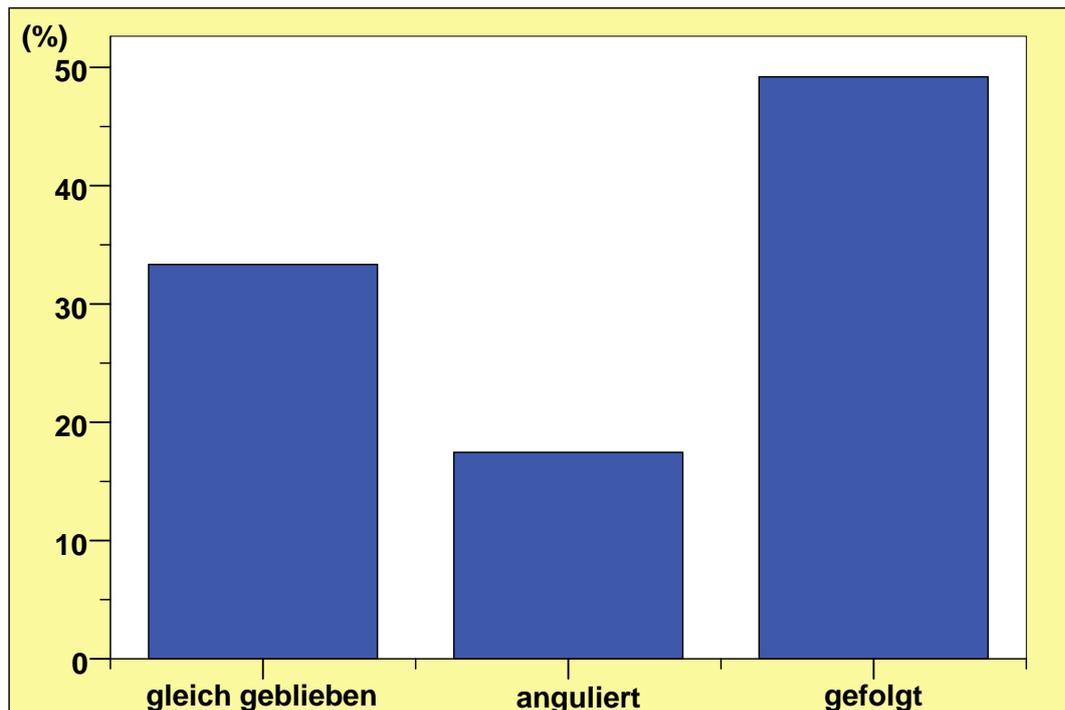


Abb. 35: Reaktion der Nachbarzähne; gleich geblieben entspricht einem Verharren oder nur teilweisen Aufwandern der distal gelegenen Zähne.



Abb. 36: Körperlich gefolgtter Nachbarzahn. (a) zeigt Zahn 47 vor dem Lückenschluss. (b) zeigt die zwischen 44 und 45 inserierte Minischraube mit Lückenschlussmechanik. (c) zeigt den durchbrechenden dritten Molaren. (d) zeigt die geschlossene Lücke und Zahn 48, der körperlich gefolgt ist, ohne zu kippen.

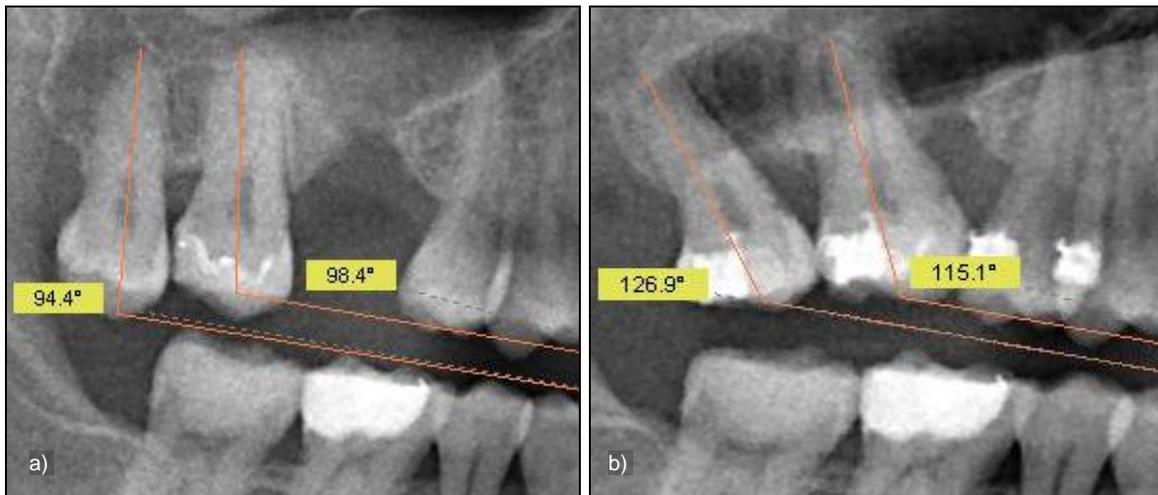


Abb. 37: Gekippte Nachbarzähne: Zu Behandlungsbeginn (a) betrug der Winkel zwischen Zahn 17 und Kauebene 98,4° und bei Zahn 18 betrug er 94,4°; nach der Behandlung (b) 115,1° bzw. 126,9°, womit die Differenz jeweils bei >10° lag und die Zähne somit als gekippt eingestuft wurden.

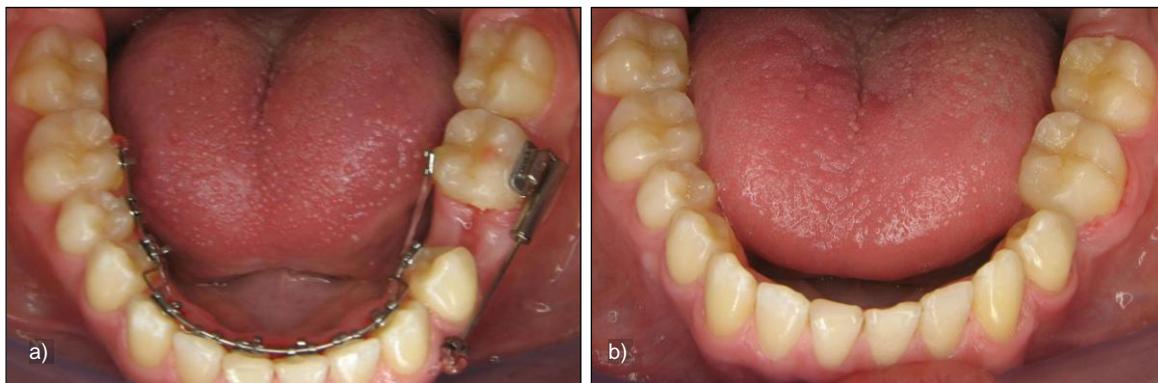


Abb. 38: Entstandene Lücke. (a) zeigt eine Lücke zwischen 34 und 36. In (b) ist diese Lücke nach der Behandlung geschlossen. Die nach der Behandlung entstandene kleine Lücke wurde durch einen minimalinvasiven, adhäsiven Aufbau geschlossen.

4.7 Nebenwirkungen

Es kam dreimal zur Entstehung weiterer Lücken (→ Abb. 24). Bei zehn Patienten (15,9%) kam es während der Behandlungsphase zu einem Schraubenverlust. Bei zwei Patienten (3,2%) traten im Zuge der Behandlung Kiefergelenksbeschwerden auf. 51 Patienten (81,0%) zeigten keine Komplikationen auf, die im Zusammenhang mit der Minischraube stehen könnten.

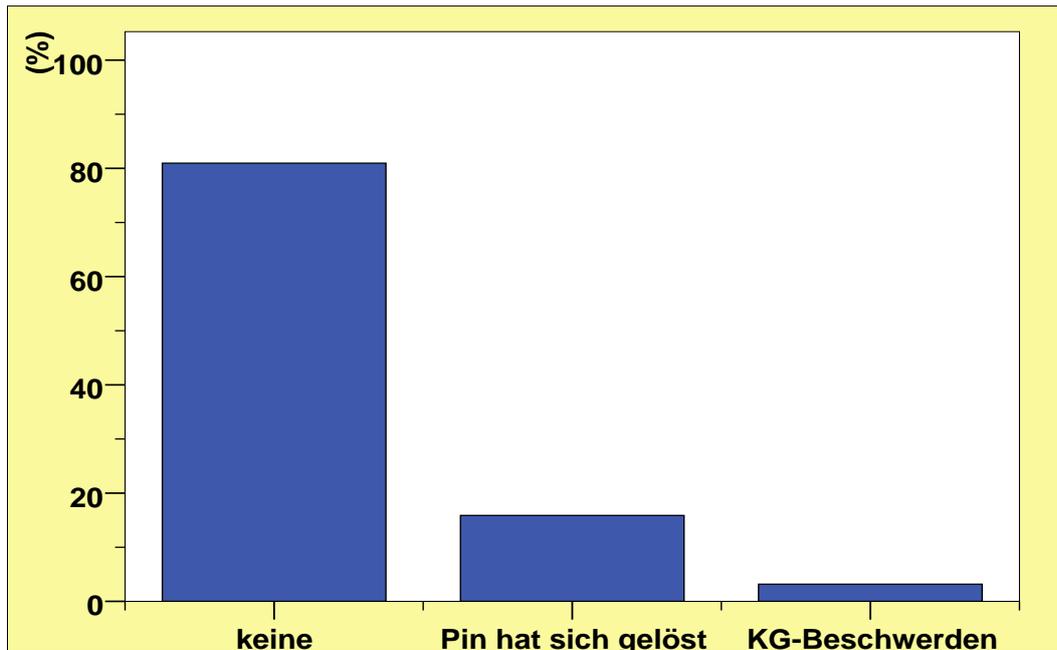


Abb. 39: Aufgetretene Komplikationen im Zuge der Behandlungsphase

Bei einem Patienten stand ein Zahn nach der Behandlung in Kreuzverzahnung (→ Abb. 40).

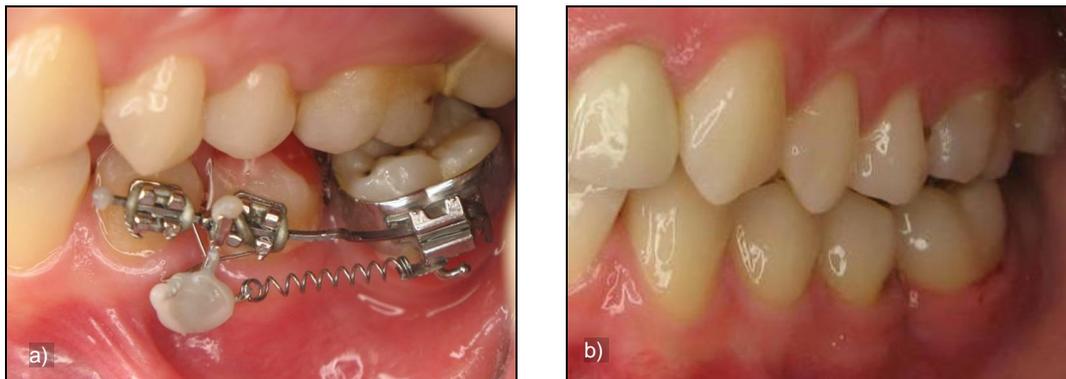


Abb. 40: (a) Bei Nichtanlage von Zahn 35 und erfolgtem Lückenschluss in Kreuzverzahnung stehender Zahn 36. Dieser wurde nach dem Lückenschluss eingeordnet (b).

Bei vier Patienten (6,3%) wurden im Zuge der Behandlung elongierte Antagonisten intrudiert. Bei zwei Patienten wurde durch gezielte In- und Extrusion einiger Zähne während der Behandlungsphase eine vorhandene Infraokklusion angehoben und ein physiologischer Overbite erreicht. Bei vier Patienten wurde der bewegte Molar während der Therapie aufgerichtet und anschließend in die Zahnreihe eingeordnet. Bei 49 Patienten (77,8%) traten keinen Nebenwirkungen auf (→ Abb. 41).

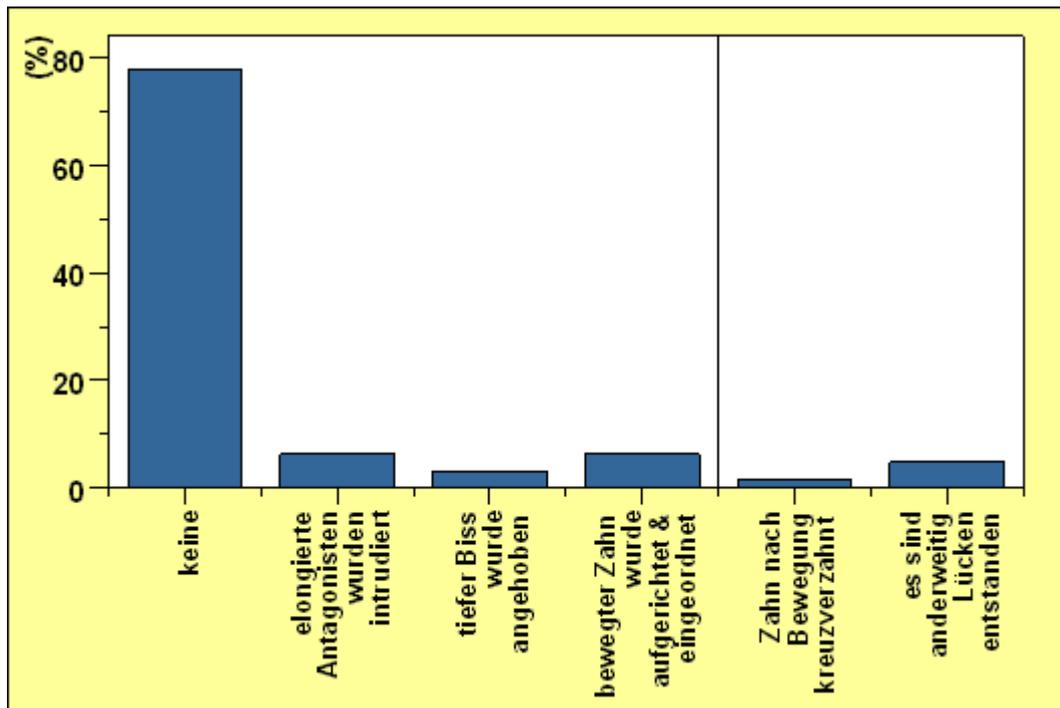


Abb. 41: Aufgetretene Nebenwirkungen. Rechts neben dem Trennstrich sind nachteilige Veränderungen aufgezeigt, links davon erwünschte.

Bei acht Patienten (12,7%) kam es zu einer Elongation des direkten Antagonisten (→ Abb. 42a). Bei zehn weiteren Patienten konnte ein zerstörter Zahn oder ein persistierender Milchmolar bis zu Behandlungsbeginn als Platzhalter fungieren und somit eine Elongation des Antagonisten verhindern (→ Abb. 42b). Bei den übrigen 71,4% der Patienten war keine Behinderung durch den Gegenkiefer feststellbar.

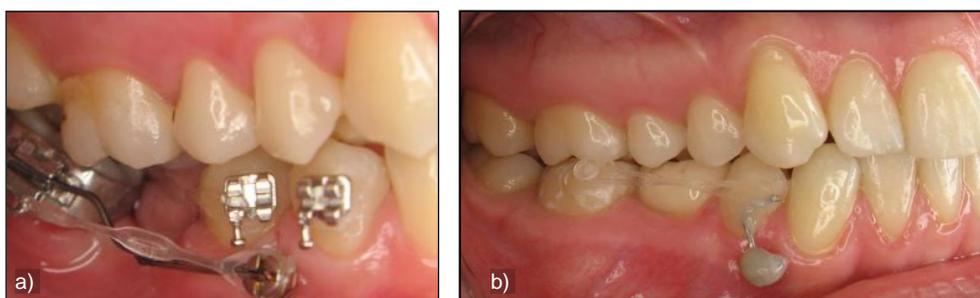


Abb. 42: (a) zeigt den elongierten Antagonisten Zahn 16. (b) Hier dient der persistierende Milchmolar 85 als Platzhalter und konnte die Zahnreihen untereinander und gegeneinander stabilisieren.

4.8 Wurzelkonfiguration

Die zu bewegenden Zähne hatten bei 50,8% der Patienten einen unauffälligen Wurzelverlauf. Pfahlwurzeln traten mit einer Häufigkeit von 19,0% auf. Konvergierende Wurzelkonfigurationen wurden zu 15,9%, divergierende zu 14,3% vorgefunden.

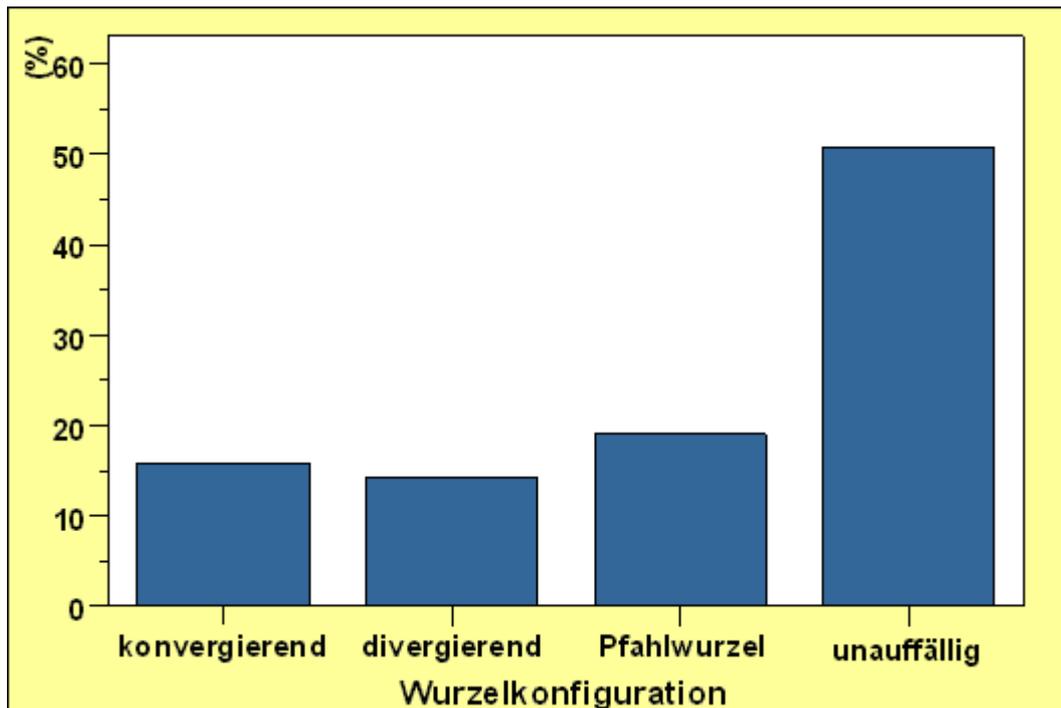


Abb. 43: Häufigkeit der vorkommenden Wurzelkonfigurationen. Mit einer Häufigkeit von 50,8% tritt der gerade Wurzelverlauf mit abknickender Wurzelspitze am häufigsten auf.

Die Zahnbewegungsgeschwindigkeit bei den Patienten mit unauffälligem, geradem Wurzelverlauf lag im Durchschnitt bei 0,94 mm/Monat. Bei Patienten mit Pfahlwurzel betrug sie 0,86 mm/Monat. Bei den Zähnen mit konvergierendem Wurzelverlauf 0,93 mm/Monat und bei divergierender Konfiguration der Wurzel 1,17 mm/Monat.

4.9 Wurzelresorption

Eine auf dem Röntgenbild eindeutig zu identifizierende Wurzelresorption an bewegten Zähnen trat bei 3 Patienten, also bei 4,8% aller untersuchten OPT auf (→ Abb. 44)

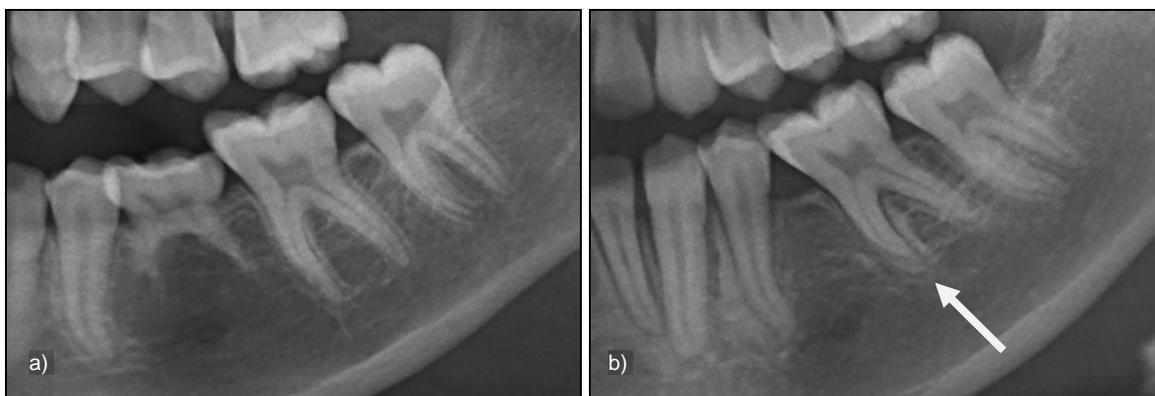


Abb. 44: Beispiel der Wurzelresorption bei einem mesialisierten Zahn. (a) zeigt Zahn 36 vor der Behandlung mit physiologisch ausgeprägten Wurzeln. (b) zeigt Zahn 36 nach der Behandlung mit erkennbar resorbierten Wurzeln (Pfeil).

4.10 Verhalten des Knochenniveaus

Am mesialen lückenbegrenzenden Zahn war vor Behandlungsbeginn im Mittel eine Strecke von 2,22 mm zu messen. Nach Abschluss der Behandlung betrug diese Strecke durchschnittlich 2,00 mm, was eine Differenz von -0,22 mm ergibt. Am distalen lückenbegrenzenden Zahn war vor Behandlungsbeginn eine Strecke von 2,08 mm messbar, welche nach Behandlungsende mit 2,16 mm gemessen wurde. Das ergibt eine Differenz von +0,08 mm.



Abb. 45: Messung des Knochenniveaus vor und nach der Behandlung. (a) Das Knochenniveau wurde vor der Behandlung mit 3,67mm von der Schmelz-Zement-Grenze bis zur krestalsten Stelle des Limbus alveolaris gemessen. (b) zeigt ein Knochenniveau von 2,70mm nach der Behandlung.

4.11 Behandlungsdauer

Die durchschnittliche Behandlungsdauer betrug $10,38 \pm 5,45$ Monate. Die kürzeste Behandlungsdauer betrug drei Monate und die längste 23 Monate.

Die Zahnbewegungsgeschwindigkeit im Oberkiefer betrug 0,85 mm / Monat. Im Unterkiefer ergab sich eine Lückenschlussgeschwindigkeit von 0,78 mm / Monat.

5 Diskussion

5.1 Patienten

Alle 63 Patienten dieser Studie wiesen eine zu schließende Schaltlücke im Molaren- oder Prämolarenbereich auf. Es fand bis auf den zeitlichen Aspekt keine Selektion des Patientengutes statt. Die Methode ermöglicht einen Vergleich der untersuchten Patienten bei Behandlungsbeginn und –ende, da zu jedem Patienten die Röntgenbilder und Gipsmodelle vorhanden waren.

Da sich die vorwiegend jugendlichen Patienten noch in der Wachstumsphase befinden, waren hier Brücken- oder Implantatversorgungen nicht angebracht (→ Kap. 2.4) [104, 117, 119]. Die konventionelle kieferorthopädische Therapie mit einer desmodontal oder extraoral verankerten Mechanik wäre möglich gewesen, zeigte jedoch Nachteile gegenüber der skelettalen Verankerung auf (→ Kap. 5.12) [39, 44, 115].

Die Intention der Behandlung deckt sich mit den aus der Literatur zu erwartenden Werten hinsichtlich nicht angelegter oder kariös zerstörter Zähne [8, 80, 85, 123].

5.2 Position und Breite der Schaltlücke

Da mehrheitlich (87,3%) ein vollständiger Lückenschluss erzielt wurde, ist davon auszugehen, dass die untersuchte Methode einen Lückenschluss ermöglicht.

Die häufige Behandlung im Bereich der unteren zweiten Prämolaren und der ersten Molaren entspricht den Erwartungen, da der erste bleibende Molar der am häufigsten durch Karies oder Parodontitis verloren gehende Zahn ist [80, 85] und die zweiten Prämolaren mit 2,5-4% die Zähne sind, die nach den dritten Molaren am häufigsten nicht angelegt sind [8, 123]. Die Variation der Lückenbreiten von 2-14 mm spricht für länger bestehende Lückensituationen, da ein unterer zweiter Prämolare durchschnittlich 7,15 mm und ein erster Molar durchschnittlich 10,5 mm breit ist. In solchen Fällen kommt es meist zu einer Zahnlückeneinengung. Dabei liegt nach den Wanderungsgesetzen von Baume im Oberkiefer eine doppelt so hohe Wanderungsgeschwindigkeit als im Unterkiefer vor und es kommt zusätzlich zu einer Kippung der Nachbarzähne in die Lücke [7, 125].

Die vorhandene Differenz von Lückenbreite am Gipsmodell und auf dem OPT begründet sich auf dem gegebenen Film-Objekt-Abstand, welcher in einer Vergrößerung auf dem Röntgenbild resultiert. Die Methode zeigt, dass ein Rückschluss von gemessener Lückenbreite im OPT auf die tatsächliche Lückenbreite bei Berücksichtigung des Vergrößerungsfaktors möglich ist. Eine exakte Vorhersage der systemimmanenten

Vergrößerung ist jedoch durch auftretende Verschiebungen zur Fokusebene nicht möglich [142].

In einer Studie zum zahnverankerten Molarenlückenschluss betrug die Restlückenbreite im Oberkiefer 0,6 mm und im Unterkiefer 1,2 mm [57]. Allerdings handelte es sich dort um eine nicht skelettale Verankerung und es traten bei knapp der Hälfte der Patienten Mittellinienüberwanderungen von durchschnittlich 1,1 mm auf, welche die Restlückenbreite reziprok verringerten.

Möglicherweise sind die verbliebenen Restlücken durch die von der Neutralverzahnung abweichende Okklusion begründet. Im Eckzahnbereich ist eine Neutralverzahnung vorzufinden, im Molarenbereich jedoch eine mesiale Verzahnung. Bei nicht angelegten Prämolaren entsteht durch den Lückenschluss zudem ein singulärer Antagonismus [73]. Die unterschiedlichen Knochenqualitäten im Ober- und Unterkiefer sind zu beachten. Im Unterkiefer ist die Kortikalis mit 2 mm dicker als im Oberkiefer [31] und die körperliche Zahnbewegung ist dort aufgrund der Knochenstruktur besonders anspruchsvoll [65]. Restlücken können auch mit gegebenen anatomischen Strukturen wie der Kieferhöhle begründet sein [130]. Bei den Patienten in der vorliegenden Studie wurden die Restlücken minimalinvasiv mit Kompositaufbauten geschlossen.

5.3 Position und Dimension der Minischraube

In der Literatur gelten Minischrauben mit einem Durchmesser von ca. 1,6 mm und einer Länge von 6-10 mm als etablierte kieferorthopädische Verankerungselemente [20, 22, 74, 96].

Die Minischrauben wurden interradiikulär mesial der zu schließenden Schatlücke inseriert, um die aus biomechanischer Sicht erforderliche Kraftwirkungslinie zu erreichen [132]. Sollten anatomische Gegebenheiten wie Wurzelengstand oder non-attached Gingiva die Wahl dieser Position verhindern, ist ein weiter mesial gelegener Bereich zu wählen. Bei Berücksichtigung der Insertionsvorgaben [69], muss interradiikulär ein Knochenangebot von 2,6 mm vorhanden sein. Auswertungen von CT- und DVT-Aufnahmen ergaben, dass das Knochenangebot in apikaler Richtung hin zunimmt und im Frontzahnbereich kritisch ist [96, 114, 121]. Die Ergebnisse bestätigen, dass die interradiikuläre Positionierung der Minischrauben funktioniert.

Die im anterioren Gaumen inserierten Minischrauben zeigten vergleichbar mit anderen Studien geringe Verlustraten auf [27, 133].

5.4 Direkte / Indirekte Verankerung

Die Art der Verankerung beim Molarenlückenschluss ist in der Literatur selten beschrieben. Die Ergebnisse zeigen, dass mehrheitlich eine direkte Verankerung gewählt wurde. Wiechmann empfiehlt im Zuge einer prospektiven Studie im Oberkiefer die direkte und im Unterkiefer die indirekte Doppelkabelmechanik [135]. Die direkte Verankerung der Lückenschlussmechanik zeichnet eine rein minischraubengetragene Verankerung aus. Hier beeinflussen sich die Lückenschlussmechanik und die anteriore Ausformung des Zahnbogens nicht gegenseitig. Außerdem ist die direkte Verankerung einfacher in der Handhabung und es kann gerade im Oberkiefer eine schnelle und körperliche Zahnbewegung erzielt werden [115]. Eine direkte Verankerung ist jedoch nur sinnvoll, wenn die Position der Schraube der erforderlichen Kraftwirkungslinie entspricht [132]. In verschiedenen Fallberichten zum (Prä-) Molarenlückenschluss im Unterkiefer wurde wie auch in der vorliegenden Arbeit die direkte Kopplung erfolgreich angewandt [41, 65, 86]. (→ Abb. 46a).

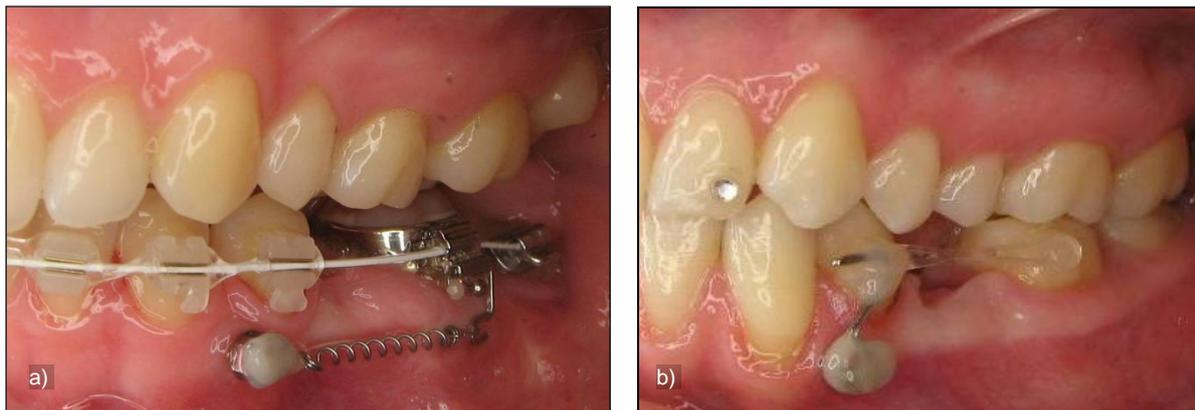


Abb. 46: (a) zeigt ein Beispiel der direkten Verankerung der Lückenschlussmechanik an der Minischraube in regio 33-34. Hier ist die Minischraube über eine NiTi-Zugfeder direkt mit Zahn 36 verbunden. (b) zeigt ein Beispiel einer Patientenversorgung mit indirekter Verankerung der Lückenschlussmechanik. Die Minischraube verankert Zahn 34 durch Fixierung mittels eines Komposit-Klebeverbundes. Zahn 36 wird mesialisiert.

5.5 Aktive Elemente

Die Ergebnisse zeigen, dass die untersuchte Methode einen vollständigen Lückenschluss mehrheitlich ermöglicht. In Fallberichten zum Lückenschluss wurden Zugfedern erfolgreich zum Lückenschluss angewandt (→ Abb. 47b) [65, 86, 141]. Es wurden auch linguale Führungselemente verwendet, um eine Torsion der Zähne zu vermeiden. Der im Unterkiefer meist verwendete Lingualzug wird auch in der Literatur empfohlen, um die genannten Torsionen zu vermeiden (→ Kap. 2.2.5) [13, 41, 84].

Nagaraj verzichtete anfangs auf den Powerarm und es kam zur Zahnkipfung. Nach sechs Monaten verlagerte er die Krafteinleitung in die Nähe des Widerstandszentrums und konnte so auch die Wurzeln weiter mesialisieren. Wiechmann folgerte aus seinen Studien, dass die Wahl der richtigen Mechanik beim Einsatz von Minischrauben mit entscheidend für den Behandlungserfolg ist [135].



Abb. 47: Verschiedene Kopplungselemente: a) Elastikkette, b) Zugfeder, c) Zugschraube, d) Teleskopfeder und e) T-Loop

Ein entscheidender Unterschied liegt im erreichbaren Kraftniveau. Die Literatur liefert nur wenige Informationen über das notwendige Kraftniveau zur Molaren- und Prämolarenmesialisation. Kyung wählt eine einwirkende Kraft von 1,5 N [67]. Chen wählte eine Belastung zwischen 1-3 N [19]. Miyawaki [82] empfiehlt wie Ludwig eine Kraft von etwa 2 N, welche erreicht werden muss, um Seitenzähne zu bewegen. Dies wird mit individuell gebogenen T-Loop-Federn in 17x25 β -Titan-Qualität erreicht [73]. Dies könnte ein Grund darstellen, warum einzig mit den T-Loops keine Restlücken verblieben sind.

5.6 Reaktion der Nachbarzähne

Ein Vergleich der Ergebnisse ist nicht möglich, da bisher keine Studien bekannt sind, welche die Reaktion der Nachbarzähne in diesem Zusammenhang untersuchen. Ein Vergleich der Zahnstellungen auf verschiedenen OPT ist möglich [118]. Ausgehend von der Erkenntnis, dass Zähne, die eine Neigung von 10° überschritten haben als gekippt gelten [130], kann festgehalten werden, dass die untersuchte Methode dazu beiträgt diese Kippung mehrheitlich (82,5%) zu vermeiden. Die Methode nach Heckmann wurde gewählt, weil keine vergleichbare Studie vorliegt und dies als geeignete Methode erschien.

Beim frühzeitigen Verlust der ersten Molaren ist aufgrund der Wanderungsgesetze nach Zahnextraktion im Oberkiefer eine doppelt so hohe Wanderungsgeschwindigkeit wie im Unterkiefer, eine Kippung der Nachbarzähne in die Lücke und ein früherer Durchbruch der dritten Molaren zu erwarten [7]. Im Oberkiefer ist eine Kippung der Molaren durch die primär distale Kronenneigung relativ gering. Im Unterkiefer ist eine Mesialkipfung der zweiten Molaren infolge der primär ungünstigeren, nach mesial gerichteten Neigung der Zahnkrone eher problematisch [115]. Dies deckt sich mit den Ergebnissen dieser Studie.

Auch die anatomischen Nachbarstrukturen spielen eine wichtige Rolle bei der Zahnbewegung. Die Kieferhöhlen beeinträchtigen im Oberkiefer das vertikale

Knochenangebot [96] und können durch ihre kompakten Seitenwände oder durch einen tiefen Rezessus zu einer Kippung des zu bewegenden Zahnes führen [73, 130]. Der *Sinus maxillaris* ist in der vorliegenden Arbeit äquivalent zur Studie von Wehrbein auf dem OPT als Gleithindernis zu erkennen. Die Mesialangulation der Zähne im Unterkiefer ist durch die dichtere Knochenstruktur und die anatomische Grundform der unteren Molaren mit zwei mesio-distal ausgerichteten Wurzeln zu erklären [31].

5.7 Nebenwirkungen

Ein Vergleich der Nebenwirkungen nicht möglich, da bisher keine Studien bekannt sind, welche diese Veränderungen in einem vergleichbaren Zusammenhang untersuchen. Da die untersuchte Methode bei 93,8% der Patienten keine negativen Veränderungen im Restzahnbogen aufzeigte, ist davon auszugehen, dass sie zum Lückenschluss geeignet ist. Im Lückengebiss fehlt eine vollständige Abstützung der Zahnreihen. Es kommt zu einer Kippung der Nachbarzähne und insbesondere bei Lücken im Unterkiefer zur Elongation der Antagonisten [119]. Die Wanderung oder Kippung eines Zahnes kann zudem zur Mobilisierung weiterer Zähne führen [102]. Die dynamische Okklusion wird durch einen elongierten Zahn gestört. Diese Gleithindernisse sind häufig der Grund von Kiefergelenksbeschwerden und Zahnüberbelastungen und sollten, wie in dieser Studie geschehen, im Rahmen der Behandlung korrigiert werden.

Ein vorzeitiger Verlust der Minischraube bei 15,9% der Patienten entspricht Vergleichswerten aus der Literatur. Dort hat Crismani 2010 einen umfangreichen Überblick über die Erfolgsraten von 14 klinischen Studien über Minischrauben veröffentlicht [28].

5.8 Wurzelkonfiguration

Die Literatur bietet wenige Informationen zur Wurzelkonfiguration und es ist keine Studie bekannt, welche den Zusammenhang der Zahnbewegung mit der Wurzelkonfiguration untersucht.

In dieser Studie liegt die Zahnbewegungsgeschwindigkeit bei allen Varianten der Wurzelkonfiguration relativ nah beieinander. Somit kann festgehalten werden, dass die Wurzelform keine entscheidende Auswirkung auf die Zahnbewegung hat. Daher können vorab keine Rückschlüsse auf eine schnellere oder langsamere Zahnbewegung gemacht werden. Es wäre zu erwarten gewesen, dass bei einer divergierenden Wurzelkonfiguration eine geringere Zahnbewegungsrate vorliegen würde, als bei Zähnen mit Pfahlwurzel. Die

abweichenden Daten können damit zusammen hängen, dass die Gruppe mit divergierender Konfiguration die kleinste Untersuchungsgruppe darstellte und dieser Wert daher anfälliger gegen Abweichungen ist. Zudem sollte man das Alter der Patienten berücksichtigen. So ist bei älteren Patienten zu beachten, dass die Gewebsreaktion auf kieferorthopädische Kräfte langsamer erfolgt [115, 122]. Daher sind die orthodontischen Kräfte initial zu reduzieren, um die appositionell/resorptiven Umbauvorgänge gewebsschonend in Gang zu setzen. Erst nach vier bis sechs Wochen ist ein dem jugendlichen Parodont vergleichbares Stadium erreicht [36].

5.9 Wurzelresorption

Die Methode kann eine Wurzelresorption zur Folge haben, ist jedoch hinsichtlich des tatsächlichen Substanzverlustes des Zahnes von untergeordneter Bedeutung und für den Verbleib des Zahnes in der Mundhöhle irrelevant. Bei 4,8% der Patienten konnte eine apikale Wurzelresorption über die Abrundung der Wurzel eindeutig als solche identifiziert werden. Die Mehrheit hatte dies nicht. Daher kann die Methode als unschädlich angesehen werden. Eine Untersuchung von Röntgenbildern ist jedoch nur eingeschränkt in der Lage laterale Wurzelresorptionen zu erfassen, da diese in einer nicht einsehbaren Ebene liegen können. Eine Beurteilung von 3-dimensionalen Volumetomographien würde eine bessere Einschätzung ermöglichen [18]. In verschiedenen Studien wurden kieferorthopädisch bewegte Zähne nach der Behandlung auf Resorptionen hin untersucht [30, 53, 91]. Dort wurden stets Resorptionen beobachtet, welche mit den angewandten kieferorthopädischen Kräften assoziiert wurden. In diesen Studien wurden die Zähne jedoch nach dem Untersuchungszeitraum extrahiert und extraoral untersucht. Bei der Beurteilung in situ können geringe Mikro-Krater und laterale Resorptionen nicht erkannt werden. Ein Fallbericht über die Mesialisierung von zwei Molaren über eine Strecke von über 8 mm zeigte ebenfalls eine geringe Resorption der Wurzeln [86].

5.10 Verhalten des Knochenniveaus

In der vorliegenden Arbeit kann durch die Zahnbewegung weder von einem signifikanten Knochengewinn, noch von einem signifikanten Verlust von Knochen gesprochen werden. Kritisch zu bewerten ist bei diesen geringen Differenzen die Methode, da eine gewisse Messungenauigkeit vorliegt und somit möglicherweise geringe Änderungen des Knochenniveaus nicht erkannt wurden.

Lietz *et al.* haben gezeigt, dass bei starkem Knochenabbau, welcher dentale Implantate ohne Knochenaufbau unmöglich macht, durch Mesialisierung der posterioren Zahngruppen die Knochendefekte aufgefüllt werden konnten [71]. Nagaraj berichtete nach der Mesialisierung posteriorer Zahngruppen bei einem Patienten von einem minimalen einseitigen Gewinn an Knochen [86]. Bei vielen erwachsenen Patienten resultieren lange bestehende Lücken in starker Kieferkammatrophy. Der stärkste Abbau des Kieferkammes tritt in den ersten Monaten auf und lässt nach zwei Jahren nach [139]. Im Ober- und Unterkiefer ist die Knochenresorption nach der Extraktion bukkal ausgeprägter als oral [56]. Zudem atrophiert der Unterkieferknochen im ersten Jahr nach der Extraktion doppelt so schnell wie der Knochen im Oberkiefer. Dieses Verhältnis steigt nach sieben Jahren auf 4 : 1 an [64].

5.11 Behandlungsdauer

Beim kieferorthopädischen Lückenschluss im Seitenzahnbereich ist mit einer Behandlungsdauer von 12-18 Monaten zu rechnen [115]. Bei der desmodontalen Verankerung ist nach einem Review von Barlow eine Lückenschlussgeschwindigkeit von 1,2-1,37 mm/Monat zu erwarten [5]. Zimmer benötigte in einer Studie mit 13 Patienten zum Prämolarenlückenschluss durchschnittlich 2 Jahre und 7 Monate. Nagaraj benötigte 15 Monate um 8 mm breite Lücken bei skelettaler Verankerung zu schließen [86]. Die Geschwindigkeit der Zahnbewegung ist nach Roberts *et al.* bei implantatverankerten Mechaniken umgekehrt proportional zur röntgenologischen Dichte und zur Breite der Kortikalis [108]. Wegen der dichteren und breiteren Kortikalis ist dort die Zahnbewegung eines Molaren mit etwa 0,34-0,6 mm/Monat nur etwa halb so schnell möglich wie im Oberkiefer [106]. Eine Studie zum Molarenlückenschluss ohne skelettale Verankerung zeigte eine durchschnittliche Behandlungsdauer von 10,1-11,9 Monaten [57].

Die in der vorliegenden Arbeit aufgetretenen Werte zur Lückenschlussgeschwindigkeit und zur Behandlungsdauer sind somit vergleichbar mit einem Mittelwert anderer Studien. Die Lückenschlussgeschwindigkeit ist, wie nach Roberts *et al.* zu erwarten war, im Unterkiefer langsamer. Allerdings nicht in dem Maße, welches dort bestimmt wurde. Die Studie von Roberts *et al.* beinhaltete mit fünf Fällen jedoch eine relativ geringe Anzahl an Patienten und es ist nicht zu erkennen, wie lange dort nach der Extraktion gewartet wurde, bis mit dem Lückenschluss begonnen wurde. Dies ist wichtig, da eine zeitnahe Extraktion vor Behandlungsbeginn die Zahnbewegung beschleunigt [73]. Dann ist die knöcherne Restrukturierung der Alveole noch nicht abgeschlossen und der Zahn erfährt einen geringeren Widerstand.

5.12 Therapie von Schaltlücken im Seitenzahnbereich

Die Möglichkeiten zum Lückenschluss im Molaren- bzw. Prämolarenbereich sind vielfältig. Erwachsene werden überwiegend mit Einzelkronen auf prothetischen Implantaten oder konventionellen Brücken versorgt. Jugendliche Patienten erhalten meist nach kieferorthopädischer Vorbehandlung implantatgetragenen Zahnersatz, oder der Lückenschluss erfolgt über konventionelle kieferorthopädische Verankerung [115].

5.12.1 Konventionelle Verankerung vs. Minischraube

Ein Großteil der kieferorthopädischen Behandlungen wird heute mit Multibracketapparaturen durchgeführt (→ Kap. 2.4.1). Der desmodontal verankerte kieferorthopädische Lückenschluss ist gerade bei jugendlichen Patienten mit kariesfreien Zähnen eine Alternative zum Lückenschluss, da die Zähne nicht beschliffen werden müssen. Anerkannte Lehrmeinungen zur kieferorthopädischen Nichtanlagebehandlung schlagen jedoch auch ein primäres Belassen der Milchzähne, bzw. ein Offenhalten der Lücke vor, um später einen prothetischen Lückenschluss durchzuführen [47, 115]. Die Vorteile des kieferorthopädischen Lückenschlusses liegen auf der Hand: Es kann auf die Präparation der Zähne, auf Zahnersatzmaterialien, sowie auf einen invasiven, operativen Eingriff verzichtet werden [143]. Die Therapie unilateraler Lückensituationen ist jedoch eine schwierigere Aufgabenstellung für den Kieferorthopäden [73] und man hat mit einer Behandlungsdauer von 12-18 Monaten zu rechnen [115]. Dies ist mit dem hohen natürlichen Verankerungswert der Molaren [143] und weiten Strecken bei limitierten Zahnbewegungsraten zu begründen [5, 103, 106]. Zudem ergeben sich durch die applizierten Kräfte und Momente reaktive Belastungen der Ankerzähne [129], welche zu ungewollten Zahnbewegungen, wie der Mittellinienüberwanderung oder einer Lingualkippung der Frontzähne führen können [39, 44, 48]. Um diese Problematik zu minimieren, sollten möglichst viele Zähne zur Verankerung herangezogen werden [100]. Ein Review über 14 Studien beschäftigt sich mit dem zahngetragenen Prämolaren-Lückenschluss und der Molaren-Distalisation. Dort konnte keine Methode ohne Verankerungsverlust gefunden werden, und es kam zu Zahnkippungen sowie Zahnlücken im anterioren Bereich. Zudem wird dort eine Studie gefordert, welche auch die skelettale Verankerung berücksichtigt [39]. In einer weiteren klinischen Studie trat bei zahngetragener Verankerung ein Verankerungsverlust von 1,6-1,7 mm auf. Bei der skelettalen Verankerung tritt jedoch kein Verankerungsverlust ein [126].

Ist das rein desmodontale Verankerungspotential angesichts des gewünschten Behandlungszieles inadäquat, sollte auf weitere intra- und / oder extraorale

Verankerungshilfen zurückgegriffen werden, um unerwünschte Nebenwirkungen zu vermeiden [129]. Verankerungshilfen wie Headgear oder Gesichtsmaske (→ Kap. 2.4.1) ermöglichen eine stationäre Verankerung, bergen aber potentielle Nachteile, wie die Compliance-Abhängigkeit und die äußerliche Sichtbarkeit. Bauer und Diedrich konnten nachweisen, dass 61% der Patienten eine geringe Bereitschaft aufweisen, einen Headgear zu tragen [6].

Somit ist die Minischraube als Non-Compliance-Apparatur vorteilhaft gegenüber den extraoralen Apparaturen. Bei geeigneter Indikation ist die skelettale der zahngestützten Verankerung überlegen, da unerwünschte Kräfte absorbiert werden [115].

5.12.2 Brückenversorgung vs. Minischraube

Die Brückenversorgung ist eine bewährte prothetische Therapieform (→ Kap. 2.4.2) mit guten Langzeitergebnissen [26, 61] und stellt bei Erwachsenen die Regelversorgung von Einzelzahnlücken dar. Da bei jugendlichen Patienten ein ausgedehntes Pulpenkavum vorliegt und das Alveolarfortsatzwachstum noch nicht abgeschlossen ist, ist hier eine Brückenversorgung nicht indiziert [119]. Bei einer konventionellen Brücke ist ein zirkuläres Beschleifen der Zähne notwendig. Dort werden nach Edelhoff bis zu 75,6% der Zahnhartsubstanz abgetragen [38]. Somit besteht die Gefahr der traumatischen Devitalisierung der Pulpa [51]. Der Kariesindex (DMFT), welcher die Prävalenz erkrankter, fehlender oder mit einer Füllung versehener Zähne dokumentiert, zeigt, dass durchschnittlich nur 1,7 Zähne bei den 15-jährigen in Deutschland kariös sind [81]. Bei den 35-44-jährigen sind es schon 14,4 Zähne. Dies spricht oft gegen eine Brückenversorgung bei jungen Erwachsenen. Sind bereits ausgeprägte Füllungen oder kariöse Defekte vorhanden, ist die Brückenversorgung eine Therapie der Wahl. Nachteilig ist die Gefahr von Sekundärkaries und Frakturen, welche die Hauptursachen für den Misserfolg einer Brücke darstellen [120]. Trotz einer 10-Jahres-Überlebensrate von 87% [116], beträgt nach Kerschbaum die mittlere Tragezeit einer Brücke 20 Jahre [60]. Problematisch wird nach Retentionsverlust einer Brücke in diesem Zusammenhang der zu erwartende Knochenabbau von bis zu 30% unter dem Brückenzwischenglied [90]. So wird nach langer Brückentragezeit eine Implantation weitaus schwieriger zu realisieren, da die minimale Kieferkambbreite 5,5 mm und das vertikale Knochenangebot mindestens 10 mm betragen sollte. Im Vergleich dazu kann beim kieferorthopädischen Lückenschluss der Alveolarknochen erhalten werden [54, 71] (→ Kap. 5.10).

Der weniger invasive Ansatz einer Adhäsivbrücke ermöglicht auch eine Versorgung bei karies- und füllungsfreien Nachbarzähnen, da nur ca. 10% der Zahnhartsubstanz abgetragen

werden muss [38]. Jedoch haben Adhäsivbrücken höhere Misserfolgsraten als herkömmliche Brücken [63] und sind aufgrund fehlender Langzeiterfolge im Seitenzahnbereich noch nicht zu empfehlen [119].

Im Gegensatz zum minischraubenverankerten Lückenschluss ist eine Brückenversorgung zwar sehr bewährt und gut untersucht, bietet jedoch bei jungen Erwachsenen keine endgültige Lösung. Eine Brücke ist nur dann zu empfehlen, wenn das Alveolarfortsatzwachstum des Patienten abgeschlossen ist und die lückenbegrenzenden Zähne kariös oder bereits konservierend vorversorgt sind, um den Verlust an gesunder Zahnhartsubstanz möglichst gering zu halten. Einem kieferorthopädischen Lückenschluss oder einer Implantatversorgung ist bei kariesfreien Zähnen aus zahnärztlicher Sicht stets der Vorzug zu geben, wenn geeignete Voraussetzungen herrschen.

5.12.3 Implantat vs. Minischraube

Implantate als Möglichkeit zur künstlichen Pfeilervermehrung sind insbesondere dann indiziert, wenn eine Kennedy Klasse III (Schaltlücke im Seitenzahnbereich) vorliegt und intakte Zahnhartsubstanz der lückenbegrenzenden Zähne bei ausreichend Knochenangebot vorhanden ist [62, 95, 119].

Ein Nachteil der Implantate ist, dass sie nicht vor Abschluss des Alveolarfortsatzwachstums in den Alveolarknochen eingesetzt werden sollten [62], da sie die Entwicklung des umliegenden Knochens und sogar die Eruption der angrenzenden Zähne beeinträchtigen können [104, 117, 124]. Es konnte auch gezeigt werden, dass selbst bei 21-26-jährigen durch eine „Late eruption“ der Molaren eine Infraposition des Implantats von bis zu 1 mm entstehen kann [112]. Diese Aspekte sprechen für einen minischraubenverankerten Lückenschluss bei jungen Erwachsenen.

Aufgrund der hohen Kosten [9], des invasiven chirurgischen Eingriffes und der mehrmonatigen Einheil- und Behandlungszeit [119] werden Implantate regelmäßig vom Patienten abgelehnt. Zudem werden bei zu wenig Knochenangebot weitere chirurgische Eingriffe zur Erweiterung des Alveolarknochens notwendig. Bei Einzelzahnversorgungen zeigen sowohl die Implantate, als auch der jeweilige Zahnersatz sehr gute Langzeitergebnisse. Die Überlebensrate beträgt nach 10 Jahren weit über 90% [50, 98, 113]. Weiterhin kann durch die Pfeilervermehrung im Gegensatz zum kieferorthopädischen Lückenschluss eine Neutralverzahnung erreicht werden. Wenn die Zahnücke von unbehandelten, kariesfreien Zähnen begrenzt wird und das Knochenangebot ausreicht, stellt das Implantat somit bei Erwachsenen eine ausgezeichnete Versorgung dar. Im Vergleich zur Brückenversorgung ist bei Patienten mit Implantatversorgung die mundgesundheitsbezogene und auch die

generelle Lebensqualität in einigen Aspekten erhöht [140]. Implantate bieten eine hohe Funktionalität und eine stabile Verankerung. Sie stehen für die minimalinvasive prothetische Versorgung, da der Alveolarknochen durch funktionelle Reize erhalten wird und keine präparatorischen Maßnahmen angewandt werden [105].

Problematisch ist, wenn beim jugendlichen Patienten der erste Molar nicht mehr erhalten werden kann und es für eine Implantation zu früh ist. Dies ist beim Großteil der Patienten dieser Studie der Fall. Dann kann man mit einem Distanzhalter die Lücke offen halten [115], doch im schlechtesten Fall kommt es innerhalb von vier Jahren zu einem Knochenabbau von bis zu 25% [90, 122]. Außerdem zeigte eine Studie, dass bei 2/3 der jugendlichen Patienten eine ursprünglich geplante Implantat-Insertion nicht stattfinden konnte, weil eine Alveolarkammatrophie oder eine Lückeneinengung bis zum Wachstumsabschluss stattgefunden hat [4].

Somit ist das Implantat mit Einzelkronenzahnersatz eine gut untersuchte, erfolgreich eingesetzte und schonende Therapieform, welche nur bei der Versorgung jugendlicher Patienten oder bei zu geringem Knochenangebot problematisch werden kann. Daher sollten stark kariöse Molaren und persistierende Milchmolaren möglichst lange erhalten werden, um den Alveolarknochen und die notwendige Lückenbreite für eine potentielle Implantation zu erhalten.

5.12.4 Minischraubenverankerter Lückenschluss

Minischrauben gelten heute als etablierte skelettale Verankerungselemente [20, 22, 74, 96]. Gegenüber konventionellen extraoralen kieferorthopädischen Verankerungsmethoden haben sie als Non-Compliance-Apparaturen den Vorteil, dass sie äußerlich nicht sichtbar sind und keine Gefahr besteht, dass der Patient die Apparatur nicht trägt [34, 70]. Desmodontal verankerte kieferorthopädische Lückenschlussmechaniken haben den Nachteil, dass die reziproke Krafteinwirkung die zur Abstützung herangezogenen Einheiten gleichermaßen belastet und zu Verankerungsverlust, Zahnkippen und anderen ungewünschten Zahnbewegungen führen kann [39, 115, 129], wodurch Folgebehandlungen notwendig werden. Die absolute Positionsstabilität der skelettalen Verankerung ist jeder Form der rein desmodontalen Verankerung deutlich überlegen [129].

Die Brückenversorgung ist der Behandlung mit Minischrauben zumindest bezüglich der Behandlungszeit überlegen. So kann der Lückenschluss mit einer Brücke in wenigen Tagen erfolgen [119], während die Zahnbewegung durch begrenzte Zahnbewegungsraten von <1 mm/Monat [106, 108] und Strecken von etwa 10 mm mehrere Monate in Anspruch nimmt (Kap. → 5.12).

Die Implantatversorgung bietet eine Wiederherstellung der Neutralverzahnung und weist sehr hohe Erfolgsraten auf. Der kieferorthopädische Lückenschluss ist an das Vorhandensein eines einordnungsfähigen dritten Molars gekoppelt, um eine Abstützung der Antagonisten zu gewährleisten [73], eine Implantatversorgung ist unabhängig davon durchführbar. Der kieferorthopädische Lückenschluss verbessert allerdings die Prognose der dritten Molaren [143]. Es wurde über beschleunigte Entwicklung der Weisheitszähne auf der Nichtanlagenseite berichtet [136] und vermutet, dass dort mit großer Wahrscheinlichkeit bei diesen Patienten in der Folgezeit eine Weisheitszahnostektomie vermieden werden kann [17, 143]. Minischrauben können problemlos bei jugendlichen Patienten gesetzt werden, da sie als temporäre Verankerungselemente das Wachstum nicht dauerhaft beeinflussen. Die Einheilzeit der Implantate vor prothetischer Versorgung beträgt 3-6 Monate, während bei der Versorgung mit Minischrauben mit einer durchschnittlichen Behandlungszeit von etwa zehn Monaten zu rechnen ist (→ Kap. 5.11). Somit ist hier eine zeitliche Differenz von 4-7 Monaten vorhanden. Falls die Zahnücke durch ein Aufwandern der Molaren bereits ein kritisches Minimum von 8 mm unterschritten hat, muss vor einer Implantatversorgung erst eine kieferorthopädische Lückenöffnung erfolgen. Dies würde für einen kieferorthopädischen Lückenschluss jedoch eine Verkürzung der Behandlungszeit bedeuten. Falls nach einem kieferorthopädischen Lückenschluss weitere Zähne verloren gehen, wäre die Implantation stets eine Therapiemöglichkeit.

5.13 Schlussfolgerung

In der heutigen Zeit hat die Qualität der zahnärztlich-prothetischen Versorgung ein hohes Niveau erreicht. Ebenso erfreut sich die Implantologie einer weiten Verbreitung. Da ist die Frage berechtigt, ob es sinnvoll ist, das Problem des singulären Lückenschlusses kieferorthopädisch zu lösen. Der kieferorthopädische Lückenschluss mit skelettaler Verankerung wird in der Literatur zwar angesprochen, jedoch fehlen größere Studien. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass der skelettal verankerte singuläre Lückenschluss grundsätzlich funktioniert. Die Minischraube kann durch verschiedene aktive Elemente mit dem Zahn gekoppelt werden, wobei eine Krafteinleitung auf Höhe des Widerstandszentrums wichtig ist. Die Möglichkeit von Zahnkippen oder geringgradig verbleibenden Restlücken ist jedoch zu beachten. Aufgrund der Wurzelkonfiguration kann vorab keine Prognose über die Zahnbewegung gegeben werden. Eine Wurzelresorption findet bei adäquater Krafteinleitung nur äußerst selten statt.

Ein geringes Knochenangebot ist kein Ausschlusskriterium für den orthodontischen Lückenschluss. Eine signifikante Zunahme an krestalem Knochen konnte jedoch nicht

beobachtet werden. Die Zahnbewegung erfolgt mit ca. 0,8 mm/Monat und führt zu einem Abschluss der Behandlung nach etwa 10 Monaten.

Die kortikale Verankerung der Minischrauben löst das kieferorthopädische Problem des Verankerungsverlustes und sie kann als Non-Compliance-Variante nicht durch schlechte Patientenmitarbeit manipuliert werden. Die somit entstandenen Vorteile bringen in der Frage nach dem geeigneten Werkzeug zum Lückenschluss eine neue Alternative.

Eine Brückenversorgung ist indiziert, wenn erwachsene Patienten mit bereits konservierend versorgten Nachbarzähnen aus Zeit- oder Kostengründen eine alternative Behandlung ablehnen. Ansonsten sollte aufgrund der genannten Vorteile und der hohen Erfolgsraten einer Implantatversorgung bei Erwachsenen der Vorzug gegeben werden. Doch ist sowohl bei Brücken, als auch bei Implantaten die Prämisse, dass das Schädelwachstum des Patienten abgeschlossen sein sollte.

Für den minischraubenverankerten Lückenschluss spricht zudem, dass abgesehen von der Schraubeninsertion auf größere invasive Eingriffe, wie die Implantation, verzichtet werden kann. Auch die dauerhafte Applikation von intraossären (Implantat) oder koronaren (Zahnersatz) Fremdmaterialien entfällt. So schafft die kieferorthopädische Therapie „natürliche“ Bedingungen.

Der Lückenschluss im (Prä-)molarenbereich ist somit sehr facettenreich und vor allem bei heranwachsenden Patienten mit günstigen Voraussetzungen sollte immer die Möglichkeit der kieferorthopädischen Behandlung mit skelettaler Verankerung bedacht werden (→ Abb. 48).

Behandlungsempfehlung zum singulären Lückenschluss

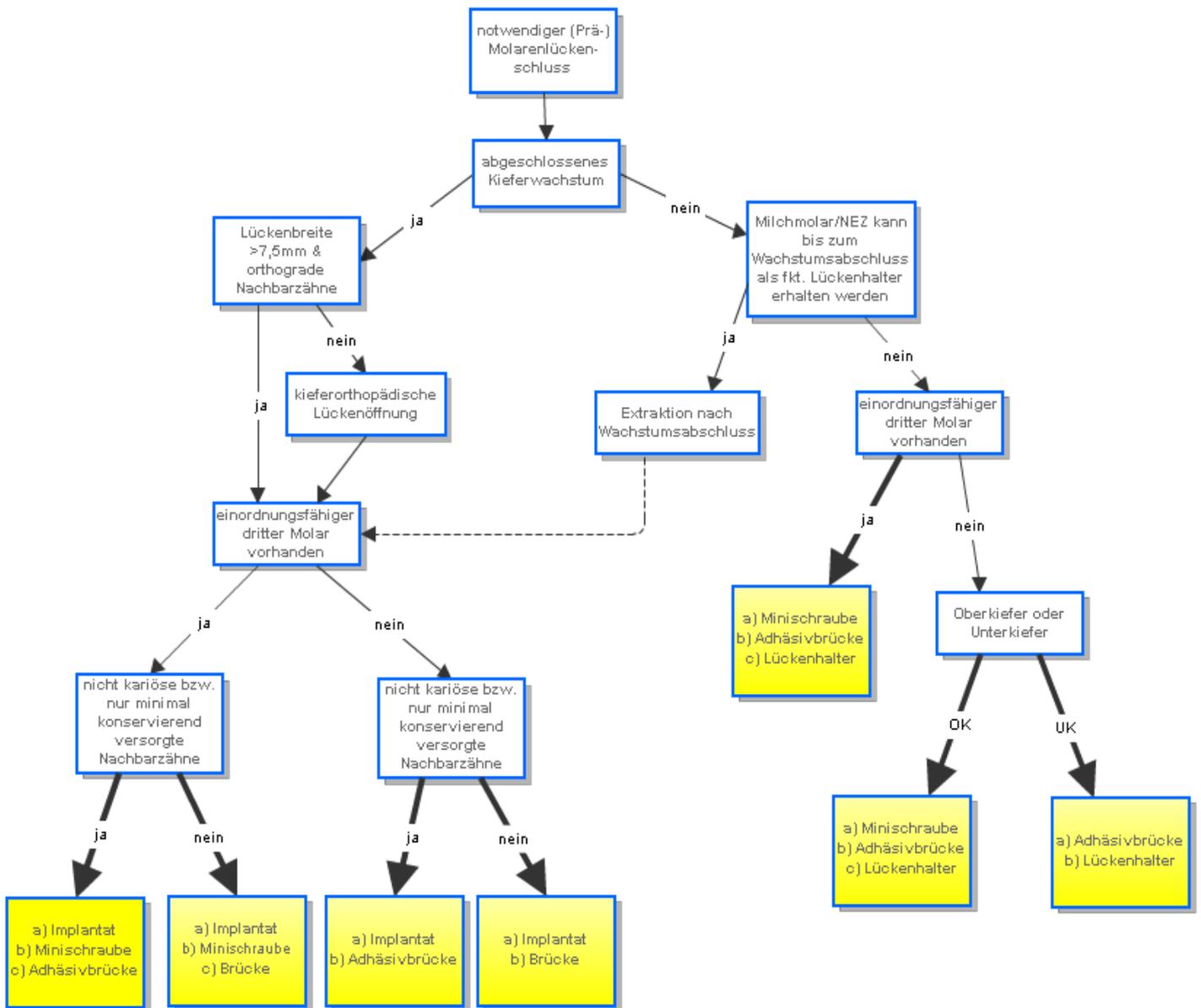


Abb. 48: Empfehlung der Behandlung von Patienten mit singulären Lücken im Molaren- oder Prämolarenbereich bei Berücksichtigung verschiedener Faktoren (a → erste Wahl; b → zweite Wahl; c → dritte Wahl).

6 Literaturverzeichnis

1. Angle EH (1907) Treatment of malocclusion of teeth. S. S. White Dental Manufacturing Company, 3th ed.: Philadelphia
2. Aspegren K, Breine U (1964) Microcirculatory Studies in Man by High Resolution Vital Microscopy. *Angiology* 15:329-32
3. Augthun M, Mundt T (2008) Implantatprothetische Konzepte zur Ergänzung der verkürzten Zahnreihe - Gemeinsame Stellungnahme von DGZPW und DGZMK.
4. Bacher M, et al. (1994) [Orthodontics and implantology. Their course and results after joint planning]. *Fortschr Kieferorthop* 55:261-7
5. Barlow M, Kula K (2008) Factors influencing efficiency of sliding mechanics to close extraction space: a systematic review. *Orthod Craniofac Res* 11:65-73
6. Bauer W, Diedrich P (1990) [The motivation and assessment of the success of adult patients undergoing orthodontic treatment--the interpretation of a questionnaire]. *Fortschr Kieferorthop* 51:180-8
7. Baume L (1940) Auswirkung der Extraktion von Zähnen auf das deforme Gebiss. Dosierte Extraktionstherapie. *Schweiz Mschr Zahnheilk* 45, 50
8. Bergstrom K (1977) An orthopantomographic study of hypodontia, supernumeraries and other anomalies in school children between the ages of 8-9 years. An epidemiological study. *Swed Dent J* 1:145-57
9. Bouchard P, et al. (2009) Cost-effectiveness modeling of dental implant vs. bridge. *Clin Oral Implants Res* 20:583-7
10. Brånemark PI (1985) Einführung in die Osseointegration. Gewebeintegrierter Zahnersatz - Osseointegration in klinischer Zahnheilkunde, ed. Brånemark P-I, Zarb, G. A., Albrektsson, T. Vol. Quintessenz: Berlin
11. Brånemark PI, et al. (1969) Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies. *Scand J Plast Reconstr Surg* 3:81-100
12. Brånemark PI, et al. (1977) Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Scand J Plast Reconstr Surg Suppl* 16:18-38
13. Brettin BT, et al. (2008) Bicortical vs monocortical orthodontic skeletal anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134:625-35
14. Buser D, et al. (2000) Basic surgical principles with ITI implants. *Clin Oral Implants Res* 11 Suppl 1:59-68
15. Carano A, Melsen B (2005) Implants in orthodontics. Interview. *Prog Orthod* 6:62-9
16. Carano A, et al. (2005) Clinical applications of the Miniscrew Anchorage System. *J Clin Orthod* 39:9-24
17. Castella P, et al. (1998) Prediction of mandibular third molar impaction in the orthodontic patient from a panoramic radiograph. *Clin Orthod Res* 1:37-43

18. Chan EK, Darendeliler MA (2004) Exploring the third dimension in root resorption. *Orthod Craniofac Res* 7:64-70
19. Chen YJ, et al. (2007) A retrospective analysis of the failure rate of three different orthodontic skeletal anchorage systems. *Clin Oral Implants Res* 18:768-75
20. Cope JB (2007) *OrthoTADs The clinical guide and atlas*. 1st edition ed. Vol. Under Dog Media: Dallas
21. Cornelis MA, et al. (2009) Miniplatten zur temporären skelettalen Verankerung aus Sicht von Patienten und Kieferorthopäden - eine prospektive Studie. *IOK* 41:103-109
22. Costa A, Pasta G, Bergamaschi G (2005) Intraoral hard and soft tissue depths for temporary anchorage devices. *Semin Orthod* 11:10-15
23. Costa A, Raffaini M, Melsen B (1998) Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 13:201-9
24. Creekmore TD, Eklund MK (1983) The possibility of skeletal anchorage. *J Clin Orthod* 17:266-9
25. Creugers NH, De Kanter RJ, van 't Hof MA (1997) Long-term survival data from a clinical trial on resin-bonded bridges. *J Dent* 25:239-42
26. Creugers NH, Kayser AF, van 't Hof MA (1994) A meta-analysis of durability data on conventional fixed bridges. *Community Dent Oral Epidemiol* 22:448-52
27. Crismani AG, et al. (2006) Ninety percent success in palatal implants loaded 1 week after placement: a clinical evaluation by resonance frequency analysis. *Clin Oral Implants Res* 17:445-50
28. Crismani AG, et al. (2010) Miniscrews in orthodontic treatment: review and analysis of published clinical trials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137:108-13
29. Dausch-Neumann D (1968) On the value of the preservation of 6-year molars. *Fortschr Kieferorthop* 29:73-8
30. Deane S, et al. (2009) Physical properties of root cementum: part 12. The incidence of physiologic root resorption on unerupted third molars and its comparison with orthodontically treated premolars: a microcomputed-tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136:148 e1-9; discussion 148-9
31. Deguchi T, et al. (2006) Quantitative evaluation of cortical bone thickness with computed tomographic scanning for orthodontic implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129:721 e7-12
32. Deguchi T, et al. (2003) The use of small titanium screws for orthodontic anchorage. *J Dent Res* 82:377-81
33. Demirci M, Tuncer S, Yuceokur AA (2010) Prevalence of caries on individual tooth surfaces and its distribution by age and gender in university clinic patients. *Eur J Dent* 4:270-9
34. Diedrich P (1993) [Different orthodontic anchorage systems. A critical examination]. *Fortschr Kieferorthop* 54:156-71

35. Diedrich P (2002) Kieferorthopädische Behandlung Erwachsener. Praxis der Zahnheilkunde - Kieferorthopädie III, 4. Auflage. Vol. Urban & Fischer: München, Jena
36. Diedrich P (2002) Kieferorthopädische Behandlung Erwachsener. Praxis der Zahnheilkunde, Bd 12. Kieferorthopädie III - Interdisziplinäre Aufgaben, ed. Diedrich P. Vol. Elsevier, 4: München
37. Douglass JB, Killiany DM (1987) Dental implants used as orthodontic anchorage. J Oral Implantol 13:28-38
38. Edelhoff D, Sorensen JA (2002) Tooth structure removal associated with various preparation designs for posterior teeth. Int J Periodontics Restorative Dent 22:241-9
39. Feldmann I, Bondemark L (2006) Orthodontic anchorage: a systematic review. Angle Orthod 76:493-501
40. Fortini A, et al. (2004) Clinical applications and efficiency of miniscrews for extradental anchorage. Orthodontics 1:87-98
41. Freudenthaler JW, Haas R, Bantleon HP (2001) Bicortical titanium screws for critical orthodontic anchorage in the mandible: a preliminary report on clinical applications. Clin Oral Implants Res 12:358-63
42. Fudalej P, Kokich VG, Leroux B (2007) Determining the cessation of vertical growth of the craniofacial structures to facilitate placement of single-tooth implants. Am J Orthod Dentofacial Orthop 131:S59-67
43. Gainsforth B, Highley L (1945) A study of orthodontic anchorage possibilities in basal bone. Am J Orthod Dentofacial Orthop 31:406-16
44. Geron S, et al. (2003) Anchorage loss--a multifactorial response. Angle Orthod 73:730-7
45. Gill DS, Lee RT, Tredwin CJ (2001) Treatment planning for the loss of first permanent molars. Dent Update 28:304-8
46. Glatzmaier J, Wehrbein H, Diedrich P (1996) Biodegradable implants for orthodontic anchorage. A preliminary biomechanical study. Eur J Orthod 18:465-9
47. Göz G (2002) Zahnextraktionen im Rahmen der Kieferorthopädie. Praxis der Zahnheilkunde, Bd 12. Kieferorthopädie III - Interdisziplinäre Aufgaben, ed. Diedrich P. Vol. Elsevier, 4: München
48. Graber T (1972) Orthodontics: principles and practice.
49. Gutschow F, Jakstat H (1991) Cross-sectional study on the prevalence of prosthodontic reconstructions in young men. Dtsch Zahnarzt Z 46:602-5
50. Haas R, et al. (2002) A long-term follow-up of 76 Branemark single-tooth implants. Clin Oral Implants Res 13:38-43
51. Habsha E (1998) The incidence of pulpal complications and loss of vitality subsequent to full crown restorations. Ont Dent 75:19-21, 24

52. Heydecke G, Richter, E., Seedorf, H., Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGZPW) - Festsitzender Zahnersatz für zahnbegrenzte Lücken. 2008.
53. Ho C, et al. (2011) Physical properties of root cementum: Part 19. Comparison of the amounts of root resorption between the right and left first premolars after application of buccally directed heavy orthodontic tipping forces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140:e49-52
54. Hom BM, Turley PK (1984) The effects of space closure of the mandibular first molar area in adults. *Am J Orthod* 85:457-69
55. Huja SS, et al. (2005) Pull-out strength of monocortical screws placed in the maxillae and mandibles of dogs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 127:307-13
56. Irinakis T (2006) Rationale for socket preservation after extraction of a single-rooted tooth when planning for future implant placement. *J Can Dent Assoc* 72:917-22
57. Jacobs C, et al. (2011) Orthodontic space closure after first molar extraction without skeletal anchorage. *J Orofac Orthop* 72:51-60
58. Kanomi R (1997) Mini-implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 31:763-7
59. Keim RG (2005) Answering the questions about miniscrews. *J Clin Orthod* 39:7-8
60. Kerschbaum T (2000) Ergebnisorientierte Versorgung mit Kronen und Brücken. *Deutscher Zahnärztekalendar 2000*, ed. Heidmann D. Vol. Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV/Hanser, 62: München
61. Kerschbaum T, et al. (1991) Failure-time and risk analysis of fixed partial dentures. *Dtsch Zahnärztl Z* 46:20-4
62. Koeck B, Wahl G (2004) Indikation, Kontraindikation und Differentialdiagnose. *Praxis der Zahnheilkunde - Implantologie Bd.13*, ed. Koeck B, Wagner W. Vol. Urban und Fischer: München, Jena
63. Kohlmeyer B, et al. (2004) Verweilwahrscheinlichkeit und Einflussfaktoren für das Verlustrisiko von Adhäsivbrücken - eine 15-Jahres-Studie. *Dtsch Zahnärztl Z* 59:428-434
64. Kovacic I, et al. (2003) Influence of body mass index and the time of edentulousness on the residual alveolar ridge resorption in complete denture wearers. *Coll Antropol* 27 Suppl 2:69-74
65. Kravitz ND, Jolley T (2008) Mandibular molar protraction with temporary anchorage devices. *J Clin Orthod* 42:351-5; quiz 340
66. Kuroda S, et al. (2007) Clinical use of miniscrew implants as orthodontic anchorage: success rates and postoperative discomfort. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131:9-15
67. Kyung SH, Choi JH, Park YC (2003) Miniscrew anchorage used to protract lower second molars into first molar extraction sites. *J Clin Orthod* 37:575-9
68. Lekholm U, et al. (1994) Osseointegrated Implants in the Treatment of Partially Edentulous Jaws: A Prospective 5-Year Multicenter Study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 9:627-635

69. Lietz T (2007) Minischrauben – Aspekte zur Bewertung und Auswahl der verschiedenen Systeme. Mini-Implantate in der Kieferorthopädie. Innovative Verankerungskonzepte., ed. Ludwig B. Vol. Quintessenz Verlags-GmbH: Berlin Chicago Barcelona
70. Lietz T (2008) Mini-screws - Aspects of assessment and selection among different systems. In: Ludwig B, Baumgaertel S, Bowman SJ, Hrsg. Mini-implants in orthodontics - Innovative anchorage concepts. Berlin: Quintessence Publishing.
71. Lietz T, Amm E, Glasl B (2008) Die biologische Augmentation - Schnittpunkt zwischen Kieferorthopädie und Implantologie. KN 11:8
72. Linkow LI (1969) The endosseous blade implant and its use in orthodontics. Int J Orthod 7:149-54
73. Ludwig B, et al. (2009) Minischraubenverankerung für den singulären Lückenschluss im Molaren- und Prämolarenbereich - aktueller Stand, Biomechanik, Risiken, Limitationen. IOK 41:117-127
74. Ludwig B, et al., Insertion von Minischrauben, in Mini-Implantate in der Kieferorthopädie. Innovative Verankerungskonzepte, Ludwig B, Editor. 2007, Quintessenz: Berlin. p. 73-88.
75. Marxkors R (1998) Stellenwert der klammerverankerten Modellgußprothese - Wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK. Dtsch Zahnarztl Z 53
76. McCaul LK, Jenkins WM, Kay EJ (2001) The reasons for the extraction of various tooth types in Scotland: a 15-year follow up. J Dent 29:401-7
77. Melsen B (2005) Mini-implants: Where are we? J Clin Orthod 39:539-47; quiz 531-2
78. Melsen B, Costa A (2000) Immediate loading of implants used for orthodontic anchorage. Clin Orthod Res 3:23-8
79. Melsen B, Verna, C. (2005) Miniscrew implants: The Aarhus anchorage system. Semin Orthod 11:24-31
80. Meskin LH, Brown LJ (1988) Prevalence and patterns of tooth loss in U.S. employed adult and senior populations, 1985-86. J Dent Educ 52:686-91
81. Micheelis W, Schiffner U (2006) The Fourth German Oral Health Study (DMS IV) - Institute of German Dentists (IDZ). Vol. Deutscher Zahnärzte Verlag: Köln
82. Miyawaki S, et al. (2003) Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage. Am J Orthod Dentofacial Orthop 124:373-8
83. Momeni A, et al. (2007) Association of caries experience in adolescents with different preventive measures. Int J Public Health 52:393-401
84. Morarend C, et al. (2009) Effect of screw diameter on orthodontic skeletal anchorage. Am J Orthod Dentofacial Orthop 136:224-9
85. Moyers RE (1988) Handbook of orthodontics. 4th ed. Vol. Year Book Medical Publishers: Chicago, xv, 577 p.

86. Nagaraj K, Upadhyay M, Yadav S (2008) Titanium screw anchorage for protraction of mandibular second molars into first molar extraction sites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134:583-91
87. Nagasaka H, et al. (1999) A clinical evaluation on the efficacy of titanium miniplates as orthodontic anchorage. *Orthod Waves* 58:136-47
88. Ohashi E, et al. (2006) Implant vs screw loading protocols in orthodontics. *Angle Orthod* 76:721-7
89. Ohmae M, et al. (2001) A clinical and histological evaluation of titanium mini-implants as anchors for orthodontic intrusion in the beagle dog. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 119:489-97
90. Ostler MS, Kokich VG (1994) Alveolar ridge changes in patients congenitally missing mandibular second premolars. *J Prosthet Dent* 71:144-9
91. Owman-Moll P (1995) Orthodontic tooth movement and root resorption with special reference to force magnitude and duration. A clinical and histological investigation in adolescents. *Swed Dent J Suppl* 105:1-45
92. Papadopoulos MA, Tarawneh F (2007) The use of miniscrew implants for temporary skeletal anchorage in orthodontics: a comprehensive review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 103:6-15
93. Park HS (1999) The skeletal cortical anchorage using titanium microscrew implanta. *Korean Journal of Orthodontics* 29:699-706
94. Park HS, et al. (2001) Micro-implant anchorage for treatment of skeletal Class I bialveolar protrusion. *J Clin Orthod* 35:417-22
95. Pjetursson BE, et al. (2004) A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res* 15:625-42
96. Poggio PM, et al. (2006) "Safe zones": a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. *Angle Orthod* 76:191-7
97. Pospiech P, Reich S (2007) Kronen und Teilkronen (der geschädigte Zahn). Gemeinsame Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGZPW) und der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK). *Dtsch Zahnärztl Z*
98. Priest G (1999) Single-tooth implants and their role in preserving remaining teeth: a 10-year survival study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 14:181-8
99. Proffit W (1993) Contemporary orthodontics. Mechanical principles in orthodontic force control, ed. Proffit W, Fields, H.W. Vol. Mosby, 2nd ed.: Saint Louis
100. Rajcich MM, Sadowsky C (1997) Efficacy of intraarch mechanics using differential moments for achieving anchorage control in extraction cases. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 112:441-8
101. Reissmann DR, et al. (2011) Improved perceived general health is observed with prosthodontic treatment. *J Dent* 39:326-31
102. Reitemeier B, Schwenzer N, Ehrenfeld M (2006) Einführung in die Zahnmedizin. 198

103. Ren Y, Maltha JC, Kuijpers-Jagtman AM (2003) Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: a systematic literature review. *Angle Orthod* 73:86-92
104. Richardson G, Russell KA (2001) Congenitally missing maxillary lateral incisors and orthodontic treatment considerations for the single-tooth implant. *J Can Dent Assoc* 67:25-8
105. Richter E (2005) Implantologie in der Zahnheilkunde. *Dtsch Zahnärztl Z* 60:915-916
106. Roberts WE, Arbuckle GR, Analoui M (1996) Rate of mesial translation of mandibular molars using implant-anchored mechanics. *Angle Orthod* 66:331-8
107. Roberts WE, Marshall KJ, Mozsary PG (1990) Rigid endosseous implant utilized as anchorage to protract molars and close an atrophic extraction site. *Angle Orthod* 60:135-52
108. Roberts WE, et al. (1992) Bone physiology and metabolism in dental implantology: risk factors for osteoporosis and other metabolic bone diseases. *Implant Dent* 1:11-21
109. Romanos GE, et al. (2002) Histologic and histomorphometric evaluation of peri-implant bone subjected to immediate loading: an experimental study with *Macaca fascicularis*. *Int J Oral Maxillofac Implants* 17:44-51
110. Rousi K, Dissertation zu: Mundgesundheitsbezogene Lebensqualität vor prothetischer Behandlung - eine klinische Studie -. 2010: Heinrich Heine Universität Düsseldorf.
111. Sailer I, et al. (2007) Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont* 20:383-8
112. Sarnas KV, Solow B (1980) Early adult changes in the skeletal and soft-tissue profile. *Eur J Orthod* 2:1-12
113. Scheller H, et al. (1998) A 5-year multicenter study on implant-supported single crown restorations. *Int J Oral Maxillofac Implants* 13:212-8
114. Schnelle MA, et al. (2004) A radiographic evaluation of the availability of bone for placement of miniscrews. *Angle Orthod* 74:832-7
115. Schopf P (2008) Curriculum Kieferorthopädie. Band II. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage ed. Kieferorthopädische Apparatesysteme Teil 2 - Werkstoffe / Festsitzende Apparaturen -, ed. Schopf P. Vol. Quintessenz-Verlag: Berlin
116. Scurria MS, Bader JD, Shugars DA (1998) Meta-analysis of fixed partial denture survival: prostheses and abutments. *J Prosthet Dent* 79:459-64
117. Spear FM, Mathews DM, Kokich VG (1997) Interdisciplinary management of single-tooth implants. *Semin Orthod* 3:45-72
118. Stramotas S, et al. (2000) The reliability of crown-root ratio, linear and angular measurements on panoramic radiographs. *Clin Orthod Res* 3:182-191
119. Strub J, et al., Curriculum Prothetik, Band II. 2005, Quintessenz Verlag: Berlin. p. 641-654.
120. Strub JR, Stiffler S, Scharer P (1988) [Causes of failure of oral rehabilitation: biological and technical factors]. *Quintessenz* 39:1511-22

121. Sung JHK, H. M. Bae, S. M. et al. (2006) Microimplants in orthodontics. Korea: Dentos:Kapitel 2
122. Thilander B (2008) Orthodontic space closure versus implant placement in subjects with missing teeth. *J Oral Rehabil* 35 Suppl 1:64-71
123. Thilander B, Myrberg N (1973) The prevalence of malocclusion in Swedish schoolchildren. *Scand J Dent Res* 81:12-21
124. Thilander B, et al. (1994) Osseointegrated implants in adolescents. An alternative in replacing missing teeth? *Eur J Orthod* 16:84-95
125. Thilander B, Skagius S (1970) Orthodontic sequelae of extraction of permanent first molars. A longitudinal study. *Rep Congr Eur Orthod Soc*:429-42
126. Thiruvengkatachari B, et al. (2006) Comparison and measurement of the amount of anchorage loss of the molars with and without the use of implant anchorage during canine retraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129:551-4
127. Turley PK, et al. (1988) Orthodontic force application to titanium endosseous implants. *Angle Orthod* 58:151-62
128. Vande Vannet B, et al. (2007) Osseointegration of miniscrews: a histomorphometric evaluation. *Eur J Orthod* 29:437-42
129. Wehrbein H (2000) Implantate zur orthodontischen Verankerung. *Praxis der Zahnheilkunde*, Bd 11/II. Kieferorthopädie II - Therapie, ed. Diedrich P. Vol. Elsevier, 4: München
130. Wehrbein H, et al. (1990) The effect of the maxillary sinus floor on orthodontic tooth movement. *Fortschr Kieferorthop* 51:345-51
131. Wehrbein H, et al. (1996) The Orthosystem - a new implant system for orthodontic anchorage in the palate. *J Orofac Orthop* 57:142-53
132. Wehrbein H, Gollner P (2007) Skeletal anchorage in orthodontics - basics and clinical application. *J Orofac Orthop* 68:443-61
133. Wehrbein H, Merz BR, Diedrich P (1999) Palatal bone support for orthodontic implant anchorage - a clinical and radiological study. *Eur J Orthod* 21:65-70
134. Wennstrom J, et al. (2004) Bone level change at implant-supported fixed partial dentures with and without cantilever extension after 5 years in function. *J Clin Periodontol* 31:1077-83
135. Wiechmann D, et al. Efficient orthodontic mechanics using mini- and microscrews. in *DGKFO - Lecture*. 2007. Berlin.
136. Williams R, Hosila FJ (1976) The effect of different extraction sites upon incisor retraction. *Am J Orthod* 69:388-410
137. Wilmes B (2007) Anwendungsgebiete von Mini-Implantaten. *Mini-Implantate in der Kieferorthopädie. Innovative Verankerungskonzepte.*, ed. Ludwig B. Vol. Quintessenz Verlags-GmbH: Berlin Chicago Barcelona
138. Wiskott HW, Nicholls JI, Belser UC (1996) The relationship between abutment taper and resistance of cemented crowns to dynamic loading. *Int J Prosthodont* 9:117-39

139. Woelfel JB, Winter CM, Igarashi T (1976) Five-year cephalometric study of mandibular ridge resorption with different posterior occlusal forms. Part I. Denture construction and initial comparison. *J Prosthet Dent* 36:602-23
140. Woelk B (2007) Dissertation "Lebensqualität und Zufriedenheit mit implantatgetragenen und konventionellen Zahnersatz". Universität Freiburg
141. Wu JC, Huang JN, Zhao SF (2007) Bicortical microimplant with 2 anchorage heads for mesial movement of posterior tooth in the beagle dog. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132:353-9
142. Wyatt DL, et al. (1995) Accuracy of dimensional and angular measurements from panoramic and lateral oblique radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 24:225-31
143. Zimmer B, Guitard Y (2001) Orthodontic space closure without contralateral extraction through mesial movement of lower molars in patients with aplastic lower second premolars. *J Orofac Orthop* 62:350-66
144. Zitzmann NU, Marinello CP, Berglundh T (2002) The ovate pontic design: a histologic observation in humans. *J Prosthet Dent* 88:375-80

7 Dank

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Jörg Lisson für die Überlassung des Themas, die strukturierte Betreuung und die zeitnahe Unterstützung bei auftretenden Fragen.

Ein ebenso großer Dank gebührt Herrn Dr. Björn Ludwig für die fachliche Unterstützung und die kollegiale Hilfsbereitschaft. Seine unkomplizierte und motivierende Betreuung weiß ich sehr zu schätzen. Ebenfalls bin ich ihm, Frau Dr. Bettina Glasl und dem gesamten Team der Fachpraxis für Kieferorthopädie in Traben-Trarbach für die Bereitstellung der Patientenunterlagen dankbar, welche die Bearbeitung des Themas erst möglich gemacht haben. Dort konnte ich mich grundsätzlich auf eine sehr freundliche und unterstützende Behandlung verlassen. Besonders hervorheben möchte ich auch die Unterstützung von Frau Lena Filzen.

Frau Dr. Tanja Kottmann danke ich für die nützlichen Hilfestellungen bei der statistischen Auswertung.

Herrn Privatdozent Dr. Frank Nothdurft danke ich für die Unterstützung im prothetischen Teil der Arbeit.

Meinen Eltern und meiner Familie möchte ich für die volle Unterstützung und die Ermöglichung des Studiums danken. Schließlich möchte ich mich bei meiner Freundin Hannah Wilhelm für das sorgfältige Korrekturlesen der Arbeit und den liebevollen Rückhalt bedanken.