

Diplomarbeit

**Retrospektive Untersuchung von temporären
Verankerungsschrauben in der
Kieferorthopädie**

eingereicht von

Herwig Köstenberger

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Zahnheilkunde

(Dr. med. dent.)

an der

Medizinischen Universität Graz

**Klinische Abteilung für Orale Chirurgie und
Kieferorthopädie**

unter der Anleitung von

Ass. Prof. Dr. Margit Pichelmayer

Priv.-Doz. Dr. Brigitte Wendl

Graz, am 6. Juni 2016

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 6. Juni 2016

Köstenberger Herwig eh

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all denjenigen bedanken, die mich während der Fertigung dieser Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben.

Ganz besonders gilt dieser Dank Frau Ass. Prov. Dr. Margit Pichelmayer, die mich während der gesamten Zeit betreut hat. Erst durch Ihre ausgiebige Unterstützung und kritisches Hinterfragen war es mir möglich diese Arbeit zu vollenden. Vielen Dank für die Geduld, die Mühen und die vielen Stunden die Sie für mich aufgebracht haben.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Frau Priv.-Doz. Dr. Brigitte Wendl und Frau DI Irene Mischak für die umfassende Betreuung, Auswertung und Verarbeitung der gesammelten Daten.

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war die Ermittlung der durchschnittlichen Überlebenszeit und Erfolgsrate von Minischrauben, die während einer kieferorthopädischen Behandlung in den Knochen inseriert wurden.

Material und Methode: Die Daten der Dokumentationsbögen "Kieferorthopädische Mini-Implantate" von 128 Patienten/-innen (59 weiblich, 69 männlich) mit insgesamt 246 gesetzten Minischrauben wurden ausgewertet und mit internationalen Studien verglichen. Faktoren, welche die Überlebenszeit beeinflussen, wurden separat erhoben und diskutiert. Empfohlene Minischraubendesigns wurden der klinischen Erfolgsrate gegenübergestellt.

Ergebnisse: Die Erfolgsrate beträgt 87,8% bei einer durchschnittlichen Überlebenszeit von 682 Tagen. Keinen signifikanten Einfluss auf die Erfolgsrate zeigten die allgemeinen demographischen Faktoren (Alter und Geschlecht), die minischraubenbezogenen Faktoren (Typ, Material, Durchmesser und Länge) sowie die Art (direkt/indirekt) und der Zeitpunkt (sofort/verspätet) der Belastung. Unterschiede gibt es, bezogen auf die Erfolgsrate, je nach Lokalisation (OK/UK, vestibulär/oral, Front/Seitenzahnbereich, Gingiva/Mukosa).

Schlussfolgerung: Minischrauben sind eine sichere und planbare Möglichkeit, um die Verankerung maximal zu verstärken. Hauptgrund für einen vorzeitigen Minischraubenverlust ist mangelnde Hygiene und Inflammationen der umgebenden Gewebe. Im klinischen Alltag sind Minischrauben eine gute Alternative zu klassischen Verankerungskonzepten.

Abstract

Objective: The purpose of this study was to examine the median survival and success rate of mini-implants used as orthodontic anchorage.

Methods: The data from the documentation sheet "Kieferorthopädische Mini-Implantate" from 128 patients (59 female, 69 male) with a total of 246 mini-implants were evaluated and compared with international studies. Factors, which affect the survival time, were raised and discussed separately. Recommended mini-implants designs were compared with the clinical success rate.

Results: The success rate was 87,8% with an average survival time of 682 days. No significant differences in success rate showed the general patient factors (age and sex), the mini-implant-related factors (type, material, diameter and length) and the type (direct/indirect) and the time (immediate/delayed) of loading. There are differences in success rate depending on the location (upper/lower jaw, vestibular/oral, front/posterior region, gingiva/mucosa).

Conclusions: Mini-implants are a safe and predictable way to reach maximum anchorage. Main reason for early mini-implants loss are poor hygiene and inflammations of the surrounding tissues. Mini-implants are a good alternative to traditional anchoring concepts.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	7
1.1	Verankerung	7
1.2	Arten der Verankerung	8
1.3	Minischrauben.....	11
1.4	Risiken/Komplikationen/Verlustfaktoren	21
1.5	Definition Schraubenverlust/Schraubenerfolg	25
1.6	Verlustraten von 0-100%	27
1.7	Minischrauben als Mittel der Wahl für kieferorthopädische Behandlungen ..	29
1.8	Ziel.....	30
2.	Material und Methode	31
2.1	Datenerhebung.....	31
2.2	Statistische Auswertung	32
2.3	Untersuchte Minischrauben.....	32
2.4	Demographische Daten	34
3.	Ergebnisse der Auswertung	36
4.	Diskussion.....	48
4.1	Patienten/-innen bezogene Faktoren	48
4.2	Minischrauben bezogene Faktoren	50
4.3	Operationsbezogene Faktoren	55
5.	Schlussfolgerung	66
6.	Literaturverzeichnis.....	68
7.	Tabellenverzeichnis.....	72
8.	Anhang	74

1. Einleitung

1.1 Verankerung

„Die Bewegung eines oder mehrerer Zähne in eine der verschiedenen Richtungen ist nur durch Anwendung einer Kraft möglich, die in Übereinstimmung mit den Gesetzen der Mechanik und Dynamik erfolgt. Nach den wohlbekanntesten 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 bewegendes Zahnes sein muss. Die idealste Verankerung wäre natürlich eine unbewegliche Basis.“ (Angle, 1907)

Edward H. Angle führte 1907 den Begriff der „Verankerung“ in die Kieferorthopädie ein. Bis heute ist bei kieferorthopädischen Behandlungen oft die Möglichkeit zur Abstützung der limitierende Faktor für die Zahnbewegung. In der Therapieplanung müssen alle Kräfte und daraus resultierende Gegenkräfte berücksichtigt werden. Diese Gegenkräfte sind oft unerwünscht und führen zu Zahnbewegungen, die nicht zum geplanten Behandlungskonzept gehören. Strukturen, die gegen diese unerwünschten Drehmomente und entgegen gerichteten Kräften wirken, werden kieferorthopädisch als Verankerung bezeichnet. Dazu zählen einzelne Zähne, mehrere, zu einer Gruppe zusammengefasste Zähne, aber auch andere anatomische Strukturen, wie der Knochen, hierbei vorwiegend die Kortikalis (Sander et al., 2011, S. 348).

Um unabhängig von Gegenkräften arbeiten zu können, ist oft eine maximale Verankerung Voraussetzung für eine erfolgreiche Therapie. Traditionelle Systeme zum Erreichen einer maximalen Verankerung sind stark von der Mitarbeit der Patienten/-innen abhängig. Sie schränken die Patienten/-innen in ihrem sozialen und beruflichen Leben ein und sind, besonders bei extraoralen Systemen, durch ihre ständige Präsenz eine psychische Belastung für die Patienten/-innen. Dies führt dazu, dass die geforderten Tragezeiten (täglich 22 Stunden) nicht

eingehalten werden und dadurch eine gewünschte Verankerung nicht erreicht wird.

Jede Art der Verankerung hat Vor- und Nachteile, bestimmte Indikationen und Grenzen. Diese müssen abgeschätzt und an den Behandlungsplan adaptiert werden. Je nach Anwendungsmodalität unterscheidet man drei Hauptgruppen von Verankerung.

1.2 Arten der Verankerung

Extraorale Systeme

Headgear, Hickham- und Delairemaske zählen zu den bekanntesten extraoralen Systemen. Diese stützen sich extraoral am Schädelknochen (Nacken bzw. Hinterkopf oder Stirn und Kinn) der Patienten/-innen ab. Diese Systeme sind unabdingbar von der Mitarbeit der Patienten/-innen abhängig. Bis zu einer applizierten Kraft von 450g wirken extraorale Systeme rein verankernd und beeinflussen das skelettale Wachstum nicht.

Intraorale zahngetragene Systeme

Im Ober- und Unterkiefer eingebrachte Zusatzgeräte können zur Abstützung von Zahnbewegungen herangezogen werden. Häufig verwendete Geräte sind die passive Nance-Apparatur, Transpalatinalbogen, Lingualbogen, sowie die verschiedenen Gummizüge. Letztere Systeme sind, gleich wie die extraoralen Geräte, von der Kooperation der Patienten/-innen abhängig und führen nicht immer in allen drei Dimensionen zur Stabilität der Ankerzähne.

Intraorale knochengetragene Systeme

Grundlegend wird in dieser Gruppe anhand der Verweildauer der Apparatur in situ unterschieden.

- Definitive Implantate, auch dentale Implantate genannt, werden mit speziellen provisorischen Kronen versehen und können so für eine kieferorthopädische Behandlung als Verankerung dienen. Anschließend

folgt die definitive prothetische Versorgung und verbleiben dauerhaft in situ. Eine vollständige Osseointegration wird angestrebt.

- Temporäre Implantate sind Systeme, die allein der kieferorthopädischen Behandlung dienen und nach Beendigung dieser wieder entfernt werden. Man bezeichnet diese auch als temporary anchorage devices, kurz TADs. Zu ihnen zählt man:

- das Gaumenimplantat
- die Miniplatte
- die Minischraube

Diese Systeme sind von der Compliance der Patienten/-innen, bis auf die allgemeine Hygienefähigkeit, unabhängig (Creekmore, 1983; Karagkiolidou et al., 2013; Sander et al., 2011, S. 362).

Verankerung war und ist weiterhin im Fokus der biomechanischen Forschung und Entwicklung. Gesucht wird eine Methode, mit der maximale Verankerung erreicht wird, die unabhängig von der Compliance des Patienten/-innen funktioniert und sichere, planbare Ergebnisse liefert.

Intraorale knochengetragene Systeme können diese Forderungen erfüllen und wurden in den letzten Jahrzehnten zum Bestandteil kieferorthopädischer Behandlungen ohne traditionelle Verankerungssysteme auszugrenzen.

Diese Untersuchung befasst sich ausschließlich mit dem Verankerungssystem „Minischraube“, auf welche im folgenden Kapitel näher eingegangen wird. In der nationalen, wie internationalen Literatur gibt es viele unterschiedliche Bezeichnungen für dieses Verankerungssystem.

In dieser Arbeit wird die Bezeichnung „Minischraube“ verwendet und stellt ein Synonym für die in Tabelle 1.1 aufgezählten weiteren Bezeichnungen dar.

Ankerschraube
Kfo Verankerungsschraube
Kortikalis-Schraube
Microimplant, micro-implant
Microscrews
Mikroschrauben
Mini implants for orthodontic anchorage
Mini screws
Mini Implantat
Minipin
Ortho implant
Orthodontic anchorage Implant
Orthodontic Implant
Ortho TAD
OMI – orthodontic micro implants
TAD – temporary anchorage devices
TSAD – temporary skeletal anchorage devices
Titanium microscrew

Tab. 1.2.1: Synonyme

1.3 Minischrauben

„Implantate (In-*, lat. plantatus gepflanzt) *n pl*: (engl.) *implants*; zusammenfassende Bezeichnung für Stoffe und Teile, die zur Erfüllung bestimmter Ersatzfunktionen für einen begrenzten Zeitraum oder auf Lebenszeit in den menschlichen Körper eingebracht werden“ (Pschyrembel, 2004, S. 1005). Per definitionem handelt es sich bei Minischrauben um Implantate, die zum Therapieabschluss wieder entfernt werden. Da das Medizinproduktegesetz zwischen Kurzzeit- (bis maximal 30 Tage) und Langzeit-Implantaten unterscheidet, und Minischrauben meist diese Zeitspanne überschreiten, müssen deshalb die Gesetzmäßigkeiten der Langzeit-Implantate eingehalten werden. Trotz der kurzen Einsatzzeit in situ, verglichen mit Dentalimplantaten, erfüllen Minischrauben die selben Anforderungen wie Dentalimplantate und alle Anforderungen der herkömmlichen Verankerungssysteme (Wolf et al., 2012):

- Biokompatibilität
- Geringe Dimension
- Einfach in der Handhabung
- Geringe Frakturgefahr
- Primärstabilität
- Sofortige Belastbarkeit
- Ausreichender Widerstand gegen orthodontische Kräfte
- Complianceunabhängigkeit
- Nutzbar mit bekannten Mechaniken
- Einfach zu entfernen
- Kostengünstig
- Hohe Erfolgsgarantie
- Klinisch gleichwertige oder bessere Ergebnisse im Vergleich zu traditionellen Verankerungssystemen

Herkömmliche Verankerungssysteme erfüllen viele dieser Anforderungen. Oft überschneiden sich die Einsatzbereiche der einzelnen Systeme miteinander und manche sind nur für spezielle Indikationen einsetzbar. Einzig Minischrauben

können alle Anforderungen abdecken. Minischrauben werden im Behandlungsalltag zum Mittel der Wahl, wenn eine maximale temporäre Verankerung gefordert ist (Ludwig et al., 2007, S. 3).

Bereits 1945 wurden von Gainsforth und Higley erste Versuche unternommen den Kieferknochen als skelettale Verankerung zu nutzen. Nach deren Misserfolg wurde von Branemark, Adell, Creekmore und Eklund in den Jahren 1969 bis 1988 klinisch und tierexperimentell weitergeforscht und 1996 stellte Wehrbein das erste, speziell für die Kieferorthopädie bestimmte Implantatsystem vor (Wolf et al., 2012). Seit 2003 gibt es weltweit einen stetigen Zuwachs an neuen Minischrauben und deren Systemen. Das Schraubendesign war und ist ein oft diskutiertes Thema in nationalen und internationalen Publikationen. Nachstehend werden die einzelnen Schraubencharakteristika, nach ihrer momentanen Empfehlung erläutert.

Material

In der Geschichte der Minischrauben und heutzutage obsolet wurden Schrauben aus Cobalt-Chrom-Basislegierungen und Edelstahl verwendet. Beide Materialien werden vom Körper nicht abgestoßen. Es findet keine direkte Anlagerung von Knochen an die Minischraube statt, sondern zwischen Schraube und Knochen bildet sich eine Schicht Bindegewebe. Diese Materialien sind rein historisch und sollten heutzutage für die enossale Implantation nicht mehr verwendet werden.

Da Minischrauben im Körper dasselbe Verhalten aufweisen wie Dental-Implantate und Osteosyntheseschrauben, werden bezüglich Materialauswahl die selben Erfahrungen und Erkenntnisse übernommen.

Häufigstes verwendetes Material ist Titan. In seiner reinen Form (Reintitan, commercial pure Titanium, cp Ti) ist dieser Werkstoff durch die Ausbildung einer passivierenden Oxidschicht (Passivschicht) biokompatibel, so gut wie inert und immunologisch unauffällig. Ebenso ist der Kontakt zwischen Schraubenoberfläche und Knochen gesichert. Um bessere mechanische Eigenschaften zu erzielen, wird vorwiegend die Titanlegierung Titan-6-Aluminium-4-Vanadium (Ti6AlV4, Titan Grad 5) verwendet. Diese Legierung ist derzeit Mittel der Wahl für Minischrauben. Durch eine höhere Zugfestigkeit, eine höhere Dehngrenze, eine höhere Vickers Härte, eine geringere Bruchdehnung und bessere Eigenschaften in Verschleißbeständigkeit und Oberflächenbeschaffenheit können Minischrauben in

zunehmend kleineren Dimensionen und filigraneren Ausarbeitungen gefertigt werden (Ludwig et al., 2007, S. 14 ff.).

Oberfläche

Osseointegration ist die Voraussetzung, dass dentale Implantate den gewünschten Langzeiterfolg erzielen. Hierfür muss ein struktureller Verbund zwischen Implantat und Knochen stattfinden. Knochen lagert sich direkt an die Implantatoberfläche an. Dazwischen darf es keine bindegewebige Schicht geben, da diese unter funktioneller Belastung den Kräften nicht standhalten würde. Dental-Implantate werden sandgestrahlt und säuregeätzt, um deren Oberfläche zu vergrößern. Das Verhältnis von Implantatgröße und Kontaktfläche zum Knochen kann somit bestens ausgenutzt werden. Osteozyten lagern sich leichter an der rauhen Oberfläche an. Es werden auch diverse Beschichtungen diskutiert, die dieses Verhalten begünstigen sollen. Um ein osseointegriertes Implantat zu entfernen, reicht es nicht, dieses entgegen der Eindrehrichtung herauszuschrauben. Ein osseointegriertes Implantat muss umbohrt und herausgebrochen werden. Alle diese Eigenschaften sind für eine Therapie mit Minischrauben nicht vom Vorteil. Deren Oberfläche ist glatt beziehungsweise poliert. Im Unterschied zu dentalen Implantaten ist keine Einheilzeit notwendig. Minischrauben können sofort belastet werden. Grund dafür ist das Schraubendesign und die makroretentive Verankerung. Auch an der glatt polierten Oberfläche von Minischrauben lagern sich Osteozyten an und es findet Osseointegration statt. Jedoch ist das Ausmaß der Osseointegration weniger als die Hälfte des Ausmaßes bei dentalen Implantaten (Costa et al., 1998). Minischrauben können meist ohne Anästhesie und großem Kraftaufwand aus dem Knochen herausgedreht werden. Dies ist ein wichtiger Faktor bezüglich Handhabung und Komfort für die Patienten/-innen.

Durchmesser

Werden Minischrauben im Gaumen oder Retromolarbereich eingesetzt, gibt es meist kein Problem mit dem vorherrschenden Knochenangebot. Der Haupteinsatzort für Minischrauben ist jedoch die geschlossene Zahnreihe. Abhängig von anatomischen Gegebenheiten wie Abstand der Zähne und Wurzeln zueinander, sowie deren Konizität ist das maximale Knochenangebot stark

begrenzt. Zusätzlich wird zirkulär um die Schraube eine Knochendicke von 0,5 mm und ein Sicherheitsabstand von 0,25 mm zum Parodontium gefordert, um eine sichere Verankerung zu gewährleisten. Somit ergibt sich zusammengefasst ein Mindestknochenangebot von 3,1 mm cervical der Mukoginivallinie bei einem Schraubendurchmesser von 1,6 mm (Glasl et al., 2010; Ludwig et al., 2007, S. 21; Ludwig et al., 2008; Ludwig et al., 2012;). Dies limitiert den maximalen Durchmesser jeder Minischraube. Die Obergrenze für Minischrauben variiert je nach Autor zwischen 2,0-2,3 mm (Sander et al., 2011, S. 360; Wolf et al., 2012; Ludwig et al., 2007, S. 20).

Um so unabhängig wie möglich vom Knochenangebot arbeiten zu können, sind klein dimensionierte Schrauben gefordert. Jedoch steigt mit abnehmendem Durchmesser die Frakturanfälligkeit beim Entfernen der Schraube. Mit verantwortlich dafür ist die partielle stattfindende Osseointegration während der Behandlung. Die publizierte Untergrenze liegt bei 1 mm (Sander et al., 2011, S. 360). Bereits unter einem Durchmesser von 1,4 mm herrscht erhöhte Frakturanfälligkeit in Kombination mit erhöhtem Ausdrehmoment und dicker Kortikalis >2mm (Ludwig et al., 2008). Auch die Primärstabilität hängt mit dem Durchmesser zusammen. Schrauben, mit einem Durchmesser von 1,2 mm und weniger, weisen ein 1,8-fach höheres Risiko des Misserfolgs als Schrauben mit Durchmesser 2 mm und mehr auf (Schätzle et al., 2009).

Zusammenfassend wird ein Durchmesser von 1,5 – 1,6 mm als optimal eingestuft. Dies stellt eine Kompromisslösung aller vorher besprochenen Limitationen dar (Ludwig, 2007).

Länge

Gefühlsmäßig würde man längere Schrauben bevorzugen, da durch die größere Kontaktfläche von Knochen zu Schraube ein besserer Halt zu erwarten wäre. Diese Überlegung ist richtig, wenn die gegenüberliegende Kortikalis miteinbezogen wird. Nur dann erhöht sich die Stabilität nachweisbar. Dieses bikortikale Behandlungskonzept erfordert eine genauere Planung mittels 3-dimensionaler Bildgebung und exakter Einhaltung der Insertionswinkel, um eine Perforation der Kieferhöhle oder der Oralseite des Unterkiefers zu vermeiden.

Wichtig für die Stabilität einer monokortikalen Minischraube ist der Anteil der Schraube, der sich in der Kortikalis befindet. Dieses Ausmaß kann durch den

Insertionswinkel beeinflusst werden. In diesem Bereich findet vorwiegend die Kraftübertragung statt (Gracco et al., 2009; Kuroda & Tanaka, 2014; Ludwig et al., 2008; Stahl 2008; Sander et al. 2011;).

Bei der Längenauswahl muss die Dicke der Gingiva berücksichtigt werden. Das Verhältnis Schraubenanteil innerhalb des Knochens zu Schraubenanteil außerhalb des Knochens muss mindestens 1:1 betragen (Ludwig et al., 2007, S. 23). Die Gingivadicke kann stellenweise 4 mm erreichen, somit muss eine Schraubenlänge von mindestens 8 mm gewählt werden. Um die Übersicht zu bewahren empfiehlt sich eine Abstufung der Schraubenlänge in 2-mm-Schritten.

Empfohlen werden Schrauben der Länge 6 mm (v.a. Unterkiefer), 8 mm (Ober- und Unterkiefer) und 10 mm (v.a. Oberkiefer).

Schaft

Ein Knochen besteht aus der innen liegenden, schwammartig gegliederten Substantia spongiosa und der äußeren, massiven Substantia compacta, Kompakta oder Kortikalis. Abhängig von Alter, Geschlecht, Genetik und Lokalisation unterscheiden sich die Ausmaße dieser Strukturen. Wie bereits bei der Besprechung des Durchmessers erwähnt, findet die Kraftweiterleitung vorwiegend im Kontaktbereich Schraube-Kortikalis statt. Um die Primärstabilität zusätzlich zu erhöhen, empfiehlt es sich, Schrauben mit einem konischen Schaft zu bevorzugen (Ludwig et al., 2008; Wolf et al, 2012; Vannet et al., 2007). Kurz vor Erreichen der maximalen Eindringtiefe muss ein konischer Schaft mehr Knochen im kortikalen Bereich verdrängen als ein zylindrischer Schaft. Im Bereich der Schraubenspitze hingegen findet wenig bis keine Kompression statt. Durch das erhöhte Eindrehmoment besteht die Gefahr der höheren Stressbelastung des kortikalen Knochens. Im Gegensatz verteilt sich durch die gleichmäßige Kompression bei zylindrischen Schäften der einwirkende Stress auf die gesamte Länge der Schraube. Konische Schäfte verlieren bei Ausdrehbewegungen schneller den Halt als zylindrische. Dies minimiert die Gefahr der Schraubenfraktur beim Entfernen, kann theoretisch zu vorzeitigem Schraubenverlust führen, wenn ein Drehmoment in Ausdrehrichtung an die konische Minischraube angelegt wird. Zusammengefasst empfiehlt Björn Ludwig das Verwenden von zylindrischen Schäften (Ludwig et al., 2007, S. 36).

Weiteren Einfluss auf die geforderte Primärstabilität haben das Design der Gewindeflanken, der Abstand dieser zueinander und das Verhältnis von Schaftdurchmesser zu Gewindedurchmesser (Ludwig et al., 2007, S. 30 ff.). Da die unterschiedlich aufgebauten Strukturen Kortikalis und Spongiosa unterschiedliche Ausführungen der Gewindeflanken und Durchmesser fordern und zusätzlich noch materielle Limitationen berücksichtigt werden müssen, gibt es eine Vielzahl an Designvarianten. Je nach Gewichtigkeit der zu präferierten Eigenschaft werden Minischrauben sehr individuell im Design von den Herstellerfirmen angeboten.

Spitze und Flanken bestimmen, ob eine Minischraube selbstschneidend oder selbstbohrend ist.

Abgerundetes Gewinde und eine stumpfe Spitze definieren selbstschneidende Minischrauben. Diese Variante fordert eine Pilotbohrung. Der Vorteil dieses Designs ist der besserer Komfort für die Patienten/-innen nach Insertion. Da weniger Knochenmaterial komprimiert wird, ist der Stress auf das umliegende Gewebe geringer. Patienten/-innen spüren postoperativ diesen Druck kaum. Ebenso minimiert sich die Gefahr von Drucknekrosen und Überhitzung beim Eindrehen der Minischraube. Durch die notwendige Vorbohrung ist die Insertionsrichtung vorgegeben und die Frakturgefahr durch geringere Eindrehmomente kaum gegeben. Bei dünner Kortikalis ist die Primärstabilität im direkten Vergleich zu selbstbohrenden Minischrauben geringer. Ebenso nachteilig ist der erhöhte Zeit- und Instrumentenaufwand.

Selbstbohrende Minischrauben benötigen keine Vorbohrung. Die Insertionsrichtung ist während der Insertion variabel. Das Eindrehmoment, die Gefahr der Drucknekrose und Überhitzung sind hoch. Schraubenfrakturen und postoperative Beschwerden kommen häufiger vor. Für selbstbohrende Minischrauben spricht der geringere Zeitaufwand und die höhere Primärstabilität.

In der Untersuchung von *Son et al. 2014* wurden selbstbohrende und selbstschneidende Minischrauben verglichen. Es zeigte sich, dass selbstschneidende Minischrauben eine geringere Primärstabilität aufweisen, dies

sich jedoch nicht auf den Erfolg der Minischrauben auswirkte, da beide Designs die selben Erfolgsraten erbrachten.

Um die geforderte Primärstabilität zu erreichen, empfiehlt es sich je nach Dicke der Kortikalis zwischen diesen Designs zu wählen. Im Oberkiefer ist eine selbstbohrende Minischraube von Vorteil, im Unterkiefer eine selbstschneidende. International wird bei alleiniger Verwendung von selbstbohrenden Minischrauben eine, auf die über 1 mm dicke Kortikalis beschränkte, Vorkörnung empfohlen (Ludwig et al., 2007, S. 40).

Schraubenhals

Eine Minischraube besteht aus Kopf (Befestigung der Kopplungselemente), Hals (Abdichten der Epithellücke) und Schaft mit Gewinde (Verankerung im Knochen). Der Hals ist die sensibelste Stelle im gesamten System und ist für den Langzeiterfolg einer Minischraube entscheidend. Durch die mechanische Belastung und die mögliche Eintrittspforte für Mikroorganismen, muss der Schraubenhals besondere Ansprüche erfüllen.

Der Schraubenhals liegt der Kortikalis auf und steht somit unmittelbar im maximalen Kraftfeld der Belastung beim Setzen und Entfernen der Minischraube (Stahl, 2008). Um eine Schraubenfraktur an dieser Stelle zu vermeiden, muss der Hals mindestens den selben Durchmesser aufweisen wie das Gewinde der Minischraube. Eine Vergrößerung des Halsdurchmessers, eine sogenannte suprapariostale Auflage, kann als Tiefenstopp dienen. Im großen Ausmaß führt dieser während der Insertion zur Quetschung der Gingiva und wird nur von wenigen Herstellern angeboten (Ludwig et al., 2007, S. 36). Vorwiegend hat der Schraubenhals einen gering größeren Durchmesser als das Gewinde. Der Übergang ist fließend oder als kleine Stufe designt. Durch zirkuläre Kompression der Schleimhaut um den Schraubenhals herum ist postoperativ eine Blutstillung und Abdichtung gegeben. Mikroorganismen können erschwert eintreten und Entzündungen, die langfristig zum Verlust der Minischraube führen, werden minimiert. Dieser Effekt kann durch einen konischen Schraubenhals zusätzlich positiv beeinflusst werden. Wie ein Keil verschließt der konische Schraubenhals die epitheliale Lücke. Eine Stanzung der Gingiva sollte vor der Insertion erfolgen, um diese Effekte bestmöglich zu unterstützen. Eine Mindestlänge von 2 mm ermöglicht unabhängig von der Gingivadicke, die lokal sehr unterschiedlich

ausfallen kann (0,7-4 mm), arbeiten zu können (Ludwig et al., 2007, S. 29; Ludwig et al., 2012; Glasl et al., 2010).

Um Nischen für Mikroorganismen zu vermeiden, müssen Schraubenkopf und Schraubenhals den selben Durchmesser aufweisen. Gingivaauflagen, wie zum Beispiel Teller, erschweren die Hygienefähigkeit und erhöhen das Risiko von Inflammationen.

Ein direkter Übergang von Kopf zu Schaft ohne Hals ist aus erwähnten Gründen nicht erfolgsversprechend. Die Oberflächenbeschaffenheit spielt für die Anlagerung der Gingiva eine geringere Rolle. Zur Erleichterung der Hygienefähigkeit sollte besonders der sensible Halsbereich poliert sein (Ludwig et al., 2007, S. 30).

Insertionsinstrument

Um eine Minischraube in den Knochen zu drehen, muss das Zahnfleisch überwunden werden. Die Methode der Inzision ist auf Grund der geringen Dimension der Minischraube und der erhöhten Komplikationsgefahr durch Nähte und Lappenbildung obsolet (Ludwig et al., 2007, S. 38).

Von den Herstellern werden zwei weitere Methoden empfohlen. Das Ausstanzen der Gingiva mittels Einmalstanzen sorgt für glatte Wundränder, eine schnellere Regeneration und eine nahezu inflammationsfreie Heilung. Die Gingiva legt sich dicht an den Schraubenhals an.

Die zweite Methode ist das Durchdringen der Gingiva mittels der Spitze der Minischraube. Die Schraube wird ohne Vorbereitung des Zahnfleisches gesetzt. Quetschungen und unscharfe Wundränder sind die Folge. Es besteht auch die Möglichkeit der Basalzellenverschleppung in die Tiefe. Eine verzögerte Wundheilung ist die Folge. Dies sind theoretisch berechnete Überlegungen, sie wurden jedoch noch nicht klinisch untersucht. Ein möglichst gering invasives Vorgehen ist gefordert, um die Heilung der Gingiva bestmöglich zu unterstützen (Ludwig et al., 2007, S. 50).

Die bereits besprochene Ankörnung der Kortikalis wird mit einem Rosenbohrer vorgenommen. Dies verhindert das Abrutschen beim Einbringen der Schraube. Die Gingiva muss dafür gestanzt werden. Zusätzlich ist es möglich die Beschaffenheit der Kortikalis genauer zu beurteilen (Ludwig et al., 2007, S. 40).

Für die Insertion können manuelle und maschinelle Systeme verwendet werden. Der Ansatzpunkt dieser Systeme liegt bei den Schrauben entweder außen (Vier-, Sechs- oder Achtkant) oder innen (Kreuz- oder Schlitzschraube). Sichere und abrutschfreie Handhabung muss trotz des geringen Platzes möglich sein. Belastung der Schraube und thermische Belastung des Knochens steigen mit dem Drehmoment. Gleichmäßige Kraftanwendung und kontinuierliche Bewegung minimieren das Risiko der Überhitzung. Zur Vermeidung zu hoher Kraftapplikation werden Instrumente mit Drehmomentkontrollen angeboten. Erreicht das Drehmoment die eingestellte Maximalgröße dreht das Instrument durch und es findet keine Übertragung statt. Manuelle Insertion ermöglicht auf die individuelle Knochensituation besser reagieren zu können. Für die maschinelle Insertion sind extra Winkelstücke mit geringer Umdrehungszahl und Drehmomentbegrenzung notwendig. Der Knochen erfährt eine konstante Belastung ohne Entstehung von Drehmomentspitzen, wie sie bei manueller Insertion vorkommen. Die Zeitersparnis ist im Vergleich zu manueller Insertion gering und rechtfertigt die höheren Anschaffungskosten nicht (Ludwig et al., 2007, S. 40 ff.).

Schraubenkopf

Der Schraubenkopf dient zur Aufnahme und Befestigung der kieferorthopädischen Elemente. Diese sind Drahtelemente, Häkchen, (elastische) Ketten, Stoppelemente, Kreuz- und Klemmröhrchen, Abutments, Zug-, Druck- und Aufrichtefedern und weitere. Um diese Kopplungselemente aufzunehmen, gibt es fünf Arten von Ausführungen des Schraubenkopfes, plus Kombinationen dieser Gruppen.

Schrauben mit:	Kugelkopf
	Hakenkopf
	Ösen und Bohrungen
	Einfacher Slot
	Kreuzslot

Tab. 1.2: Schraubenkopfdesign

Es gibt eine Vielzahl an verschiedenen Möglichkeiten der Ausführung des Kopfes. Es empfiehlt sich eine Variante zu wählen, die auch bei Änderung des Behandlungsplans (zum Beispiel ein Umsteigen von einer Zugfeder zu einem Vierkantdraht), eine Befestigung aller Kopplungselemente ermöglicht. Ein Austausch einer Schraube auf Grund der fehlenden Befestigungsmöglichkeit muss unbedingt vermieden werden. Eine genaue Planung der Kopplungselemente plus deren Alternativen muss bedacht werden.

Die Dimension des Schraubenkopfes muss ein Mittelweg aus kleinstmöglicher, zur Verbesserung des Komfort für die Patienten/-innen, und größtmöglicher Ausführung, zum sicheren Befestigen der Kopplungselemente, sein (Ludwig et al., 2007, S. 23ff.).

Sterile/Unsterile Lieferung

Im Handel finden sich vorwiegend bereits sterilisierte Minischrauben. Diese wurden in einem Reinraum desinfiziert und anschließend industriell, meist mit Gamma-Strahlung sterilisiert. Diese Minischrauben sind frei von Mikroorganismen, Endo- und Zytotoxinen. Nach dem Öffnen der Verpackung darf die Minischraube nur am Schraubenkopf mit einer sterilen Pinzette bzw. mit dem Insertionswerkzeug berührt werden.

Theoretisch ist es möglich Minischrauben mit handelsüblichen Sterilisatoren in der Ordination von Mikroorganismen zu befreien. Davor muss aber eine Desinfektion stattfinden, die weit über das übliche Ordinationsmanagement hinausgeht. Der Zeit- und Kostenaufwand lohnen sich, für das meist ungenügende Ergebnis nicht.

Minischrauben, aus einem dokumentierten, evaluierten und kontrollierten industriellen Desinfektions- und Sterilisationsprozess, sind für ein sicheres Behandeln notwendig. Zusätzlich sind steril gelieferte Minischrauben sofort einsetzbar und können auch bei intraoperativer Änderung des Therapieplanes herangezogen werden (Ludwig et al., 2007, S. 47 f.).

1.4 Risiken/Komplikationen/Verlustfaktoren

Jedes ärztliche Eingreifen hat gewollte und ungewollte Auswirkungen auf den Organismus, so auch das Setzen von Minischrauben. Sind Risiken und eventuelle Komplikationen bekannt, ist es notwendig, das Vorgehen anzupassen, um diesen Störungen frühestmöglich entgegenzuwirken und vor Auftritt von Komplikationen ein Konzept zum Managen dieser Störfaktoren auszuarbeiten.

Im Interesse der Patienten/-innen muss das Verhältnis Erfolg zu Risiko weit zu Gunsten des Erfolges ausfallen. Da Minischrauben häufig keine alternativlose Behandlungsmethode sind, können auch andere Behandlungskonzepte herangezogen werden. Besteht ein zu hohes Risiko für die Patienten/-innen oder sind die Erfolgschancen von Anfang an bereits gering, wäre ein Beibehalten des Behandlungskonzepts mit Minischrauben ethisch nicht vertretbar und es müssten alternative Behandlungspläne erarbeitet werden. Allein ästhetische Vorteile, die unter anderem die Therapie mit Minischrauben mit sich bringt und von Patienten/-innen als Hauptkriterium für die Entscheidung dienen, sollten nicht zu einer höheren Risikobereitschaft verleiten (Schätzle et al., 2010).

Die Risiken und Komplikationen können, trotz des minimalinvasiven Eingriffes, für die Patienten/-innen massive Gefahren bedeuten. Während des Setzen einer Minischraube kommt es zur Überwindung der epithelialen Barriere, Eröffnung der Blutbahn, zur Penetration des Knochens und zum Kontakt körperfremder Stoffe mit dem Gewebe. Ein gesunder Organismus zeigt kaum Reaktion auf diesen Eingriff. Bei Risikogruppen kann es zu weit dramatischeren Folgen kommen. Folgende Tabelle gibt eine grobe Übersicht über die häufigsten Risikopatienten/-innen und deren Disposition für bestimmte Komplikationen (Ludwig et al., 2006; Ludwig et al., 2007, S. 123 ff.).

Status post Endokarditis	Bakteriämie mit lebensgefährlichen Folgen
Osteoporose	Geringere Primärstabilität
Systemische Grunderkrankungen	Gestörter Metabolismus und verminderte Regenerationsfähigkeit
Diabetes mellitus	Infektionsgefahr, Störung der Wund- und Knochenheilung, Stoffwechsellage durch Anästhesie und Stress, Sensibilitätsstörungen, Druckstellen
Hämorrhagische Diathesen	Erhöhte und verlängerte Blutungsbereitschaft
Dauertherapie mit Medikamenten	Phenytoin und Nifedepin: periimplantäre Hyperplasie der Schleimhaut mit Entzündungsgefahr, Antikoagulantien, Antibiotika: postoperative Nachblutungen
Allergien	Selten: auf das Material der Minischraube, Akutsymptomatik, Abstoßungsreaktionen Häufig: auf Bestandteile der Lokalanästhesie, Schwellung, Exanthem, Urtikaria, Konjunktivitis, Rhinorrhoe, Kurzatmigkeit, thorakale Beklemmung bis zur Lebensgefahr
Rauchen	Wundheilungsstörungen, vermehrte Resorption des periimplantären Knochens
Habbits	Lockerung und daraus folgender Schraubenverlust
Schlechte Mundhygiene	Periimplantitis

Tab. 1.4.1: Risikogruppen und Folgen

Komplikationen können zu jeder Zeit der Behandlung auftreten und haben unterschiedliche Bedeutung für das Erreichen des Behandlungsziels (Schätzle et al., 2010).

Ein klar definiertes Ergebnis ist die Grundlage jeder Behandlung. Erst über die Definition des Ziels können alle Zwischenschritte geplant und verwirklicht werden. Bei der Behandlung mit Minischrauben gibt es grundlegende biomechanische Prinzipien, die berücksichtigt und bestmöglich eingehalten werden müssen:

- Die Lage der Minischraube soll während der gesamten Behandlung nicht verändert werden.
- Die gewollte Zahnbewegung muss vollständig möglich sein.
- Die Schraube darf nicht im Bewegungsfeld des zu bewegenden Zahnes liegen.
- Aktive Elemente müssen genügend Spielraum haben, um auf gesamter Strecke aktivierbar zu sein.

Planungsfehler sind, durch zielorientiertes Vorgehen und Hinterfragen der gewählten Methode vermeidbar und werden mit steigender Erfahrung seltener (Ludwig et al., 2006; Ludwig et al., 2008).

Verletzungen der Nachbarstrukturen gehören zu den häufigsten Komplikationen während der Insertion einer Minischraube. Es kann zu Verletzungen von Nerven und Gefäßen, Sinus- und Nasenhöhlenperforation, Verletzungen von Nachbarzähnen und deren paradontaler Ligamente bis zur Devitalisation und Ankylose des betroffenen Zahnes kommen. Durch Eindringen von Luft in des Weichgewebes ist auch ein subkutanes Emphysem theoretisch möglich (Stahl, 2008). Am häufigsten kommt es zur Berührung von Nachbarzähnen, die, nach sofortiger Entfernung und Neuplatzierung der Minischraube, eine Regeneration durch verschiedenste Reparaturmechanismen erfahren (Glasl et al., 2010; Ludwig et al., 2006; Ludwig et al., 2008). Kuroda & Tanaka bestätigten 2014 in ihrer Studie über Risiken und Komplikationen bei Minischrauben, dass 70% der Zähne, die tangential von einer Minischraube berührt wurden, nach 12 Wochen eine Schichte Zement an der verletzten Stelle entwickeln.

Unkontrolliertes Eindrehen der Minischraube kann zu Überhitzung über 47°C führen. Gewebsnekrosen und Verlust der Sekundärstabilität sind die Folgen (Sander et al., 2011, S. 362). Durch ein zu hohes Drehmoment ist auch das Durchdrehen der Minischraube möglich. Die geforderte Primärstabilität ist nicht

mehr gegeben. Torsionsspannungen und Verbiegungen bis hin zur Fraktur der Minischraube können bei extremer Kraftapplikation und ungünstiger Hebelwirkung auftreten (Ludwig et al., 2006). Wie bei jedem chirurgischen Eingriff müssen sterilisierte Instrumente und Minischrauben verwendet werden, um Entzündungen und Verschleppungen von Fremdmaterial zu vermeiden.

In der Zeit der orthodontischen Belastung muss auf ausreichende Hygiene und Vermeidung von Risikofaktoren geachtet werden. Periimplantitis in Folge mangelnder Hygiene ist einer der Hauptgründe für vorzeitige Lockerung und darauf folgender Verlust einer Minischraube (Bumann et al., 2006; Ludwig et al., 2008; Luzi et al., 2009; Strietzel, 2006; Papageorgiou et al., 2012; Wolf et al., 2012).

Die Lokalisation an sich spielt für den Erfolg einer Minischraube eine geringere Rolle. Viel mehr sind es die lokalen Gegebenheiten zusammen, die entscheidend sind.

Mastikatorische Interferenzen, Nähe zu Lippenbändern und Minischrauben im Bereich der beweglichen Mukosa können den Komfort der Patienten/-innen beeinträchtigen und Schleimhautüberwucherungen begünstigen (Ludwig et al., 2006). Nehmen die Patienten/-innen die Minischraube auf Dauer störend wahr, ist unbewusstes Manipulieren mit der Zunge Hauptursache, dass sich die Minischraube entzündet und lockert (Bumann et al., 2006). Ein Frakturieren der Minischraube allein durch die einwirkenden kieferorthopädischen Kräfte ist theoretisch denkbar, jedoch durch die geringen Kraftapplikationen klinisch unwahrscheinlich.

Die Entfernung der Minischraube übt die höchste Belastung auf das Material aus. Durch stattgefundene Osseointegration wird ein höheres Ausdrehmoment benötigt um die Schraube zu entfernen (Kuroda & Tanaka, 2014; Motoyoshi, 2011). Bricht eine Minischraube, dann vorwiegend im Bereich des transgingivalen Teils (Kuroda & Tanaka, 2014). Eine chirurgische Entfernung ist indiziert.

Bei Risikopatienten/-innen kann es zu vermehrten Nachblutungen und Wundheilungsstörungen kommen.

1.5 Definition Schraubenverlust/Schraubenerfolg

Erfolg ist das positive Ergebnis einer Bemühung; Eintreten einer beabsichtigten, erstrebten Wirkung. Bezogen auf eine kieferorthopädische Behandlung ist Erfolg das Erreichen der geplanten Position der einzelnen Zähne und der Kiefer zueinander. Dieses Ziel ist über mehrere Ansätze und Wege erreichbar und wie in jeder Behandlung, hat jeder Weg Vor- und Nachteile, zeitliche Differenzen und unterschiedliche Gewichtungen der Teilergebnisse und Behandlungsparameter.

Ein idealer Behandlungsablauf setzt sich zusammen aus komplikationsloser und schmerzfreier Insertion, entzündungsfreie und optimale Funktion der Minischrauben während der gesamten geplanten Zeitspanne, Erreichen der optimalen Endposition, problemlose Entfernung der Minischraube und posttherapeutische Beschwerdefreiheit und Zufriedenheit der Patienten/-innen.

Abweichend von diesem optimalen Behandlungsverlauf kann das Ziel auch erreicht werden, wenn es zwischenzeitlich zu unerwünschten Ereignissen und Komplikationen kommt. Ab wann von erfolgreicher und nicht erfolgreicher Therapie gesprochen wird, ist international nicht eindeutig definiert. Unterschiedliche Autoren/-innen bestimmen Erfolg durch das Erreichen unterschiedlicher Teilziele. Diese können sein:

- Ausreichende Primärstabilität nach Setzen der Minischraube (Song et al., 2015; Ludwig et al., 2008)
- Ausreichende Sekundärstabilität (Chopra & Chakranarayan, 2015) bzw. Möglichkeit der erneuten Befestigung (Berens & Wiechmann, 2006)
- Zeitlich definierte Liegedauer:
 - mindestens 12 Wochen (Schätzle et al., 2009),
 - 4 Monate (Cang et al., 2015),
 - mindestens 6 Monate (Son et al., 2014),
 - mindestens 1 Jahr (Kuroda et al., 2007; Miyawaki et al., 2003; Song et al., 2015; Watanabe et al., 2013)
- Erfüllen der geplanten Funktion (Kuroda et al., 2007; Miyawaki et al., 2003; Park et al., 2006; Schätzle et al., 2010)
- Komplikationen bei der Entfernung beeinflussen Therapieerfolg nicht

- Schraubenfraktur beim Entfernen als Misserfolg für die gesamte Therapie
- Posttherapeutische Beschwerdefreiheit und Erreichen des Behandlungsziels

Diese unterschiedlichen Definitionsweisen machen es nicht möglich Ergebnisse aus der Literatur zu vergleichen (Müller-Hartwich et al., 2006). Jede Definition hat berechnete Ansatzpunkte, jedoch sollte das Erreichen des Behandlungsziels, ist gleich die geplante optimale Zahnposition, die Grundvoraussetzung für den Erfolg sein, unabhängig von der benötigten Zeit, die eine Minischraube in situ verweilen muss. Schraubenfraktur beim Entfernen der Minischraube ist eine ernstzunehmende Komplikation und es bedarf eines großen Aufwandes, um diese zu beheben. Erfolgslimitierend ist diese Komplikation nicht, da das Behandlungsziel bereits erreicht wurde.

An der klinischen Abteilung für Orale Chirurgie und Kieferorthopädie wurden folgende Erfolgskriterien definiert:

Erfolgskriterien für den implantierenden Oralchirurgen:

- Platzierung der Minischraube an die geforderte Position möglich
- Minischraube zeigt ausreichende Primärstabilität
- Messung mittels Periotest ergibt einen Wert zwischen -08 und +09
- Minischraube kann unmittelbar belastet werden

Erfolgskriterien für den behandelnden Kieferorthopäden:

- Minischraube wurde an der geforderten Position inseriert
- Ausreichende Primärstabilität für eine sofortige Belastung
- gewünschte Zahnbewegung ist vollständig möglich
- Reinigung der Minischraube ist für die Patienten/-innen möglich

Komplikationen bei der Entfernung einer Minischraube, wie Schraubenfraktur oder postoperative Schmerzen, wurden, auch wenn diese Komplikationen eine enorme Herausforderung und Belastung für die Patienten/-innen darstellen, nicht für diese Studie als limitierender Faktor für einen Minischraubenerfolg herangezogen.

1.6 Verlustraten von 0-100%

Sehr viele unterschiedliche Faktoren können den Erfolg einer Minischraubentherapie beeinflussen. Diese werden in vier Hauptgruppen eingeteilt:

- **Patienten/-innenbezogene Faktoren:** Geschlecht, Alter, Risikofaktoren, Habits, Anatomische Gegebenheiten - Malokklusion, Dicke der Cortikalis, Hygiene, Akzeptanz
- **Minischraubendesignbezogene Faktoren:** Typ, Material, Durchmesser, Länge, selbstschneidend/selbstbohrend
- **Schraubenlokalisationsbezogene Faktoren:** Oberkiefer/Unterkiefer, rechtsseitig/linksseitig, interdental/interradikulär/retromolar/palatinal, fixierte Gingiva/bewegliche Mukosa, anterior/posterior
- **Operationsbezogene Faktoren:** Erfahrung, manuell/maschinell, Insertionswinkel, Einheilungsphase, Sofortbelastung, Insertionstorquegröße

Unterschiedliche Studien befassen sich mit unterschiedlichsten Faktoren und keine kann alle berücksichtigen. Allein die hohe Anzahl der unterschiedlichen Insertionsorte macht es unmöglich eine einheitliche Aussage über die allgemeinen Überlebensraten von Minischrauben zu geben. In den Tabellen 1.6.1 und 1.6.2 wird eine Übersicht über verschiedene Erfolgs- bzw. Verlustraten von diversen Studien und Reviews gegeben.

	Erfolgsraten	Verlustraten
Miyawaki et al., 2003	(Schraube A) 0.0% (Schraube B) 83.9% (Schraube C) 85.0%	
Berens & Wiechmann, 2006		(gesamt) Ø 5.0%
Park et al., 2006	(gesamt) 91.6%	
Kuroda et al., 2007	(Schraube A) 81.1% (Schraube B) 88.6% (Miniplatten) 86.8%	

Motoyoshi, 2011	(Frühbelastung) 63.8% (Spätbelastung 1) 97.2% (Spätbelastung 2) 91.9%	
Chopra & Chakranaraya, 2012	(gesamt) 83.3%	
Suzuki et al., 2013	(Maxilla) 93.4% (Mandibula) 70.3%	
Watanabe et al., 2013	(Männer) 80.8% (Frauen) 86.9%	
Son et al., 2014	(gesamt) 96%	
Chang et al., 2015		(gesamt) 7.2%
Song et al., 2015	(nach Insertion) 94.7% (nach einem Jahr) 83.3%	

Tab. 1.6.1: Erfolgs- und Verlustraten aus Studien

	Erfolgsraten	Verlustraten
Bumann et al., 2006		(gesamt) 12 – 35%
Ludwig et al., 2006		(gesamt) 1 – 40%
Müller-Hartwich et al., 2006		(gesamt) 0 – 40%
Strietzel, 2006	(gesamt) 86 – 89%	
Ludwig et al., 2007		(gesamt) 0 – 40%
Ludwig et al., 2008	(gesamt) 0 – 100%	
Chen et al., 2009	(gesamt) 85 – 100%	
Schätzle et al., 2009		(gesamt) 16.4%
Schätzle et al., 2010		(gesamt) 16,4%
Sander et al., 2011	(gesamt) 84%	
Papageorgiou et al., 2012		(gesamt) 13.5%
Wolf et al., 2012	(gesamt) >90%	
Karagkiolidou et al., 2013	(gesamt) 61 – 100%	
Baumgaertel, 2014		(gesamt) 10 – 20%
Kuroda & Tanaka, 2014	(gesamt) 86.5%	
Migliorati et al., 2014		(gesamt) Ø 15%

Tab. 1.6.2: Erfolgs- und Verlustraten aus Reviews

1.7 Minischrauben als Mittel der Wahl für kieferorthopädische Behandlungen

Die Aufnahme von Minischrauben in den kieferorthopädischen Behandlungsplan wird von vielen Autoren/-innen hoch gelobt. Ludwig bezeichnet die Einführung dieser auch als „stille Revolution der Kieferorthopädie“. Bei Angaben der Erfolgchance von 0-100% sollte auf jeden Fall patienten- und fallorientiert die Entscheidung getroffen werden, ob Minischrauben als Mittel der Wahl vertretbar sind, oder traditionelle Systeme bevorzugt werden sollten.

Traditionelle Systeme haben weiterhin eine Berechtigung in jeder Planung in Anbetracht gezogen zu werden und können oft auch als Alternativvariante dienen, wenn nach Minischraubenverlust der eigentliche Behandlungsplan nicht mehr durchgeführt werden kann.

Des Weiteren stehen bereits neue Technologien mit 3D-Druckern und individuell angefertigten kieferorthopädischen Behandlungsgeräten aus neuen Kunststoffen in den Startlöchern.

Minischrauben ermöglichen momentan ein neues Denken, Planen und vor allem patientenfreundliches Behandeln. Viele Fragestellungen müssen noch ausführlicher untersucht und erforscht werden, eine zielorientierte und risikoarme Behandlung ist momentan häufig erfolgreich durchführbar.

1.8 Ziel

Das Ziel dieser Studie war, mit Hilfe der schriftlichen patienten/-innenbezogenen Aufzeichnungen, die Verweildauer der Minischrauben in situ zu ermitteln und die durchschnittliche Überlebensdauer und Erfolgsrate von Minischrauben, die an der klinischen Abteilung für orale Chirurgie und Kieferorthopädie der Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheit im Zeitraum Februar 2004 bis Jänner 2015 gesetzt wurden, zu errechnen und mit internationalen aktuellen Ergebnissen zu vergleichen.

Des Weiteren sollten Risikofaktoren und Indizes beurteilt werden, die für einen vorzeitigen Schraubenverlust verantwortlich sein könnten.

Anhand einer Literaturrecherche wurde ein Überblick über die empfohlenen und am erfolgversprechendsten Designvarianten, die eine Minischraube aufweisen sollte, gegeben.

2. Material und Methode

2.1 Datenerhebung

Für diese Studie wurden die Dokumentationsbögen: "Kieferorthopädische Mini-Implantate" (Anhang 1) aller Patienten/-innen chronologisch geordnet und deren Daten in eine Microsoft Excel Tabelle übertragen. Die Angaben der handschriftlich geführten Dokumentationsbögen wurden mit den elektronisch erfassten Patienten/-innenakten verglichen und Daten wurden ergänzt. Anhand der, während jeder Behandlung aufgenommenen digitalen Fotografien konnten die genaue Lokalisation, Belastungsart und Situation der umgebenden Weichgewebe jeder Minischraube begutachtet und verifiziert werden.

Jeder Fall wurde in sechs, inhaltlich zusammengehörige Untergruppen aufgeteilt:

- **demographische Daten:** Alter, Geschlecht, Nikotinkonsum
- **Daten zur Minischraube:** Hersteller, Typ, Anzahl, Durchmesser, Länge
- **Insertionsbezogene Daten:** Kieferorthopäde/-in, operierender Chirurg/-in, Insertionsdatum, Art der Anästhesie, Abstand der Minischraubenkopf zum Weichgewebe, Verwendung einer Positionierungshilfe, Vorbohrung und deren Durchmesser und Tiefe, Primärstabilität, Wert des Periotest, aufgetretene Komplikationen bei Insertion
- **Lokalisationsbezogene Daten:** Kiefer, orale/vestibuläre Lage, Zahnbogensegment, Insertionswinkel, zahnbezogene Lage der Minischraube
- **Daten zur kieferorthopädischen Belastung:** Zeitpunkt der Belastung, Art der Belastung
- **Explantationsbezogene Daten:** Entfernungsdatum, Zustand der Minischraube, Art der Anästhesie, Datum bei vorzeitigem Schraubenverlust, Komplikationen

Minischrauben, die mit Beendigung der Datenerhebung noch in situ waren, wurden mit der bisherigen Verweildauer als erfolgreich in die Datensammlung aufgenommen. Als Stichtag für die Beendigung der Datenerhebung galt der 29. Feber 2016.

2.2 Statistische Auswertung

Die statistischen Auswertungen wurden mit IBM SPSS Statistics Version 23 durchgeführt. Für die Deskriptive Statistik wurden kontinuierliche Variablen mit Mittelwert und Standardabweichung, ordinale und nominale Daten mit Häufigkeit und Prozent dargestellt.

Zum statistischen Vergleich wurden je nach Art der Daten ein T-Test für unabhängige Stichproben, ein Chi-Quadrat Test bzw. der Pearson Korrelationskoeffizient berechnet. Es wurde ein Signifikanzniveau von 5% festgelegt.

2.3 Untersuchte Minischrauben

Es wurden Minischrauben von insgesamt vier unterschiedlichen Herstellerfirmen eingesetzt. Diese sind, gemessen der Anzahl der verwendeten Schrauben, absteigend:

- JEIL Dual Top® - AnchorSystems
- Dewimed – O.S.A.S
- FORESTADENT® USA - OrthoEasy®
- MONDEAL – MONDEFIT Implants

Minischrauben einer Herstellerfirma unterschieden sich vom Design nur in Länge und Durchmesser. Alle weiteren Charakteristiken waren für den bestimmten Minischraubentyp ident. Die folgende Tabelle 2.4 gibt eine Übersicht über die untersuchten Minischraubentypen und deren Design.

	JEIL Dual Top® Anchor-Systems	Dewimed O.S.A.S	FORESTADENT® USA OrthoEasy	MONDEAL MONDEFIT Implants
Material	Ti-6Al4V	Ti-6Al4V	Ti-6Al4V	Ti-6Al4V
In einem Stück	Ja	Ja	Ja	Nein
Schraubenkopfdesign	Kreuzslot, Bohrung	Kreuzslot, Bohrung	Kreuzslot	Diverse Abutments
Transgingivaler Anteil vorhanden	Ja	Ja	Ja	Nein
Gewindedesign	Selbstbohrend	Selbstbohrend	Selbstbohrend	Selbstbohrend
Gewinde	Zylindrisch	Zylindrisch	Konisch	Zylindrisch
Empfohlenes Instrument zur Perforation der Gingiva	Keines	Keines	Keines	Keines
Pilotbohrung empfohlen	Nein	Ja	Nein	Nein
Instrumente zur Insertion	Schraubenzieher	Schraubenzieher	Achtkantklinge + Schraubenzieher	Schraubenzieher
Empfohlenes max. Eindrehmoment	Keine Angabe	Keine Angabe	20 Ncm	Keine Angabe
Entfernung	Manuell	Manuell	Manuell	Manuell
Auslieferungsart	Steril	Unsteril	Unsteril	Unsteril

Tabelle 2.3.1: Untersuchte Minischrauben

2.4 Demographische Daten

Im Zeitraum Feber 2004 bis Jänner 2015 wurden insgesamt für 128 Patienten/-innen Minischrauben für eine kieferorthopädische Therapie herangezogen. Die Geschlechtsaufteilung zeigte 59 weibliche (46%) und 69 männliche (54%) Patienten/-innen. Zum Zeitpunkt der Insertion wurden Patienten/-innen im Alter von 5 bis 54 Jahren behandelt und es ergab sich ein durchschnittliches Behandlungsalter bei Insertion von 23,5 Jahren, bei einer Standartabweichung von 11,1.

Nikotinkonsum

Von den insgesamt 128 Patienten/-innen gaben nur zwei einen regelmäßigen Nikotinkonsum an. Ausschlaggebend für diese sehr geringe Anzahl an Raucher/-innen ist das niedrige Patienten/-innenalter und das, an der kieferorthopädischen Abteilung angestrebte, Behandlungskonzept. Jeglicher Risikofaktor soll vor Behandlungsbeginn eliminiert werden und Patienten/-innen mit Rauchgewohnheit werden aktiv dazu angeregt, dieses Verhalten zu ändern.

Gesamtanzahl an Minischrauben

Für die 128 Patienten/-innen wurden insgesamt 246 Minischrauben verwendet. Die Gesamtanzahl an Minischrauben, die pro Patient/-in eingesetzt wurden, lag zwischen einer und acht Minischrauben, mit einem Durchschnitt von zwei Minischrauben pro Patient/-in.

Perio-Test

Um den Erfolg des Setzen der Minischraube objektiv zu bewerten, wird eine Testung mittels Periotest (Hersteller Medizinteknik Gulden e.K., Modautal) durchgeführt.

Funktionsweise:

Die Periotest Messung ist ein elektromechanisches Verfahren zur Bestimmung der Festigkeit eines Zahnes oder Implantates im Knochen. Der elektrisch angetriebene und elektronisch überwachte Stößel klopft insgesamt 16 Mal an das zu beurteilende Objekt. Dieser Messvorgang dauert etwa 4 Sekunden. Der Stößel

registriert durch den drucksensitiven Kopf die Kontaktzeit mit dem Zahn/Implantat. Je fester der Zahn oder das Implantat im Knochen sitzt, desto schneller ist die Abbremsung des Stößel, und die Kontaktzeit ist kürzer. Es wird ein niedriger Periotest-Wert angezeigt.

Die einzelnen Messungen müssen in korrektem Abstand und Winkel stattfinden. Das Gerät sortiert fehlerhafte Impulse selbstständig aus. Dies soll ein sicheres und reproduzierbares Ergebnis laut Herstellerfirma garantieren.

Werte von -08 bis -01 definieren gute Primärstabilität. Von 0 bis +09 ist eine klinische Überprüfung notwendig und für dentale Implantate wäre eine weitere Einheilzeit notwendig. Werte über 10 weisen auf ein nicht integriertes Implantat hin.

Dieser Test wurde für Zähne und dentale Implantate konzipiert. Ob die Ergebnisse für Minischrauben, die prinzipiell sofort belastet werden können, direkt zu übernehmen sind, wird von der Herstellerfirma nicht angegeben. Minischrauben zeigen auch bei Werten zwischen 0 und +09 ausreichende Primärstabilität für eine kieferorthopädische Belastung, da diese Belastung weitaus geringer ist, als die einwirkenden Kräfte auf dentale Implantate (vgl. Gebrauchsanweisung des Periotest der Firma Medizintechnik Gulden e.K.)

3. Ergebnisse der Auswertung

Verteilung nach den Herstellern

Von allen 246 verwendeten Minischrauben wurden 151 (61,4%) Minischrauben der Herstellerfirma JEIL Dual Top[®] und 88 (35,8%) Minischrauben der Herstellerfirma Dewimed am häufigsten verwendet. Die restlichen 7 (2,8%) Minischrauben verteilten sich auf die zwei Anbieter FORESTADENT USA und MONDEAL. Diese wurden vorwiegend von externen Lehrbeauftragten eingesetzt und haben wegen der geringen Gesamtanzahl kaum Aussagekraft für den schraubentypspezifischen Behandlungserfolg. Sie werden nicht weiter einzeln behandelt, wurden aber in die Gesamtauswertung miteinbezogen. Hauptaugenmerk dieser Forschungsarbeit liegt auf den Minischrauben der Herstellerfirma JEIL Dewimed und Dual Top.

Tabelle 3.1 gibt eine genaue Aufstellung der Anzahl der verwendeten Minischrauben und Diagramm 3.1 die dazugehörige prozentuelle Verteilung an der Gesamtanzahl.

Schraubentyp	Anzahl	%
Dewimed - O.S.A.S.	88	35,8
JEIL Dual Top - Anchor Systems	151	61,4
MONDEAL - MONDEFIT Implants	2	0,8
FORESTADENT USA - OrthoEasy	5	2,0

Tabelle 3.1: Anzahl nach Herstellerfirma

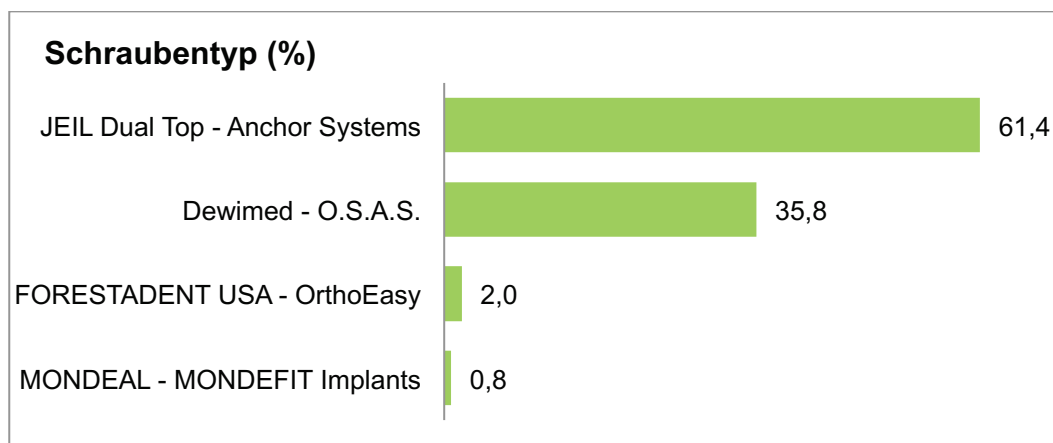


Diagramm 3.1: Anteil in %

Verteilung nach dem Durchmesser

Wie bereits erwähnt, unterschieden sich Minischrauben derselben Herstellerfirma nur im Durchmesser und in der Länge. Alle anderen Designeigenschaften waren für die Herstellerfirma spezifisch und längen- beziehungsweise durchmesserunabhängig. Es wurden Minischrauben mit einem Mindestdurchmesser von 1 mm bis Minischrauben mit einem Durchmesser von 2,5 mm verwendet. Am häufigsten kamen Minischrauben mit einem Durchmesser von 1,6 und 2,0 mm (zusammen 80,9%) zur Anwendung. Tabelle und Diagramm 3.2 zeigen die Verteilung bezüglich Durchmesser und prozentuellem Anteil an der Gesamtanzahl.

Durchmesser in mm	Anzahl	%
1,0	1	0,4
1,2	8	3,3
1,6	82	33,3
1,7	9	3,7
1,8	7	2,8
2,0	117	47,6
2,5	22	8,9

Tabelle 3.2: Durchmesser der Minischrauben

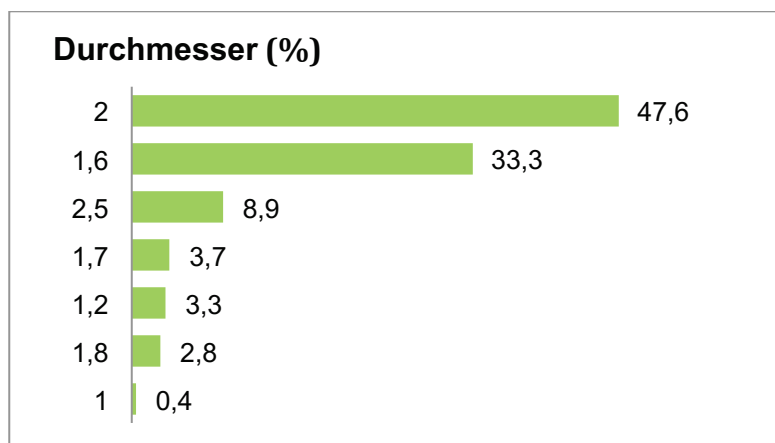


Diagramm 3.2: Durchmesser der Minischrauben in %

Verteilung nach der Länge

Es wurden Minischrauben in einer Länge von 6 bis 12 mm verwendet. Knapp über die Hälfte (52,0%) der verwendeten Minischrauben hatten eine Länge von 8 mm. Tabelle und Diagramm 3.3 zeigen die Anzahl und prozentuelle Verteilung bezüglich Länge der Minischrauben.

Länge in mm	Anzahl	%
6	8	3,3
7	42	17,1
8	128	52,0
9	52	21,1
10	10	4,1
12	6	2,4

Tabelle 3.3: Länge der Minischrauben

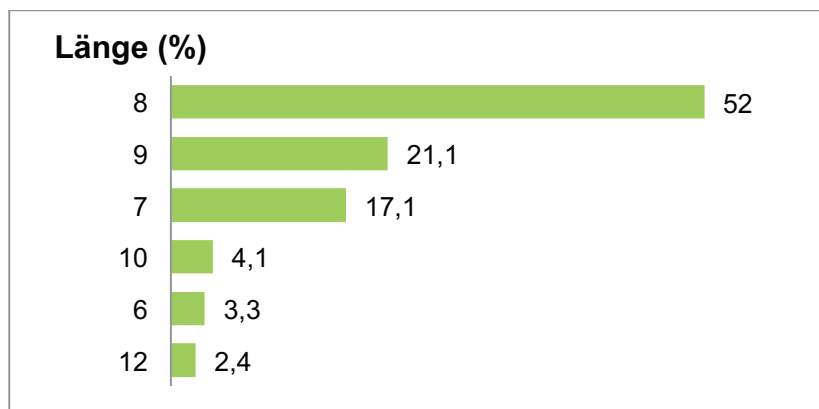


Diagramm 3.3: Verteilung der Längen in %

Verteilung nach den Operateuren

An der Klinische Abteilung für Orale Chirurgie und Kieferorthopädie, der Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheits Graz werden Minischrauben von Ärzten/-innen des Fachbereiches Orale Chirurgie und Implantatchirurgie inseriert. Insgesamt 16 Chirurgen/-innen inserierten im angegebenen Zeitraum Minischrauben. Die meisten Minischrauben wurden von zwei Operateuren/-innen mit dem Kürzel 1 und 4 gesetzt. Tabelle 3.4 gibt eine Übersicht über die Anzahl der gesetzten Minischrauben je nach Operateur/-in.

Operateur/-in	Anzahl
1	83
2	8
3	2
4	78
5	1
6	9
7	15
9	7
10	4
11	1
12	3
13	2
14	1
16	1

Tabelle 3.4: Verteilung nach Operateuren/-innen

Anästhesie

Da es sich bei der Insertion einer Minischraube um einen kleinen chirurgischen Eingriff handelt, wurden 96,3% aller Minischrauben mit lokaler Anästhesie der umliegenden Gewebe gesetzt. Nur in 9 Fällen war eine Leitungsanästhesie notwendig.

Lokalanästhesie	Anzahl	%
Infiltrationsanästhesie	237	96,3
Leitungsanästhesie	9	3,7

Tabelle 3.5: Verteilung nach Art der Anästhesie

Positionierungshilfe

In zwei Fällen (0,8%) wurde eine Positionierungshilfe verwendet. Diese sehr geringe Fallzahl hat für eine weitere statistische Auswertung keine Relevanz und kann nicht für einen Vergleich herangezogen werden.

Vorbohrung

Vorbohrungen fanden nur 7 Mal (2,8%) statt. Diese betragen zwischen 1 und 3 mm im Durchmesser und 3 mm in der Länge. Diese geringe Anzahl kann statistisch nicht als Vergleichswert herangezogen werden.

	Min	Max
Durchmesser in mm	1	3
Tiefe in mm	3	3

Tabelle 3.6: Anzahl der Vorbohrungen

Primärstabilität

Die Primärstabilität konnte mit gut oder ausreichend beurteilt werden. Es gibt keine definierten Kriterien, wann eine Minischraube als primär ausreichend stabil gilt. Diese Angabe ist rein subjektiv und für einen statistischen, objektiven Vergleich nicht zu verwenden. Jedoch zeigt die hohe Angabe „gut“ von 86,2%, dass der/die Operateur/-in nach subjektivem Empfinden die Minischraube erfolgreich gesetzt hat, da Primärstabilität als Erfolgskriterium für den/die Oralchirurgen/-in gilt.

	Anzahl	%
gut	212	86,2
ausreichend	34	13,8

Tabelle 3.7: Angabe der Primärstabilität

Perio-Test Ergebnisse

In 84% der Fälle wurde ein Periotest durchgeführt. Der durchschnittliche Wert betrug 0,86 mit einer Standardabweichung von 4,89.

Min	Max	Mittelwert	Standardabw.
-6,0	26,0	0,86	4,89

Tabelle: 3.8: Mittelwert der Periotestung

Komplikationen

Bei der Insertion kam es 13 Mal zu Komplikationen (5,3%). Davon wurde in zehn Fällen eine mangelnde Primärstabilität und in drei Fällen ein Wurzelkontakt angegeben. In allen Fällen konnte die geplante Minischraube mit ausreichender Primärstabilität an anderer Stelle gesetzt werden.

	Anz.	%
mangelnde primäre Stabilität	10	4,1
Wurzelkontakt	3	1,2

Tabelle 3.9: Anzahl der angegebenen Komplikationen

Verteilung nach Lage im Weichgewebe

Minischrauben können in zwei unterschiedlichen Weichgeweben gesetzt werden. Diese sind die fixierte Gingiva und die bewegliche Mukosa, welche durch die mukogingivale Grenzlinie oder auch Linea Girlandiformis voneinander getrennt werden. Es zeigte sich eine eindeutige Bevorzugung der fixierten Gingiva als Insertionsort. Nur 7 Stück (2,8%) wurden in die freie Mukosa inseriert. Tabelle und Diagramm 3.14 geben die Anzahl und prozentuelle Verteilung der Lokalisation der Minischrauben wieder.

Lokalisation	Anzahl
fixierte Gingiva	182
freie Mukosa	7
Mukogingivale Grenzlinie	55

Tabelle 3.10: Lokalisation der Minischrauben

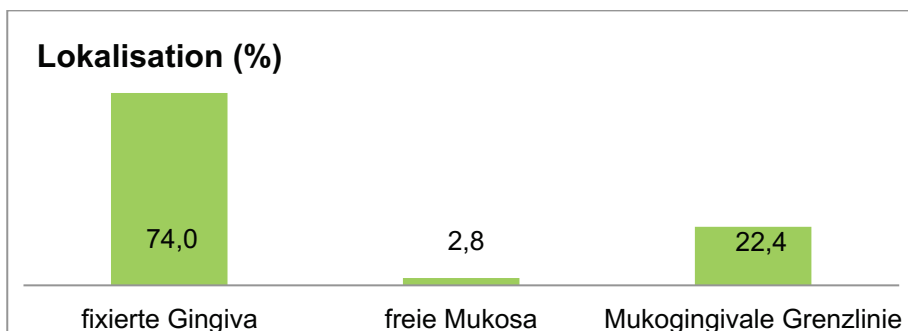


Diagramm 3.5: Lokalisation in %

Verteilung nach Lokalisation

Insgesamt wurden 140 Minischrauben im Oberkiefer und 106 Minischrauben im Unterkiefer eingesetzt. Im Unterkiefer wurde nur die vestibuläre Seite des Kieferkamms als Insertionsort genutzt, die linguale Seite kam als möglicher Lokalisationsort nie in Verwendung. Da von den insgesamt 157 im vestibulären Bereich gesetzten Minischrauben 106 an das Unterkiefer fallen, verteilten sich die restlichen 140 Minischrauben im Oberkiefer 51 vestibulär und 89 palatinal. Der Frontzahnbereich wurde jeweils mit der Distalfläche des Eckzahnes des jeweiligen Quadranten begrenzt. Mit 85,4% fand hauptsächlich die Insertion im Seitenzahnbereich statt. Der Insertionswinkel wurde nur bei 59,3% der Fälle angegeben. Vorwiegend fand eine schräge Insertion statt.

Kiefer	Anzahl
OK	140
UK	106

Vest./palat.	Anzahl
vestibulär	157
palatinal	89

Front/SZB	Anzahl
Regio 1-3	36
Regio 4-7	210

Insertionswinkel	Anzahl
vertikal	38
horizontal	18
schräg	90

Tabelle 3.11: Lokalisation der Minischrauben

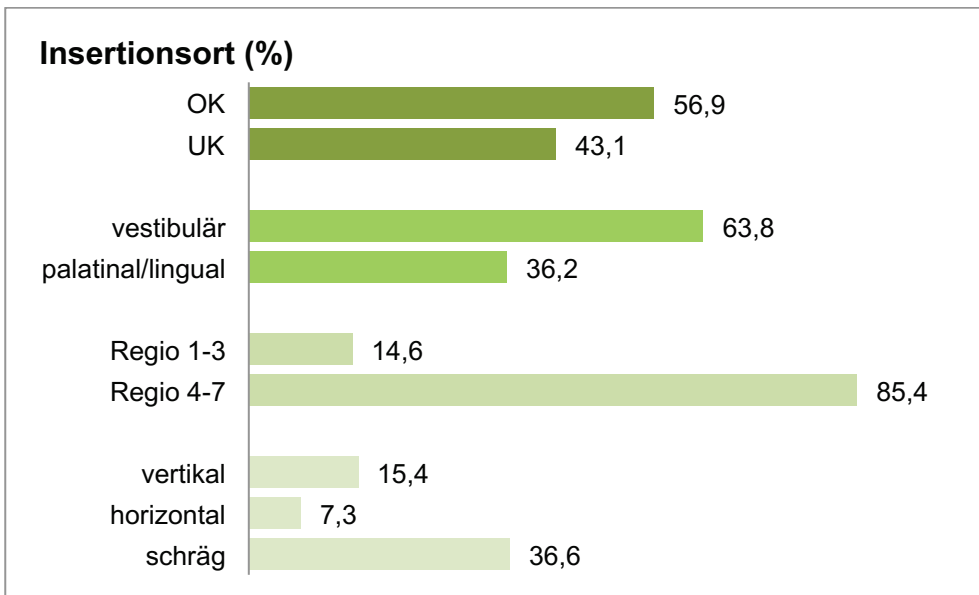


Diagramm 3.6: Insertionsort der Minischrauben in %

Verteilung nach Beginn und Art der Belastung

Minischrauben benötigen theoretisch keine Einheilzeit, bevor sie für kieferorthopädische Kräfte als Verankerungspunkt dienen können. Je nach Behandlungsfall und individueller Präferenz des Kieferorthopäden/-in wird in 7,8% eine verspätete Belastung vorgezogen. Zwischen einem und 42 Tagen nach Insertion erfolgte die Koppelung der Minischraube mit einer kieferorthopädischen Apparatur, im Durchschnitt nach 5,4 Tagen mit einer Standardabweichung von 9,4.

Belastung	Anzahl	%
sofort	222	90,2
nach Tagen	19	7,8

Tabelle 3.12: Art der Belastung

	Min	Max	Mittelwert	Standardabw.
Tage	1	42	5,4	9,4

Tabelle 3.13: Spätbelastung nach Tagen

Eine direkte Belastung liegt vor, wenn ein aktives kieferorthopädisches Element an der Minischraube ansetzt. Wird hingegen die Minischraube zur reinen Verankerung herangezogen und das kieferorthopädisch aktive Element greift an andere Stelle an, spricht man von indirekter Belastung. Zu 66,7% war dies das Belastungskonzept der Wahl.

Diagramm 3.16 stellt die Verteilung von Zeitpunkt der Belastung und Art der Belastung gegenüber.

Belastungsart	Anzahl	%
direkt	77	31,3
indirekt	164	66,7

Tabelle 3.14: Belastungsart der Minischrauben

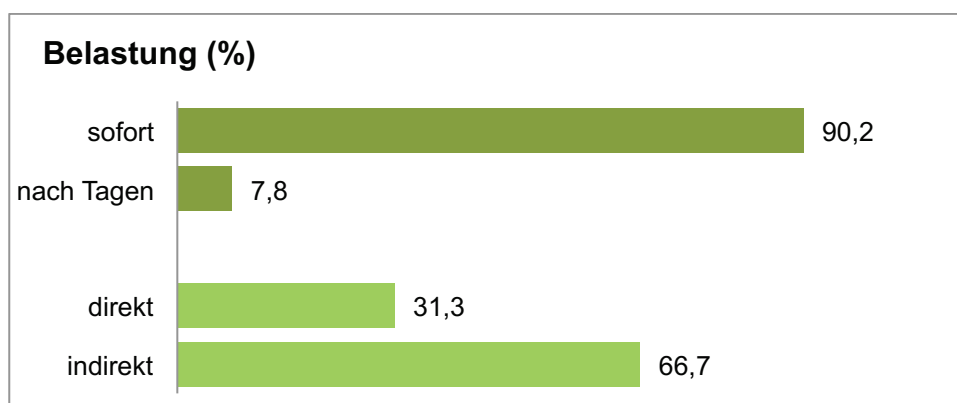


Diagramm 3.7: Belastungszeitpunkt und –art

Entfernung mit/ohne Anästhesie

Minischrauben können auf Grund der nur partiell stattgefunden Osseointegration einfach aus dem Knochen gedreht werden. In 20,7% der Fälle musste die betroffene Stelle jedoch anästhesiert werden, damit ein Entfernen der Minischraube für den Patienten erträglich war.

Anästhesie	Anzahl	%
ja	51	20,7
nein	195	79,3

Tabelle 3.15: Anzahl der unter Anästhesie entfernten Minischrauben

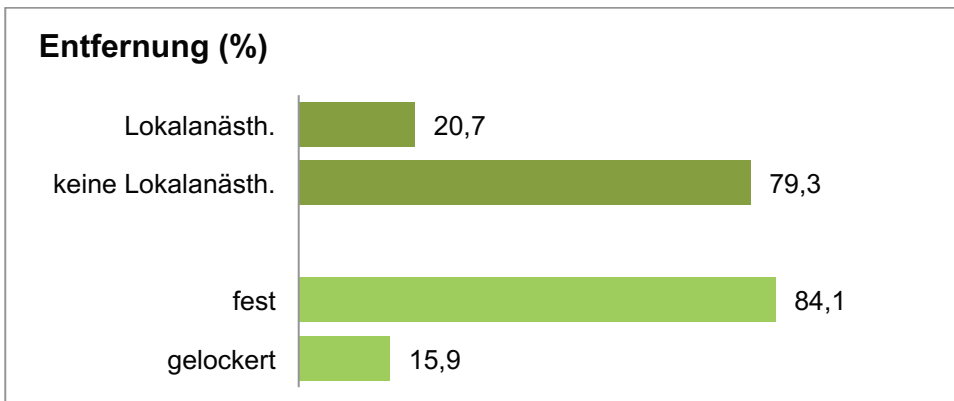


Diagramm 3.8: Verteilung der unter Anästhesie entfernten Minischrauben

Überlebenszeit und Erfolgsrate

Das Datum der Entfernung der Minischraube war vorwiegend über die elektronischen Patienten/-innenakten zu ermitteln. Mit Hilfe der Microsoft Excel-Tabelle wurde die Anzahl der Tage, die eine Minischraube im Mund verweilte errechnet. Minischrauben, die mit Stichtag 29. Feber 2016 noch in Situ waren, wurden gesondert vermerkt. Die Anzahl der bis dahin vergangenen Tage wurden zu den Minischrauben dazugezählt, die eine erfolgreiche Therapie ermöglichten.

Überlebenszeit:

Insgesamt verblieben Minischrauben durchschnittlich 682,5 Tage erfolgreich in situ. Minischraubenverlust fand durchschnittlich nach 218,4 Tagen statt.

	Min	Max	Mittelwert	Standardabw.
Überlebenszeit	22	3117	649,0	496,8
Bisherige ÜZ	399	1707	906,9	437,4
Verlust	2	1889	218,4	374,3
Überlebenszeit + bisherige ÜZ	22	3117	682,5	496,2

Tabelle 3.16: Mittelwerte der Überlebenszeiten (= ÜZ)

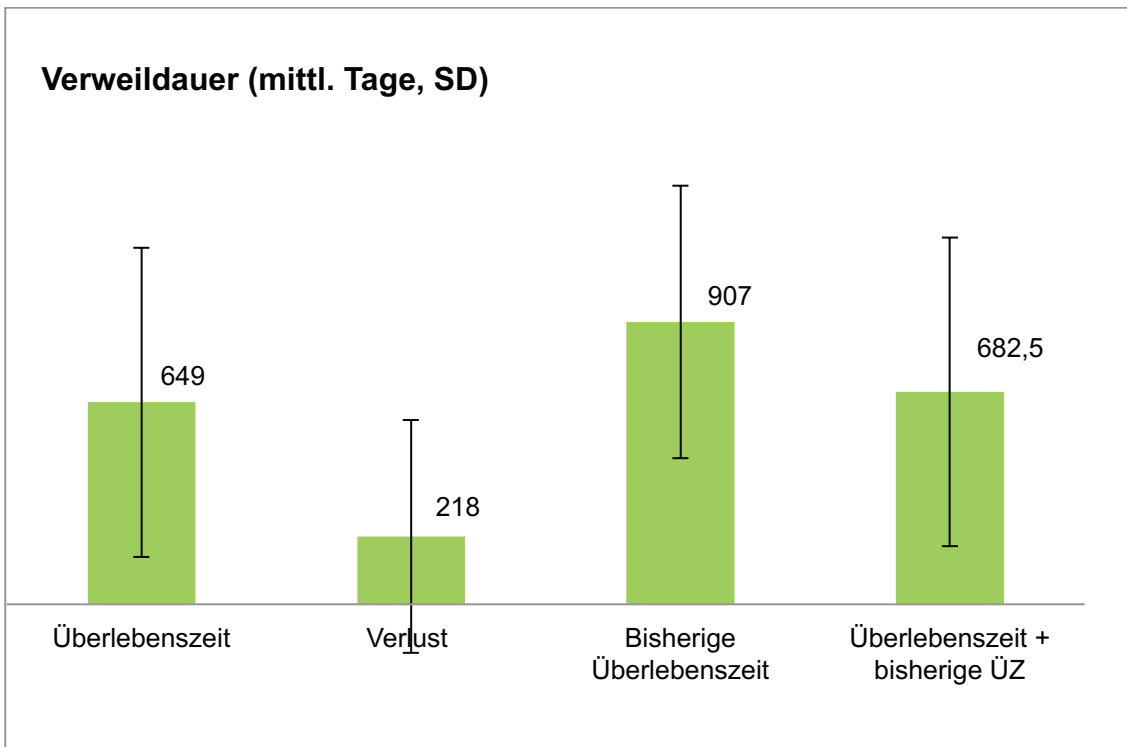


Diagramm 3.8: Durchschnittliche Verweildauer in Tagen

Erfolgsrate:

Eine vorzeitige Entfernung einer Minischraube wurde als Behandlungsmisserfolg deklariert und kam in 12,2% der Fälle vor.

Somit weist die Therapie mit Minischrauben an der klinischen Abteilung für Orale Chirurgie und Kieferorthopädie eine Erfolgsrate von 87,8% auf.

	Anzahl	%	durchschn. Tage
Entfernung	187	76,4	649,0
Verlust	30	12,2	218,4
Schrauben in situ	28	11,4	906,9

Tabelle 3.17: Anzahl und % der Erfolgsrate

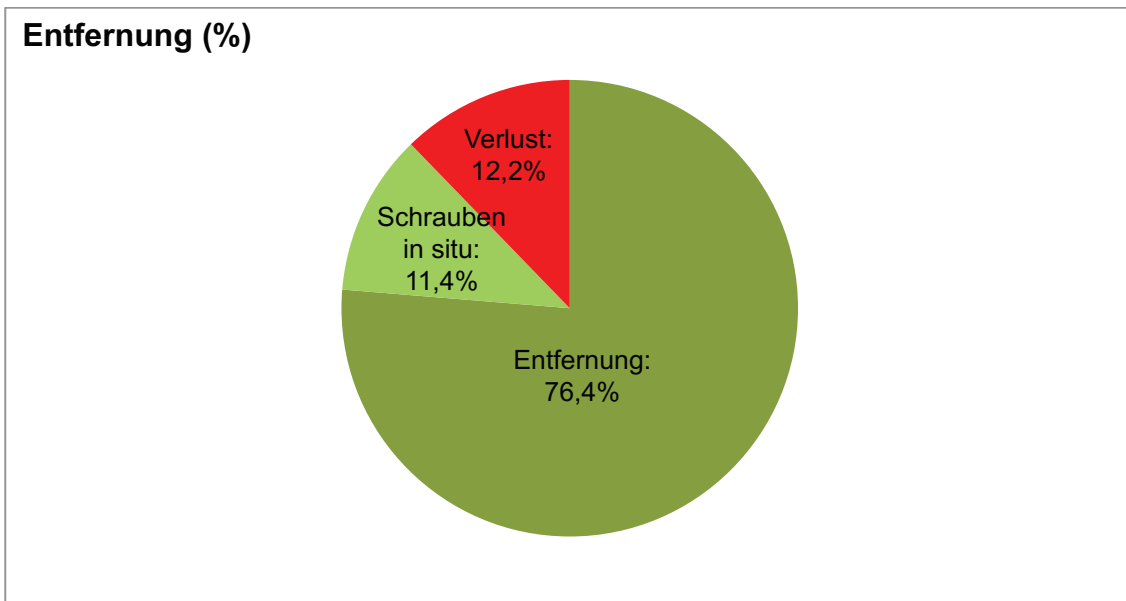


Diagramm 3.9: Erfolgsrate in %

Unmittelbar vor der Entfernung beurteilte der/die Kieferorthopäde/-in jede Minischraube auf deren Festigkeit. 15,9% wurden als gelockert beurteilt, wovon 12,4% als Verlust definiert wurden. Somit konnten 3,5% trotz gelockertem Zustand bis zum Behandlungsende belastet werden.

Zustand	Anzahl	%
fest	206	84,1
gelockert	40	15,9

Tabelle 3.18: Anzahl und % des Zustandes bei Entfernung

4. Diskussion

4.1 Patienten/-innen bezogene Faktoren

Geschlecht

Es wurden 59 Männer und 69 Frauen behandelt. Die Verlustrate betrug bei den Männern 13,6%, bei den Frauen 11,6%. Die durchschnittliche Überlebenszeit war 599 und 674 Tage.

	Anzahl	Verlust (%)	mittl. Überlebenszeit (Tage)
Männer	59	13,6	599
Frauen	69	11,6	674

Tabelle 4.1: Gegenüberstellung Geschlecht und Überlebenszeit

Eine dickere Kompakta, wie sie bei Männern gehäuft vorkommt, erhöht das Risiko der Überhitzung mit Folge Nekrose beim Eindrehen der Minischraube. Nach diesem Prinzip müsste die Verlustrate bei Männern signifikant erhöht sein.

Die Qualität und Quantität des vorhandenen Knochens spielen für die Primärstabilität eine tragende Rolle, jedoch gibt es weitaus gewichtigere Faktoren, die die Überlebenszeit und Verlustrate beeinflussen.

Ein signifikanter Geschlechterunterschied bezüglich Verlustrate und Überlebenszeit konnte nicht beobachtet werden und deckt sich mit den Ergebnissen anderer Forschungen (Miyawaki et al., 2003; Park et al., 2006; Kuroda et al., 2007; Chopa & Chakranarayan, 2012; Papageorgiou et al., 2012; Watanabe et al., 2013, Karagkiolidou et al., 2013; Cang et al., 2015; Song et al., 2015).

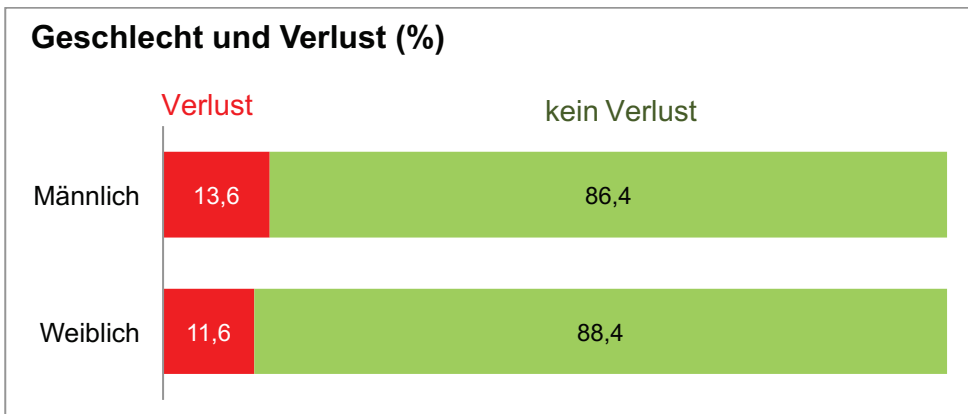


Diagramm 4.1: Gegenüberstellung Geschlecht und Verlust in %

Alter der Patienten/-innen bei Insertion

Kam es im Laufe der Behandlung zu einem Verlust der Minischraube, war das durchschnittliche Patienten/-innenalter bei Insertion 24,7 Jahre. Fand kein Verlust statt, waren die Patienten/-innen bei Insertion durchschnittlich 23,3 Jahre alt. Es gibt keinen auffälligen Altersunterschied bezüglich der Tendenz zum Schraubenverlust (Pearson Korrelationskoeffizient $r = -0,231$). Es ist ein schwacher negativer Zusammenhang zwischen dem Alter und der Überlebenszeit erkennbar. Je älter ein/e Patient/-in bei der Insertion ist, desto kürzer kann die Überlebenszeit der Minischraube erwartet werden. Jedoch zeigt sich auch kein eindeutig signifikanter Zusammenhang.

In allen Artikeln, in denen kein Zusammenhang zwischen Geschlecht und Erfolgsrate bestätigt wurde (siehe Absatz „Geschlecht“), war auch das Alter ein weiterer irrelevanter Faktor.

Rauchen

Rauchen gilt als ein allgemeiner Risikofaktor in der Zahnheilkunde. Da es unter den Patienten/-innen nur zwei Raucher/-innen gab und beide keinen Minischraubenverlust aufwiesen, kann kein direkter Zusammenhang zwischen Rauchen und vorzeitigem Schraubenverlust hergestellt werden. Jedoch wurde dieser Faktor bereits in vielen Publikationen untersucht. Störungen in der Wundheilung, Förderungen von Entzündungen und ein geschwächtes Immunsystem werden durch Nikotinkonsum verstärkt.

4.2 Minischrauben bezogene Faktoren

Schraubentyp

Es wurden insgesamt vier unterschiedliche Minischraubensysteme verwendet, wovon nur Minischrauben von zwei Systemen (Dewimed und JEIL Dual Top) oft genug gesetzt wurden, um eine statistische Aussage treffen zu können. Das Schraubensystem von JEIL Dual Top zeigt eine Verlustrate von 14,0 %. Das Minischraubensystem von Dewimed hingegen, weist eine Verlustrate von 9,1% auf. Der exakte Test nach Fisher zeigt allerdings mit einem $p = 0,308$ keinen signifikanten Unterschied. Die Tatsache, dass alle Schrauben aus dem selben Material hergestellt sind und vom Schraubendesign keine gravierenden Unterschiede aufweisen, zeigt, dass es wichtigere Faktoren für den vorzeitigen Verlust einer Minischraube geben muss und dass Minischraubensysteme nach anderen Kriterien, zum Beispiel Möglichkeiten der Koppelung, Lieferumfang, Preis, Übersicht usw. subjektiv von dem/der Kieferorthopäden/-in ausgewählt werden. Dieses Ergebnis stimmt mit Untersuchungen von Park et al., 2006 und Migliorati et al., 2014 überein.

Schraubentyp	kein Verlust			Verlust		
	Anzahl	%	Zeit	Anzahl	%	Zeit
Dewimed - O.S.A.S.	80	90,9	702	8	9,1	110
JEIL Dual Top - Anchor Systems	128	86,0	680	21	14,0	254
MONDEAL - MONDEFIT Implants	2	100	343	0	0	0
FORESTADENT USA - OrthoEasy	4	80	544	1	20	349
gesamt	214		682	30		218

Tabelle 4.2: Verlustrate in Anzahl und % nach Herstellerfirma (Zeit in Tagen)

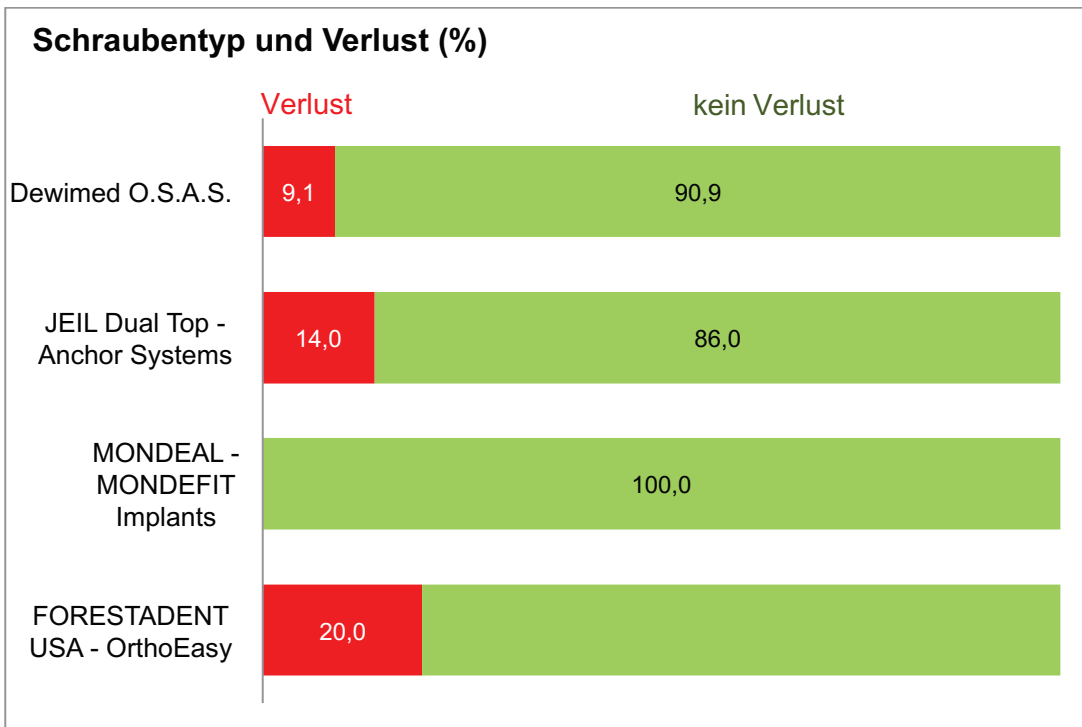


Diagramm 4.2: Verlustrate in % nach Herstellerfirma

Länge

Eine längere Schraube erhöht die Kontaktfläche Knochen zu Minischraube. Jedoch wurde bereits erwähnt, dass die Kraftübertragung vorwiegend im kortikalen Bereich stattfindet. Auch bezogen auf die Erfolgchancen hat die Länge einer Minischraube keinen Einfluss. Viel mehr muss, je nach lokalen Gegebenheiten, wie der Dicke der Gingiva und des Knochen, eine optimale Länge gewählt werden. Eine möglichst lange Minischraube zu wählen, nur um die Verlustrate zu senken, ist nicht vertretbar. Diverse Forschungen kamen zum selben Ergebnis und fordern eine möglichst angepasste Wahl der Länge an die individuellen Gegebenheiten (Miyawaki et al., 2003; Himmlová et al., 2004; Park et al., 2006; Kurada et al., 2007; Papageorgiou et al., 2012; Migliorati et al., 2014). Zu gegensätzlichen Ergebnissen kam Song Yi Ling 2015 in der Studie „A Study of Success Rate of Miniscrew Implants as Temporary Anchorage Devices in Singapore“. Hier wird die Länge als einziger minischraubenbezogener Einflussfaktor erwähnt. Minischrauben von 10-12 mm Länge zeigten die besten Erfolge. Je kürzer die Minischraube war, umso höher war die Verlustrate. Da in der vorliegenden Studie hauptsächlich Minischrauben von 7-8 mm untersucht

wurden und diese eine fast idente Verlustrate aufweisen, kann Song Yi Lings Ergebnis nicht bestätigt werden.

Länge	kein Verlust			Verlust		
	Anzahl	%	Zeit	Anzahl	%	Zeit
6	8	100	463,0			
7	37	88,1	673,8	5	11,9	278,4
8	109	86,0	685,8	18	14,0	251,9
9	45	86,5	730,4	7	13,5	89,6
10	10	100	746,7			
12	6	85,7	503,8			
gesamt	217	87,5	684,8	31	12,9	222,9

Tabelle 4.3: Anzahl und % nach Länge (Zeit in Tagen)

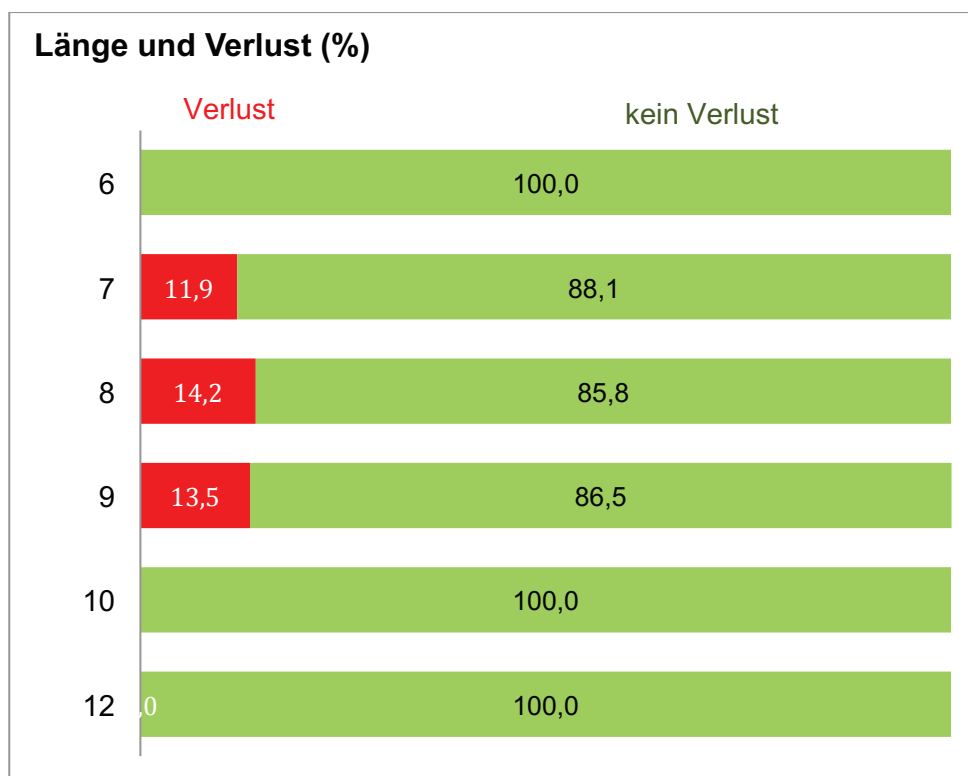


Diagramm 4.3: Angabe der Verlustrate in % nach Länge

Durchmesser

Aussagekräftige Ergebnisse konnten in dieser Studie von Minischrauben mit dem Durchmesser von 1,6mm, 2,0 und 2,5mm erhoben werden. Es zeigt sich eine Tendenz, dass ein größerer Durchmesser zu weniger Verlust führt. Um eine genauere Aussage treffen zu können, müssten die Größen zwischen 1,6mm und 2,0mm genauer untersucht werden. Auf Grund von Mangel an Fällen kann nur von einer Tendenz gesprochen werden.

Uneinig sind sich diverse Autoren/-innen über den Zusammenhang von Minischraubenerfolg und Durchmesser. Keinen Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern sehen Björn Ludwig, Song Yi Lin, Hyo-Sang Park und Spyridon N Papageorgiou. Obwohl oft der Durchmesser einer Minischraube hauptverantwortlich für die Primärstabilität und in Schlussfolgerung daraus für den Erfolg einer Minischraube ist, lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang aus deren Forschungen erkennen.

Weitere Studien geben dem Durchmesser eine wichtigere Rolle als der Länge einer Minischraube, konkrete Angaben von Maßen werden nicht gegeben (Himmlová et al., 2004; Marquezan et al., 2014).

Widersprüchlich zu diesen Feststellungen sind die Ergebnisse von Axel Berens, Shouichi Miyawaki und Marco Migliorati. Sie sehen eine direkte Erfolgssteigerung durch einen größeren Durchmesser.

Da das vorhandene Platzangebot, die Wahl des Durchmessers der Minischraube limitiert, ergibt sich meist die Verwendung von Minischrauben mit einem Durchmesser von 1,6-2,0 mm. Für diese Größen kann eine relativ gleich hohe Erfolgsquote angenommen werden. Der Durchmesser spielt eine wichtige Rolle bei der Primärstabilität, diese ist jedoch nicht allein ausschlaggebend, ob eine Minischraube dauerhaft in situ verbleibt. Auch durch die unterschiedlichen Definitionen von Erfolg kann hier keine klare Aussage getroffen werden. In dieser Studie wurde der Durchmesser direkt mit der Überlebenszeit verglichen. In den erwähnten Studien gab es oft mangelnde oder keine Angabe bezüglich des gewählten Vergleichs.

Durchmesser	kein Verlust			Verlust		
	Anzahl	%	Zeit	Anzahl	%	Zeit
1,0	1	100	712,0			
1,2	6	75	486,0	2	25	589,0
1,6	68	82,9	732,8	14	17,1	147,6
1,7	9	100	680,9			
1,8	5	71,4	477,6	2	28,6	157,5
2,0	104	88,9	688,6	13	11,1	258,9
2,5	22	100	598,4			
gesamt	217	87,5	684,8	31	12,9	222,9

Tabelle 4.4: Anzahl und % nach Durchmesser

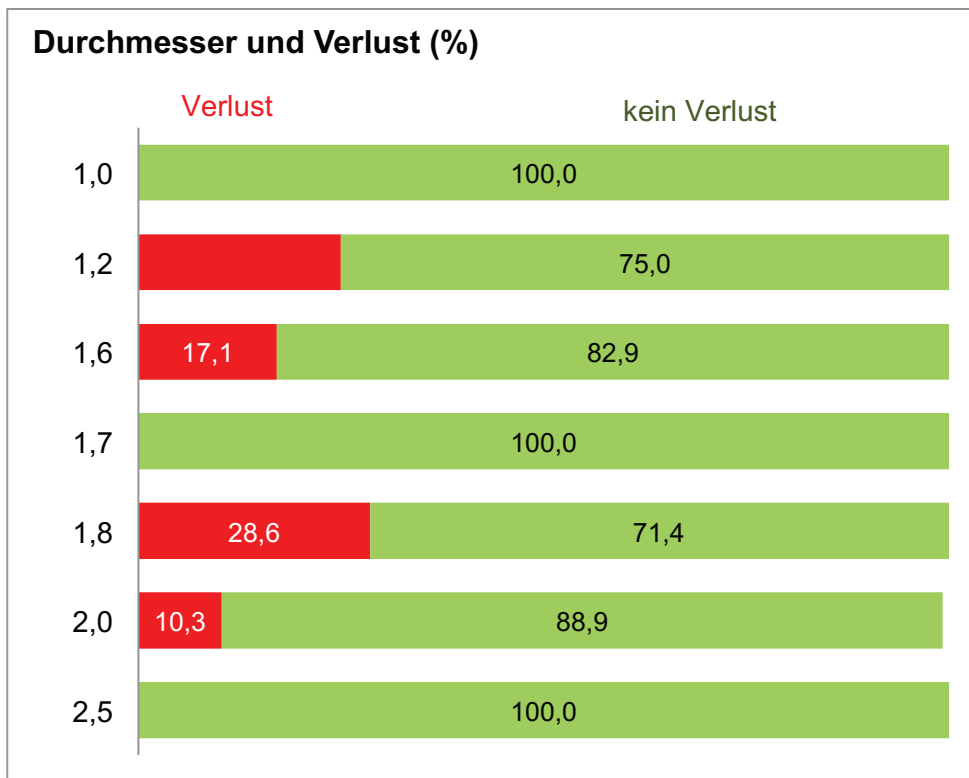


Diagramm 4.4: Angabe der Verlustrate in % nach Durchmesser

4.3 Operationsbezogene Faktoren

Erfahrung des/der Operateurs/in

Wie jedes neue klinische Verfahren benötigt auch die Insertion von Minischrauben eine gewisse Anlaufzeit und Übung. Ein/e unerfahrener/e Kieferorthopäde/-in muss mit einer erhöhten Verlustrate bei den ersten gesetzten Minischrauben rechnen. Angegeben wird, dass die ersten 5 – 10 implantierten Minischrauben eine doppelt so hohe Verlustrate aufweisen, sich danach aber eine stabile durchschnittliche Erfolgsquote einstellt (Ludwig et al., 2008; Chopra & Chakranarayan, 2012). Erfahrung kann jede/r Kieferorthopäde/-in durch Setzen von Minischrauben am Schweineknochen sammeln. Unterschiedliche Situationen können simuliert und erprobt werden. Durch ein besseres Gefühl im Umgang mit Minischrauben und der unterschiedlichen Knochenqualität kann die individuelle Lernkurve verbessert und stabilisiert werden. Ein standardisiertes Vorgehen minimiert das Risiko von Fehlerquellen und gibt den Patienten/-innen ein sicheres Gefühl.

In dieser Studie wurden über 75% der Minischrauben von zwei Operateuren/-innen inseriert. Aus den Dokumentationsbögen geht nicht hervor welche Erfahrung der/die Operateur/-in bereits vor dem Beginn der Aufzeichnungen hatte. Es zeigte sich, dass sich für die zwei Operateure/-innen mit einer aussagekräftigen Anzahl von gesetzten Minischraube, von Anfang an, ein stabiles Erfolgsplateau eingestellt hatte.

Operateur/-in	kein Verlust			Verlust			gesamt
	Anzahl	%	Zeit	Anzahl	%	Zeit	Zeit
1	83	87,4	652,4	11	12,6	242,91	604,5
2	8	100,0	760,0				760,00
3	2	100,0	544,5				544,50
4	78	89,9	806,0	9	10,1	270,1	750,6
5	1	100,0	207,0				207,00
6	9	75,0	430,6	3	25,0	163,7	363,83
7	15	93,8	382,4	1	6,3	2,0	358,63
9	7	58,3	719,0	5	41,7	191,0	499,00
10	4	100,0	678,5				678,50
11	1	100,0	1435,0				1435,00
12	3	100,0	499,7				499,67
13	2	100,0	531,0				531,00
14	1	100,0	195,0				195,00
16	1	50,0	800,0	1	50,0	2,0	401,00
gesamt	217	87,5	684,8	31	12,9	222,9	

Tabelle 4.5: Anzahl und Überlebenszeit in Tage und % nach Operateur/-in

Lokalisation der Minischraube

Die Lokalisation einer Minischraube ist der am unterschiedlichsten bewertete Einflussfaktor auf die Erfolgsrate einer Minischraube. Während manche Autoren/-innen keinen Einfluss der Lokalisation sehen (Miyawaki et al., 2003; Copa & Chakranarayan 2012), ist für andere Autoren/-innen die Lage der Minischraube, nach der Inflammation der Weichgewebe, der Haupteinflussfaktor für einen vorzeitigen Minischraubenverlust (Park et al., 2006; Ludwig et al., 2008; Cornelis et al., 2010; Papageorgiou et al., 2012; Suzuki et al., 2013; Watanabe et al., 2013; Chang et al., 2015; Song et al., 2015).

Zu unterscheiden ist, welches Variablenpaar herangezogen wird. Keine Studie hat alle möglichen Lokalisationen miteinander verglichen. Es kann deshalb kein genereller Vergleich erstellt werden. Unterschiedliche Gruppierungen sind:

Oberkiefer – Unterkiefer
Linke Seite – Rechte Seite
Vestibulär – Oral
Frontzahnbereich – Seitenzahnbereich
Befestigte Gingiva – Bewegliche Mukosa
Interradikulär – Retromolar – Kein dentaler Bezug
Vertikale – Horizontale – Schräge Ausrichtung

Da es hier eine Vielzahl an Variablen gibt, ist eine klare Bestimmung des idealen Insertionsortes nicht möglich. Zusätzlich sind durch die gewünschte Zahnbewegung die Möglichkeiten der Platzierung sehr eingeschränkt. Es muss eine Lokalisation gefunden werden, die den bestmöglichen Erfolg erwarten lässt.

In dieser Studie ergab sich ein signifikant höherer Erfolg im Oberkiefer als im Unterkiefer. Die Kortikalis ist im Unterkiefer durchschnittlich dicker als im Oberkiefer. Es ist mit einer höheren Primärstabilität zu rechnen. Dies könnte Ursache für ein häufigeres Überhitzen, mit der Folge Knochennekrose und vorzeitigem Minischraubenverlust sein. Des Weiteren wird diskutiert, ob die Bewegungen der Mandibula zu Spannungen und Mikrotraumata an der Minischraube führen und somit eine dauerhafte Stabilität negativ beeinflussen. Ebenso soll eine ständige Manipulation durch die Nahrung beim Kauen negativen Einfluss haben (Bumann et al., 2006). Eine doppelt so hohe Verlustrate von 17,1% (Chi-Quadrat Test, $p = 0,045$) spricht eindeutig für den Oberkiefer als bevorzugten Insertionsort, dieser kann aber je nach nötiger Bewegung nicht immer frei gewählt werden.

Im Unterkiefer ist eine Insertion auf der lingualen Seite des Alveolarfortsatzes kontraindiziert. Durch die ständige Manipulation durch die Zunge beim Sprechen und Schlucken ist eine Verlustrate von 100% zu erwarten. Im Oberkiefer bietet der Gaumen einen idealen Insertionsort bezüglich Knochenangebot und

Beschaffenheit der Weichgewebe. Alle gewünschten Faktoren wie Zugänglichkeit für Hygiene, Knochenangebot und befestigtes Weichgewebe sind gegeben. Bereits vom Gaumenimplantat mit einer Erfolgsrate von über 95% ist diese erfolgsversprechende Lokalisation bekannt (Schätzle et al., 2009). Eine palatinale Insertion zeigte eine signifikant niedrigere Verlustrate (7,9%) als eine vestibuläre (14,6%).

Der Frontzahnbereich wurde von distal des Eckzahnes der linken bis distal des Eckzahnes der rechten Seite definiert. Es wurden nur 36 Minischrauben in dieser Region inseriert. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen Seitenzahn- und Frontzahnbereich.

Der Winkel, wie eine Minischraube in den Knochen eingesetzt wird, spielt wiederum eine entscheidende Rolle. Eine Insertion im rechten Winkel zur Kortikalis ergibt den kleinstmöglichen Knochenkontakt zwischen Minischraube und Kompakta. Somit ist die Primärstabilität geringer als bei schräger Insertion. Hier zeigt sich ein Unterschied in der Verlustrate von 6,7% bei schräger und 23,7% bei vertikaler Insertion. Ebenso verringert die schräge Insertion die Gefahr der Wurzelberührung. Je weiter apikal die Schraubenspitze zum Liegen kommt, desto weiter entfernt sind die benachbarten Zahnwurzeln. Dies ergibt sich aus der Inklination, dem Ausmaß der Kieferbasen und der Wurzelanatomie der Zähne.

	Anzahl	Anz. Verlust	%
OK	140	12	8,6
UK	105	18	17,1
vestibulär	156	23	14,6
palatinal / lingual	89	7	7,9
Regio 1-3	36	4	11,1
Regio 4-7	209	26	12,4
vertikal	38	9	23,7
horizontal	18	4	22,2
schräg	89	6	6,7

Tabelle 4.6: Anzahl und % der Verlustrate nach der Lokalisation

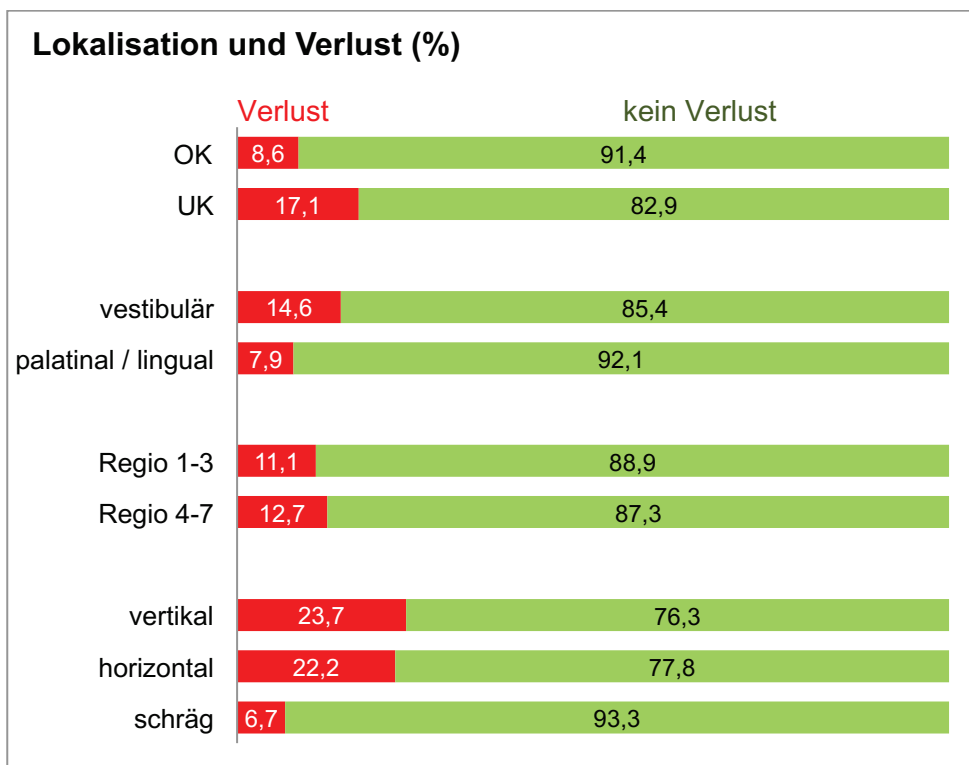


Diagramm 4.9: Verlustrate in % nach der Lokalisation

Wird eine Minischraube im Bereich der freien Mukosa gesetzt, besteht die Gefahr der Hyperplasie der Mukosa. Der Kopf der Minischraube ist von Gewebe überdeckt, ein Befestigen der kieferorthopädischen Apparatur erschwert. Ebenso stellt diese Wucherung einen Schlupfwinkel für Bakterien dar und eine Inflammation ist meist die Folge. Die Zugänglichkeit für die Patienten/-innen ist nicht gegeben und die notwendige Hygiene ist nicht durchführbar. Insertionen in die fixierte Gingiva minimieren diese möglichen Risiken. Auf Grund der unterschiedlichen Fallzahl, nur 7 Minischrauben wurden in die bewegliche Mukosa gesetzt, kann keine statistische Aussage getroffen werden. Zudem gab es bei diesen 7 Minischrauben keinen Verlust. Dieses Ergebnis spricht gegen die Ergebnisse anderer Studien und ist als zufällige Erscheinung zu beurteilen. Es wird allgemein eine Insertion in die fixierte Gingiva empfohlen.

	Anzahl	Verlust (%)	mittl. Überlebenszeit (Tage)
fixierte Gingiva	182	12,1	665
freie Mukosa	7	0	671
Mukogingivale Grenzlinie	54	14,8	487

Tabelle 4.7: Anzahl und % der Verlustrate nach Lage im Weichgewebe

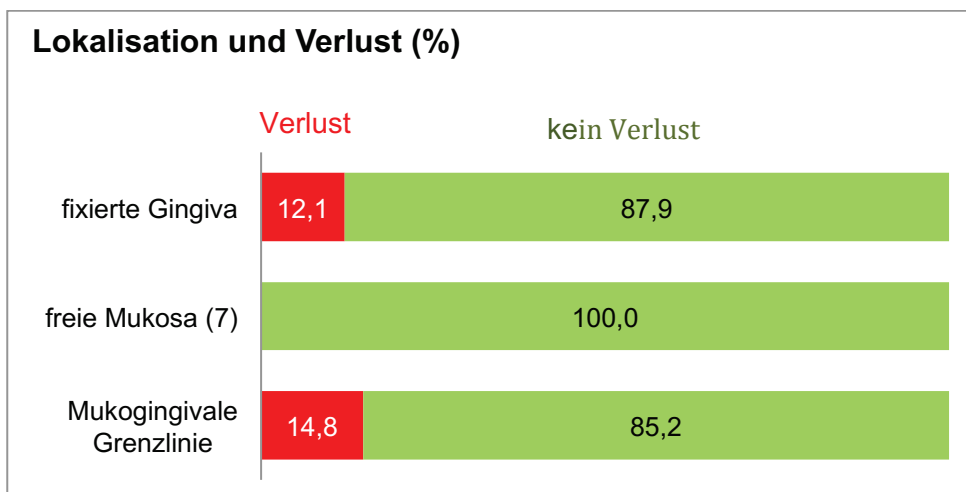


Diagramm 4.10: Verlustrate in % nach Lokalisation im Weichgewebe

Oft wird auch die Seite der Insertion verglichen. Hier weißt die linke Seite meist eine höhere Erfolgsrate auf (Park et al., 2006; Chang et al., 2015). Da vorwiegend mit der rechten Hand die Zahnbürste benutzt wird, fällt die Reinigung der linken Seite leichter und wird auch länger betrieben.

Vorbohrung

Da es in nur 7 Fällen eine Vorbohrung gab, kann kein statistischer Vergleich zu Minischrauben, die ohne Vorbohrung gesetzt wurden, hergestellt werden. Wie bereits erwähnt, empfiehlt es sich, die Kortikalis mit einem Rosenbohrer anzukörnen und danach direkt die selbstbohrende Minischraube in den Knochen einzudrehen. Dies ist nicht nur Zeit ersparender, sondern bringt Vorteile bei der Sekundärstabilität einer Minischraube. Carney et al. zeigten in der Studie über den Zusammenhang von Pilotbohrung und Stabilität von Minischrauben, dass die Primärstabilität höher ist, wenn eine Vorbohrung stattgefunden hat. Aber diese Stabilität wird auf die Dauer weniger, verglichen zu Minischrauben, die ohne Pilotbohrung eingedreht werden (Carney et al., 2014).

Die Knochenqualität und –quantität kann durch Vorbohrung besser beurteilt werden und die Insertionsrichtung lässt sich somit eindeutig fixieren. Jedoch ist für die Primärstabilität vorwiegend die Dicke und Beschaffenheit der Kortikalis verantwortlich. Stanzung der Gingiva und das Ankörnen der Kortikalis zeigen die besten Ergebnisse und werden international empfohlen.

Periotestwert

Die Primärstabilität ist ein entscheidender Faktor für die Belastbarkeit der Minischraube. Gemessen wird die Primärstabilität unmittelbar nach der Insertion mittels Periotest und gibt dem/der Chirurgen/-in und dem/der Kieferorthopäden/-in direkt Feedback über den Erfolg seiner/ihrer Arbeit. Wie bereits erwähnt ist der Periotest für Zähne und dentale Implantate entwickelt worden. Eine genau definierte Aussage für Minischrauben wird nicht wiedergegeben, sondern dient zur Orientierung. Die Entscheidung über die Belastbarkeit einer Minischraube wird somit subjektiv von dem/der Chirurg-in und dem/der Kieferorthopäde/-in getroffen. Vergleicht man die gemessenen Werte beim Inserieren der Minischraube mit dem Verlust bzw. Erhalt der Minischraube bis zum Behandlungsbeginn, erkennt man, dass sich die Werte kaum voneinander unterscheiden. Bei den Minischrauben mit

zukünftigem Verlust wurde anfangs ein durchschnittlicher Periotestwert von 2,04 gemessen, bei den erfolgreichen Minischrauben ein Wert von 0,68 gemessen. Laut Herstellerfirma liegen beide Werte im Bereich der klinisch erneut zu beurteilenden Kategorie. Bezogen auf die Überlebenszeit kann kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Der Periotest ist somit eine gute Methode die Festigkeit einer frisch gesetzten Minischraube zu bestimmen und zu dokumentieren, hat jedoch keine Aussagekraft über Erfolg und Verlust. Minischrauben, die mit einem hohen Drehmoment inseriert wurden, haben anfangs eine gute bis ausreichende Primärstabilität. Durch die entstandene Hitze und Druckspannung beim Inserieren kann es langfristig zu Nekrosen und Verlust der Minischraube kommen. Der Periotest gibt nur den Zustand unmittelbar nach Insertion wieder.

	Mittlerer Periotestwert	Standardabw.
Verlust	2,04	6,0
kein Verlust	0,68	4,7

Tabelle 4.8: Mittelwert der Periotest-Messung bei Verlust

Primärstabilität

Die Angabe „Primärstabilität gut/ausreichend“ wurde am Dokumentationsbogen rein subjektiv vom behandelnden chirurgischen Fachpersonal gemacht und hat keine Definition als Grundlage. Es zeigte sich bei beiden Angaben kein signifikanter Unterschied bezüglich der Verlustrate (11,8 zu 14,7%). Wird der T-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt, ergibt sich eine höhere Überlebenszeit für Minischrauben, die anfangs mit ausreichender Primärstabilität beurteilt wurden. Da diese Angabe keine klare Definition hat, kann kein wissenschaftlicher Zusammenhang geschlossen werden. Primärstabilität ist Voraussetzung für eine sofortige Belastung und vorübergehende Funktion der Minischraube, sagt aber nichts über die dauerhafte Überlebenschance einer Minischraube aus.

Einzig sicher ist, dass Minischrauben, die keine Primärstabilität aufweisen, diese auch nicht mehr erreichen. Ein erneutes Setzen der Minischraube an anderer Stelle ist gefordert (Ludwig et al., 2008).

Gründe für eine mangelnde Primärstabilität können sein:

- Geringe Knochenqualität, geringes Ausmaß an Kompakta
- Fehler bei der Vorbohrung (falscher Bohrer, Erweitern der Bohrung durch Achsenabweichung)
- zu weites Inserieren der Minischraube, Durchdrehen des Gewinde
- unzureichendes Gewindedesign

Mariana Marquezan et al. beurteilen ausreichende Primärstabilität als wichtigen Indikator für eine dauerhaft erfolgreiche Minischraube. Jedoch erhöht sich mit dem Ausmaß der Primärstabilität auch die Gefahr der stattgefundenen Knochenüberhitzung und –kompression. Folge dieser Geschehnisse ist eine Nekrose des Knochen und somit bleibt die Sekundärstabilität aus und der Verlust der Minischraube ist garantiert (Marquezan et al., 2014).

	Anzahl	Verlust (%)	mittlere Überlebenszeit (Tage)		
			Verlust	kein Verlust	gesamt
gut	211	11,8	252	644	597
ausreichend	34	14,7	52	930	810

Tabelle 4.9: Anzahl und % der Angabe zur Primärstabilität

Belastung (sofort oder Tage)

Eine wichtige Eigenschaft für den Erfolg von Minischrauben in der kieferorthopädischen Behandlung, ist die Möglichkeit der Sofortbelastung. Unmittelbar nach dem Inserieren der Minischraube in den Knochen und bei vorhandener, ausreichender Primärstabilität, kann die Minischraube direkt und indirekt zur maximalen Verankerung dienen. Während bei dentalen Implantaten eine Einheilzeit vor Belastung von ungefähr drei Monaten empfohlen wird, fällt diese Zeit bei Minischrauben weg. Über 90% der Minischrauben wurden in dieser Untersuchung sofort belastet. Bei den übrigen 10% wurde nicht vermerkt, warum der/die Kieferorthopäde/-in sich für eine spätere Belastung entschieden hat. Somit kann rückwirkend keine Aussage über die Notwendigkeit der verspäteten Belastung gemacht werden.

Bei der statistischen Auswertung zeigt sich, dass es keinen signifikanten Unterschied bei der Überlebensrate gibt. Sofort belastete Minischrauben zeigen eine gleich hohe Erfolgsrate, wie Minischrauben mit einer verspäteten Belastung.

Studien zeigen, dass es auch keinen Unterschied bezüglich Knochenkontakt und Minischraube gibt. Beide Gruppen, sofort und spät belastete Minischrauben, besitzen das gleiche Ausmaß an Osseointegration und Knochendichte (Vannet et al., 2007; Cornelis et al., 2010). Es muss auch keine vollständige Osseointegration stattfinden, damit eine Minischraube auf Dauer erfolgreich ist (Luzi et al., 2009).

Der Zeitpunkt der Belastung spielt für die Überlebensrate keine Rolle (Miyawaki et al., 2003; Park et al., 2006; Kuroda et al., 2007; Ludwig et al., 2008; Chen et al., 2009; Luzi et al., 2009; Papageorgiou et al., 2012;).

Yan Chen besagt, dass eine Einheitszeit für Minischrauben unwichtig ist (Chen et al., 2009).

Direkte oder indirekte Belastung

Wird eine Minischraube direkt mit einer aktiven kraftausübenden kieferorthopädischen Einheit gekoppelt, können Mikrobewegungen die Minischraube belasten. Ebenso besteht bei direkt gekoppelten Minischrauben die Gefahr, dass eine zu hohe Kraft bzw. ein zu hohes Drehmoment appliziert wird. Da diese Kräfte bekanntlich reziprok auf den zu bewegenden Zahn wirken und dieser eine geringere Kraftapplikation bis zur möglichen Resorption zulässt, sind diese bekannten Maximalwerte auch für die Minischraube limitierend.

Mikrobewegungen und eine zu hohe Kraft führen zum vorzeitigen Verlust der Minischraube.

In dieser Untersuchung konnte jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen direkter und indirekter Belastung erhoben werden. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Untersuchungen von Hyo-Sang Park. Auch hier stellte sich heraus, dass die Art und Richtung der einwirkenden Kraft keine Rolle auf die Überlebenszeit und Verlustrate der Minischrauben hat (Park et al., 2006).

Verlust	Anzahl	Anzahl Verlust	%
direkt	76	11	14,5
indirekt	164	19	11,6

Überlebenszeit	Verlust	kein Verlust	gesamt
	mittl. ÜZ	mittl. ÜZ	mittl. ÜZ
direkt	148	635	565

Tabelle 4.10: Anzahl und % nach Art der Belastung (ÜZ = Überlebenszeit)

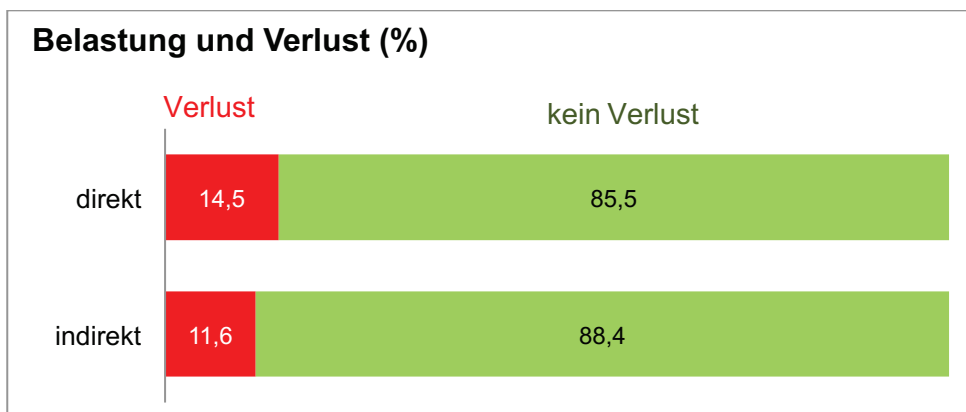


Diagramm 4.11: Verlustrate in % nach Art der Belastung

5. Schlussfolgerung

Minischrauben sind mit einer durchschnittlichen Erfolgsrate von 87,8% und einer Verweildauer von 650 Tagen, als sicheres, planbares und funktionsfähiges Instrument in der kieferorthopädischen Behandlung anzusehen. Nicht jede Dysgnathie ist mittels des Einsatzes von Minischrauben behandelbar. Traditionelle Systeme haben ihre Berechtigung und dürfen nicht außer Acht gelassen werden.

Das Erreichen maximaler Verankerung, mit einem hohen Maß an Patienten/-innenunabhängigkeit, macht die Verwendung von Minischrauben zu einem beliebten Behandlungsinstrument für den/die Kieferorthopäden/-in.

Da Minischrauben eine lange erfolgreiche Verweildauer in situ aufweisen, kann gesichert werden, dass die geplanten Zahnbewegungen vollständig durchgeführt werden können.

Faktoren wie Alter, Geschlecht, Design, Länge und Durchmesser der Minischraube, Periotestwert, Belastungszeitpunkt und –art haben keinen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis. Es handelt sich viel mehr um ein subjektives und multifaktorielles Zusammenspiel aller Gegebenheiten die Minischraubenverlust begünstigen können.

Wirklichen Einfluss auf die langfristige Verweildauer einer Minischraube in situ haben die Lokalisation und die Hygiene durch die Patienten/-innen.

Mangelnde Mundhygiene führt zu Periimplantitis und ist einer der wichtigsten Gründe für vorzeitige Lockerung und folgende.

Gefordert ist eine Positionierung der Minischraube im Bereich der fixierten Gingiva, ein größtmöglicher Abstand zu benachbarten Zahnwurzeln, bestmögliche Ausnutzung der Kontaktfläche Minischraube mit Kortikalis durch Angulation der Minischraube und eine einfache Zugänglichkeit für die Patienten/-innen, um die tägliche Reinigung zu gewährleisten.

Alle diese Faktoren sind durch die gewollte Zahnbewegung limitiert. Trotzdem muss der bestmögliche Kompromiss gewählt werden. Es wäre nicht vertretbar,

wenn die gewollte Zahnbewegung nicht vollständig stattfinden kann, oder die Erfolgswahrscheinlichkeit der Minischraube von Beginn an minimal ist.

Eine Stanzung der Gingiva und das Ankörnen der Kortikalis werden allgemein als erfolgsoptimierend betrachtet. Die Drehmomentkontrolle würde das Überhitzen bei der Insertion minimieren. Diese Vorgehen könnten in das Behandlungsverfahren mitaufgenommen und erneut untersucht werden. Jedoch liegt die jetzige Erfolgsrate bereits über dem internationalen Durchschnitt, was zeigt, dass das angewendete Verfahren sehr gut funktioniert.

6. Literaturverzeichnis

Angle EH, Treatment of malocclusion of teeth: Angle's System, 7. Auflage, Philadelphia, 1907

Baumgaertel S, Temporary skeletal anchorage devices: The case for miniscrews, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Mai 2014, Vol. 145, S. 558-565

Berens A, Wiechmann D, Mini- und Mikroschrauben als skelettale Verankerung in der Kieferorthopädie; Optimierung des klinischen Vorgehens, Kieferorthopädie, 2006, Vol. 20, S. 167-174

Bumann A, Wiemer K, Mah J, tomas – eine praxisgerechte Lösung zur temporären kieferorthopädischen Verankerung, Kieferorthopädie, 2006, Vol. 20, S. 223-232

Carney LO, Campbell PM, Spears R, Ceen RF, Melo AC, Buschang PH, effects of pilot holes an longitudinal miniscrew stability and bony adaptation, American Journal of Orthodontics an dDentofacial Orthopedics, Nov. 2014, Vol 146, S. 554-564

Chang C, Liu S, Roberts WE, Primary failure rate for 1680 extra-alveolar mandibular buccal self miniscrews placed in movable mucosa or attached ginigva, Angle Orthodontist, Nov. 2015, Vol. 85, S. 905-910

Chen Y, Kyung HM, Zhao WT, Yu WJ, Critical factors for the success of orthodontic mini-implants: A systematic review, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2009, Vol. 135, S. 284-291

Chopra SS, Chakranarayan A, Clinical evaluation of immediate loading of titanium orthodontic implants, Medical Journal Armed forces India, 2015, Vol. 71, S. 165-170

Cornelis MA, Mahy P, Devogelaer JP, De Clerck HJ, Nyssen-Behets C, Does orthodontic loading influence bone mineral density around titanium miniplates? An experimental study in dogs, Orthodontics & Craniofacial Research, 2010, Vol. 13, S. 21-27

Costa A, Faffaini M, Melson B, Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report, The International Journal of Adult Orthodontics and Orthognatic Surgery, 1998, Vol. 13, S. 201-209

Creekmore TD, Eklund MK, The possibility of skeletal anchorage, Journal of Clinical Orthodontics, April 1983, Vol. 17, S. 266-269

Glasl B, Ludwig B, Kinzinger G, Zipprich H, Lisson J, Aktuelle Übersicht zum Risikopotenzial von Wurzelverletzungen bei interradikulärer Insertion orthodontischer Miniimplantate/Minischrauben: Experimentelle Ergebnisse und Literaturrecherche, Kieferorthopädie: Die Zeitschrift für die Praxis, 2010, Vol. 24, S. 7-15

Gracco A, Ciriganco A, Cozzani M, Boccaccio A, Pappalettere C, Vlatle G, Numerical/experimental analysis of the stress field around miniscrews for orthodontic anchorage, European Journal of orthodontics, August 2009, Vol. 31, S. 12-20

Himmlová L, Dostálová T, Káčovsky A, Konvicková S, Influence of implant length and diameter on stress distribution: A finite element analysis, The Journal of Prosthetic Dentistry, Jänner 2004, Vol. 91, S. 20-25

Karagkiolidou A, Ludwig B, Pazera P, Gkantidis N, Pandis N, Katsaros C, Survival of palatal miniscrews used for orthodontic appliance anchorage: A retrospective cohort study, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Juni 2013, Vol. 143, S. 767-772

Kuroda S, Sugawara Y, Deguchi T, Kyung HM, Takano-Yamamoto T, Clinical use of miniscrew implants as orthodontic anchorage: Success rates and postoperative discomfort, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Jan. 2007, Vol. 131, S. 9-15

Kuroda S, Tanaka E, Risks and complications of miniscrew anchorage in clinical orthodontics, Japanese Dental Science Review, 2014, Vol. 50, S. 79-85

Ludwig B, Özkan V, Glasl B, Lietz T, Aspekte zum Risikopotenzial kortikaler kieferorthopädischer Verankerungselemente, Kieferorthopädie, 2006, Vol. 20, S. 209-221

Ludwig B, Mini-Implantate in der Kieferorthopädie: Innovative Verankerungskonzepte, 1. Auflage, Berlin, 2007

Ludwig B, Glasl B, Lietz T, Lisson JA, Minischrauben - Fixpunkt in der Praxis (Komplikationen & Risiken - Teil 6), Kieferorthopädie Nachrichten, Juni 2008, Vol. 49, S. 17-21

Ludwig B, Hakenholz S, Glasl B, Lisson J, Kinzinger G, Lietz T, Anatomische Studie zur interradikulären Insertion von Miniimplantaten – die befestigte Gingiva, Kieferorthopädie, 2012, Vol. 26, S. 87-97

Luzi C, Verna C, Melsen B, Immediate loading of orthodontic mini-implants: a histomorphometric evaluation of tissue reaction, European journal of Orthodontics, 2009, Vol. 31, S. 21-29

Maquezan M, Mattos CT, Sant'Anna EF, Gomes de Souza MM, Maia LC, Does cortical thickness influence the primary stability of miniscrews? A systematic review and meta-analysis, Angle Orthodontist, 2014, Vol. 84, S. 1093-1103

Müller-Hartwich R, Präger T, Park J, Jost-Brinkmann P, Kieferorthopädische Verankerung mit Minischrauben – Auswahl geeigneter Insertionsorte und Mechaniken, Kieferorthopädie, 2006, Vol. 20, S. 195-202

Motoyoshi M, Clinical indices for orthodontic mini-implants, Journal of Oral Science, 2011, Vol. 53, S. 407-412

Migliorati M, Drago S, Schiavetti I, Olivero F, Barberis F, Lagazzo A, Capurro M, Silvestrini-Biavati A, Benedicenti S, Orthodontic miniscrews: an experimental campaign on primary stability and bone properties, European Journal of Orthodontics, 2014, S. 1-8

Miyawaki S, Koyama I, Inoue M, Mishima K, Sugahara T, Takano-Yamamoto T, Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Okt. 2003, Vol. 124, S. 373-378

Papageorgiou S, Zogakis IP, Papadopoulos MA, Failure rates and associated risk factors of orthodontic miniscrews: A meta-analysis, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Nov. 2012, Vol. 142, S. 577-595

Park HS, Jeong SH, Kwon OW, Factors affecting the clinical success of screw implants used as orthodontic anchorage, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2006, Vol. 130, S. 18-25

Sander FG, Schwenzer N, Ehrenfeld M, Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde: Kieferorthopädie, 2. Auflage, Stuttgart, 2011

Schätzle M, Männchen R, Zwahlen M, Lang NP, Survival and failure rates of orthodontic temporary anchorage devices: a systematic review, Clinical Oral Implants Research, 2009, S. 1351-1359

Schätzle M, Männchen R, Überlebensraten und Risikofaktoren von temporären skelettalen Verankerungen, Kieferorthopädie, 2010, Vol. 24, S. 267-277

Son S, Motoyoshi M, Uchida Y, Shimizu N, Comparative study of the primary stability of self-drilling and self-tapping orthodontic miniscrews, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, April 2014, Vol. 145, S. 480-485

Song YL, Yow M, Chew MT, Foong KWC, Wong HC, A study of success rate of miniscrew implants as temporary anchorage devices in Singapore, International Journal of Dentistry, 2015, S. 1-10

Stahl E, Numerische Untersuchungen zum biomechanischen Verhalten verschiedener orthodontischer Ankerimplantate, 2008

Strietzel F, Kortikale Verankerungen zur orthodontischen Kraftapplikation; Risiken, Komplikationen und forensische Aspekte, Kieferorthopädie, 2006, Vol. 20, S. 235-242

Suzuki M, Deguchi T, Watanabe H, Seiryu M, Iidubo M, Sasano T, Fujiyama K, Takano-Yamamoto T, Evaluation of optimal length and insertion torque for miniscrews, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Aug. 2013, Vol. 144, S. 251-259

Vannet BV, Sabzevar MM, Wehrbein H, Asscherickx K, Osseointegration of miniscrews: a histomorphometric evaluation, European Journal of Orthodontics, 2007, Vol. 29, S. 437-442

Watanabe H, Deguchi T, Hasegawa M, Ito M, Kim S, Takano-Yamamoto T, Orthodontic miniscrew failure rate and root proximity, insertion angle, bone contact length, and bone density, Orthodontics & Craniofacial Research, Aug. 2013, Vol. 16, S44-55

Wolf H, Wichelhaus A, Kieferorthopädie – Therapie, Band 1: Grundlegende Behandlungskonzepte (Farbatlanten der Zahnmedizin), 1. Auflage, Stuttgart, 2012

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.2.1: Synonyme

Tabelle 1.3.1: Schraubenkopfdesign

Tabelle 1.4.1: Risikogruppen und Folgen

Tabelle 1.6.1: Erfolgs- und Verlustraten aus Studien

Tabelle 1.6.2: Erfolgs- und Verlustraten aus Review

Tabelle 2.3.1: Untersuchte Minischrauben

Tabelle 3.1: Anzahl nach Herstellerfirma

Tabelle 3.2: Durchmesser der Minischrauben

Tabelle 3.3: Länge der Minischrauben

Tabelle 3.4: Verteilung nach Operateuren/-innen

Tabelle 3.5: Verteilung nach Art der Anästhesie

Tabelle 3.6: Anzahl der Vorbohrungen

Tabelle 3.7: Angabe der Primärstabilität

Tabelle 3.8: Mittelwert der Periotestung

Tabelle 3.9: Anzahl der angegebenen Komplikationen

Tabelle 3.10: Lokalisation der Minischrauben

Tabelle 3.11: Lokalisation der Minischrauben

Tabelle 3.12: Art der Belastung

Tabelle 3.13: Spätbelastung nach Tagen

Tabelle 3.14: Belastungsart der Minischrauben

Tabelle 3.15: Anzahl der unter Anästhesie entfernten Minischrauben

Tabelle 3.16: Mittelwerte der Überlebenszeit (= ÜZ)

Tabelle 3.17: Anzahl und % der Erfolgsrate

Tabelle 3.18: Anzahl und % des Zustandes bei Entfernung

Tabelle 4.1: Gegenüberstellung Geschlecht und Überlebenszeit

Tabelle 4.2: Verlustrate in Anzahl und % nach Herstellerfirma (Zeit in Tagen)

Tabelle 4.3: Anzahl und % nach Länge (Zeit in Tagen)

Tabelle 4.4: Anzahl und % nach Durchmesser

Tabelle 4.5: Anzahl und Überlebenszeit in Tage und % nach Operateur/-in

Tabelle 4.6: Anzahl und % der Verlustrate nach der Lokalisation

Tabelle 4.7: Anzahl und % der Verlustrate nach Lage im Weichgewebe

Tabelle 4.8: Mittelwert der Periotest-Messung bei Verlust

Tabelle 4.9: Anzahl und % der Angabe zur Primärstabilität

Tabelle 4.10: Anzahl und % nach Art der Belastung (ÜZ = Überlebenszeit)

8. Anhang

Dokumentationsbogen Kieferorthopädische Mini-Implantate

Patientenetikett

Implantathersteller:

Durchmesser:

Länge:

Raucher Nichtraucher

Operateur:

KFO-Behandler:

Insertionsdatum:

Lokalanästhesie: Infiltrationsanästhesie Leitungsanästhesie

Abstand Knochen-Implantat:mm

Lokalisation: fixierte Gingiva bewegliche Mukosa Mukogingivale Grenzlinie

Positionierungshilfe: ja nein

Vorbohrung: nein ja Ø mm Tiefe mm

Primärstabilität: gut ausreichend

Komplikationen: mangelnder primär Stabilität

Wurzelkontakt

Insertionsort:

Oberkiefer

Unterkiefer

vestibulär

palatinal/lingual

Regio 1-3

Regio 4-7

vertikal

horizontal

schräg

interradiikulär

retromolar

zahnloser Fortsatz

Implantatbelastung: sofort nach Tagen

Belastungsart : direkt indirekt

Entfernungsdatum:

Zustand des Implantats: fest gelockert

Anästhesie notwendig: nein ja

Vorzeitiger Schraubenverlust am:

Anhang 1: Dokumentationsbogen Kieferorthopädische Mini-Implantate