

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

Ergebnisse der Behandlung mit Kortikalisschrauben.
Eine retrospektive Auswertung

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

vorgelegt von

Platon Portmann
aus Sankt Petersburg, Russische Föderation

Mainz, 2009

Wissenschaftlicher

Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion:

25. Februar 2010

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
1. Einleitung	3
1.1 Einführung.....	3
1.2 Die Problemstellung	5
1.3 Ziel der Arbeit	6
2. Literaturübersicht	7
3. Material und Methode	14
3.1 Material	14
3.1.1. Technische Charakteristika des Aarhus-Minischraubensystems	15
3.2 Methode.....	17
3.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien	17
3.2.2. Auswertungskriterien	17
3.2.3. Erfolgskriterien.....	18
3.2.4. Chirurgische Insertion und kieferorthopädische Behandlung	19
3.3 Patientengut.....	20
3.4 Datenerfassung und Auswertung.....	21
3.5 Statistische Methoden.....	22
4. Ergebnisse	23
4.1 Ergebnisse der Behandlung mit Kortikalisschrauben	23
4.2 Komplikationen bei der Insertion von Minischrauben.....	29
4.3 Komplikationen im Rahmen der Behandlung	30
4.4 Kaplan-Meier Überlebensdiagramm	34
5. Diskussion	37

6. Zusammenfassung	46
7. Schlussfolgerungen	48
8. Literaturverzeichnis.....	49
9. Anhang	61
10. Danksagung.....	64
11. Lebenslauf	65

1. Einleitung

1.1 Einführung

Die Verwendung von Kortikalisschrauben in der Medizin ist nicht neu und entstammt ursprünglich der Traumatologie. So hat man schon im Mittelalter erkannt, dass die Ruhigstellung und Reposition der Fragmente die Voraussetzungen für die ungestörte Knochenheilung nach einer Fraktur darstellen (Esser 2003). Jedoch bei ausgeprägter Dislokation beziehungsweise schwieriger Reposition war eine externe Fixation nötig, die man mittels Schienungen oder knochenperforierenden Konstruktionen erreichte (Berenyi 1969). 1840 erwähnte *Malgaigne* (zitiert nach Biehl 1972) zur operativen Frakturbehandlung erstmals die externe Fixation über perkutan eingebrachte Nägel und daran befestigte Osteosyntheseplatten. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde schließlich häufiger über die Verwendung von Osteosyntheseschrauben berichtet. In der operativen Versorgung von Frakturen des Gesichtskeletts hielten die Osteosyntheseschrauben- und platten erst nach dem 2. Weltkrieg ihren Einzug (Heidemann 2001). Fortan wurde diese Facette der Therapie stetig ausgebaut und perfektioniert (Schwenzer 1967).

Im Jahr 1945 versuchten *Gainsforth* und *Highley* als Erste, mit Einsatz von bereits in der Unfallchirurgie bewährten Vitalliumschrauben eine intraorale Verankerung zu schaffen. Im Rahmen einer tierexperimentellen Studie wurden Schrauben aus Kobalt-Chrom-Molybdän-Legierung in die Unterkiefer von Hunden inseriert und als Verankerungseinheit zur Bewegung von Molaren benutzt. Unter der orthodontischen Belastung fielen alle Schrauben nach spätestens einem Monat aus. *Linkow* benutzte 1969 ein enossales Blattimplantat zur Verankerung von Gummizügen, mit denen Retraktion der Oberkieferfrontzähne vorgenommen wurde. 1978 inserierte *Sherman* sechs Implantate aus gläsernem Karbon in die Kieferknochen von Hunden und belastete diese anschließend orthodontisch. Zwei der sechs Implantate blieben stabil und waren folglich als Verankerungselemente nutzbar. Im Jahr 1983 behandelten *Creekmore* und *Eklund* einen starken Overbite mit Einsatz von konventionellen

Implantaten erfolgreich. *Roberts* et al. setzten im Jahr 1984 die Implantate zu den Zwecken der Verankerung von kieferorthopädischen Apparaturen erfolgreich ein. Seit dem profitiert die Kieferorthopädie immer mehr von den neuen Erkenntnissen auf dem Gebiet der Traumatologie und Implantologie, weil die Anzahl von den kieferorthopädischen Fragestellungen, die mit dem Einsatz von intraossären Verankerungselementen wie Minischrauben und Gaumenimplantaten gelöst werden können, erheblich gewachsen ist. *Wehrbein* et al. postulierten im Jahr 1996, dass die intraossären oralen Implantate als eine hervorragende Verankerung für kieferorthopädische Apparaturen benützt werden können, besonders in den Fällen, bei denen eigene Dentition keinen ausreichenden Halt bietet.

Schließlich formulierten *Costa* et al. (1998) und *Favero* et al. (2002) die Anforderungen an eine Minischraube zu orthodontischen Zwecken: der Durchmesser sollte im Vergleich zu dem konventionellen Implantat reduziert werden, um in allen Segmenten beider Zahnbögen einsetzbar zu sein; das Implantat sollte sofort belastbar und nur bedingt osseointegriert sein, damit die Explantation durch erhöhte Bruchgefahr nicht unnötig erschwert wird; es sollte einfach und minimal invasiv inseriert werden können.

In der englischsprachigen Literatur werden Begriffe Miniimplantat, Miniscrew und Minipin im Bezug auf die kieferorthopädischen Minischrauben meist synonym verwendet. In den deutschsprachigen Quellen kann die Bezeichnung Miniimplantat zur fälschlichen Einnahme führen, es würde sich um ein osseointegriertes Implantat für kieferorthopädische Zwecke, Gaumenimplantat, handeln. Tatsächlich ist es jedoch so, dass die Minischrauben, dank ihrer maschinieren Oberfläche, die größten Ähnlichkeiten mit den Osteosyntheseschrauben aus der Kieferchirurgie besitzen. In der vorliegenden Arbeit werden Begriffe Miniimplantat, Minischraube, Kortikalisschraube und Minipin äquivalent verwendet und bezeichnen nur die kieferorthopädischen Minischrauben.

1.2 Die Problemstellung

Klinische und experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass Kortikalisschrauben in der Lage sind eine stationäre und stabile Verankerung für die kieferorthopädische Zahnbewegung während der gesamten Therapiedauer zu gewährleisten (Melsen und Lang 2001). Jedoch handelt es sich bei den meisten Untersuchungen um Fallbeispiele (Umemori et al. 1999) oder um Untersuchungen mit einem begrenzten Kollektiv an Patienten (Favero et al. 2002, Bae et al. 2002, Kanomi 1997). Daraus resultieren unterschiedliche Angaben bezüglich der Verlustrate von Minischrauben, die zwischen 0 (Herman et al. 2006) und 100% (bei linguale Position, Berens et al. 2005a) liegen. Als Ursachen für die Verluste wurden unterschiedliche Gründe angegeben und bewertet: erstens existieren die Kortikalisschrauben in variablen Designs, Durchmesser und Längen, zweitens variiert der Insertionsbereich (und somit die Qualität und die Quantität des Knochens und der Schleimhaut) je nach dem therapeutischen Bedarf; drittens variieren auch die Kräfte, die auf die Minischrauben einwirken. Die besagten Faktoren erschweren einen direkten Vergleich bezüglich der Überlebensraten unterschiedlicher Hersteller von Kortikalisschrauben.

Wiechmann und Mitarbeiter (2007) geben die Überlebensrate von Minischrauben zwischen 80% und 90% an. Dieser Wert wird gegenwärtig als durchschnittlicher Wert angenommen und findet sich auch in den anderen Publikationen wieder (Meyer et al. 1999 a und b, 2004, Berens et al. 2005a und b).

1.3 Ziel der Arbeit

Ziel der vorliegenden Dissertation war es, die Behandlungsergebnisse von Patienten zu analysieren, bei denen das kieferorthopädische Behandlungskonzept eine skelettale Verankerung mittels Mikrotitanschrauben erforderte. Die Patienten wurden in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz im Zeitraum zwischen 03/2002 und 08/2008 behandelt. Folgende Untersuchungsparameter wurden betrachtet: Überlebensrate der Kortikalisschrauben, mögliche Verlustursachen und Eignung für orthodontische Verankerungszwecke.

2. Literaturübersicht

Der Begriff der Verankerung wurde von Angle im Jahr 1907 in die Kieferorthopädie eingeführt und stellt „ein zentrales Problem bei der Behandlung dentaler und skelettaler Dysgnathien dar“ (Angle 1907). Heute wird darunter das Abfangen oder der kontrollierte Einsatz reaktiver Kräfte und Momente in den drei Raumebenen verstanden. Die Grundlage der biomechanischen Überlegungen sind dabei die Bedingungen des statischen Gleichgewichts, die Newton bereits 1687 definiert hat, also „*actio* gleich *reactio*“. Dieses Gesetz ist von großer Relevanz für Kieferorthopäden, da neben „*actio*“, die eine erwünschte und angestrebte Zahnbewegung darstellt, auch „*reactio*“ beachtet werden muss, also eine entgegengesetzte Zahnbewegung. Deswegen muss bereits in der kieferorthopädischen Behandlungsplanung das vorhandene und für die einzelnen Therapieaufgaben erforderliche Verankerungspotenzial (Bernhart 2000) sorgfältig berücksichtigt werden, um unerwünschte Zahnbewegungen und damit Verankerungsverluste zu vermeiden. *Angle* formulierte: „Die idealste Verankerung wäre natürlich eine unbewegliche Basis“, was jedoch ein unerreichbares Ziel bleiben dürfte, da alle Gewebe auf Zug und Druck reagieren (Angle 1907).

Kamen lange Zeit herausnehmbare Plattenapparaturen, Delairemasken und Headgear-Typen als Verankerung zum Einsatz, wird seit nunmehr zwei Jahrzehnten aufgrund zunehmender Tragezeitproblematik und ästhetischer Beeinträchtigung (Clemmer et al. 1979, El-Mangoury 1981, Egolf 1990) häufiger auf Behandlungsgeräte zurückgegriffen, die rein intraoral getragen werden und den Behandler von der Patientenkooperation weitgehend unabhängig machen. Heute scheint das Verankerungsideal in Form skelettaler Verankerungselemente beispielsweise Kortikalisschrauben oder Gaumenimplantaten gefunden zu sein (Kinzinger et al. 2005).

Wie man der Abbildung 2.1 entnehmen kann, nimmt das Thema skelettale Verankerung mittels Minischrauben in der Kieferorthopädie in den letzten 20 Jahren

ständig an Bedeutung zu. Entsprechend wächst auch die Anzahl der wissenschaftlichen Publikationen.

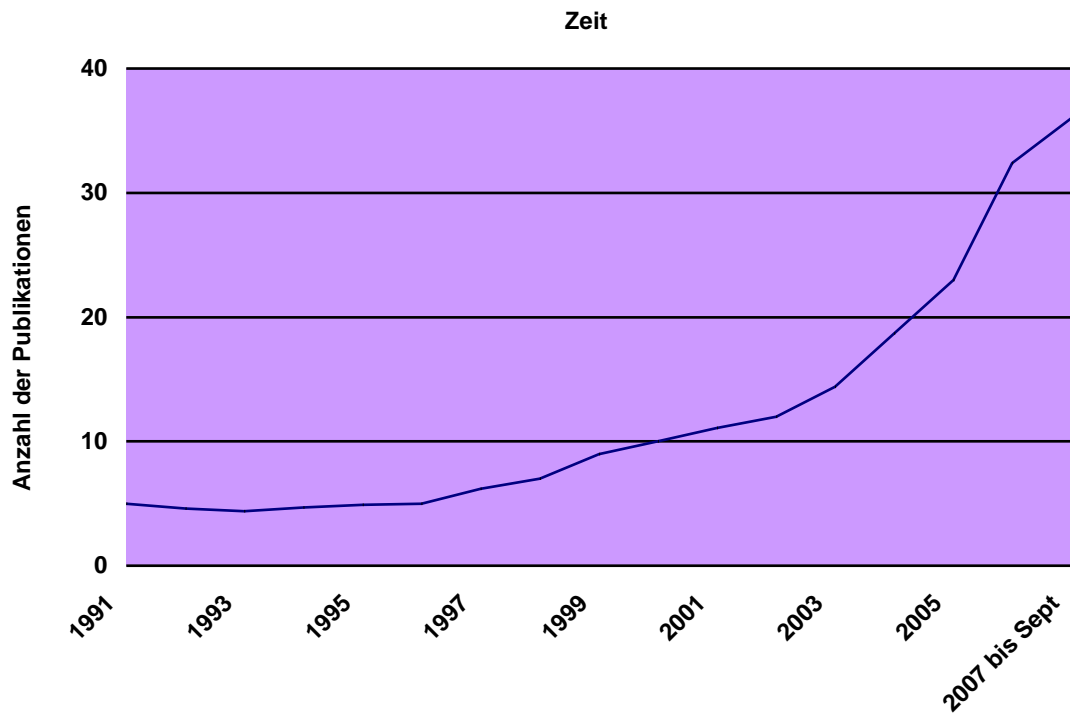


Abb. 2.1: Anzahl der kieferorthopädisch relevanten Publikationen mit „orthodontic miniscrew“ als Suchkriterium bei www.pubmed.gov

Da die Minischrauben in der Kieferorthopädie immer intensiver angewendet werden, ist es vom großen praktischen Interesse zu erfahren, welche Minischraubensysteme sich als besonders geeignet für den Behandler präsentieren. Es existierten jedoch bislang nur wenige komparative Studien, welche die Erfolgsraten mehrere Systeme bei gleichen therapeutischen Aufgabestellungen miteinander vergleichen.

Es gibt viele Erkenntnisse zu Verlustursachen über die prothetischen Implantate, doch sind sie nicht auf die orthodontische Minischrauben übertragbar, da die Minipins nur bedingt osseointegrieren und im Gegensatz zu konventionellen Implantaten fast ausschließlich unidirektionalen lateralen Kräften ausgesetzt sind. Zur besseren Einordnung der hier vorliegenden deskriptiven Analyse soll daher

explizit auf die Erfolgsraten und Ursachen des Verlustes von Kortikalisschrauben eingegangen werden.

Wiechmann et al. untersuchten im Jahr 2007 in ihrer Publikation insgesamt 133 Minischrauben, die nach der Insertion sofort orthodontisch belastet wurden, und gaben ihre Überlebensrate mit durchschnittlich 86,8% an, wobei die Verlustrate der Minipins Abso Ancor der Firma Dentos. Inc. bei 30,4% und Minipins Dual Top der Firma Jeil Medical Corporation bei 13% liegen. Der Autor findet einen Zusammenhang zwischen der besseren Erfolgsrate und der Insertionsseite, und zwar bei Rechtshändern zeigt linke Seite die besseren Überlebensraten von den Minischrauben, bei den Linkshändern ist es entsprechend die rechte Seite; im Oberkiefer sind die Überlebensraten statistisch höher als im Unterkiefer; im Unterkiefer bukkal inserierte Minischrauben haben bessere Prognose als lingual inserierte. Durchbrechend nennt der Autor die Erkenntnis, dass der steigende Durchmesser mit der höheren Erfolgsrate, jedoch nicht mit der Länge der Minischrauben korreliert. *Wiechmann* und Mitarbeiter konnten ebenso zeigen, dass Minipins durchaus sofort orthodontisch belastet werden können und der Belastung standhalten, soweit sie die von dem Hersteller angegebenen Belastungsgrenzen nicht überschreiten. Insgesamt hat sich gezeigt, dass Kortikalisschrauben sich als positionsstabil und geeignet für die kieferorthopädische Belastung erweisen, wenn man das Insertions- und Belastungsprotokoll des Herstellers berücksichtigt.

Eine große Anzahl von Publikationen stammt aus dem asiatischen Sprachraum (Umemori et al. 1999, Bae et al. 2002, Kanomi 1997, Park et al. 2006, Kuroda et al. 2007, Miyawaki et al. 2003). Von diesen Autoren werden höhere Überlebensraten angegeben als vergleichsweise zu Publikationen aus dem europäischen Raum. Als Ursache dafür kommt höhere Akzeptanz des Patienten gegenüber der vom Behandler angebotenen Therapiemethoden in Frage. So wird zum Beispiel das Inserieren der Minischrauben durch die Schleimhaut in Europa häufig praktiziert, während das Vorgehen im asiatischen Sprachraum meist mit einer Schleimhautinzision verbunden ist. Das gleiche gilt auch bei der röntgenologischen Dokumentation der Fälle, so gehören die Computer Tomographie Aufnahmen fast selbstverständlich zu den obligatorischen Röntgenaufnahmen in Asien (Kuroda et al.

2007, Kang et al. 2007), in Europa ist der Einsatz solcher Aufnahmen aus strahlenschutzrechtlichen Gründen eher verhalten.

Park und Mitarbeiter untersuchten im Jahr 2004 in ihrer Publikation insgesamt 227 Minischrauben vier verschiedener Hersteller (19 Minipins Stryker Leibinger Inc, Kalamazoo, Michigan, Durchmesser 1,2 mm, Länge 5 mm; 157 Minipins Osteomed, Addison, Texas, Durchmesser 1,2 mm, Länge 6, 8 und 10 mm; 46 Minipins Absoanchor, Dentos, Daegu, Korea, Durchmesser 1,2 mm, Länge 4, 6, 7, 8 und 10 mm; 5 Minipins KLS-Martin, Jacksonville, Florida, Durchmesser 2 mm, Länge 10, 12, 14 und 15 mm) bei 87 Patienten über die durchschnittliche Behandlungsdauer von 15 Monaten und stellten eine durchschnittliche Überlebensrate von 91,6% fest. Die Autoren fanden heraus dass die Minipins bessere Erfolgsraten aufweisen, wenn sie in der linken Kieferhälfte platziert wurden und wenn sie sich unter dem Schleimhautniveau befinden. In der Maxilla eingesetzte Minischrauben haben ebenso bessere Prognosen. Als Risikofaktoren stellten sich die lokalen Entzündungen in der unmittelbaren Umgebung von Minipin, die Überbelastung mit Kräften höher als 200g und die Mobilität von den Minischrauben heraus, wobei die Mobilität nicht zwingend zu einem Implantatverlust führt, wenn die Schrauben mäßigen Kräften ($\leq 200g$) ausgesetzt sind. *Park* und Mitarbeiter bestätigten in ihrer Studie, dass die Minischrauben positionsstabil bleiben und zu den Zwecken der skelettalen Verankerung unmittelbar nach der Insertion mit den orthodontischen Kräften belastet werden können.

Kuroda et al. analysierte im Jahr 2007 bei 58 Patienten in seiner Arbeit 116 Minischrauben von zwei Herstellern, Typ A (Inter-maxillary fixation screw, Keisei Medical Industrial, Tokyo, Japan) mit Durchmesser von 2,0 bzw. 2,3 mm und Länge von 7 oder 11 mm und Typ B (Absoanchor, Dentos, Daegu, Korea) mit Durchmesser von 1,3 mm und Länge von 6, 7, 8, 10 und 12 mm. Vor der Insertion von Typ A Implantaten wurde die Gingiva inzidiert und die Knochenoberfläche für die Pilotbohrung dargestellt, bei den Typ B Implantaten erfolgte die Implantation durch die Schleimhaut ohne die Pilotbohrung. Die kieferorthopädische Belastung fand in der Gruppe A nach 12 Wochen statt, in der Gruppe B unmittelbar nach der Insertion. Die Überlebensraten betragen jeweils für die Gruppe A 81,6% und für die Gruppe B 88,6%. Für die Gruppe B fanden die Autoren eine Korrelation zwischen erhöhter

Verlustrate und Intrusion der Seitenzähne als therapeutische Aufgabe und dem Platzieren der Minipins in der posterioren Molarenregion sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer, wofür sie komplizierte chirurgische Insertion, schwierige anatomische Verhältnisse und erschwerte Zugänglichkeit für die Reinigung machten. In der Gruppe A berichteten 95% der Patienten über mittel- bis starke Schmerzen nach einer Stunde nach der Implantation, in der Gruppe B waren es nur 50%. Nach einer Woche nach dem Eingriff klangen die Schmerzen in der Gruppe B völlig ab, in Gegensatz zu Gruppe A, bei der die Schmerzen auch längere Zeit nach der Operation beobachtet wurden. Diese Tatsachen schrieben die Autoren der Schleimhautinzision zu und empfahlen folglich von der „Flap“-Operation abzusehen um die Schmerzen und Diskomfort des Patienten zu reduzieren. Diese Erkenntnis korreliert mit den Ergebnissen von *Curtis et al. (1985)* und *Clouser et al. (1994)*, die sich mit Schmerzen nach den Operationen vorangegangenen Schleimhautinzisionen und „Flap“-Operationen befassten und herausstellten, dass die Mukogingivalchirurgie zu stärkeren Schmerzen als Knochenchirurgie führt. Die Studie konnte weiterhin zeigen, dass die Minipins, die sich mindestens 5 mm im Knochen befinden, den Belastungen $\leq 200\text{g}$ standhalten. Somit empfehlen die Verfasser den Einsatz von sofortbelastbaren längen- und durchmesserreduzierten Kortikalisschrauben, da die meistbefürchteten Risiken von Wurzelperforation und Penetration von Sinus maxillaris entsprechend niedriger gehalten werden können.

Tseng und Mitarbeiter untersuchten im Jahr 2006 in einer Studie 45 Kortikalisschrauben (Stryker, Leibinger, Germany) bei 25 Patienten, deren durchschnittliches Alter 29,9 Jahre betrug. Es wurden Minipins mit 2 mm Durchmesser und Längen von 8, 10, 12 und 14 mm verwendet. Die Insertion wurde durch die Mundschleimhaut durchgeführt ohne vorhergehende Inzision bzw. „Flap“-Operation, die Pilotbohrung umfasste nur die Kortikalis des Knochens. Die Minischrauben wurden zwei Wochen nach der Insertion belastet. Die Therapie dauerte durchschnittlich 16 Monate. Die Autoren stellten die gesamte Überlebensrate von 91,6% fest und zwar betrug sie für die 8 mm langen Implantate 80%, für die 10 mm langen 90% und für 12 und 14 mm langen Minischrauben entsprechend 100%. Es wurde eine Korrelation zwischen erhöhten Verlustraten und Insertionsgebiet und Länge des Minipins gefunden: drei Minischrauben, davon zwei 8 mm lange, in posterioren Regionen des Unterkiefers und im Ramus mandibulae zeigten erhöhte

Mobilität und mussten entfernt werden, ursächlich dafür wurden der unzureichende Halt im Knochen sowie erschwerte Hygiene in dieser Region gemacht. *Tseng* und Mitarbeiter empfahlen deshalb die Minischrauben mindestens für die Länge von 6 mm in den Knochen zu implantieren. Relevant für erfolgreiche Therapie bezeichnete er ebenso die Länge von Minischrauben, die nicht weniger als 10 mm betragen sollte. Als allgemeine Risiken bewerteten sie mögliche Wurzelperforationen und Nervenschädigungen bei Inserieren in deren topographischer Nähe. *Tseng* und Mitarbeiter bestätigten in ihrer Studie, dass die Kortikalisschrauben eine stationäre und zuverlässige orthodontische Verankerung bieten.

Auch wenn die Angaben bezüglich der Überlebensraten der Kortikalisschrauben einer relativ großen Streuung unterliegen, so sind sich die meisten Autoren einig, was die Indikationen der implantatgestützten Verankerung betrifft. *Wehrbein* und *Göllner* (2007, 2008), *Fritz et al.* (2003), *Carano et al.* (2005) und *Huang et al.* (2005) geben folgende Indikationen für kieferorthopädischen Minischrauben an:

- ▶ Unzureichende desmodontale Verankerungsqualität durch reduzierte Zahnzahl beziehungsweise fortgeschrittenem Attachmentverlust der Ankerzähne (*Wehrbein et al.* 2008)
- ▶ Fehlende Akzeptanz extraoraler Verankerungshilfen, z.B. Headgear oder Delaire-Maske (*Wehrbein et al.* 2008)
- ▶ Lückenschluss ohne Verankerungsverlust (*Carano et al.* 2005)
- ▶ Übertragung orthopädischer Kräfte bei kraniofazialen Dysgnathien
- ▶ Intrusion und Extrusion von Zähnen (*Carano et al.* 2005, *Roth et al.* 2004, *Sherwood et al.* 2002)
- ▶ Präprothetische Korrektur von Ankerzähnen z.B. Aufrichten, Distalisieren und Mesialisieren von Molaren (*Roberts et al.* 1989)
- ▶ Intermaxilläre Verankerung (*Carano et al.* 2005).

Um den Einsatz von Minischrauben zu reglementieren, wurde im Oktober 2008 von der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie eine wissenschaftliche Stellungnahme herausgegeben (*Wehrbein et al.* 2008). In dieser Stellungnahme wird von den Autoren *Wehrbein*, *Jung* und *Kunkel* unter anderem auf die gewisse Problematik hingewiesen, die die Minischrauben auszeichnet. So werden durch die

maschinierter Titanoberfläche nur relativ niedrige Knochenbedeckungsraten erreicht, was die Rotationsstabilität herabsetzt. Diese Tatsache soll vor der Applikation von orthodontischen Kräften in der Therapieplanung berücksichtigt werden. Bei der Insertion von Kortikalisschrauben tendieren die Autoren zu „attached“ Gingiva, um mögliche Gewebeirritationen und Überwucherungen zu vermeiden. Entscheidend für die Langzeitprognose ist jedoch die Primärstabilität. Das sollte neben den Arealen mit dicker (>5mm) Schleimhautschicht besonders bei Regionen mit überwiegend spongiosen Knochen bedacht werden. Weiterhin betonen die Autoren das Migrationspotential der Minischrauben unter kieferorthopädischen Belastung und empfehlen die möglichen Interferenzen bei der Therapieplanung zu berücksichtigen (Kravitz et al. 2007, Liou et al. 2004). Ähnlich den anderen Publikationen, gibt auch diese mit 40 bis 100 % relativ hohe Verlustraten für die orale Seite der Alveolarfortsätze. Die Verlustraten für die vestibuläre Seite beziffern die Autoren zwischen 0 und 15 %. Abschließend empfiehlt die Stellungnahme die Verwendung von Minischrauben und Gaumenimplantaten zur klinischen Anwendung, da das Risikopotential absehbar und das Behandlungsergebnis vorhersehbar bleiben.

3. Material und Methode

3.1 Material

Die meisten Implantate in der Human- und Zahnmedizin bestehen aus einer speziell für medizinische Zwecke entwickelten Titanlegierung Ti-6Al-4V (ASTM, F136), nämlich Titan Grad 5 mit entsprechend 6% Aluminium und 4% Vanadium. So auch die Kortikalisschrauben.

Titan weist eine erhöhte Biokompatibilität auf. So sind bisher nur wenige Fälle über eine immunologische Abstoßungsreaktion gegen das Metall bekannt. Weiterhin hat Titan im Gegensatz zu anderen Metallen eine gute Korrosionsbeständigkeit und Festigkeit. Die Medizin macht sich die Tatsache zu nutze, dass Titanoxidschicht eine bessere Osseointegration hervorruft und somit den festen Einbau des künstlichen Implantates in den menschlichen Körper begünstigt. Während die Oberflächen von den prothetischen Implantaten mit einer speziellen Schicht versehen sind, die den Verbund mit dem Knochen verbessern soll, weisen Kortikalisschrauben in der Regel glatt polierte Oberflächen auf.

Je nach Hersteller zeigen handelsübliche Kortikalisschrauben bezüglich ihres Durchmessers, Länge und Kopfdesign deutliche Unterschiede: so liegt der Durchmesser zwischen 1,2 (OMI, Osteomed) und 2,5 mm (BOI, Bicon Dental Implants) und die Länge zwischen 4 und 15 mm. Das Kopfdesign kann mit einem Bracket ähnlichem Kopf zur indirekter Befestigung oder mit einem Kopf knopfähnlicher Form bzw. einer Perforation (Abb. 3.1.1) zur direkten Befestigung gestaltet sein.



Abb. 3.1.1: mögliche Kopfdesigns am Beispiel des Aarhus Mini Implantat System

Des Weiteren unterscheiden sich Minischrauben in ihrer Funktionalität bezüglich der Insertion: so sind einige (beispielsweise die Kortikalisschraube Abso Anchor, Dentos Korea) selbstbohrend, während andere (beispielsweise M.A.S. Miniscrew Anchorage System, Jazi Dental Incorporation) selbstschneidend sind und dementsprechend zur Insertion eine Vorbohrung mit einem Pilotbohrer voraussetzen. Auch Kombinationsformen, also Kortikalisschrauben, die sowohl selbstbohrend und selbstschneidend sind, sind erhältlich (Tomas-Pin, Dentaurum).

Weitere Unterscheide betreffen die Steigung der Gewinde (0,5 bis 1,1 mm), das Design des Schraubenhalses, oder das Herstellungsverfahren. Die Tabelle im Anhang zeigt eine Übersicht von verschiedenen handelsüblichen Kortikalisschrauben.

3.1.1. Technische Charakteristika des Aarhus-Minischraubensystems

Das Aarhus Minischraubensystem wird maschinell aus dem Titan Grad V hergestellt und erfährt keine weitere Oberflächenbehandlung am Gewinde. Die Längen der Aarhus Minischrauben variieren zwischen 9,6 und 12,3 mm. Der Durchmesser liegt zwischen 1,3 mm und 2,0 mm. Zwei Kopfdesigns werden angeboten:

- (1) einen Bracket ähnlichen und
- (2) einen Kopf mit Knöpfchen

Diese dienen entweder der direkten oder indirekten Verankerung.

Der Schraubenhals ist hochglanzpoliert. Es gibt zwei verschiedene zylindrisch gestaltete Halslängen in 1,5 mm und 2,5 mm. Dies soll nach Angaben des Herstellers die unterschiedlichen topographischen Gegebenheiten der oralen Schleimhaut widerspiegeln.

Der Hersteller versieht seine Kortikalisschrauben mit Tiefenstopps, die am Übergang zwischen Implantathals und –kopf positioniert sind und das Einhalten der geplanten Eindrehtiefe gewährleisten sollen.

Auch im Bereich des Gewindes unterscheiden sich die einzelnen Schrauben des Aarhus Systems: die Steigung der Gewinde beträgt bei einem Durchmesser von 1,3 mm 0,5 mm, bei 1,5 mm 0,6 mm und bei 2,0 mm entsprechend 1,0 mm.

Die unterschiedlichen Farben (gelb, blau und silberfarben) ergeben sich aus dem Anodisierungsprozess¹, wobei dem Elektrobad bestimmte Legierungselemente hinzugefügt werden.



Abb. 3.1.1.2: Farbauswahl des Aarhus Mini Implantat System

Die Aarhus-Ankerschrauben sind selbstbohrend, benötigen also keine Vorbohrung bei der Insertion.

¹ **Anodisierung:** elektrochemische Bearbeitung, bei der ein bestimmtes Metall in einem chemischen Bad (meist Schwefelsäure) mit elektrischem Gleichstrom behandelt wird. Das Metall wird dabei mit der Anode der Stromquelle verbunden, das Bad fungiert als Kathode. (Quelle: Baulexikon, Hrsg.: Wormuth, Schneider 2007.)

3.2 Methode

Wie eingangs erwähnt, wurden in der vorliegenden retrospektiven Untersuchung die Patientendaten der Poliklinik für Kieferorthopädie der Johannes Gutenberg-Universität Mainz aus dem Zeitraum vom März 2003 bis August 2008 analysiert. Die Schrauben wurden in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie sowie in der Poliklinik für Oralchirurgie inseriert.

3.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien

In die Untersuchung wurden alle Patienten eingeschlossen, bei denen eine stationäre Verankerung im Ober- und/oder Unterkiefer erforderlich war.

Ausgeschlossen wurden Syndrompatienten, Patienten mit reduzierter Immunabwehr, Vorbestrahlung des Knochens oder Knochenstoffwechselerkrankungen oder Knochenbereiche mit Kortikalisschrauben, die im Rahmen von augmentativen Verfahren verwendet wurden.

3.2.2. Auswertungskriterien

Die Studie basiert auf der Dokumentation der kieferorthopädischen Behandlung, der radiologischen Kontrolle im Rahmen der medizinischen Indikation sowie der Beurteilung des Endergebnisses. Nach der klinischen und radiologischen Diagnostik des Patienten wurden der Verlauf und das Behandlungsverfahren beschrieben.

Folgende Daten wurden der Patientendokumentation der Poliklinik für Kieferorthopädie entnommen:

- (1) Therapieziel
- (2) Insertionsstelle von Kortikalisschrauben
- (3) Qualität der umliegenden Schleimhaut (beweglich bzw. unbeweglich)
- (4) Komplikationen bei Behandlung der Minischrauben (Mobilität der Minischrauben, Schleimhautentzündungen, Wurzelperforationen)

- (5) durchschnittliche Tragezeit der Kortikalisschrauben
- (6) das Erreichen der Therapieziele

Von Interesse war das Auftreten der Mobilität der Minischrauben und Schleimhautentzündungen und die Folgen für das Überleben des untersuchten Minipinsystems.

Abschließend wurden aufgetretene Komplikationen wie Entzündung, Lockerung des Minipins oder Wurzelf perforation und deren Folgen während der kieferorthopädischen Behandlung erfasst.

3.2.3. Erfolgskriterien

Kortikalisschrauben wurden als erfolgreich eingestuft, wenn folgende Kriterien erfüllt waren:

- (1) absolute Positionsstabilität während der Gesamtdauer der kieferorthopädischen Behandlung oder
- (2) absolute Positionsstabilität bis zum Erreichen des jeweiligen kieferorthopädischen Behandlungszieles.

Kortikalisschrauben, die unter funktioneller Belastung einen Stabilitätsverlust zeigten und somit beweglich waren, wurden als nicht erfolgreich eingestuft.

Minischrauben, deren umgebende Schleimhaut Anzeichen einer Entzündung zeigte, sich allerdings wieder regenerieren konnte, wurden ebenfalls als erfolgreich eingestuft. Kamen persistierende Schmerzen bzw. Schleimhautentzündungen, die therapieresistent waren, so musste die Minischraube entfernt werden und die Behandlung wurde als Misserfolg gewertet.

3.2.4. Chirurgische Insertion und kieferorthopädische Behandlung

Die Implantation erfolgte durch die Schleimhaut ohne vorhergehende Aufklappung der Mukosa unter Lokalanästhesie. Die Minipins wurden in den Alveolarknochen ohne Vorbohrung entsprechend der Einleitungseinweisungen des Herstellers eingebracht.

Nach der Insertion wurden die Kortikalisschrauben auf Primärstabilität kontrolliert und in der Regel sofort belastet. Im Falle von postoperativen Schmerzen wurde ein Schmerzmittel verschrieben. Die Patienten wurden angewiesen bei Mukosairritationen im Bereich des Schraubenkopfes mit Chlorhexidin zu spülen.

Die Kortikalisschrauben wurden sowohl indirekt als auch direkt belastet. Alle Patienten wurden im Rahmen der üblichen kieferorthopädischen Kontrolltermine nachuntersucht. Beim Erreichen des Behandlungsziels wurden die Minischrauben meist in situ belassen, um eventuell anfallende Korrekturen der Zahnbewegungen vornehmen zu können. Nach Behandlungsabschluss wurden die Minipins unter Lokalanästhesie entfernt.

3.3 Patientengut

Insgesamt wurden 106 Minipins bei 62 Patienten nachuntersucht.

Von den untersuchten Patienten waren 46,78 % Männer (n=29) und 53,22 % Frauen (n=33). Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei $26,3 \pm 11,3$ Jahren, wobei die größten Anteile die Altersgruppen zwischen 13 und 19 Jahren 37,7% (n=23) und mit 20 bis 29-Jährigen 37,8 % (n=24) stellten, gefolgt von den über 30-Jährigen mit einem Anteil von 24,5% (n=15) (vgl. Abbildung 3.3.1). Der jüngste Patient war 13, der älteste 61 Jahre alt. Die höchste Anzahl von den Implantaten, die ein Patient in dieser Studie erhielt, war sechs.

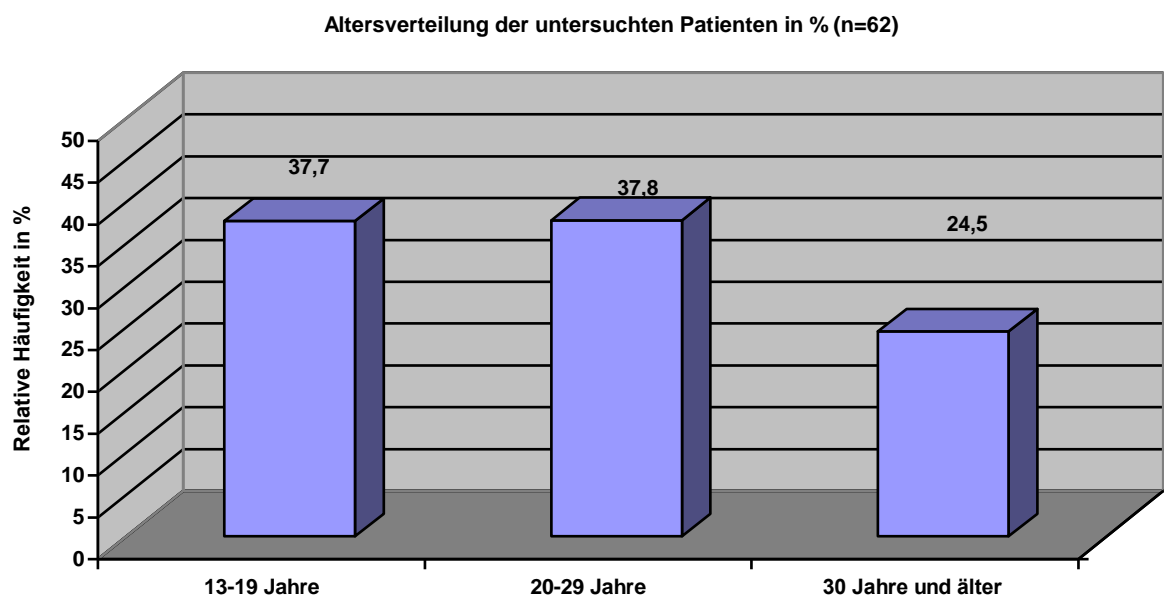


Abbildung 3.3.1: Altersverteilung der untersuchten Patienten in % (n=62)

3.4 Datenerfassung und Auswertung

Für jeden Patienten wurden die oben aufgeführten Parameter erfasst und in einer Excel-Tabelle dokumentiert. Um ein entsprechendes Aktenstudium zu ermöglichen, war es erforderlich, eine Liste von Patienten zu erstellen, die mit Kortikalisschrauben behandelt wurden. Hierfür wurden die zuständigen Kieferorthopäden befragt und die OP-Bücher der Poliklinik für Oralchirurgie und der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie nach den für diese Studie relevanten Eingriffen durchschaut. Die Röntgenbilder und digitale Fotografien des Behandlungsablaufs wurden ebenfalls mit einbezogen.

3.5 Statistische Methoden

Die statistische Auswertung der Messergebnisse erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik der Johannes Gutenberg-Universität Mainz mittels der Softwareprogramme SPSS, Version 11.5.1 (SPSS Inc. Chicago, USA) und Microsoft Excel 2002 (Microsoft Corporation, USA).

Die Auswertung erfolgte auf der Basis absoluter und relativer Häufigkeiten. Die Ergebnisse wurden in Form von Kreis- und Säulendiagrammen dargestellt. Die Gesamtüberlebensraten der Kortikalisschrauben wurden mittels Kaplan-Meier-Kurven analysiert.

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Behandlung mit Kortikalisschrauben

Bei der gesamten Anzahl von 106 Minipins fand sich eine kumulative Überlebensrate von 76,4 % (n=81) heraus.

Basierend auf den Patientendaten, die den Karteikarten entnommen wurden, blieben die Minischrauben 15,6 Monate im Durchschnitt in situ. Bei 4,9 % (n=4) der Untersuchten dauerte die Behandlung weniger als 12 Monate. Der kürzeste Zeitraum, der zum Behandlungserfolg führte, betrug demnach acht Monate bei der Molarenaufrichtung als Therapieziel.

33 Kortikalisschrauben (31%) wurden im Bereich des Oberkiefers und 73 (69%) in Bereichen des Unterkiefers inseriert.

Bei dem Vergleich von Verlustraten der Minipins bezüglich des Insertionsortes stellte sich heraus, dass im Oberkiefer 8 der insgesamt 33 Minischrauben verloren gingen, was einem prozentualen Anteil von 24,2 % entspricht, im Unterkiefer gingen 17 von 73 Minischrauben verloren, was eine Verlustrate von 23,3 % ausmacht. Weiterhin zeigte der Vergleich der Implantationsseite, dass im vestibulären Bereich des Oberkiefers 4 der 21 Minipins verloren gingen, im Unterkiefer jedoch 16 von insgesamt 67 Minischrauben. Betrachtet man die Kortikalisschrauben, die palatinal bzw. lingual inseriert wurden, so zeigte sich, dass zwei von vier palatinal gesetzten Schrauben sowie die einzige lingual gesetzte Minischraube vorzeitig explantiert werden mussten. In Bezug auf die Insertionsorte Oberkiefer palatinal und Unterkiefer lingual zeigte sich dementsprechend eine Verlustrate von 50 % für den Oberkiefer und 100% für den Unterkiefer. Von den 13 krestal gesetzten Minischrauben gingen zwei verloren, das macht eine Verlustrate von 15,3 % aus (vgl. Abbildung 4.1.2), im Unterkiefer blieben alle fünf Minipins in der krestalen Lage stabil.

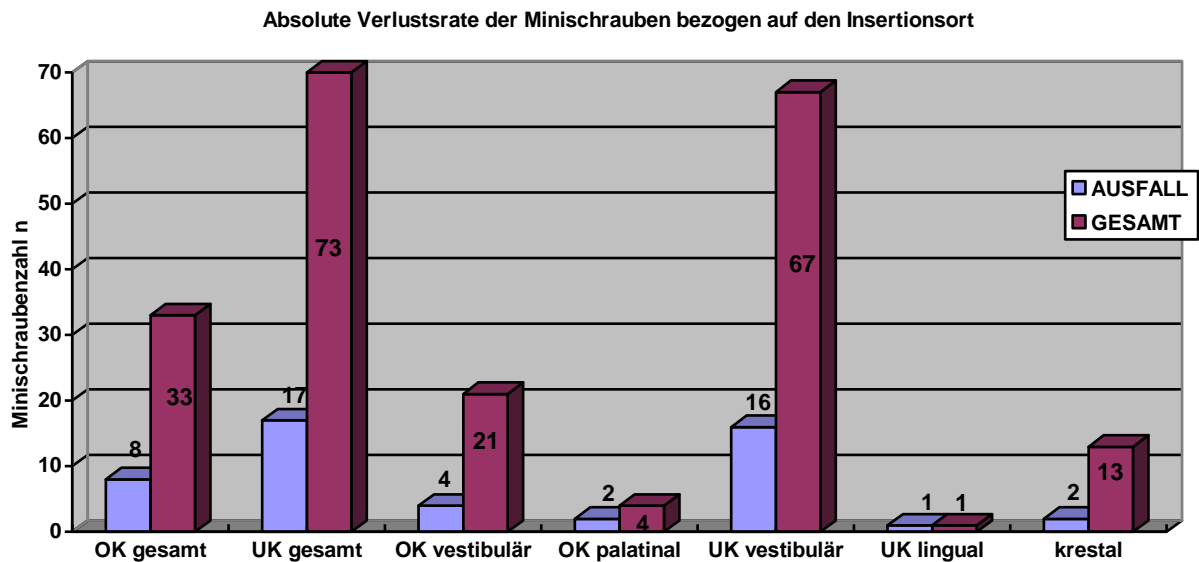


Abb. 4.1.2: Absolute Verlustraten der Minischrauben bezogen auf den Insertionsort

Weiterhin wurden die Verlustraten der Minipins bezüglich der Schleimhaut am Insertionsort analysiert. Aus den vier unterschiedenen Typen der Schleimhaut: palatinalen, beweglichen, unbeweglichen und der Grenzzone zwischen der beweglichen und unbeweglichen Schleimhaut ergab sich folgendes Bild: 22 Kortikalisschrauben wurden in die bewegliche Schleimhaut des Oberkiefers und Unterkiefers inseriert. Hier zeigten 6 Schrauben (27,3%) einen Verlust.

72 Kortikalisschrauben wurden in die unbewegliche Schleimhaut beider Kiefer inseriert- Von diesen gingen 12 (16,7%) verloren.

8 Schrauben wurden in den Grenzbereich Übergang beweglicher zu unbeweglicher Schleimhaut im vestibulären Bereich des Unterkiefers inseriert. 5 Minipins (62,5%) zeigten hier einen Verlust und mussten vorzeitig explantiert werden.

4 Minischrauben wurden palatinal im Bereich des Oberkiefers eingebracht. Hier gingen 2 von 4 Schrauben (50%) verloren. (vgl. Abbildung 4.1.3).

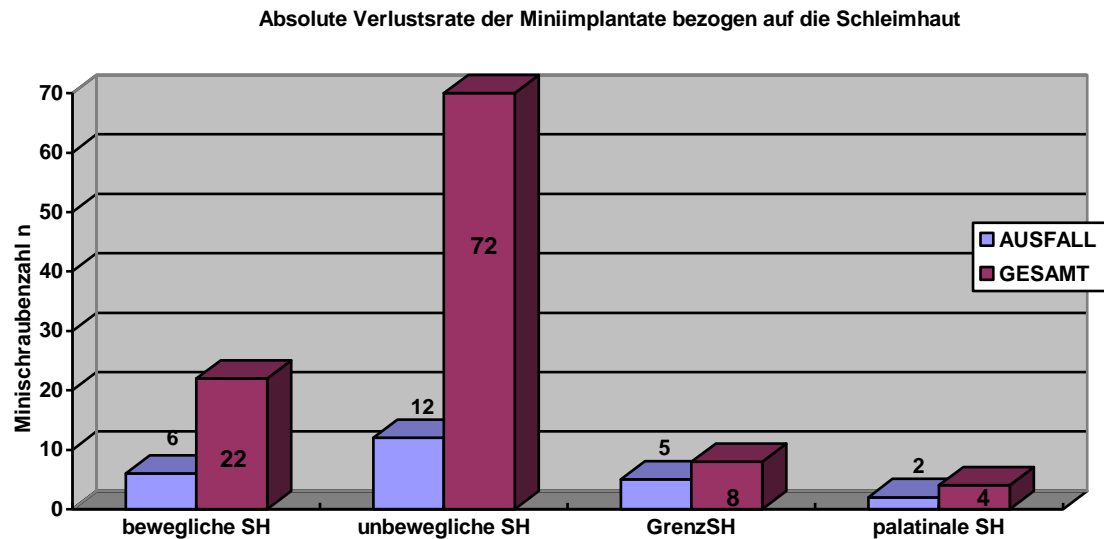


Abb. 4.1.3: Absolute Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die Schleimhaut

53 von insgesamt 106 Minipins wurden auf der rechten Seite und 53 auf der linken Seite inseriert. Die Auswertung der Insertionsseite ergab für die rechte Seite eine Verlustrate von 20,8 %, entspricht dem Verlust von 11 von 53 Minipins und für die linke Seite 26,4 %, entspricht dem Verlust von 14 von 53 Minischrauben (vgl. Abbildung 4.1.4).

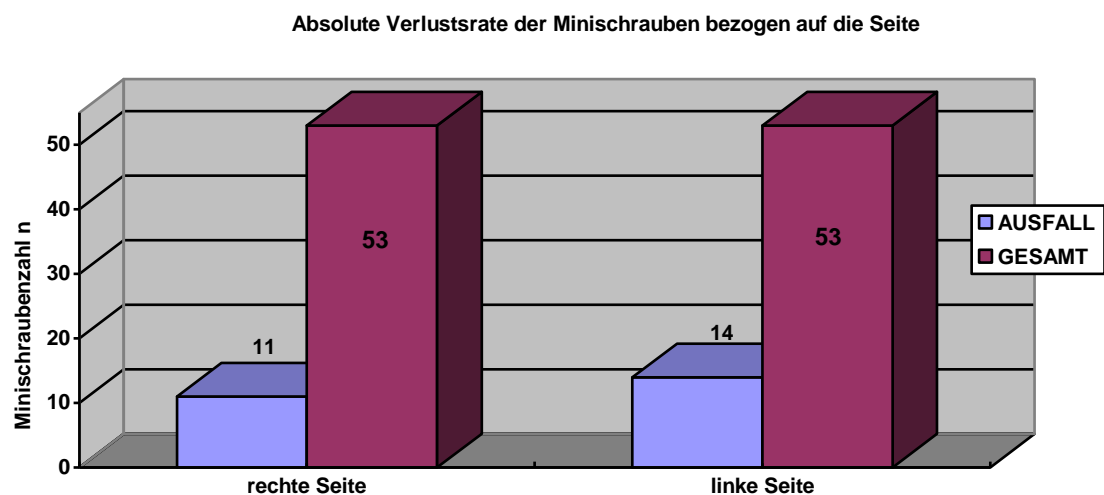


Abb. 4.1.4: Absolute Verlustraten der Minischrauben bezogen auf die Implantationsseite

Des Weiteren wurden die Minipins nach dem Kriterium Geschlecht ausgewertet, es ergab sich, dass bei dem männlichen Geschlecht 12 der insgesamt 50 Minischrauben verloren gingen, was einem Prozentanteil von 24 % entsprach, bei dem weiblichen Geschlecht waren es 13 von 56 Minischrauben, einem Anteil von 23,2% entsprechend (vgl. Abbildung 4.1.5).

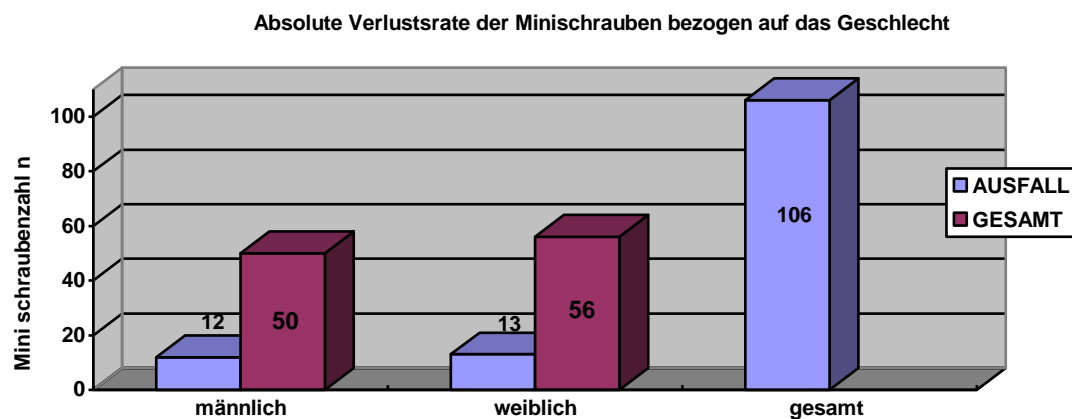


Abb. 4.1.5: Absolute Verlustraten der Minischrauben bezogen auf das Geschlecht

Da der Verlust der Minipins auch mit der Indikation zusammenhängen kann, wurde die Verlustrate bezüglich der Indikationsstellung ausgewertet. Die Häufigkeiten für die jeweilige Indikation sind in der Abbildung 4.1.6 wiedergegeben. Die Schrauben wurden überwiegend (n=32) zum Mesialisieren von unteren Seitenzähnen verwendet. Extrudieren der Seitenzähne war mit 14 Kortikalisschrauben weniger häufig.

Häufigkeiten der Indikationen

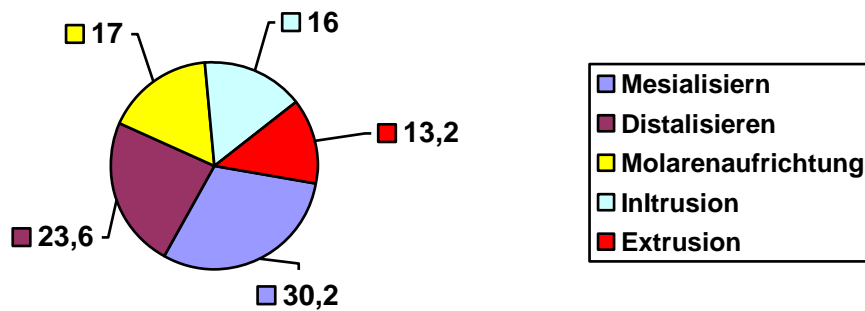


Abb. 4.1.6: Häufigkeiten der therapeutischen Indikationen

Bezüglich der Indikationsstellung wurden die Verlustraten von den Minipins in der Abbildung 4.1.7 analysiert. Die Auswertung ergab, dass 7,5 % (n=8) von insgesamt 106 inserierten Minischrauben bei der therapeutischen Aufgabe Mesialisieren verloren gingen. 5,6 % (n=6) der Schrauben gingen während der Distalisierungsphase verloren, 2,8 % (n=3) bei der Aufrichtung von Molaren, 5,6 % (n=6) bei der Intrusion und bei 1,9 % (n=2) Minischrauben während der Extrusion von Zähnen verloren.

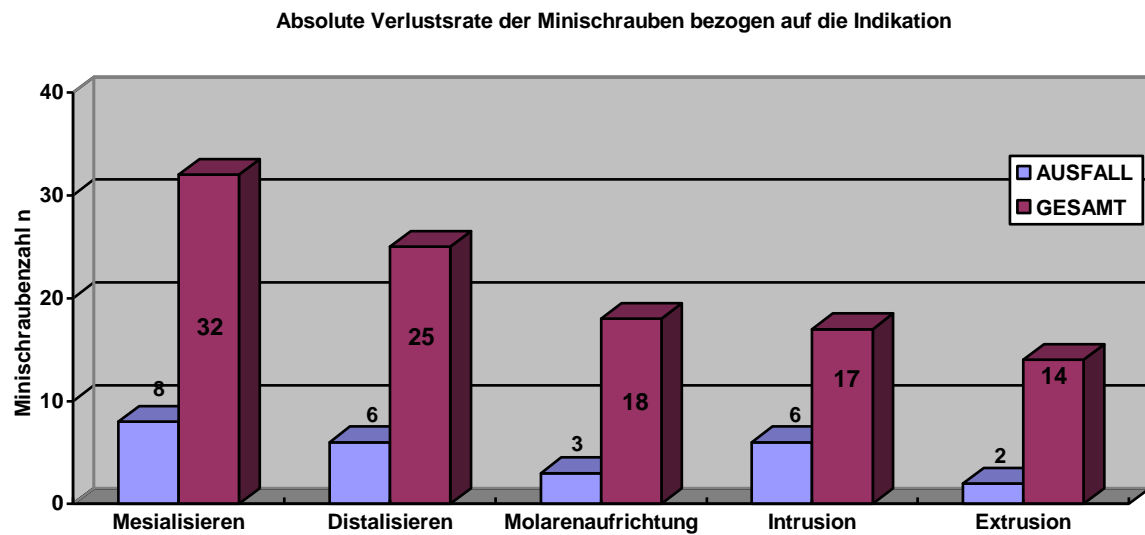


Abb. 4.1.7: Absolute Verlustraten der Minischrauben bezogen auf die Indikation

Nach der Beendigung der primären Behandlungsaufgabe wurden 68,5 % (n=73) der Minipins in situ belassen und für die eventuell anfallenden Feinkorrektur an den Zahnreihen verwendet.

4.2 Komplikationen bei der Insertion von Minischrauben

Anhand der Patientendaten wurde bei der Insertion von Kortikalisschrauben nur ein Fall dokumentiert, bei dem die Wurzel eines Zahnes perforiert bzw. tangiert wurde. Es handelte sich um die distale Wurzel des Zahnes 27 bei der Implantation vestibulär in Regio 27. Die Minischraube wurde unmittelbar danach explantiert als der Operateur einen deutlich erhöhten Widerstand bei der Bohrung merkte. Es erfolgte die Reimplantation krestal in Regio 28 in der gleichen Sitzung. Bei einem Recalltermin konnte der Patient über keine nennenswerten Schmerzen in der betreffenden Region berichten.

Bei der Explantation von Minischrauben ergaben sich keine Komplikationen (z.B. Schraubenbruch).

4.3 Komplikationen im Rahmen der Behandlung

Es wurde zwischen drei Arten von Komplikationen unterschieden: Entzündung in der Umgebung des Minipins, Lockerung des Minipins und Perforation einer Zahnwurzel.

Insgesamt gab es bei 67 % (n=71) der Fälle keine Komplikationen. Bei 19,8 % (n=21) der Untersuchten trat eine Mukositis auf, bei 12,3 % (n=13) kam es zur Lockerung der Kortikalisschraube, in einem weiteren Fall trat eine Tangierung der Wurzel (n=1) auf (vgl. Abbildung 4.3.1).

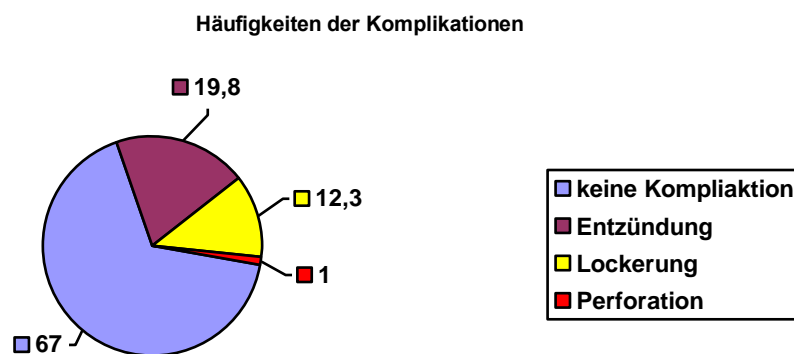


Abb. 4.3.1: Häufigkeiten der aufgetretenen Komplikationen

Jedoch führte nicht jede Komplikation zwingend zum Ausfall der Minischraube (vgl. Abbildung 4.3.2). Wenn es nicht gelang die Entzündung dauerhaft zu beseitigen bzw. die mobil gewordenen Kortikalisschrauben weiterhin zuverlässig kieferorthopädisch zu belasten, kam es in den meisten Fällen (n= 24) zu einem Verlust. Gelang es die entzündungsfreien Verhältnisse wiederherzustellen oder erlaubte die geringfügige Lockerung der Minischraube ihre weitere Verwendung (beispielsweise kurz vor dem Abschluss der Behandlung), so konnte die Kortikalisschraube wieder verwendet werden.

Anhand der Patientendaten wurde festgestellt, dass bei dem Auftreten einer Mukositis oder Entzündung im Gebiet des Schraubenkopfes 66,6 % (n=14) der insgesamt 21 der von der Mukositis betroffenen Minischrauben verloren gingen, d.h.

33,3 % der aufgetretenen Entzündungen heilten entweder spontan aus (n=2) oder konnten erfolgreich therapiert werden (n=5), bei der festgestellten Mobilität der Minischrauben betrug die Verlustrate 76,9 % (n=10) bei insgesamt 13 mobil gewordenen Minipins, dabei hatten drei Minipins ihre therapeutische Aufgaben bereits erfüllt und sind deshalb als erfolgreich eingestuft worden.

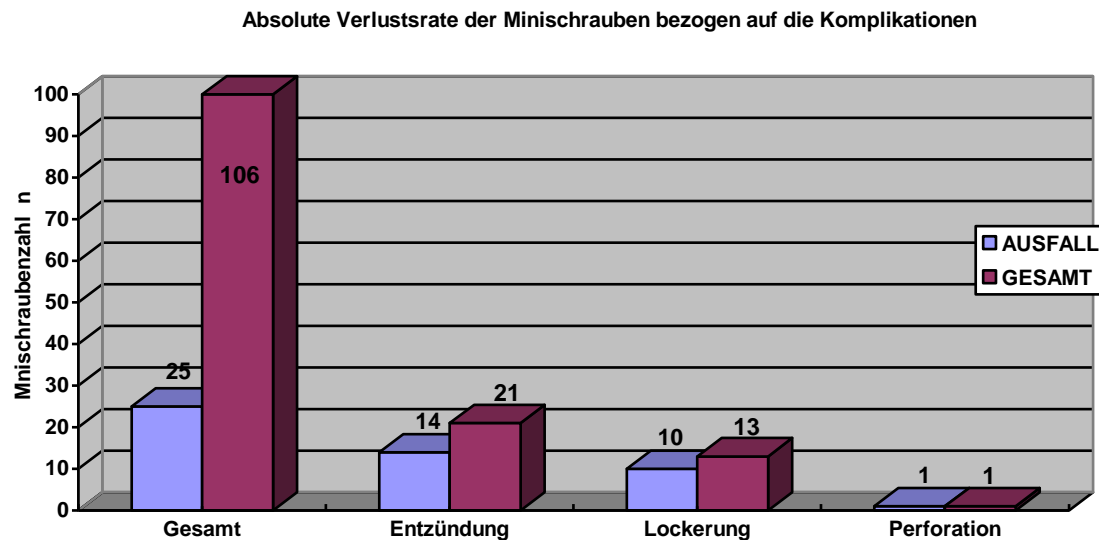


Abb. 4.3.2: Absolute Verlustraten der Minischrauben bezogen auf die Komplikation

Das Analysieren des Zeitpunktes des Verlustes der Minischrauben ergab, dass 5 von der insgesamt 14 in den Karteikarten festgehaltenen Entzündungen, die zum Verlust führten, in einem Zeitraum von bis zwei Wochen nach der Insertion auftraten, bei sechs Fällen trat die Entzündung binnen sechs Monate nach Insertion der Minischraube auf.

Die Mobilität der Minischrauben, die zum Verlust derjenigen führte, wurde in 7 von 10 Fällen nach einer Zeitspanne von vier Monaten nach Implantation, bei drei Fällen erst nach neun Monaten festgestellt.

Bei dem männlichen Geschlecht lag die Komplikationsrate mit 31 % (n=9) insgesamt leicht höher als bei dem weiblichen Geschlecht mit 24,2 % (n=8). Der Parameter Wurzelf perforation ist in dieser Statistik nicht mitbegriffen, da er nicht geschlechtsspezifisch ist (vgl. Abbildung 4.1.5).

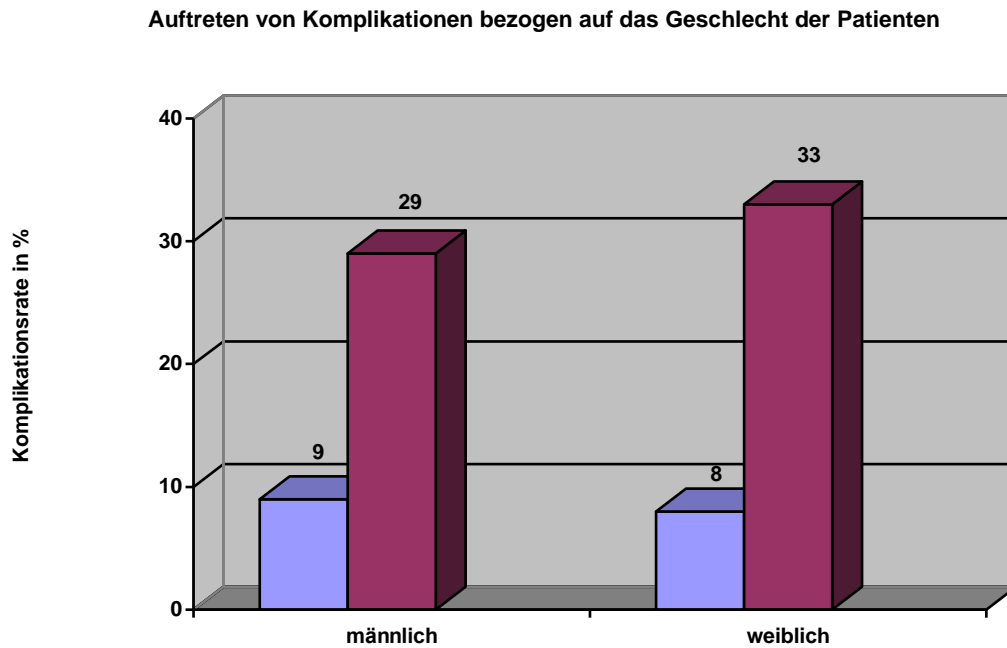


Abb. 4.3.3: Auftreten von Komplikationen bei Minischrauben in Abhängigkeit vom Geschlecht in %

Abbildung 4.3.4 zeigt das Auftreten von Komplikationen in Abhängigkeit vom Alter der Patienten. Es ergab sich, dass Entzündungen und Mobilität der Minischrauben bei allen untersuchten Altersgruppen etwa mit gleicher Häufigkeit auftraten. Eine Geschlechterspezifität in Bezug auf die Verlustrate der Minipins lies sich nicht nachweisen.

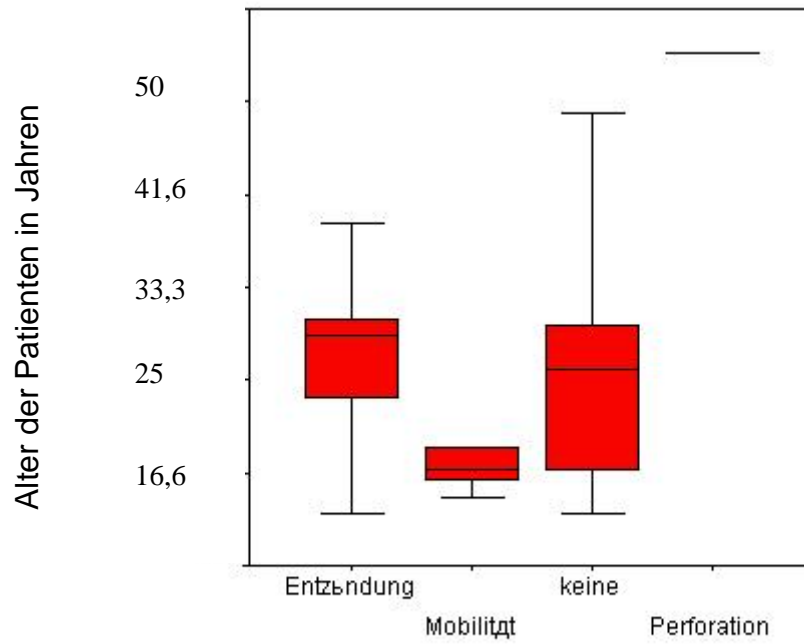


Abb. 4.3.4: Auftreten von Komplikationen in Abhängigkeit vom Alter der Patienten

4.4 Kaplan-Meier Überlebensdiagramm

Das Kaplan-Meier Überlebensdiagramm (vgl. Abbildung 4.4.1) stellt die gesamte Überlebensdauer aller Kortikalisschrauben dar. Ausgewertet wurde der zeitliche Abstand entweder bis zum Verlust der Minischraube oder bis zur planmäßigen Explantation oder bis zum letzten Kontrolltermin, wobei der Termin später als in zwölf Monaten nach Implantation gelegen haben musste. Die Auswertung ergab eine kumulative Überlebensrate von 76,4 %. Auffallend dabei ist die Tatsache, dass die Überlebensfunktion zwei deutliche Stufen aufweist, die entsprechend bei einem und drei Monaten liegen. Das spiegelt wiederum die für das Überleben der Minipins kritischen Zeitabschnitte wieder.

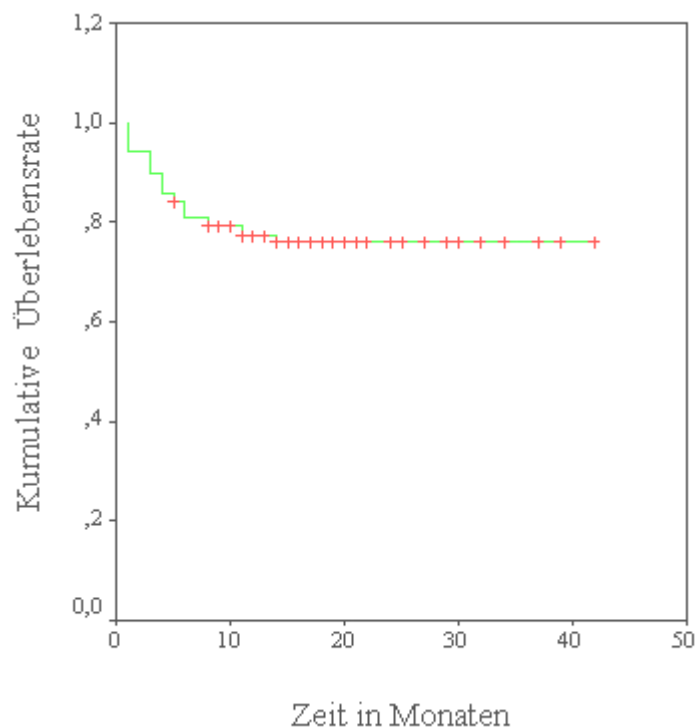


Abb. 4.4.1: Kumulative Überlebensrate aller Minischrauben

Das nachfolgende Kaplan-Meier Diagramm (vgl. Abbildung 4.4.2) veranschaulicht die Überlebensraten der Minischrauben in Bezug auf ihre Lage. Die Kortikalisschraube, die bei der Insertion eine Wurzelf perforation verursachte, ist in dieser Statistik nicht mitbegriffen, da sie direkt wieder explantiert wurde und somit die zeitliche Komponente nicht beeinflusst. Aus dem Diagramm wird ersichtlich, dass elf von

dreizehn krestal implantierten Minischrauben über einen Zeitraum von zwei Jahren in situ blieben, während von den vestibulär implantierten 77,3 % (n=88) die Zeitgrenze von zwei Jahren überlebten. Die vier Minipins die palatinal inseriert wurden zeigten eine Überlebensrate von 1,9 % (n=2) über den Zeitraum von 20 Monaten. Die einzige lingual im Unterkiefer gesetzte Minischraube ging innerhalb eines Monats nach der Insertion verloren. Es muss jedoch betont werden, dass die palatinal und lingual inserierten Minipins eine geringe Anzahl aufweisen und sich daher nicht mit Sicherheit statistisch auswerten lassen.

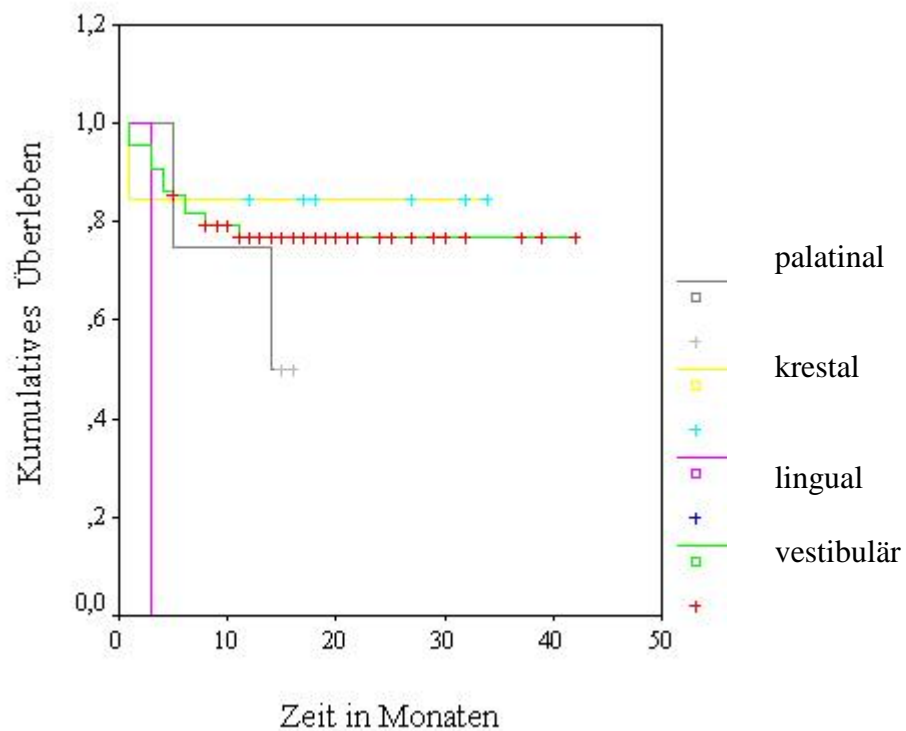


Abbildung 4.4.2: Kumulative Überlebensrate der Minischrauben bezogen auf ihre Lage

Das Kaplan-Meier Diagramm in der Abbildung 4.4.3 zeigt die Überlebensrate der Minipins in Abhängigkeit von der Qualität der Schleimhaut. Bei der Insertion in die bewegliche Schleimhaut zeigten 20,8 % (n=22) der Minipins genügend Stabilität über einen Zeitraum von zwei Jahren, bei der unbeweglichen Schleimhaut waren es 67,9 % (n=72). 7,5 % (n=8) der Minischrauben an der Grenze zwischen beweglichen und unbeweglichen Schleimhaut blieben stabil nach 30 Monate der Therapie, und 3,8 % (n=4) der in die palatinal Schleimhaut inserierten Minipins überlebten eine Zeitspanne von 20 Monaten.

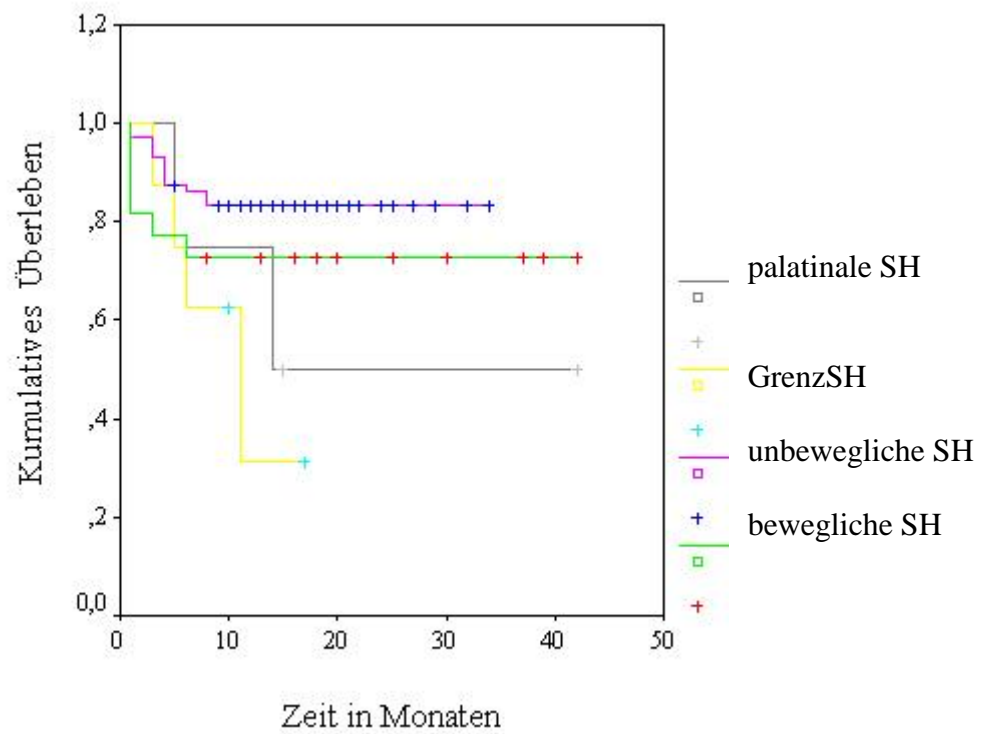


Abbildung 4.4.3: Kumulative Überlebensrate der Minischrauben bezogen auf die Qualität der Schleimhaut.

5. Diskussion

Die Verwendung von Kortikalisschrauben zu kieferorthopädischen Verankerungszwecken ist weit verbreitet. Während es in der Vergangenheit häufig keine Alternativen zu herausnehmbaren Plattenapparaturen, Delairemasken und Headgear-Typen als Verankerungselemente gab (Carano et al. 2005, Cope 2005), greift nun die moderne Kieferorthopädie gegenwärtig immer häufiger zum Einsatz von skelettalen Verankerungselementen wie beispielsweise Kortikalisschrauben oder Gaumenimplantaten, die von der Patientenkooperation weitgehend entkoppelt sind (Berens et al. 2006, Büchter et al. 2005, Kyung et al. 2003, Park et al. 2003, Wehrbein et al. 1996, Wehrbein, Jung und Kunkel 2008, Wiechmann et al. 2007). Diese Tendenz lässt sich unter anderem anhand der stetig ansteigenden Anzahl der Publikationen zum Thema „Kieferorthopädische Verankerung mittels Minischrauben“ veranschaulichen (siehe auch dazu Abb. 2.1).

Nach *Melsen* (2005) bestehen noch viele Differenzen hinsichtlich der Eigenschaften und Applikationsart der zu verwendeten Minipins. In der im Jahre 2006 von *Feldmann* und *Bondemark* erschienenen Übersichtsarbeit zum Thema „skelettale Verankerung“, in der 494 Publikationen ausgewertet wurden, kommen diese Kontroversen statistisch untermauert zum Ausdruck. Die Autoren konnten zeigen, dass es kein einheitliches Insertionsprotokoll gibt, so zum Beispiel werden Minipins sowohl direkt durch die Schleimhaut als auch mit Zuhilfenahme von Schleimhautinzisionen durchgeführt. Die angewendeten orthodontischen Kräfte variieren zum Teil auch erheblich. Es bestehen auch große Unterschiede im Bezug auf die technischen Charakteristika und Designs von Kortikalisschrauben. Folglich resultieren unterschiedliche Angaben zu den Überlebensraten der Minischrauben, die sich von 0 (linguale Position, Ø1,2 mm Dual Top Screw, Jeil Medical, Korea Berens et al. 2006) bis zu 100 % einpendeln (labiale Position im Unterkiefer, Ø1,5 mm Dual Top Screw, Jeil Medical, Korea, Berens et al. 2006, Mah et al. 2005). Eine Erfolgsquote von circa 90% wird jedoch gegenwärtig von den meisten Autoren angegeben (Berens et al. 2005, Berens et al. 2006, Kuroda et al. 2007, Park et al. 2004, Tseng et al. 2006, Wiechmann et al. 2007). Eine ähnliche Überlebensrate

findet sich in der vorliegenden Studie. Weitgehende Übereinstimmung konnte jedoch bei dem Parameter Zeitpunkt der Belastung gefunden werden. So ziehen die meisten Autoren die sofortige Belastung der Minischrauben vor, weil es keinen statistischen Unterschied hinsichtlich der Besserung der Überlebensraten zu einer Belastung zu einem späteren Zeitpunkt gibt (Berens et al. 2005a, Deguchi et al. 2003, Favero et al. 2002, Kim et al. 2008, Melsen et al. 2000, Melsen et al. 2001, Ohmae et al. 2001). Auch in der vorliegenden Studie wurden die Minipins nach der Überprüfung der Primärstabilität weitgehend sofort belastet.

Die Durchmesser und Längen der Kortikalisschrauben sind aber nicht die einzigen limitierenden Faktoren, die für das Überleben der Minischrauben verantwortlich gemacht werden können (Huang et al. 2005). Es wurde wiederholt über den Zusammenhang zwischen Überlebensrate der Minipins und Geschlecht, Alter, Indikationsstellung, verwendeten orthodontischen Kräften und Qualität der Schleimhaut in Studien berichtet (Berens et al. 2005a, Büchter et al. 2005b, Fritz et al. 2004, Maino et al. 2003, Präger et al. 2003).

Wiechmann et al. gaben in ihrer Studie von 2007 eine durchschnittliche Verlustrate für Minipins des Herstellers Abso Anchor mit 30 % an. Diese relativ hohe Verlustrate begründete er mit der Verwendung von Minischrauben, die 1,1 mm Durchmesser besaßen. Die kumulative Überlebensrate war signifikant höher im Ober- als im Unterkiefer, bei bukkal inserierten Minipins höher als bei lingual inserierten. Die Länge der Kortikalisschrauben schien in der Studie keine signifikante Auswirkung auf die Überlebensrate zu besitzen.

Der Durchmesser von 1,2 mm präsentierte sich als unzureichend auch in der Studie von *Chen* et al. im Jahre 2007, die unter anderem die Minipins des Herstellers Absoanchors (Dentos, Daegu, Korea) untersuchte. Die kumulative Überlebensrate der Minischrauben mit diesem Durchmesser belief sich auf 77,4%.

Im Allgemeinen wird von der Verwendung der Minipins mit Durchmesser unter 1,2 mm aufgrund der Bruchgefahr während des Ein- und Ausdrehens abgeraten (Miyawaki et al. 2003, Mah et al. 2005). Gleichzeitig zeigten *Berens* et al. im Jahr 2006 beim klinischen Vergleich zweier Minischraubensysteme der Hersteller Dual

Top Anchor Screw (JeilMedical, Seoul, Korea) und der Absoanchor (Dentos, Taegu, Korea) eine Abhängigkeit der Verlustrate von Insertionsort, Schraubendurchmesser und -länge. Im vestibulären Unterkieferbereich zeigten die Minischrauben mit einem Durchmesser von 2,0 mm und im vestibulären Bereich des Oberkiefers die Schrauben mit dem Durchmesser von 1,3 mm die geringsten Verlusten. Eine Schraubenlänge von 10 mm erzielte im Oberkiefer bessere Ergebnisse als die 8 mm lange Schraube. Im Gegensatz zu *Berens et al.* konnten *Miyawaki et al.* im Jahr 2003 bei der Untersuchung der Kortikalisschrauben des Herstellers Absoanchor (Dentos, Taegu, Korea) keine Korrelation zwischen der Länge der Minischraube und der Erfolgsrate zeigen. Allerdings wurde in dieser Studie ein geringer Durchmesser der Minipins, die in Regionen mit dünner Kortikalisschicht inseriert wurden, mit höheren Verlusten in Verbindung gebracht, so gingen alle zehn Minischrauben mit 1,0 mm Durchmesser verloren, wohingegen die Minipins mit 1,5 bzw. 2,0 mm Durchmesser eine Erfolgsrate von 83,9 bzw. 85% zeigten. *Miyawaki* empfiehlt bei Arealen mit dünner Kortikalisschicht sich für Minischrauben mit größerem Durchmesser ($\geq 1,5$ mm) zu entscheiden (*Miyawaki et al. 2003*). Ähnlich sieht das *Melsen (2005)* in seiner Studie und empfiehlt die Verwendung von Kortikalisschrauben mit Durchmesser größer als 1,2 mm in Regionen mit geringer Knochendichte und bei Kortikalisschichten, die dünner als 0,5 mm sind. *Fritz et al.* und *Lin et al.* empfehlen aufgrund des dünnen kortikalen Knochens im Oberkiefer grundsätzlich auf die Pilotbohrung zu verzichten (*Fritz et al. 2003, Lin et al. 2003*).

In der vorliegenden Studie wurden Kortikalisschrauben mit Durchmesser von 1,5 bis 2 mm und Längen zwischen 6 und 12 mm verwendet, die sich mit der kumulativen Erfolgsrate von 76,4 % durchaus als geeignet für kieferorthopädische Verankerungszwecke präsentieren konnten.

Im Allgemeinen ist es so, dass im Laufe der Zeit die Überlebensrate der Minipins sich ständig verbessert hat. In vielen Studien (*Costa et al. 1998, Bae et al. 2002, Kanomi 1997, Maino et al. 2003, Gray et al. 1983, Park et al. 2001, Park 2003*) präsentieren die Autoren die Verlusten, die zwischen 0 und 5,5 % liegen. Das hängt einerseits damit zusammen, dass in den letzten Jahren die Anzahl der tierexperimentell ausgerichteten Studien beträchtlich gestiegen ist (*Ohmae et al. 2001, Saito et al. 1998, Saito et al. 2000*), andererseits kommt man immer mehr in den Genuss von

Erfahrungen, die auf einer großen Anzahl klinischer Untersuchungen basieren. So wird es für den Kieferorthopäden zunehmend möglich, sich auf die Erkenntnisse der Untersuchungen stützend, die Behandlung der Patienten mit Minischrauben derartig zu verändern, dass die Überlebensrate beinahe 100 % erreicht.

Im Rahmen der vorliegenden deskriptiven Studie wurden 106 Kortikalisschrauben bei 62 Patienten untersucht. Entscheidend für die Auswahl eines Patienten war die Indikationsstellung. Es zeigte sich eine Erfolgsrate von 76,4 % (n=77). Dabei wurde als Misserfolg ein vorzeitiger Verlust des Minipins angesehen. Somit betrug die Verlustrate 23,4 % (n=25). Die Minischrauben, die im Laufe der kieferorthopädischen Behandlung Reizungen im Bereich der Schleimhaut verursachten, aber dennoch nicht verloren gingen, fielen nicht darunter.

Bei der Einzelbetrachtung der 106 Minipins gab es bei 71 Kortikalisschrauben keine Komplikationen. Die häufigste Komplikation war das Ereignis „Mukositis“ in der Umgebung des Minipins mit 19,8 % (n=21), gefolgt von Lockerung mit 12,3 %, die bei dreizehn Minischrauben beobachtet wurde. Perforation einer Zahnwurzel ist in einem einzigen Fall aufgetreten und ist in der Verlustratenstatistik nicht enthalten, da sie dem Operateur sofort aufgefallen ist und es im Rahmen der gleichen Operation zu einer Reimplantation kam.

Entzündungen im Bereich des Schraubenkopfes scheinen die häufigste Verlustursache von Minischrauben zu sein, was auch andere Studien (Berens et al. 2006, Garfinkle et al. 2008) belegen. Unsere Untersuchung zeigte, dass 66,6 % (n=21) der von der Entzündung betroffenen Minipins aufgrund der von ihnen verursachten Schmerzen bzw. Mobilität verloren gingen, die restlichen Minischrauben konnten aber durch das Anregen des Patienten zur besseren Mundhygiene und Spülung mit Chlorhexidinlösung gerettet werden. Auch *Kravitz* und *Kusnoto* (2007) fanden in ihrer Untersuchung eine mit über 30 % höhere Verlustrate für die Minischrauben mit entzündeten periimplantären Verhältnissen. Betrachtet man das Auftreten der Entzündung auf der Zeitachse, so ergibt sich ein Gipfel bei zwei Wochen nach Insertion. Auch diese Tatsache findet sich bei anderen Autoren wieder (Miyawaki et al. 2003). Aus diesem Grunde empfehlen einige Autoren ein zweiwöchiges Abwarten der Heilung nach Implantation (Murray et al. 2005). Wie

Melsen und *Fortini* tendieren sowohl die meisten Autoren als auch Hersteller von Minischrauben jedoch zu Sofortbelastung mit Kräften zwischen 50 und 100 g, die es erlauben die Mikrofrakturen des umgebenden Knochens zu vermeiden und gleichzeitig durch gefördertes Remodelling seine Festigkeit zu erhöhen (*Melsen* 2005, *Daimaruya et al.* 2001, *Dalstra et al.* 2004, *Fortini et al.* 2004). Auch uns erscheint die sofortige kieferorthopädische Belastung als sinnvoll, entzündungsfreie Mundhöhlenverhältnisse und Compliance des Patienten vorausgesetzt. Sollte es aber zu einer Entzündung zu einem späteren Zeitpunkt kommen, empfiehlt sich ein engmaschigeres Recall, Spülung mit Chlorhexidinlösung und Remotivation des Patienten zu einer besseren Mundhygiene besonders in der Umgebung von Minischrauben. Einige Autoren, wie zum Beispiel *Chen et al.* (2007) empfehlen bei solchen Fällen Antibiotikagabe und Auftragen von entzündungshemmenden Salben. Allerdings erscheint gerade die Medikation in Form einer Antibiose im Anbetracht der möglichen Resistenzenbildung als fragwürdig und unter dem Aspekt des Nutzen-Risiko-Verhältnisses für den Patienten nicht adäquat.

Bei der Analyse der Verlustursachen war in unserer Studie die Entzündung im Gebiet des Schraubenkopfes dicht von der Lockerung der Minischrauben gefolgt. Die Mobilität manifestierte sich bei insgesamt dreizehn Minipins, 76,9 % davon (n=10) mussten explantiert werden, weil sie der orthodontischen Belastung nicht mehr standhalten konnten und es folglich zu einem Verankerungsverlust kam. Zwei Kortikalisschrauben zeigten sich mobil erst nach der Beendigung ihrer primären Aufgabe, so wurde deren Verlust zwar in der Karteikarte registriert, trug aber nicht zu einer Erhöhung der kumulativen Verlustrate bei. In unserer Untersuchung wurden die Minischrauben mit erhöhter Mobilität explantiert, da davon ausgegangen wurde, dass ein unwiderrufflicher Verankerungsverlust eingetreten ist und ihre weitere Verwendung nicht sinnvoll war. Dieser Standpunkt wird in der Literatur jedoch kontrovers diskutiert. So berichten einige Autoren über die teilweise Erhöhung der Stabilität der Minischrauben nach dem die einwirkenden kieferorthopädischen Kräfte für eine Zeit von zwei bzw. drei Wochen entweder ganz aufgehoben oder erheblich reduziert worden sind (*Park et al.* 2006, *Ivanoff et al.* 1997, *Esposito et al.* 1999). Im Lichte dieser Untersuchungen erscheint es sinnvoll das Verhalten der unter kieferorthopädischen Kräften instabil gewordenen Minipins im Rahmen der nachfolgenden Studien genauer zu erforschen. Allerdings erscheint uns diese

Annahme wenig plausibel, da bei vorhandener Mobilität der Minipins diese nicht mehr ausreichend kieferorthopädisch belastet werden können und somit ihre Aufgabe nicht erfüllen können.

Perforation der Zahnwurzeln ist eine relativ gesehen häufige Komplikation bei der Insertion der Minischrauben (Kadioglu et al. 2008). Eine dreidimensionale röntgenologische Operationsplanung mittels CT oder DVT, wie sie beispielsweise von *Park* und *Chen* üblicherweise durchgeführt wird, würde das Risiko der Wurzeltangierung reduzieren. Ob die Insertion einer Kortikalisschraube zu kieferorthopädischen Verankerungszwecken eine zusätzliche Strahlenbelastung rechtfertigt, ist nicht belegt. Allerdings erscheint die Strahlenexposition des Patienten angesichts der minimalen lokalen Schäden, hervorgerufen durch die Perforation, unangemessen hoch. Auch der Informationsgehalt der dreidimensionalen Aufnahmen übersteigt nicht wesentlich den, der traditionellen Aufnahmen wie FRS und OPG, die für die Therapieplanung unabdingbar sind und in der Regel bereits vorhanden sind. Im Allgemeinen merkt der Operateur die drohende Perforation durch den plötzlich erhöhten Widerstand beim Eindrehen der Schraube oder durch die unter Lokalanästhesie unüblichen schmerzhaften Ereignissen, die der Patient unter Umständen angibt (Kravitz et al. 2001, Kyung et al. 2003). Sollte es zu einer Perforation der Zahnwurzel gekommen sein, so ist die Minischraube zu explantieren und an einer anderen Stelle zu inserieren. Mehrfach konnte gezeigt werden, dass die Strukturen des parodontalen Ligaments in der Lage sind sich nach einer Wurzelperforation vollständig zu regenerieren (Asscherickx et al. 2005, Chen et al. 2007, Kuroda et al. 2007). Die Tatsache, dass ein Tangieren der Zahnwurzel durch eine Minischraube keine langbleibenden Schäden an dem parodontalen Ligament hinterlässt, erübrigt allerdings nicht eine sorgfältige klinische und röntgenologische Planung der Implantation durch den Oralchirurgen. Daraus folgt, dass zusätzliche röntgenologische Aufnahmen in Form von dreidimensionalen Bildern (CT und DVT) nicht zu empfehlen sind und die Strahlenexposition des Patienten unnötig erhöhen würden.

Eine eher theoretisch gefürchtete Komplikation beim Einbringen der Minischrauben ist die mögliche Verletzung der Nerven. In der Literatur ist bisher eine solche Komplikation bei Verwendung von Kortikalisschrauben nicht beschrieben worden.

Auch in dieser Untersuchung ist in keinem Fall zu einer besagten Verletzung gekommen. Denkbar sind allerdings Verletzungen der Nn. palatini majores et minores bei Implantation palatinal im Molarenbereich im Oberkiefer, des Nervus incisivus bei der medialen Implantation im Oberkiefer und des Nervus alveolaris inferior beim Einbringen der Minipins im Molarenbereich des Unterkiefers. Kommt es zu Verletzung der Gesichtsnerven, so macht sich das in sensorischen Ausfällen ihrer Versorgungsgebiete bemerkbar, die, wenn sie über sechs Monate andauern eine pharmakologische, mikrochirurgische oder Lasertherapie benötigen (Ozen et al. 2006). Aus diesem Grunde sind klinische und röntgenologische Dokumentation und gute Kenntnisse der topografischen Gegebenheiten unter Berücksichtigung der möglichen ethnischen Unterschiede unabdingbar für eine gelungene Implantation (Jaffar et al. 2003, Wang et al. 1988).

Bei der Betrachtung der Überlebensraten der Minischrauben bezogen auf den Ort der Insertion fällt auf, dass die palatinal bzw. lingual gesetzten Schrauben erheblich schlechtere Erfolge zeigten. So gingen zwei von vier palatinal inserierten und die einzige lingual im Unterkiefer inserierte Schraube verloren. Das kann im Unterkiefer durch die schwierige Insertion der Schrauben, die den Einsatz von sehr kurzen Schraubendrehern oder Winkelschraubendrehern benötigen, erklärt werden. Im Oberkiefer kann die relativ hohe Verlustrate einerseits mit der Dicke der palatinalen Mukosa, die zum Teil 5 mm dick sein kann und zwangsläufig einen längeren Hebelarm bildet, der als entscheidender Faktor für Schraubenverlust angesehen werden kann (Büchter et al. 2005), und andererseits der spongiösen Qualität des Knochens in Verbindung gebracht werden. Die Beeinflussung durch die Zunge spielt sowohl im Unter- als auch im Oberkiefer eine große Rolle. Zu den ähnlichen Ergebnissen kommen auch *Berens* et al. (2005, 2006) in ihren Untersuchungen. Die geringsten Verlustraten finden sie bei Minipins, die vestibulär im Oberkiefer inseriert waren (5,1 % Absoanchor, Dentos, Daegu, Korea). Sie empfehlen unter anderem angesichts der nahezu hundertprozentigen Misserfolge (100 % Dual Top, JeilMedical, Seoul, Korea und 76,9 % Absoanchor) von der Implantation lingual im Unterkiefer abzusehen. Diese Erkenntnisse korrelieren mit Ergebnissen unserer Studie, die bei der vestibulären Insertion Verlustraten von 19 % (n=4) für Oberkiefer und 23,9 % (n=16) für Unterkiefer feststellen konnte. Insgesamt verlief die Behandlung im Unterkiefer mit 23,3 % (n=17) Verlustrate ähnlich wie im Oberkiefer

mit 24,2 % (n=8). Auch *Park* (2003) gab in seiner Studie über Kortikalisschrauben des Herstellers Absoanchor eine Erfolgsrate für vestibulär im Oberkiefer inserierten Minischrauben mit 94,6 % an. In Anlehnung an *Miyawaki* et al. (2003) kann man bei Arealen mit dünner Kortikalisschicht die Verwendung von Minischrauben mit größerem Durchmesser empfehlen, da der mechanische Kontakt zwischen Kortikalisschraube und kortikalem Knochen als wichtiger Faktor für die Primärstabilität angesehen wird.

Ein wichtiger Parameter in Bezug auf die Überlebensrate der Minischraube scheint die Schleimhaut zu sein. So sollte die Implantation nach *Motoyoshi* et al. (2006) und *Miyawaki* et al. (2003) im Bereich der befestigten Gingiva erfolgen um den permanenten Zug auf das Weichgewebe und den damit verbundenen Bakterieneintritt zu vermeiden. Sollte das nicht möglich sein, so empfehlen *Melsen* (2005) und *Costa* et al. (1998) in ihren Publikationen den Schraubenkopf unter das Schleimhautniveau zu platzieren und eine Feder bzw. Ligatur durch die Mukosa zum Zahnbogen zu führen. *Schnelle* et al. (2004) konnten anhand der Auswertung mehrerer radiologischer Aufnahmen zeigen, dass das größte Platzangebot zur interradikulären Implantation sich gerade im Bereich der unbefestigten Gingiva befindet. In der vorliegenden Studie zeigte die Implantation in die befestigte Gingiva mit 83,3 % (n=72) bessere Überlebensraten als die Implantation in die unbefestigte Gingiva mit 62,3 % (n=22). Anlehnend an die Erkenntnisse aus der konventionellen Implantologie erscheint die Implantation in die befestigte Gingiva vorteilhafter. Auch unter dem Gesichtspunkt der Patientenzufriedenheit sollte die Implantation in die bewegliche Schleimhaut vermieden werden um die Schleimhautirritationen zu minimieren und somit Patientendiskomfort möglichst zu reduzieren.

Auch die Annahme von *Park* et al. (2006), dass bei Rechtshänder, die die Mehrheit der Menschen darstellen, die linke Seite bessere Erfolgsrate zeigen würde, da sie für die Mundhygiene besser zugänglich ist, lässt sich nach unseren Erkenntnissen nicht bestätigen.

Kuroda et al. analysierte im Jahr 2007 die Abhängigkeit der Indikationsstellung von der Erfolgsrate und stellte dabei fest, dass die Intrusion von Zähnen als Therapieziel mit der höchsten Schraubenverlusten von 40 % einherging. Diese Erkenntnis konnte

durch unsere Untersuchung bestätigt werden. Die erhöhten Verlustraten könnten durch den hohen Widerstand des Knochens bei Intrusion erklärt werden. Die Überlebensraten unterschieden sich bei anderen Aufgabenstellungen nur unwesentlich.

In der vorliegenden Dissertation konnten aber nicht alle Faktoren (zum Beispiel Raucher, Mundhygiene), die für das Überleben der Minischrauben von Bedeutung sein können miterfasst werden. Auch die Zufriedenheit der Patienten wurde nicht abgefragt.

Unzweifelhaft werden die Diskussionen im Bereich der absoluten Verankerung mittels Minischrauben weiter bestehen und es wird sicherlich weiterhin in den Studien nach Möglichkeiten gesucht, um die Behandlung mit Minipins weiter zu optimieren.

6. Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wurden die Behandlungsergebnisse von Patienten, die in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz im Zeitraum vom März 2003 bis August 2008 eine Therapie mit Einsatz von Minischrauben erfahren haben, erfasst und mit den Literaturergebnissen verglichen. Die Untersuchung erfolgte vor allem im Hinblick auf die Faktoren, die das Auftreten von Komplikationen begünstigten. Insgesamt handelte es dabei um eine Nachuntersuchung von 106 Minipins bei 62 Patienten (29 Männer und 33 Frauen) mit einer Altersspanne von 13 bis 61 Jahren.

Insgesamt zeigte diese Untersuchung, dass zu 76,4 % (n=77) die Behandlung mit Minischrauben erfolgreich verlaufen war. In 67 % (n=71) konnten keine Komplikationen festgestellt werden. Misserfolge, die zum Verlust der Minipins führten wie Mukositis, Lockerung oder Wurzelf perforation, stellten sich in 23,7 % (n=25) der Fälle ein. Dabei gingen beim Auftreten von Mukositis 9 von 14 (66,6 %), bei der Lockerung der Minischrauben 8 von 10 (76,9 %) der Minischrauben vor dem Abschluss der Behandlung verloren. Eine Wurzelf perforation trat in einem Fall auf. Die Ereignisse Mukositis und Lockerung des Minipins stellten sich als wichtigste Kriterien in Bezug auf das Überleben der Minischrauben heraus.

Es stellte sich weiterhin dar, dass die einzige lingual im Unterkiefer implantierte Schraube verloren ging. Implantation palatinal im Oberkiefer führte in zwei von vier Fällen zum Verlust. Eine Perforation der Zahnwurzel kam in einem einzigen Fall vor und hatte keine gravierenden Komplikationen verursacht.

Die Sofortbelastung der kieferorthopädischen Kortikalisschrauben erscheint im Lichte der herausgefundenen hohen Überlebensraten als praktikables Belastungskonzept zu sein.

Die Verlustraten bei der vestibulären Implantation betragen 3,8 % (n=4) für den Oberkiefer und 15,1 % (n=16) für den Unterkiefer.

Ein Unterschied konnte bei dem Parameter Qualität der Schleimhaut gefunden werden. So zeigten sich in dieser Untersuchung bei der Implantation in befestigte bzw. unbefestigte Mukosa Differenzen bei der Betrachtung der Überlebensrate mit 83,3 % (n=72) und 62,3 % (n=22) entsprechend. Folglich war die Insertion in die befestigte keratinisierte Gingiva war deutlich mit geringeren Komplikationen behaftet.

7. Schlussfolgerungen

Der Durchmesser und Längen der Kortikalisschrauben, Insertionsort und Qualität der umliegenden Schleimhaut können die Überlebensraten von Minipins beeinflussen.

Um Misserfolge zu vermeiden, empfiehlt sich daher die Auswahl der Kortikalisschrauben mit einem ausreichenden Durchmesser ($\geq 1,5$ mm). In Regionen mit dicker Schleimhautschicht sollen längere Minipins (≥ 10 mm) ausgewählt werden um ausreichende Primärstabilität im Knochen zu gewährleisten. Angesichts der hohen Verlustraten soll Implantation lingual im Unterkiefer generell vermieden werden.

Um die Irritationen der Schleimhaut zu vermeiden, soll in die befestigte Gingiva implantiert werden.

Beim Auftreten von Mobilität der Kortikalisschrauben sollen diese entfernt werden. Die auftretenden Mukosiden können hingegen ausheilen ohne negative Auswirkungen auf die Minischrauben zu hinterlassen.

In Rahmen dieser Untersuchung konnte gezeigt werden, dass die kieferorthopädischen Minipins sofortiger Belastung ausgesetzt werden können.

8. Literaturverzeichnis

1. Angle, E. H. (1907) Treatment of malocclusion of teeth, 3th ed. S. S. White Dental Manufacturing Company. Philadelphia.
2. Asscherickx, K., Vannet, B.V., Wehrbein, H., Sabzevar, M.M. (2005) Root repair after injury from mini-screw. *Clinical Oral Implants Research* 16:575–578.
3. Bae, S.M., Park, H.S., Kyung, H.M., Kwon, O.W. & Sung, J.H. (2002) Clinical application of micro implant anchorage. *Journal Clinical Orthodontic* 36: 298–302.
4. Berens, A., Wiechmann, D., Dempf, R. (2006) Mini- and Micro-screws for Temporary Skeletal Anchorage in Orthodontic Therapy. *Journal of Orofacial Orthopedics* (6):450-458.
5. Berens, A., Wiechmann, D., Rüdiger, J. (2005a) Success rates of mini- and microscrews as skeletal anchorage in orthodontics. *Informationen aus Orthodontie und Kieferorthopadie* 37: 283–287.
6. Berens, A., Wiechmann, D., Rüdiger, J. (2005b) Skeletal anchorage in orthodontics with mini- and microscrews. *International Orthodontics* 3: 235–243.
7. Berenyi, B. (1969) Aus der Geschichte der Behandlung der Gesichtsschädelfrakturen In: Reichenbach E (Hrsg) : *Traumatologie im Kiefer-Gesichtsbereich*. Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig 17-31.
8. Bernhart, T., Dörtbudak, H., Wehrbein, H., Baier, C., Bantleon, HP., Kucher, G. (2000) Das Gaumenimplantat. *Inf Orthod Kieferorthop* 32: 209-229.
9. Brånemark PI, Adell R, Breine U, Hansson BO, Lindstrom J, Ohlsson A. (1969) Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery* 3:81–100.

10. Büchter, A., Kleinheinz, J., Wiesmann, H.-P., Jayaranan, M., Joos, U. & Meyer, U. (2005a) Interface reaction at dental implants inserted in condensed bone. *Clinical Oral Implants Research* 16: 509–517.
11. Büchter, A., Kleinheinz, J., Wiesmann, H.-P., Kersken, J., Weythofer, H., Nienkemper, M., Joos, U. & Meyer, U. (2005b) Biological and biomechanical evaluation of bone remodelling and implant stability after using an osteotome technique. *Clinical Oral Implants Research* 16: 1–8.
12. Büchter, A., Wiechmann, D., Koerdt, S., Wiesmann, H.-P., Piffko, J. & Meyer, U. (2005c) Load related implant reaction of mini-implants used for orthodontic anchorage. *Clinical Oral Implants Research* 16: 473–479.
13. Büchter, A., Wiechmann, D., Vogeler, M.H., Wiesmann, H.-P., Piffko, J. & Meyer, U. (2005d) Load related bonemodelling at the interface of orthodontic micro-implants. *Clinical oral implants* 16: 473–479.
14. Carano, A., Melsen, B. (2005) Implants in orthodontics. *Progress in Orthodontics* 6:62-69.
15. Carano, A., Velo, S., Leone, P., Siciliani, G. (2005) Clinical Applications of the Miniscrew Anchorage System. *Journal of Clinical Orthodontics* 39:9-24.
16. Chen, Y.-H., Chang, H.-H., Chen, Y.-J., Lee, D., Chiang, H.-H., Yao, C.-J. (2007) Root contact during insertion of miniscrews for orthodontic anchorage increases the failure rate: an animal study. *Clinical Oral Implants Research* 19:99–106.
17. Chen, Y.-H., Chang, H.-H., Huang, C.Y., Hung, H.C., Hsiang-Hua Lai, E., Jane Yao, C.C. (2007) A retrospective analysis of the failure rate of three different orthodontic skeletal anchorage systems. *Clinical Oral Implants Research* 18:768–775.

- 18 Chung, K-R. Kim, S-H. Kook, Y-A. (2004) The C-Orthodontic Micro-Implantat. *Journal of Clinical Orthodontics* 38:478-486.
19. Clauser, C., Barone, R. (1994) Effect of incision and flap reflection on postoperative pain after the removal of partially impacted mandibular third molars. *Quintessence Int* 25:845-9.
20. Clemmer, EJ., Hayes, EW. (1979) Patient cooperation in wearing orthodontic headgear. *Am J Orthod* 75:517–524.
21. Cope, J. (2005) Temporary anchorage devices in orthodontics: a paradigm shift. *Seminars in Orthodontics* 11:3-9.
22. Cornelis, M. A., Scheffler, N. R., Nyssen-Behets, C., De Clerck H.J., Tulloch C. (2008) Patients' and orthodontists' perceptions of miniplates used for temporary skeletal anchorage: A prospective study. *American Journal of Orthodontics and dentofacial Orthopedics* 133(1):18-24.
23. Costa, A., Pasta, G., Bergamaschi, G. (2005) Intraoral hard and soft tissue depths for temporary anchorage devices. *Seminars in Orthodontics* 11:10-15.
24. Costa, A., Raffaini, M. & Melsen, B. (1998) Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. *International Journal Adult Orthodontic Orthogenetic Surgery* 13: 201–209.
25. Creekmore TM, Eklund MK. (1983) The possibility of skeletal anchorage. *Journal of Clinial Orthodontics* 17: 266-9.
26. Curtis, JW Jr., McLain, JB., Hutchinson, RA. (1985) The incidence and severity of complications and pain following periodontal surgery. *Journal of Periodontologie* 56:597-601.
27. Daimaruya, T., Nagasaka, H., Umemori, M., Sugawara, J., Mitani, H. (2001) The influence of molar intrusion on the inferior alveolar neurovascular bundle and root using the skeletal anchorage system in dogs. *Angle Orthodontist* 71:60-70.

28. Dalstra, M., Cattaneo, P., Melsen, B. (2004) Load transfer of Miniscrews for Orthodontic Anchorage. *Orthodontics* 1:53-62.
29. Deguchi, T.; Takano-Yamamoto, T.; Kanomi, R.; Hartsfield, J.K.; Roberts, WE.; Garetto, L.P. (2003) The Use of Small Titanium Screws. *Journal of Dental Research* 82:377-381.
30. Diedrich, P. (1993) Orthodontische Verankerung. *Fortschritte in Kieferorthopädie* 54 (4):156-171.
31. Egolf, R.J., BeGole, EA., Upshaw, HS.(1990) Factors associated with orthodontic patient compliance with intraoral elastic and headgear wear. *American Journal of Orthodontics* 97:336–348.
32. El-Mangoury, NH. (1981) Orthodontic cooperation. *American Journal of Orthodontics* 80:604–622.
33. Esposito, M., Hirsch, J., Lekholm, U., Thomsen, P. (1999) Differential diagnosis and treatment strategies for biologic complications and failing oral implants: a review of the literature. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* 14:473-490.
34. Esser, NC. (2003) Katamnestische Untersuchung von Unterkieferfrakturen in den Jahren 1993 bis 1997. Dissertation der Medizinischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen.
35. Favero, L., Brollo, P. & Bressan, E. (2002) Orthodontic anchorage with specific fixtures: related study analysis. *American Journal of Orthodontic and Dentofacial Orthopedic* 122: 84–94.
36. Feldmann, I., Bondemark, L. (2006) Orthodontic Anchorage: A systematic review. *Angle Orthodontist* 76 (3):493-501.

37. Fortini, A., Cacciafesta, V., Sfondrini, MF, Cambi, S., Lupoli, M. (2004) Clinical Applications and Efficiency of Miniscrews for Extradental Anchorage. *Orthodontics* 1:87-98.
38. Fritz, U., Diedrich, P., Ehmer, A. (2003) Implantatgestützte orthodontische Verankerung. *Zahnärztliche Mitteilungen* 22.
39. Fritz, U.; Diedrich, P.; Kinzinger, G.; Al-Said, M. (2003) Die Verankerungsqualität von Miniimplantaten gegenüber Zug- und Extrusionskräften. *Journal of Orofacial Orthopedics* 64:293-304.
40. Fritz, U., Ehmer, A., Diedrich, P. (2004) Klinische Eignung von Mikrotitanschrauben zur orthodontischen Verankerung- erste Erfahrungen. *Fortschritte der Kieferorthopädie* 65 (5): 410-418.
41. Gainsforth, BL., Higley, LB. (1945) A study of orthodontic anchorage possibilities in basal bone. *American Journal of Orthopedics and Oral Surgery* 31:406-417.
42. Garfinkle, S., Cunningham, L., Beeman, C., Kluemper, T., Hicks, P., Kim M. (2008) Evaluation of orthodontic mini-implant anchorage in premolar extraction therapy in adolescents. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 133(5):642-653.
43. Gray, J.B., Steen, M.E., King, G.J., Clark, A.E. (1983) Studies on the efficacy of implants as orthodontic anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 83:311-317.
44. Haanaes, H.R., Stenvik, A., Beyer Olsen, E.S., Tryti, T. & Faehn, O. (1991) The efficacy of two-stage titanium implants as orthodontic anchorage in the preprosthodontic correction of third molars in adults – a report of three cases. *European Journal of Orthodontics* 13:287–292.

45. Heidemann, W. (2001) Drill-Free-Schrauben: In-vitro-Tests, In-vivo-Untersuchungen und klinische Anwendungen selbstbohrender und selbstschneidender Osteosyntheseschrauben in der Mund- Kiefer- Gesichtschirurgie. Dissertation der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
46. Herman, R., Currier, G. F., Miyake, A. (2006) Mini-implant anchorage for maxillary canine retraction: A pilot study. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 130 (2):228-235.
47. Huang, L.H., Shotwell, J.L., Wang, H-L (2005) Dental implants for orthodontic anchorage. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 127:713-722.
48. Informationsbroschüre zu Aarhus Mini Implant System (2005) Medicon eG, Tuttlingen, Germany.
49. Informationsbroschüre zum Tomas®-Pin Verankerungssystem (2006) Dentaurum, Ispringen, Germany.
50. Ivanoff, C.-J., Sennerby, L., Lekholm, U. (1997) Reintegration of mobilized titanium implants. An experimental study in rabbit tibia. The International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery 26:310-315.
51. Jaffar, A.A., Hamadah, H.J. (2003) An analysis of the position of the greater palatine foramen. Journal of Basic Medical Sciences 3:24-32.
52. Kadioglu, O., Büyükyilmaz, T., Zachrisson, B.U., Mainod, B.G. (2008) Contact damage to root surfaces of premolars touching miniscrews during orthodontic treatment. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 134(3):353-360.

53. Kang, S., Lee, S-J., Ahn, S-J., Heo, M-S., Kim, T-W. (2007) Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 131:74-81.
54. Kanomi, R. (1997) Mini-implant for orthodontic anchorage. *Journal of Clinical Orthodontic* 31: 763–767.
55. Kim T.W.; Baek, S.H.; Kim; J.W., Chang Y.I. (2008) Effects of Microgrooves on the Success Rate and Soft Tissue Adaptation of Orthodontic Miniscrews. *Angle Orthodontist* 78(6):1057-1064.
56. Kinzinger, G., Wehrbein, H., Byloff, F., Yildizhan F., Diedrich P. (2005) Innovative Verankerungsalternativen zur Molarendistalisation im Oberkiefer – eine Übersicht. *Journal of Orofacial Orthopedics* 66:397–413.
57. Kravitz, N., Kusnoto B. (2007) Risks and complications of orthodontic miniscrews. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 131(4):43-51.
58. Kuroda, H., Sugawara, Y., Deguchi, T., Kyung, H.M., Takano-Yamamoto T. (2007) Clinical use of miniscrew implants as orthodontic anchorage: Success rates and postoperative discomfort. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 131 (1):10-15.
59. Kuroda, S., Yamada, K., Deguchi, T., Hashimoto, T., Kyung, H.-M., Takano-Yamamoto, T. (2007) Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 131(4):69-73.
60. Kyung, H.M.; Park, H.S.; Bae, S.M.; Sung, J.H.; Kim, I.B (2003) Overview Development of Orthodontic Micro-Implants for Intraoral Anchorage. *Journal of Clinical Orthodontics* 37:321-328.
61. Labanauskaite, B., Jankauskas, G., Vasiliauskas, A., Haffar, N. (2005) Implants for orthodontic anchorage. Meta-analysis. *Stomatologija* 7(4):128-132.

62. Lin, J., Liou, E. (2003) A New Bone Screw for Orthodontic Anchorage. *Journal of Clinical Orthodontics* 37:676-681.
63. Linkow, LI. (1969) The endosseus blade implant and its use in orthodontics. *International Journal of Orthodontics* 18:149-154.
64. Liou, E.J.W., Pai, B.C.J., Lin, J.C.Y. (2004) Do miniscrews remain stable under orthodontic forces? *American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics* 126: 42-47.
65. Mah, J.; Bergstrand, F. (2005) Temporary Anchorage Devices: A Status Report. *Journal of Clinical Orthodontics* 39: 132-136.
66. Maino, B.G.; Bednar, J.; Pagin, P.; Mura, P. (2003) The Spider Screw. *Journal of Clinical Orthodontics* 37:90-97.
67. Malgaigne, JF. (1840) *Nouvel appareil pour les fractures du maxillaire inferieur.*, zitiert nach Biehl G (1972) Die Entwicklung der Knochenschrauben. *Z Orthop* 110:886-893.
68. Melsen, B. (2005) Mini-Implants: Where are we? *Journal of Clinical Orthodontics* 39:539-547.
69. Melsen, B., Costa, A. (2000) Immediate loading of implants used for orthodontic anchorage. *Clinic of Orthodontic Research* 3:23–28.
70. Melsen, B. & Lang, N.P. (2001) Biological reactions of alveolar bone to orthodontic loading of oral implants. *Clinical Oral Implants Research* 12: 144–152.
71. Meyer, U., Wiesmann, H.P., Kruse-Losler, B., Handschel, J., Stratmann, U. & Joos, U. (1999a) Strainrelated bone remodeling in distraction osteogenesis of the mandible. *Plastic Reconstructive Surgery* 103: 800–807.

72. Meyer, T., Meyer, U., Stratmann, U., Wiesmann, H.-P. & Joos, U. (1999b) Identification of apoptotic cell death in distraction osteogenesis. *Cell Biology International* 23: 439–446.
73. Meyer, U., Joos, U., Mythili, J., Stamm, T., Hohoff, A., Stratmann, U. & Wiesmann, H.-P. (2004) Ultrastructural characterization of the implant/ bone interface of immediately loaded dental implants. *Biometaterials* 25: 1959–1967.
74. Miyawaki, S., Koyama, I., Inoue, M., Mishima, K., Sugahara, T., Takano-Yamamoto T. (2003) Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 124:373-378.
75. Motoyoshi, M., Hirabayashi, M., Uemura, M., Shimizu, N. (2006) Recommended placement torque when tightening an orthodontic mini-implant. *Clinic of Oral Implants Research* 17:109-114.
76. Murray, L.-N., McGuinness, N., Biagioni, P., Hyland, P., Lamey, P.-J. (2005) A comparative study of the efficacy of Aphtheal in the management of recurrent minor aphthous ulceration. *Journal of Oral Pathology und Medicine* 34:413-419.
77. Ohmae, M., Saito, S., Morohashi, T., Seki, K., Qu, H., Kanomi, R., Yamasaki, K., Okano, T., Yamada, S., Shibasaki, Y. (2001) A clinical and histological evaluation of titanium mini-implants as anchors for orthodontic intrusion in the beagle dog. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 119:489-497.
78. Ozen, T., Orhan, K., Gorur, I., Ozturk, A. (2006) Efficacy of low level laser therapy on neurosensory recovery after injury to the inferior alveolar nerve. *Head & Face Medicine* 2:3.
79. Ödman, J., Lekholm, U., Jemt, T. & Thilander, B. (1994) Osseointegrated implants as orthodontic anchorage in the treatment of partially edentulous adult patients. *European Journal of Orthodontics* 16: 187–201.

80. Ödman, J., Lekholm, U., Lemt, T., Bra°nemark, P.-I. & Thilander, B. (1988) Osseointegrated titanium implants a new approach in orthodontic treatment. *European Journal of Orthodontics* 10: 98–105.
81. Park, H.-S. (2003) Clinical study on success rate of microscrew implants for orthodontic anchorage. *Korean Journal of Orthodontics* 33:151-156.
82. Park, H.-S., Bae, S.M., Kyung, H.M., Sung, J.H. (2001) Micro-implant anchorage for treatment of skeletal Class I bialveolar protrusion. *Journal of Clinical Orthodontics* 35:417-422.
83. Park, H.-S., Jeong, S-H., Kwon O-W. (2006) Factors affecting the clinical success of screw implants used as orthodontic anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 130 (1):18-25.
84. Präger, T.; Holtgrave, E.A.(2003) Primary stability of self-drilling and conventional screw implants for orthodontic anchorage. *Journal of Dental Research* 82:B-301. 2319.
85. Roberts, E.W., Helm, F.R., Marshall, K.J. & Gongloff, R.K. (1989) Rigid endosseous implants for orthodontic and orthopaedic anchorage. *The Angle Orthodontist* 59: 247-256.
86. Roberts, E.W., Nelson, C.L. & Goodacre, C.J. (1994) Rigid implant anchorage to close a mandibular first molar extraction site. *Journal of Clinical Orthodontics* 27: 693–704.
87. Roth, A., Yildirim, M., Diedrich, P. (2004) Forcierte Extrusion mit Mikroschrauben-Verankerung zur präprothetischen Harmonisierung des Gingivaverlaufs. *Journal of Orofacial Orthodontics* 65: 513-519.

88. Saito, S., Sugimoto, N., Morohashi, T., Ozeki, M., Kurabayashi, H., Sano, T. (1998) Basic animal study of endosseous titanium implants as anchors for orthodontic tooth movement. Biological mechanisms of tooth eruption, resorption and replacement by implants. Birmingham (Al): EBSCO Media 505-512.
89. Saito, S., Sugimoto, N., Morohashi, T., Ozeki, M., Kurabayashi, H., Shimizu, H. (2000) Endosseous titanium implants as anchors for mesiodistal tooth movement in the beagle dog. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 118:601-607.
90. Schnelle, M.A., Beck, F.M., Jaynes, R.M., Huja, S.S. (2004) A Radiographic Evaluation of the Availability of Bone for Placement of Miniscrews. Angle Orthodontics 74:832-837.
91. Schriftlich Mitteilung der Firma American Orthodontics GmbH, D-32631 Lemgo, Vertrieb von „Aarhus Mini Anchorage System“ in Deutschland, vom 13.11.2007.
92. Schwenger, N. (1967) Zur Osteosynthese bei Frakturen des Gesichtsskeletts. Georg Thieme Verlag Stuttgart.
93. Sherman, AJ. (1978) Bone reaction to orthodontic forces on vitreous carbon dental implants. American Journal of Orthodontics 74:79-87.
94. Sherwood, K., Burch, J., Thompson, W. (2002) Closing anterior open bites by intruding molars with titanium miniplate anchorage. American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics 122:593-600.
95. Suzuki; E.-Y., Buranastidporn, B. (2005) An adjustable surgical guide for miniscrew placement. Journal of Clinical Orthodontics 39:588-590.
96. Tseng, YC., Hsieh, CH., Chen, CH., Shen, YS., Huang, IY., Chen, CM. (2006) The application of mini-implants for orthodontic anchorage. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery 35(8):704-707.

97. Umemori, M., Sugawara, J., Mitani, H., Nagasaka, H. & Kawa-mura, H. (1999) Skeletal anchorage system for open-bite correction. *American Journal of Orthodontic and Dentofacial Orthopedics* 15: 166–174.
98. Wang, T.M., Kuo, K.J., Shih, C., Ho, L.L., Liu, J.C. (1988) Assessment of the relative locations of the greater palatine foramen in adult Chinese skulls. *Acta Anat (Basel)* 132:182-6.
99. Wehrbein, H., Glatzmaier, J., Mundwiler, U., Diedrich, P. (1996) The Orthosystem – a new implant System for orthodontic anchorage in the palate. *Journal of Orofacial Orthopedics* 57: 142–153.
100. Wehrbein, H., Göllner, P. (2007) Skeletal anchorage in orthodontics - basics and clinical application. *Journal of Orofacial Orthopedics* 68(6):443-461.
101. Wehrbein, H., Göllner, P. (2008) Miniscrews or palatal implants for skeletal anchorage in the maxilla: comparative aspects for decision making. *World Journal of Orthodontics* 9(1):63-73.
102. Wehrbein, H., Jung, B.A., Kunkel, M. (2008) Wissenschaftliche Stellungnahme zur kieferorthopädischen Verankerung mit Kortikalisschrauben und Gaumenimplantaten. [zitiert am 20.03.2009] URL: <http://www.dgkfo.de>.
103. Wiechmann, D., Meyer, U., Büchter, A. (2007) Success-rate of mini- and micro-implants used for orthodontic anchorage. *Clinical Oral Implants Research* 18: 263-267.

9. Anhang

Übersichtstabelle zu den wichtigsten Vertretern der kieferorthopädischen Kortikalisschrauben, die sich momentan auf dem Markt befinden. Quelle: Internet.

Hersteller	Bezeichnung	Bild	Ø [mm]	Länge [mm]	Kopfdesign	Besonderheiten
Medicon	Aarhus Mini Implant System		1,3-2,0	9,6-12,3	variabel	selbstbohrend; variable Länge von Hals und Kopf
Bicon Dental Implants	Bicon Orthodontic Implant		2,5	8	Perforation	selbstschneidend zylindrisch
Denaturum	Tomas®-Pin		1,6	6-10	Bracket	selbstbohrend oder selbstschneidend
Dentos Korea	AbsoAnchor		1,3-2,0	5-12	variabel	selbstbohrend;
ForestaDent	T.I.T.A.N.-Pin-System		1,6	5-9	variabel	selbstbohrend und selbstschneidend
Imtec Corporation	Ortho Implant		1,8	6-10	variabel	Selbstschneidend, stark konisch
Jazi Dental, Inc.	M.A.S. Miniscrew Anchorage System		1,3-1,5	9-14	Kugelhkopf mit Perforation	selbstschneidend

K.L.S. Martin L.P.	The OrthoAnchor System		1,5-2,0	6-10	Planer Kopf mit Perforation	selbstbohrend; variable Halslängen
Leone Orthodontic s and Implantolog y	Orthodontic Mini Implants		1,5-2,0	6-12	variabel	aus Stahl; selbstschneidend
Masel	Orlus Mini- Implant System		1,4-1,8	6-9	Knopf	selbstbohrend; variable Halslängen; Oberflächenbeha ndlung
Ortho Organisers	Anchor Pro		1,6	6-10	Knopf mit Perforation	selbstschneidend und selbstbohrend;
HDC, Italien	Spider Screw®		1,5-2,0	7-11	variabel	selbstschneidend und selbstbohrend;
Jeilmed Medical Corporation	Dual-Top Anchor System		1,4-2,0	6-10	variable	selbstschneidend und selbstbohrend
Mondeal Medical System	“LOMAS” Orthodontic Anchorage Screw	Bild nicht verfügbar	1,5-2,0	7-15	variable	selbstbohrend;
Dentsply Sankin Degussa Dental Group	ORTHOANCH OR® K1	Bild nicht verfügbar	1,2	4-8	Kopf mit Rille	selbstschneidend Haken als Hebearm
Osteomed	OMI Orthodontic Anchor System	Bild nicht verfügbar	1,2-1,6	6-12	Kopf mit Rille und Perforation	selbstschneidend und selbstbohrend

10. Danksagung

Ich bedanke mich bei meinem Bruder und meiner Freundin, die mir jeder Zeit mit Rat und Tat zur Hilfe standen und mir immer wieder zu neuer Motivation verhalfen.

Meiner Mutter widme ich diese Arbeit.

11. Lebenslauf