

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

Verlustraten von Miniimplantaten in der Kieferorthopädie

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde

der medizinischen Fakultät

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2012

Vorgelegt von

Julia Pasch

geb. am 12.04.1985 in Leipzig

meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	1
1.1	Abstract.....	2
2	Einleitung.....	3
2.1	Die Verankerungsproblematik.....	4
2.2	Miniimplantate in der Kieferorthopädie.....	6
2.3	Verlust von Miniimplantaten.....	8
2.4	Zielsetzung dieser Arbeit.....	9
3	Material und Methode.....	10
3.1	Material.....	10
3.1.1	Konstruktionsdetails des verwendeten Miniimplantats.....	10
3.1.2	Patientenübersicht.....	11
3.2	Methode.....	12
3.2.1	Einschlusskriterien.....	12
3.2.2	Auswertungsparameter.....	12
3.2.3	Erfolgs- und Misserfolgskriterien.....	14
3.2.4	Chirurgische Insertion des Miniimplantats.....	14
3.2.4.1	Vorbereitung.....	15
3.2.4.2	Insertion.....	16
3.2.4.3	Nachbehandlung.....	17
3.2.4.4	Entfernung.....	17
3.3	Datenerfassung und Auswertung.....	18
3.4	Statistische Methoden.....	18
3.4.1	Deskriptive Verfahren.....	18
3.4.2	Vergleiche der Parameter.....	18
3.4.3	Überlebensanalysen.....	18
3.4.4	Signifikanzniveau.....	19
4	Ergebnisse.....	20
4.1	Variablenspezifische Ergebnisse der Analyse.....	20
4.1.1	Insertionsort.....	20

4.1.2	Indikation.....	22
4.1.3	Länge der Miniimplantate.....	23
4.1.4	Beobachtungszeitraum und Verlustzeiten.....	25
4.1.5	Geschlecht der Patienten.....	26
4.1.6	Alter der Patienten.....	26
4.1.7	Mundhygiene.....	28
4.1.8	Dentition.....	29
4.1.9	Verankerung.....	30
4.2	Überlebensanalysen und Signifikanztestung.....	32
4.2.1	Kaplan-Meier-Analysen.....	32
4.2.1.1	Insertionsort-Kiefer.....	33
4.2.1.2	Insertionsort-Lokalisation.....	33
4.2.1.3	Länge der Miniimplantate.....	34
4.2.1.4	Geschlecht der Patienten.....	34
4.2.1.5	Alter der Patienten.....	35
4.2.1.6	Mundhygiene.....	35
4.2.1.7	Verankerung.....	36
5	Diskussion.....	37
5.1	Diskussion der Ergebnisse.....	37
5.2	Abschließende Bewertung.....	51
6	Literaturverzeichnis.....	52
7	Abbildungsverzeichnis.....	61
8	Tabellenverzeichnis.....	62
9	Danksagung.....	63
10	Lebenslauf.....	64

1 Zusammenfassung

Die Verankerungskontrolle ist ein wesentliches Element jeder kieferorthopädischen Therapie. Unter anderem werden hierzu Miniimplantate verwendet, deren Eigenschaften Vorteile gegenüber anderen Verankerungskonzepten haben, die von der Mitarbeit des Patienten abhängen. Miniimplantate können jedoch vorzeitig verloren gehen, so dass eine Überprüfung der Verlustraten angezeigt war.

In dieser Studie wurden Behandlungsergebnisse von 158 Patienten nachuntersucht, die mit insgesamt 294 Miniimplantaten eines Schraubensystems (OrthoEasy-Pins von FORESTADENT) behandelt wurden. Die Kriterien Insertionsort des Implantats, Indikation, Länge des Miniimplantats, Geschlecht des Patienten, Alter der Patienten, Dentition, Mundhygiene und Verankerung wurden in Hinblick auf die Verlustrate von Miniimplantaten untersucht. Die Ergebnisse wurden mit denen anderer Autoren verglichen.

Die Analyse ergab eine Gesamtverlustrate von 10,1% ($n=32/294$). Die Ergebnisse zeigten eine Einteilung in palatinal und vestibulär inserierte Pins. Palatinal inserierte Miniimplantate zeigten mit 2,1% ($n=4/192$) die geringste Verlustrate. Die Verlustrate für interradikulär inserierte Miniimplantate lag demgegenüber bei 29% ($n=27/93$). Bei der Indikation Lückenschluss ergab sich im Gegensatz zu den Indikationen Distalisierung von Molaren (2,2%) und Gaumennahterweiterung (0%) mit 35,1% eine höhere Verlustrate. Das Alter der Patienten, Geschlecht, Dentition und Länge der Miniimplantate und Mundhygiene spielten eine untergeordnete oder sogar keine Rolle.

Die Studie zeigt mit der geringen Verlustrate, dass Miniimplantate grundsätzlich für eine stationäre Verankerung geeignet sind. Sie stellen hier besonders für die Distalisierung von Molaren und die Gaumennahterweiterung eine gute Therapiemöglichkeit dar. Es besteht jedoch allgemein noch Forschungsbedarf mit einer noch größeren Anzahl von Miniimplantaten, damit auch die bis jetzt nur deskriptiv analysierten Parameter weiter statistisch untersucht werden können. Außerdem sollte für den interradikulären Bereich bei der Indikation Lückenschluss im Unterkiefer nach Verbesserungsmöglichkeiten gesucht oder sogar alternative Behandlungsmethoden verwendet werden.

1.1 Abstract

Loss rates of miniimplants in the orthodontics

The control of anchorage is a substantial part of each orthodontic treatment. Miniimplants among others are used for this procedure. They have advantageous features as opposed to other anchorage concepts, which often depend on the cooperation of the patient. Miniimplants can however get lost prematurely, so that the loss rates were under review.

In this study the treatment results of 158 patients were examined, which all together had 294 miniimplants of one single screw system (OrthoEasy-Pins from FORESTADENT). The criteria place of insertion of the implants, indication, length of the miniimplant, gender and age of the patient, dentition, oral hygiene and anchorage were examined in terms of loss rate of the miniimplants. The results were compared with those of other authors.

The analyses showed a total loss rate of 10,1% (n=32/294). The results demonstrated a division in palatal and interradicular inserted pins. Palatal inserted miniimplants had the smallest loss rate with 2,1% (n=4/192). On the other hand, the loss rate for the interradicular inserted miniimplants was at 29% (n=27/93). The indication of gap closure resulted in 35,1%, a higher loss rate as opposed to the indications distalisation of molars (2,2%) and palate expansion (0%). Gender and age of the patient, dentition and length of the miniimplants and oral hygiene played a less significant role or did not have any influence at all.

With this small total loss rate the study showed that miniimplants are basically appropriate for a stationary anchorage. They presented a great possibility for a therapy especially for the distalisation of molars and the palate expansion. However there is still a general need for research for an even bigger number of miniimplants, so that the parameters that were only descriptively analysed can further be statistically examined. Furthermore, more research should be done in order to look for possibilities on improvement or even alternative treatment methods for the interradicular area of the indication of gap closure in the lower jaw.

2 Einleitung

Während der letzten Jahrzehnte gab es in der Kieferorthopädie einen deutlichen Zuwachs von kortikalen (knochengetragenen) Verankerungstechniken [32]. Was früher als Revolution galt und eine Neuheit darstellte, ist heute ein selbstverständlicher Bestandteil des klinischen Alltags. Nachdem sich Implantate für den Ersatz verlorener Zähne etabliert haben [58,65], hat man versucht, die kortikale Verankerung in der Kieferorthopädie ebenfalls anzuwenden.

Zunächst wurden Implantate innerhalb einer orthodontisch-prothetischen Behandlung vertikal innerhalb der Zahnreihe als Verankerungsmodul genutzt oder zu rein orthodontischen Zwecken im retromolaren Polster angewandt [21,61,70]. Jedoch war diese Art der kortikalen Verankerung durch die geringe Variabilität der Insertionsorte nachteilig limitiert [36]. Man hat herausgefunden, dass kieferorthopädische Implantate auch an anderen Stellen, vor allem palatinal [9, 71] und zwischen den Wurzeln [39,41] positiv zur kieferorthopädischen Behandlung beitragen können. Im Vordergrund stand dabei das Auffinden einer Möglichkeit eines minimal-invasiven Vorgehens. Die

Tabelle 1: Synonyme für Miniimplantate aus der deutschen und englischen Literatur

- Ankerschraube
- kieferorthopädische Verankerungsschrauben
- Kortikalis-Schrauben
- microimplant
- micro-Implant
- micro-implant anchorage
- Microscrews
- Mikroschrauben
- Mikrotitanschrauben
- mini implants für orthodontic anchorage
- mini screw
- mini-implant
- mini-implant for orthodontic anchorage
- mini-implant-system
- Mini-Implantat
- Miniimplantat
- Minipin
- Mini-pin
- Minischrauben
- mini-screw
- miniscrew
- mini-screw anchorage system
- Miniscrew implant
- Ortho implant
- Orthodontic anchorage implant
- Orthodontic anchoring implants
- Orthodontic implants
- orthodontic mini implants
- Orthodontic miniscrew
- Ortho TDA
- skelettal anchorage system
- Small titanium screws
- TAD – Temporary Anchorage Devices
- titanium implant anchorage
- titanium microscrews
- titanium mini-implants
- titanium screw anchorage

Behandlungszeiten mit Implantaten sollten verkürzt und die Behandlung für den Patienten so erträglich wie möglich gestaltet werden. *Proffit* schrieb im Jahre 2000 in seinem Buch « Contemporary Orthodontics » [59]: » Ein wichtiger Aspekt ist die Möglichkeit der erwünschten Zahnbewegung zu vergrößern, jedoch dabei gleichzeitig die unerwünschten Nebeneffekte zu verringern. « Dabei spielt die biomechanische Gesetzmäßigkeit von Isaac Newton ebenfalls eine große Rolle, die besagt, dass » Actio « gleich » Reactio « ist. Um der Vorstellung von *Proffit* unter Berücksichtigung des dritten Newton'schen Axioms gerecht zu werden, wurden orthodontische Miniimplantate entwickelt [36]. Diese werden unter anderem in der Literatur auch als Minischrauben, Minipins oder Kortikalis-Schrauben bezeichnet (vgl. Tabelle 1).

Innerhalb der letzten zehn Jahre gab es zahlreiche Kieferorthopäden, die sich mit der neuen Thematik befasst und nach dem optimalen Aufbau der Miniimplantate gesucht haben [13, 27, 39,41]. Bücher über Miniimplantate und Anleitungen für den Anwender wurden herausgebracht [5, 43, 45]. Für die moderne Kieferorthopädie schienen Miniimplantate das Mittel der Wahl als Verankerungshilfe zu sein.

Bowman sagte jedoch in einem Interview mit der Zeitschrift »Kieferorthopädie Nachrichten« im Jahre 2010 [37], »dass sich der überschwängliche Einsatz der Miniimplantate in jeder denkbaren Anwendung nun auf ein normales Maß einpendeln sollte. Das liegt daran, dass man jetzt erst erkennt, bei welchen Anwendungen und Patiententypen die Minischrauben die besten Ergebnisse zeigen.« Kieferorthopäden fanden während der Anwendung in der Praxis heraus, dass mit der kortikalen Verankerung nicht alle Probleme gelöst werden können. Vor allem der Verlust des Miniimplantats ist einer der größten Nachteile und Bestandteil aktueller Studien und Publikationen [2, 3, 6, 16].

Mit der vorliegenden Studie soll der Einfluss von verschiedenen Faktoren auf die Verlustrate von kieferorthopädischen Verankerungsschrauben anhand eines größeren Untersuchungskollektives, bei dem nur ein Schraubensystem unter standardisierten Behandlungsabläufen angewendet wurde, untersucht werden.

2.1 Die Verankerungsproblematik

Ein besonders wichtiger Aspekt der kieferorthopädischen Behandlung ist die Verankerung. Eingeführt wurde der Begriff der kieferorthopädischen Verankerung von *Angle* [1]. 1907 beschrieb er in seinem Buch »Treatment of malocclusion of teeth«, dass jede eingesetzte orthodontische Kraft, die eine Zahnbewegung induzieren soll, reziprok wirkt und sich daher Wirkung und Gegenwirkung im Gleichgewicht halten. Diese Erkenntnis entspricht *Newtons* drittem Axiom. *Newton* postuliert in seinem Gesetz über die Kraftverhältnisse im statischen Gleichgewicht, dass $actio = reactio$ gilt, indem die Summe aller innerhalb des Gleichgewichts auftretenden Kräfte gleich null ist. Folglich muss der Widerstand der Verankerung größer sein als derjenige des zu bewegenden Zahnes.

In der Kieferorthopädie nutzt man verschiedene Verankerungsformen, die im Vorfeld in die Therapieplanung der einzelnen Behandlungsfälle einbezogen werden müssen. Es gibt Fälle, bei denen eine entgegengesetzte Kraftwirkung erwünscht ist. Beim reziproken Lückenschluss zum Beispiel soll sich die in der Mitte befindliche Lücke durch Zusammenrücken der betroffenen Zähne von beiden Seiten schließen (vgl. Abbildung 1) [64].

Bei der symmetrischen transversalen Erweiterung bedient man sich ebenfalls dieser physikalischen Gesetzmäßigkeit. Hier werden jedoch Zahngruppen und die beiden Kieferhälften voneinander weg bewegt. Dabei dienen die Kieferhälften gegenseitig als Verankerung, was als reziproke Verankerung bezeichnet wird [30].

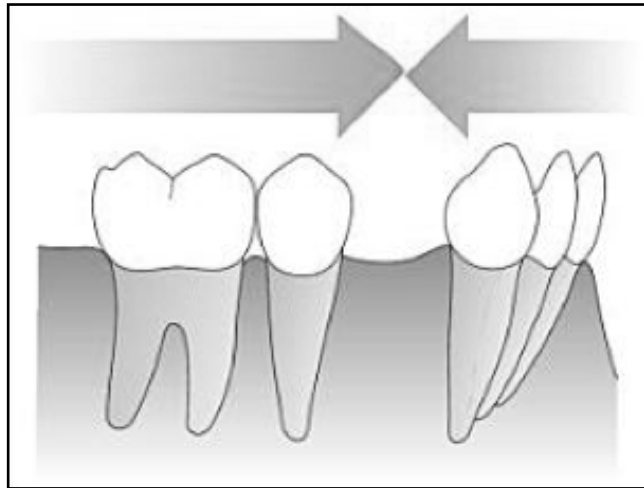


Abbildung 1: Prinzip des reziproken Lückenschlusses

Es gibt im Gegensatz dazu eine Vielzahl von Situationen, bei denen eine Verankerung maximal bzw. absolut sein sollte, um eine effektive und gesteuerte Zahnbewegung zu erzielen. Eine Mobilität des Verankerungsmoduls ist hier nicht erwünscht.

Angle nannte damals schon einen Satz, der bis zum heutigen Tag als Hilfestellung auf der Suche nach der Lösung dieses kieferorthopädischen Problems gilt: « Die idealste Verankerung wäre natürlich eine unbewegliche Basis. » [1]. Es wurde daher nach Möglichkeiten gesucht, die bei der Zahnbewegung entstehenden Gegenkräfte nicht auf andere Zähne, sondern auf skelettale Strukturen umzuleiten und damit die Verankerungsqualität zu steigern [8]. Dazu gehört beispielsweise der intra- und extraorale Einsatz eines Headgear oder einer Delaire-Maske (vgl. Abbildung 2).

Jedoch stellt die Anwendung eines Headgears eine patientenabhängige Komponente dar. *Diedrich* stellte 1993 fest, dass eine fehlende Compliance, also die geringe Mitarbeit des Patienten, durch diskontinuierliches Tragen problematisch ist [24]. Ein Headgear sollte mehr als zwölf Stunden getragen werden, um einen ausreichenden Stabilisierungseffekt zu erzielen [43]. Patienten halten sich jedoch nicht immer an die vorgegebene Tragezeit.

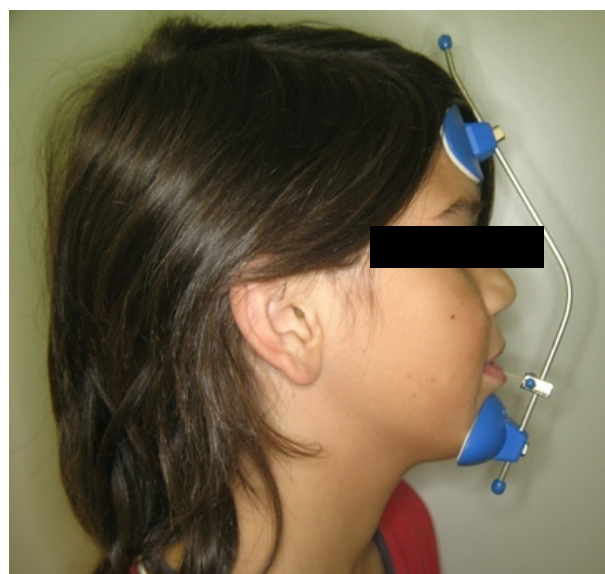


Abbildung 2: Delaire-Maske am Patienten

Da sowohl der Headgear also auch die Delaire-Maske für den Patienten ganz offensichtlich eine ästhetische Beeinträchtigung

darstellen, resultiert daraus häufig eine verminderte Compliance, was dann zu Verankerungsverlust führen kann.

Zusätzlich sah er darin die Gefahr eines desmodontalen Traumas an Ankerzähnen bei stark diskontinuierlicher Krafteinwirkung (Jiggling-Effekt). Weitere Nachteile stellen die unerwünschte Beeinflussung des Oberkieferkomplexes und die Verletzungsgefahr bei unsachgemäßer Handhabung der Apparatur dar [24].

Eine von der Mitarbeit der Patienten weitestgehend unabhängige Methode für eine maximale Verankerung musste gefunden werden. Als Alternative entdeckte man die intraorale, kortikale Verankerung in Form von Implantaten. Studien zeigten, dass Implantate bei Applizierung kieferorthopädischer Kräfte positionsstabil bleiben [24,33,42,62]. Daher wurde das Augenmerk auf die Entwicklung von Implantaten für diesen Zweck gerichtet.

2.2 Miniimplantate in der Kieferorthopädie

Als Vorreiter der Implantate innerhalb der Kieferorthopädie gelten *Gainsforth* und *Higley*, die 1945 osseointegrierte Vitalliumschrauben als Hilfsmittel für die körperliche Bewegung von Molaren nutzten [29]. Sie untersuchten Implantate innerhalb einer tierexperimentellen Studie in Unterkiefern von Hunden. *Creekmore* und *Eklund* untersuchten erstmals 1983 in einem klinischen Experiment das Verankerungspotenzial eines Schraubenimplantats. Sie inserierten das Implantat bei einer 25 jährigen Patientin unterhalb der anterioren Spina nasalis für die Intrusion von Frontzähnen [21].

Wissenschaftliche Studien und Fallberichte zeigten im Laufe der Zeit, dass enossale Titanimplantate zur stationären Verankerung unter orthodontischen und orthopädischen Kräften genutzt werden können [57, 61,68].

In den folgenden Jahren entwickelten sich aus orthopädisch genutzten Dentalimplantaten und speziellen Gaumenimplantaten [71] so genannte Miniimplantate für kieferorthopädische Zwecke. Als Leitbild galten die in der Unfallchirurgie für die Plattenosteosynthese verwendeten Miniimplantate. Diese sind im Gegensatz zu osseointegrierten Implantaten schmaler im Durchmesser und besitzen eine glatte Oberfläche. Sie sind außerdem kürzer und somit flexibler einzusetzen.

1997 setzte *Kanomi* erstmals chirurgische Minischrauben aus der Plattenosteosynthese zur direkten kieferorthopädischen Verankerung ein [36]. Zunächst wurden Miniimplantate mit einer umfangreichen Mukogingivalchirurgie inseriert und erst nach anfänglicher Einheilungsphase von drei Monaten kieferorthopädisch belastet [11, 71]. Inzwischen werden Miniimplantate auch direkt durch die Schleimhaut (transgingival) mit der so genannten

„flapless-Methode“ inseriert und auf ein Aufklappen der Mukosa verzichtet [7,14,15,52,67]. Die Kortikalisschrauben bieten auch ohne vorangehende Mukogingivalchirurgie eine stationäre und zuverlässige orthodontische Verankerung [67]. In diesem Zusammenhang treten geringere Schmerzen direkt nach Implantatinserktion auf [38]. Das steigert den Patientenkomfort.

Außerdem fand man im Laufe der Zeit innerhalb von Fallstudien und histologischen Untersuchungen heraus, dass eine definierte Einheilungsphase für eine ausreichende Verankerung nicht unbedingt nötig, sondern die Primärstabilität entscheidend ist [54,62,63]. Der Knochen-Implantatkontakt ist zwar wichtig für eine ausreichende Verankerung, jedoch nicht abhängig vom Zeitpunkt der Belastung [74].

Zwei Jahre nach *Kanomi* belasteten *Melsen* und *Costa* Miniimplantate erstmalig direkt nach Insertion ohne Einheilungsphase und testeten ihre Verankerungsqualität. Zum Vorteil des Patienten verkürzt sich dadurch die Behandlungsdauer [20].

Die Minischrauben bestehen fast ausschließlich aus Titan [26]. *Costa* (1998) und *Favero* (2002) gaben allgemeine Voraussetzungskriterien, die besagten, dass Schrauben einfach und minimal-invasiv einzugliedern und nach der Behandlung wieder leicht zu entfernen sein sollten. Sie sollten zum einen klein genug, um lokalisationsvariabel zu sein, auf der anderen Seite jedoch auch groß genug, um den Kräften innerhalb der kieferorthopädischen Behandlung stand zu halten [20,26]. Es gibt aktuell eine Vielzahl von Schraubensystemen verschiedener Hersteller, die diesen Anforderungen entsprechen, sich jedoch zum Beispiel in den Punkten Design, Länge und Durchmesser unterscheiden (vgl. Abbildung 3) [43].



Abbildung 3: Miniimplantate verschiedener Hersteller

Eine große Anzahl von Studien zeigte, dass Minischrauben zum Zwecke der skelettalen Verankerung geeignet sind [4,23,46]. Seit 2003 nahm die Anzahl der Schraubensysteme stetig zu [44]. Es wurde auf dem Gebiet weitergeforscht, um die Behandlung zu optimieren und vor allem den Patientenkomfort zu steigern. Es ist inzwischen zu einem bedeutenden Thema geworden, das nicht nur wissenschaftlich diskutiert, sondern in den kieferorthopädischen Fachpraxen täglich eingesetzt wird.

In der gesamten Entwicklung hat sich die Erfolgsquote von Implantaten in der Kieferorthopädie deutlich erhöht, jedoch gibt es nach wie vor noch Verbesserungspotenzial. Die Lockerung und der Verlust sind stets als erhebliche Komplikationen zu nennen [43,66]. Aus diesem Grund gilt der Verlustproblematik nach wie vor ein besonderes Augenmerk.

2.3. Verlust von Miniimplantaten

Entsprechend der Berichte und Publikationen über die kortikale Verankerung beim Menschen müssen Titanschrauben gelegentlich aufgrund einer erhöhten Mobilität vor oder während der orthodontischen Belastung entfernt werden. Ohne die weitere Verankerungshilfe durch das Implantat kann die geplante Behandlung nicht weitergeführt werden, und die Neuorientierung auf andere Behandlungsmethoden erschwert das Erreichen der Therapieziele. Aus diesem Grund ist es nach wie vor wichtig, die Problematik des Verlustes besser zu verstehen und herauszufinden, welche Faktoren dafür verantwortlich sind.

Zahlreiche Untersuchungen haben sich bereits mit den Misserfolgsraten von Verankerungsschrauben beschäftigt [2,6,8,73]. Dabei können verschiedene Faktoren die Überlebensrate der Miniimplantate positiv oder negativ beeinflussen [44]. In der Literatur werden Faktoren wie Patientenalter (31,38,40,51,56), Geschlecht des Patienten [3,6,38,40,49,50,69], Insertionsort [2,6,8,14,18,40,45,46,50,51,52,55,56,66,69,72] Länge des Miniimplantats [14,15,17,22,38,53,56], Mundhygienestatus und Schleimhautbeschaffenheit [18,40,47,49] in Bezug auf den Verlust analysiert. Über den Einfluss der Faktoren auf die Misserfolgsraten gibt es in der Literatur jedoch widersprüchliche Angaben, wobei die einzelnen Studien in der Regel auf den Ergebnissen unterschiedlicher Schraubensysteme und Insertionsverfahren beruhen [38,49,55].

Aufgrund der Variabilität der Schrauben [12,18,28,55], wechselnder Insertionsmethoden [38,50], unterschiedlicher Hauptbetrachtungspunkte und anderer Belastungszeiten [15,18,38,52,53] ist ein direkter Vergleich der Studien nicht immer möglich.

In der Studie von *Wiechmann et al.* wird eine Gesamterfolgsrate zwischen 80% und 90% angegeben. Dieser Wert kann momentan als durchschnittlicher Wert angenommen werden und findet sich auch in anderen Publikationen wieder [8,7,46]. Es gibt inzwischen Meta-Studien, die Publikationen über die Thematik des Verlustes miteinander vergleichen. In einer systematischen Zusammenfassung von *Crismani et al.* im Jahr 2010 erfüllten 14 von 734 Studien im Voraus festgelegte Kriterien, die anschließend mit der Fragestellung nach verlustabhängigen Parametern analysiert wurden. Die Gesamterfolgsrate betrug dabei 83,8%, wobei innerhalb der Studien 30 - 273 Pins inseriert wurden [22]. Eine ähnliche Publikation mit 19 Studien zeigte eine mittlere Erfolgsrate von über 80%, womit die in 2007 von *Wiechmann* und Mitarbeitern angegebene Überlebensrate bestätigt wurde [60].

2.4. Zielsetzung dieser Arbeit

Die folgende Arbeit befasst sich mit der Problematik des Verlustes von Miniimplantaten innerhalb der Belastungsphase. Ein größeres Patientenkollektiv, welches mit nur einem Schraubensystem (OrthoEasy Pins von FORESTADENT) kieferorthopädisch unter standardisierten Behandlungsabläufen behandelt worden ist, wurde retrospektiv analysiert. Neben der Untersuchung der Verlustrate in Bezug auf die Lokalisation der Miniimplantate wurden zusätzliche Parameter wie Indikation, Länge der Miniimplantate, Mundhygiene der Patienten, Geschlecht, Alter der Patienten, Dentition und Verankerungsform im Zusammenhang mit der Verlustrate betrachtet. Die Ergebnisse werden anschließend mit der Literatur verglichen, um eine weitere Aussage bezüglich der Eignung der Schrauben zu treffen und mögliche Risikofaktoren herauszufiltern.

3 Material und Methode

3.1 Material

Diese Studie beruht auf einer Analyse von Patientendaten einer kieferorthopädischen Praxis. Die Analyse berücksichtigt Patienten mit Miniimplantaten, die ab Juli 2006 inseriert wurden und deren Behandlung bis Juli 2010 abgeschlossen sein musste. Die Insertion der Minischrauben wurde nach einem prospektiven und etablierten Insertionsprotokoll durchgeführt. Alle Minischrauben wurden von zwei zuvor kalibrierten Behandlern inseriert und später explantiert. Es wurde nur ein Schraubentyp verwendet. Die Abläufe und Ergebnisse wurden von den Ärzten während der Behandlung dokumentiert.

Die Auswahl wurde über eine Liste der gesamten Patienten, die jemals in der Praxis mit Minischrauben behandelt wurden, gemacht. Aus der vorher bestehenden Liste von 480 Miniimplantaten wurden 300 zufällig ausgewählt und die benötigten Daten zusammen getragen.

3.1.1 Konstruktionsdetails des verwendeten Miniimplantats

Alle Patienten dieser Studie wurden mit Minischrauben des OrthoEasy Pin-Systems von FORESTADENT behandelt.

Diese Minischrauben bestehen aus einer bioverträglichen und besonders belastbaren Titanlegierung (Ti-6Al-4V). Diese weist im Gegensatz zu reinem Titan günstigere mechanische Eigenschaften wie Festigkeit, optimales Dehnungsverhalten, hohe Verschleißbeständigkeit und besonders geeignete Oberflächenbeschaffenheit auf.

Der Schraubenkopf im Bracketdesign mit doppeltem Kreuzslot (0.022“ * 0.025“) bietet die Möglichkeit zum Einlegen zweier Vierkantbögen. Der Kopf ist in Achtkantform ausgearbeitet und erhöht so die Anlagefläche zum besseren Halt des Pins im Eindrehinstrument.

Der transgingivale Schraubenhals ist 2 mm lang und konisch. Er dient der Abdichtung gegen Bakterien im Bereich der Gingiva und besitzt einen integrierten Tiefenstopp.

Im oberen Bereich des Schaftes geht die letzte Gewindesteigung in eine glatte Stufe über. Diese so genannte Kompressionsstufe weist keinen schneidenden Bereich mehr auf. So kommt es im Bereich der Kortikalis beim Inserieren zu einer mechanischen Verdichtung des Knochens. Die Kompression wiederum führt zu einer Erhöhung der Primärstabilität. Das nachfolgende Gewinde hat einen Durchmesser von 1,6 mm (max 1.7 mm) und wird als Shark-Gewinde bezeichnet, da auf jeder Gewindestufe Kerben angebracht sind, die an Haifischzähne erinnern und jeweils einen neuen Gewindegang schneiden. Das Gewinde ist

selbstschneidend, selbstbohrend und macht eine Pilotbohrung, außer in strukturell sehr kompakten Bereichen (z.B. anteriorer Unterkiefer), überflüssig.

Die Gewindespitze ist fast stumpf, welches das Eindrehen durch Gingiva und Kortikalis erleichtern und das Eindrehen in umgebende Zahnwurzeln erschweren soll.

Es gibt drei verschiedene Längen, die durch eine Anodisierung der Oberfläche zur visuellen Unterscheidung farblich codiert wurden (vgl. Abbildung 4) [35].



Abbildung 4: Ortho Easy Miniimplantate mit den Längen 6mm, 8mm, 10mm

3.1.2 Patientenübersicht

158 Patienten (n=89 weiblich, n=69 männlich) erhielten insgesamt 294 Miniimplantate. Die Patienten gehören der kaukasischen Rasse an.

Von den 294 Miniimplantaten wurden 170 bei Frauen und 124 bei Männern eingesetzt.

Maximal wurden vier Miniimplantate bei einem Patienten inseriert.

3.2 Methode

3.2.1 Einschlusskriterien

In die Studie wurden Patienten aufgenommen,

1. bei denen innerhalb des oben genannten Zeitraums eine oder mehrere Schrauben des System OrthoEasy zur kortikalen direkten oder indirekten Verankerung im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung palatinal, interradi­kulär oder alveolär-vertikal inseriert und belastet wurden und
2. bei denen diese Schraube oder Schrauben innerhalb des Beobachtungszeitraumes regelrecht entfernt wurde(n), wegen Lockerung oder anderen Komplikationen frühzeitig entfernt werden musste(n) oder vorzeitig verloren gegangen ist/sind.

Es wurden alle Patienten mit einbezogen, bei denen die diagnostischen Unterlagen wie Anamnesebogen, Behandlungsdokumentation und dazugehörige digitale Bilder und Röntgenbilder vollständig eingesehen werden konnten.

3.2.2 Auswertungsparameter

Die Basis der Datenaufnahme bildeten die Patientenakten, die sowohl in Papierform als auch in digitaler Form im Programm OrthoExpress (Computer Forum GmbH) zur Verfügung standen. Außerdem gab es zusätzliche Informationen zum Behandlungsverlauf auf Röntgen- und digitalen Bildern, die im Programm DentalVision (Computer Forum GmbH) abgespeichert waren.

Folgende Parameter wurden aus den Daten entnommen:

1. Insertionsort
 - a. Kiefer: Oberkiefer/Unterkiefer
 - b. Lokalisation: palatinal / vestibulär-interradi­kulär / alveolär-vertikal
 - c. Region (Zahnzwischenraum)

2. Indikation
3. Länge des Miniimplantats
 - a. 6mm
 - b. 8mm
 - c. 10mm
4. Verweildauer des Miniimplantats in situ
5. Geschlecht des Patienten
 - a. männlich
 - b. weiblich
6. Alter des Patienten
7. Mundhygienestatus des Patienten¹
 - a. gut
 - b. schlecht (API > 30%)
8. Dentition
 - a. frühes Wechselgebiss
 - b. Ruhephase
 - c. spätes Wechselgebiss
 - d. bleibende Dentition
9. Verankerungsform
 - a. direkt²
 - b. indirekt³
10. Erreichen der Zieltragedauer

¹ Die Mundhygiene wurde als schlecht bewertet, wenn der Approximale Plaque Index bei der regelmäßigen Kontrolle im Durchschnitt über 30% lag.

² Direkte Verankerung: Zwischen Miniimplantat und der zu bewegenden Zahneinheit besteht eine direkte Verbindung

³ Indirekte Verankerung: Bildung eines Verankerungsblocks zwischen Miniimplantat und dentaler Verankerungseinheit (Stabilisierungseffekt)

3.2.3 Erfolgs- und Misserfolgskriterien

Das Pinsystem hat funktioniert und wurde als erfolgreich eingestuft, wenn es nach gewünschter Tragezeit und dem damit verbundenem Erreichen des Therapieziels (in Bezug auf den Nutzen der Schraube, nicht auf das gesamte Behandlungsziel) wieder vom behandelnden Zahnarzt entfernt wurde.

Ein Pinsystem galt als nicht erfolgreich, wenn wegen Wucherungen der umliegenden Schleimhaut, Schmerzen oder Lockerung ein frühzeitiges Entfernen der Schraube nötig war. Der frühzeitige Verlust einer Schraube wurde ebenfalls als Misserfolg angesehen.

Minischrauben, bei denen gingivale Auffälligkeiten oder sogar Schmerzen auftraten, jedoch ein Erreichen des Therapieziels aufgrund eines Rückgangs der Komplikation gewährleistet war, wurden als erfolgreich eingestuft.

3.2.4 Chirurgische Insertion des Miniimplantats

Grundsätzlich wurden alle Patienten vor der Behandlung mit den OrthoEasy Pins über den Ablauf des Eingriffs und mögliche Komplikationen aufgeklärt. Mit einer Unterschrift auf dem im Vorfeld ausgehändigten Aufklärungsbogen bestätigte der Patient die Einwilligung für die Behandlung (vgl. Abbildung 5).

Insertion von Minischrauben

im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung bei:

Name des Patienten: _____

Ablauf des Eingriffes:

- Oberflächenanästhesie
- Infiltrationsanästhesie
- Ausstanzen der Schleimhaut am Insertionsort
- Pilotbohrung
- Insertion von _____ Minischrauben
- Kopplung der Minischrauben mit der kieferorthopädischen Apparatur
- Entfernen der Minischrauben (nach Ablauf der Behandlung)

Allgemeine Nebenwirkungen / Komplikationen:

Schmerzen sind nach dem Eingriff möglich. Sie klingen i.d.R. innerhalb von Stunden ab. Blutungen und Nachblutungen sind extrem selten und können aber bei Patienten mit erhöhter Blutungsneigung (Blutgerinnungsstörungen) auftreten.

Spezielle Nebenwirkungen / Komplikationen:

- Wurzelverletzungen durch die räumliche Nähe der Minischraube zu Zähnen
- Verletzung von Weichteilen im Rahmen der Insertion
- Fraktur, Lockerung oder vorzeitiger Verlust der Minischrauben
- Entzündungen der Weich- und Hartgewebe um die Minischraube
- Individuelle Risiken:

Kosten:

Die Anwendung von Minischrauben zählt nicht zum Leistungskatalog der gesetzlichen Krankenkassen. Auch private Krankenversicherungen und Beihilfestellen erstatten nicht immer alle erbrachten Leistungen und Materialkosten. Über die Kosten der Behandlung wurde ich informiert.

Einwilligung

Ich wurde darüber unterrichtet, dass die oben genannten Maßnahmen bei mir durchgeführt werden sollen. Meine Fragen wurden beantwortet. Eine Aufklärung über weitere Einzelheiten wünsche ich nicht bzw. erfolgte soweit ich es wünschte. Mir ist bekannt, dass ich die Einwilligung jederzeit widerrufen kann. Ich erkläre mich mit der vorgesehenen Maßnahme, Methode, mit erforderlichen Erweiterungen und Änderungen einverstanden.

Ich versichere, dass ich in der Krankengeschichte (Anamnese) alle mir bekannten Krankheiten und Beschwerden genannt habe.

, den _____

(Erziehungsberechtigter bzw. Patient)

Abbildung 5: Aufklärungsbogen zur Insertion von Minischrauben

Die Insertion der Miniimplantate erfolgte nach folgendem chirurgischen Protokoll:

3.2.4.1 Vorbereitung

Alle verwendeten Instrumente wurden gemäß den Herstellerempfehlungen sterilisiert. Nach Aufklärung des Patienten und Unterschrift der Einverständniserklärung erfolgte auf Patientenwunsch eine Lokalanästhesie.

Entweder wurde ein Oberflächenanästhetikum (Gingicain D, Spray) appliziert oder die Mukosa sowie das Periost mit einer Low-Dose-Infiltration von 0,2-0,5 ml Ultracain betäubt.

Durch die geringe Menge der Infiltration bei interradikulär gesetzten Schrauben sollte die Sensibilität des Parodonts der benachbarten Zähne erhalten bleiben.

3.2.4.2 Insertion

Die Insertion der Minipins erfolgte durch die Schleimhaut ohne Inzision oder Aufklappen der Mukosa. Die Pins wurden gemäß Herstellerangaben ohne Vorbohrung entweder von Hand mittels eines Schraubendrehers oder maschinell mit einem doppelt grünen Winkelstück eingebracht (Sirona T1 Classic, 1.6.L, 24:1,60 RPM, vgl. Abbildung 6).



Abbildung 6: Maschinelle Insertion zweier Pins mit der Länge von 8mm, palatinal

Im palatinalen Bereich wurden die Schrauben in den anterioren Gaumen ca. 3 mm paramedian der Suture mesial der Verbindungslinie der ersten Prämolaren bzw. 4 bis 5 mm hinter der Papilla incisiva inseriert. Sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer wurden die Schrauben vestibulär, interradikulär (vgl. Abbildung 7) im Bereich der befestigten Gingiva inseriert.



Abbildung 7: Interradikulärer Pin zwischen den Zähnen 23 und 24

Bei dem provisorischen Zahnersatz kam ein Miniimplantat mit provisorischer Zahnkrone zum Einsatz und wurde alveolär-vertikal in der Region des fehlenden Zahnes in den Kieferkamm inseriert (vgl. Abbildung 8, 9).



Abbildung 8: Röntgenbild: alveolär-vertikal inserierte Pins zum Ersatz von 21 und 22



Abbildung 9: Alveolär-vertikal inserierte Pins mit provisorischer Zahnkrone 21 und 22

Nach der Insertion wurden die Schrauben mithilfe eines Belastungstests auf Primärstabilität mit einer Sonde oder Pinzette kontrolliert und sofort oder nach einer laborbedingten einwöchigen Wartezeit mit maximal 200 cN belastet.

3.2.4.3 Nachbehandlung

Die Patienten wurden darauf hingewiesen, sofort die Praxis zu kontaktieren oder aufzusuchen, sollten sich im Implantationsgebiet Besonderheiten oder Auffälligkeiten zeigen. Ansonsten wurde die Kontrolle der Minischrauben in die regelmäßigen Termine, die für die eigentliche kieferorthopädische Behandlung nötig waren, integriert. Die Patienten wurden dazu angehalten, die Schraube und die damit verbundene Apparatur im Rahmen ihrer täglichen Mundhygiene mit einer Zahnbürste zu säubern. Der Mundhygienestatus wurde regelmäßig mithilfe des Approximalen Plaque Index erfasst und dokumentiert. Gegebenenfalls wurde auf eine Verbesserung des Mundhygieneverhaltens hingewiesen. Außerdem wurden bei den Kontrollterminen sowohl die Stabilität der Schraube als auch das umliegende Gewebe untersucht und ebenfalls notiert. Wenn postoperative Schmerzen im Insertionsgebiet auftraten wurde die Einnahme eines Schmerzmittels empfohlen (Paracetamol oder Ibuprofen).

3.2.4.4 Entfernung

Grundsätzlich wurden die Schrauben nach Erreichen des Behandlungsziels sofort entfernt. Dies erfolgte in der Regel ohne Anästhesie.

3.3 Datenerfassung und Auswertung

Zur Erfassung der oben genannten Parameter wurden sowohl Daten aus Karteikarten als auch aus dem PC-System der Praxis unter dem Programm OrthoExpress verwendet. Zusätzliche digitale Bilder und Röntgenaufnahmen, abgespeichert im Programm DentalVision, wurden zur Bestimmung der Länge der Minischraube und Lokalisation mit einbezogen.

Die Daten wurden dann für jeden Patienten in einer Tabelle mit dem Programm Microsoft Excel 2004 dokumentiert, für eine statistische Auswertung aufbereitet und codiert.

3.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte in fachlicher Zusammenarbeit im statistischen Bereich mittels der Softwareprogramme SPSS für Windows, Version 18.0 (SPSS Inc., USA) und Microsoft Excel 2004 (Microsoft Cooperation, USA).

3.4.1. Deskriptive Verfahren

Deskriptiv wurden prozentuale Häufigkeiten, Mittelwerte, Standardabweichungen, Mediane, Maxima und Minima errechnet. Die Ergebnisse wurden in Säulendiagrammen und Tabellen anschaulich dargestellt.

3.4.2 Vergleiche der Parameter

Die kontinuierlichen Parameter Länge der Miniimplantate und Alter der Patienten wurden zunächst mit dem Test nach Kolmogorov-Smirnov auf Normalverteilung überprüft. Die getesteten Variablen wiesen keine Normalverteilung auf ($p < 0,001$). Bei den Vergleichen dieser Stichproben wurde daher ein nichtparametrischer für nicht normalverteilte Stichproben herangezogen, der U-Test nach Mann-Whitney.

Die kategorisierten Parameter wurden mithilfe des Chi-Quadrat-Tests nach Pearson oder des exakten Tests nach Fisher ausgewertet. Somit wurde untersucht, ob zwei Merkmale (1. Verlust, 2. jeweiliger Parameter) miteinander statistisch in Beziehung stehen bzw. voneinander abhängig sind. Er war in allen Fällen zuverlässig, da jeweils die erwarteten Häufigkeiten in weniger als $20\% < 5$ gewesen sind.

3.4.3 Überlebensanalysen

Die Überlebensanalyse der Pins wurde in diesem Fall mit der Kaplan-Meier-Analyse vorgenommen und graphisch als Überlebenskurven dargestellt. Als Testverfahren zum Vergleich der Verlustraten wurde der Log-Rank Test verwendet.

3.4.4 Signifikanzniveau

P-Werte kleiner als 0,05 wurden als statistisch signifikant betrachtet. Ein höchst signifikantes Ergebnis ergab sich bei einem p-Wert $\leq 0,001$.

4 Ergebnisse

4.1 Variablenspezifische Ergebnisse der Analyse

In dieser Studie wurden 294 Miniimplantate retrospektiv analysiert. 158 Patienten wurden innerhalb ihrer kieferorthopädischen Behandlung mithilfe von Miniimplantaten behandelt. Die Gesamtverlustrate betrug 10,1%, was einer Anzahl von 32 Schrauben entspricht.

4.1.1 Insertionsort

Die größte Anzahl der Miniimplantate wurde palatinal im Oberkiefer gesetzt (n=192/294) (vgl. Abbildung 10). 93 Pins wurden interradikulär von vestibulär inseriert, davon 64 im Unterkiefer und 29 Pins im Oberkiefer.

Neun Miniimplantate wurden als provisorischer Zahnersatz⁴ genutzt und alveolär-vertikal in den Kieferkamm inseriert, davon zwei im Unterkiefer und sieben im Oberkiefer.

Insgesamt wurden 228 Pins im Oberkiefer und 66 im Unterkiefer eingesetzt.

Die Verlustrate für den Oberkiefer betrug 4,4% (n=10 von 228), wobei von den zehn Verlustschrauben sechs interradikulär inseriert wurden und vier palatinal. Im Unterkiefer lag die Verlustrate mit

33,3% (n=22/66) 28,9% höher als im Gegenkiefer (vgl. Abbildung 11).

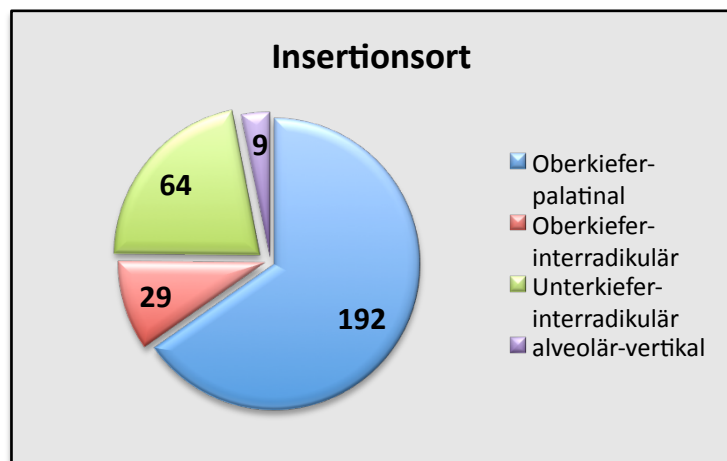


Abbildung 10: Anzahl der gesetzten Miniimplantate bezogen auf den Insertionsort

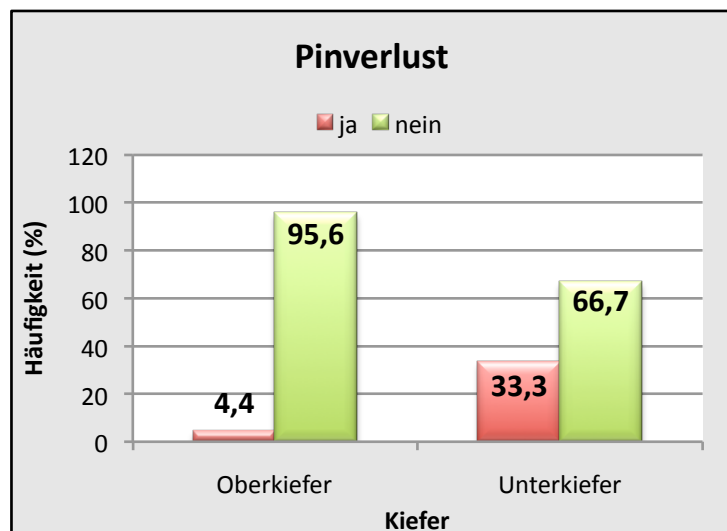
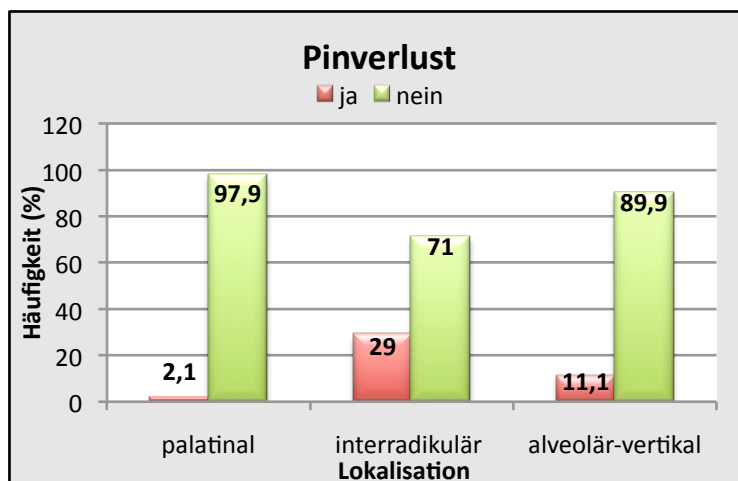


Abbildung 11: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf den Kiefer

⁴ Provisorischer Zahnersatz: temporäres Mini-Implantat mit provisorischer Zahnkrone

Mittels des exakten Test nach Fisher wurde ein höchst signifikanter Unterschied in Bezug auf die Verlustrate zwischen Oberkiefer und Unterkiefer ermittelt ($p < 0,001$).

Die Verlustrate der palatinalen Schrauben im Oberkiefer betrug 2,1% ($n=4/192$) (vgl. Abbildung 12). 27 von 93 interradikulär inserierten Miniimplantaten wurden als nicht erfolgreich eingestuft, was ohne die Berücksichtigung der Kiefer einer Verlustrate von 29% entspricht.



Eine der neun alveolär-vertikal gesetzten Schrauben lockerte sich

Abbildung 12: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die genauere Lokalisation

innerhalb der Beobachtungszeit (11,1%). Diese Schraube wurde bei einer 55 Jahre alten Patientin in Regio 35 platziert und lockerte sich nach 41 Tagen. Für die Lokalisation ergab der Chi-Quadrat-Test nach Pearson einen höchst signifikanten Unterschied in Bezug auf die Verlustrate ($p < 0,001$).

Die genauere Betrachtung der interradikulären Lokalisation der Miniimplantate im vestibulären Bereich ergab für den Oberkiefer eine Gesamtverlustrate von 20,7% ($n=6/29$) und für den Unterkiefer 34,4% ($n=22/64$). Zwischen dem zweiten Prämolaren und ersten Molaren im Oberkiefer betrug die Verlustrate 40% ($n=4/10$). Im Unterkiefer lag der Wert bei 42,8% ($n=3/7$). Die Verlustrate der Pins, die zwischen den beiden Prämolaren inseriert wurden, betrug im Oberkiefer 16,7% ($2/12$) und im Unterkiefer 24% ($n=6/25$). Im Oberkiefer blieben die sieben Schrauben, die jeweils zwischen Eckzahn und ersten Prämolaren inseriert wurden, stabil. Im Unterkiefer betrug die Verlustrate in diesem Bereich 37,5% ($n=12/32$). Außerdem wurden zwei Pins im Unterkiefer mesial des Eckzahns inseriert. Ein Pin musste frühzeitig entfernt werden (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Verlustraten der vestibulär-interradikulär gesetzten Miniimplantate bezogen auf ihre Lage zu den Zähnen

Insertionsort	OK in % (n)	UK in % (n)
1Molar-2Prämolar	40 (4/10)	42,8 (3/7)
2Prämolar-1Prämolar	16,7 (2/12)	24 (6/25)
1Prämolar-Eckzahn	0 (0/7)	37,5 (12/32)
Eckzahn mesial	-	50 (1/2)
Gesamt	20,7 (6/29)	34,4 (22/64)

Im Seitenvergleich zeigte sich für die rechte Seite der Kiefer eine Verlustrate von 31,8% und für die linke Seite eine Verlustrate von 28%.

4.1.2 Indikation

Bei der Auswertung der Verlustrate in Zusammenhang mit der Indikation konnte nur eine Berechnung der Häufigkeitsverteilung vorgenommen werden. Die Begründung liegt an einer zu geringen Validität und einer damit verbundenen beschränkten Fallzahl für die jeweilige Indikation, so dass keine weiteren Analysen zum Einsatz kamen.

Die Pins wurden vermehrt als Verankerungshilfe zur Distalisierung von Molaren genutzt. Sie kamen in 90 von 294 Fällen (30,6%) in Kombination mit der so genannten Froschapparatur zum Einsatz. Die Verlustrate für diese Variante betrug 2,2% ($n=2/90$). Danach folgte die

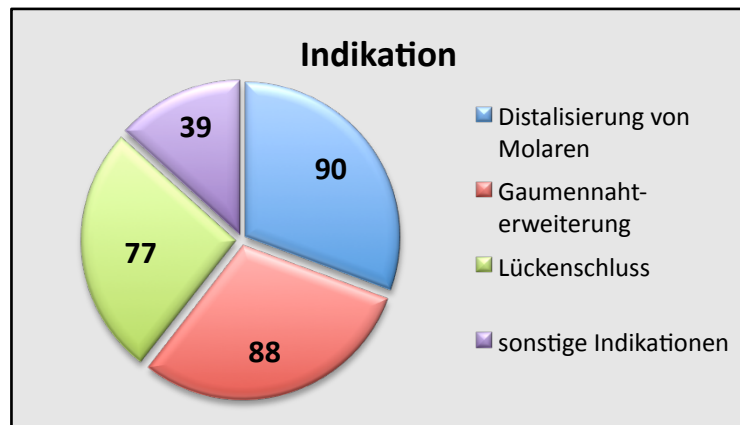


Abbildung 13: Anzahl der gesetzten Miniimplantate bezogen auf die Indikation

die Gaumennahterweiterungsapparatur in Verbindung mit 88 Pins (29,9%) bei der alle verwendeten Minischrauben stabil blieben. Bei der Indikation Lückenschluss wurden 77 Pins (26,2%) eingesetzt. Die Verlustrate betrug hier 35,1% ($n=27/77$) und war somit der höchste Wert in Bezug auf die Indikation (vgl. Abbildung 13,14).

39 Miniimplantate (13,3%) verteilten sich in geringer Anzahl auf weitere Nebenindikationen. Darunter neun Schrauben, die als temporäres Miniimplantat mit einer provisorischen Zahnkrone als Zahnersatz verwendet (3,1%) wurden. Eine Schraube ist dabei als nicht erfolgreich eingestuft worden (11,1%).

Sechs Schrauben wurden zur Stabilisierung von Molaren im Oberkiefer in Kombination mit dem Transpalatinalbügel genutzt (2%) und blieben über den Behandlungszeitraum stabil.

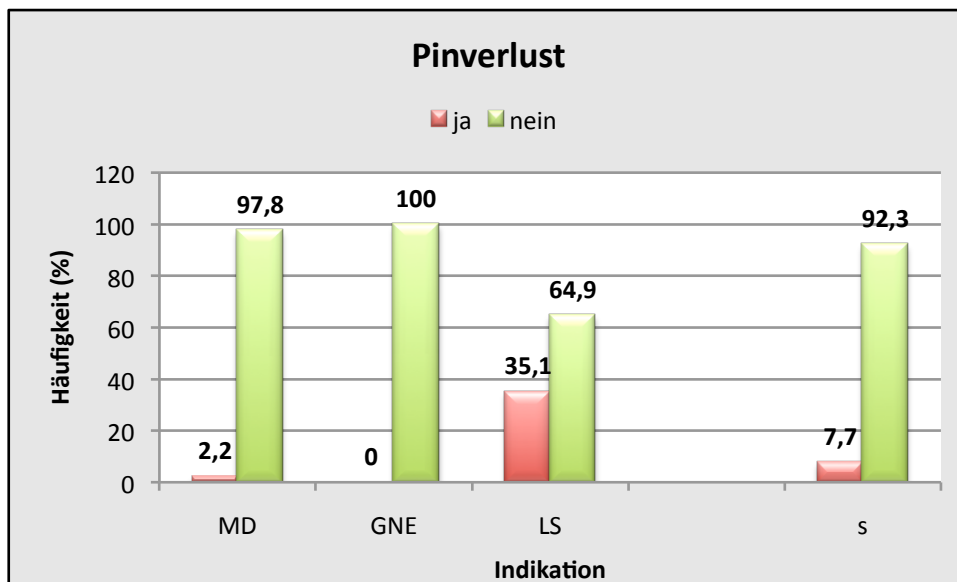


Abbildung 14: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die Indikation

MD Molaren-Distalisierung mittels Froschapparatur, *GNE* Gaumennahterweiterung, *LS* Lückenschluss, *s* Sonstige Indikationen

Mithilfe von sechs Schrauben und des Functional Mandibular Advancers wurden Patienten mit einer Distalokklusion behandelt (2%). Zwei der sechs Schrauben mussten frühzeitig entfernt werden (33,3%).

Für die Indikation Intrusion und Extrusion wurden sieben Schrauben verwendet (2,4%). Es gab keine Schraube, die sich unter dieser Indikation lockerte.

Die Aufrichtefeder wurde am wenigsten benutzt und trat in Kombination mit drei Schrauben auf (1%). Auch in dieser Kombination blieben alle drei Schrauben stabil. Die Gesamtverlustrate der Miniimplantate mit sonstiger Indikation betrug 7,7% (n=3/39).

4.1.3 Länge der Miniimplantate

117 Minischrauben hatten eine Länge von 6mm (39,8%), davon lockerten sich 22 frühzeitig, das entspricht einer Verlustrate von 18,8% (vgl. Abbildung 15).

165 Schrauben hatten eine Länge von 8 mm (56,1%), von denen acht Schrauben nicht stabil blieben (4,85%). Die Verlustrate der Pins mit einer Länge von 10 mm betrug 16,76% (n=2/12). Mittels des Mann-Whitney-U-Tests wurde für die Längen der Implantate ein signifikanter Unterschied berechnet (p=0,002).

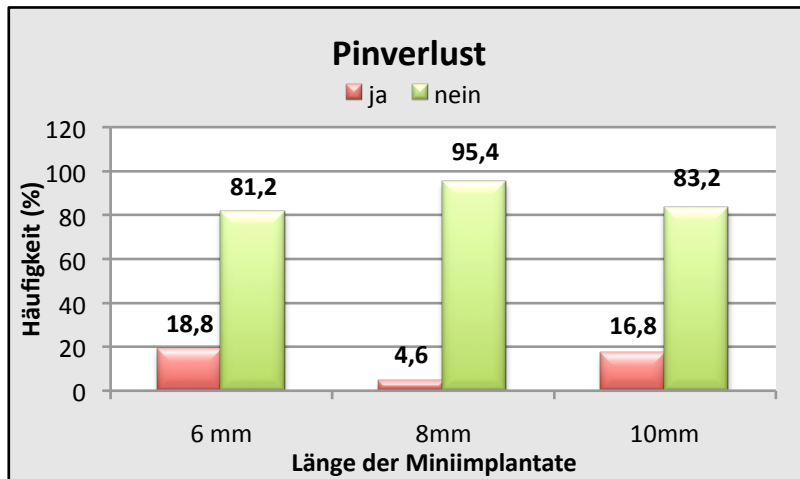


Abbildung 15: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die Implantatlänge

Die Berechnung der Verlustraten in Bezug auf die Lokalisation ergab für die Schrauben mit einer Länge von 6 mm einen Wert von 4,4% im palatinalen Bereich im Oberkiefer (vgl. Tabelle 3). Drei der 68 dort inserierten Schrauben blieben nicht stabil. Die Verlustrate der 6 mm - Pins im vestibulären Oberkiefer betrug 25% (n=2/8). Im Unterkiefer wurden 41 Pins mit einer Länge von 6 mm gesetzt. Die Verlustrate betrug hier 41,5% (n=17/41). 123 Schrauben mit einer Länge von 8 mm wurden im Oberkiefer palatinal inseriert. Ein Pin wurde in diesem Bereich als nicht erfolgreich eingestuft. Die Verlustrate betrug somit 0,8%.

Im vestibulären Bereich des Oberkiefers wurden 19 Pins mit einer Länge von 8 mm inseriert. Die Verlustrate betrug 21% (n=4/19).

Drei der 19 im Unterkiefer gesetzten 8mm - Pins lockerten sich frühzeitig, das entspricht einer Verlustrate von 15,8%. Vier 8mm - Schrauben wurden als provisorischer Zahnersatz genutzt und als erfolgreich eingestuft. Davon kamen drei Pins im Oberkiefer und ein Pin im Unterkiefer zum Einsatz.

Im palatinalen Bereich wurde eine Schraube und auf der vestibulären Seite des Oberkiefers wurden zwei Schrauben mit einer Länge von 10 mm inseriert. Alle drei Minischrauben blieben über den Behandlungszeitraum stabil. Vier der 10mm - Pins wurden im Unterkiefer inseriert. Die Verlustrate betrug 25% (n=1/4).

Fünf der zwölf Pins mit einer Länge von 10 mm wurden vertikal in den Kieferkamm inseriert und dienten als provisorischer Zahnersatz. Vier dieser Pins kamen im Oberkiefer zum Einsatz. Ein Pin wurde im Unterkiefer Regio 35 inseriert und musste frühzeitig entfernt werden (20%).

Tabelle 3: Verlustraten der Miniimplantate mit verschiedener Länge bezogen auf den Insertionsort

Insertionsort	OK palatinal	OK vestibulär	UK	vertikal
6mm	4,4 (3/68)	25 (2/8)	41,5 (17/41)	-
8mm	0,8 (1/123)	21 (4/19)	15,8 (3/19)	0 (0/4)
10mm	0 (0/1)	0 (0/2)	25 (1/4)	20 (1/5)

4.1.4 Beobachtungszeitraum und Verlustzeiten

Die Gesamtbeobachtungszeit der Pins betrug im Durchschnitt 6,5 Monate mit einer Standardabweichung von 5,1 Monaten. Bei näherer Betrachtung der Verlustpins konnte Folgendes beobachtet werden: Die durchschnittliche Zeit, die ein Verlustpin in situ war, betrug 2,4 Monate. Acht der 32 Pins sind jedoch innerhalb der ersten zwei Wochen verloren gegangen, davon drei Pins innerhalb der ersten drei Tage nach Insertion. Innerhalb eines Monats sind 13 Pins und während des zweiten Monats sechs Pins verloren gegangen. Nach einer Zeit von zwei bis acht Monaten wurden elf Pins als nicht erfolgreich eingestuft (vgl. Tabelle 4). Der Pin, der von den verloren gegangenen Pins am längsten in situ geblieben ist, lockerte sich nach einer Zeit von 13,4 Monaten.

Tabelle 4: Verlustzeiten der Miniimplantate

Dauer bis zum Verlust (Monate)	Anzahl der Schrauben	Prozentsatz (%)	Akkumulativer Prozentsatz (%)	Durchschnittswert Verlustzeit (SD)
≤1	13	40,63	40,63	2,4 (2,8)
≤2	6	18,75	59,38	
≤3	4	12,50	71,88	
≤4	2	6,25	78,13	
≤5	3	9,38	87,50	
≤6	2	6,25	93,75	
≤7	0	0	93,75	
≤8	0	0	93,75	
≤9	1	3,13	96,88	
...				
≤13-14	1	3,13	100%	
Gesamt :	32	100		

4.1.5 Geschlecht der Patienten

Von den 144 Pins, die bei männlichen Patienten inseriert wurden, lockerten sich 17 frühzeitig oder wurden, ohne das Behandlungsziel erreicht zu haben, entfernt. Das entsprach einer Verlustrate von 13,7%. Bei weiblichen Patienten betrug die Verlustrate 8,8% (n=15/170).

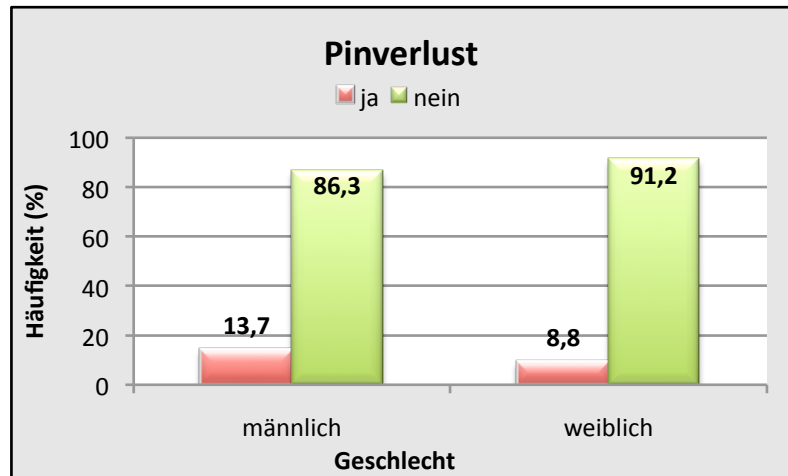


Abbildung 16: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf das Geschlecht

Die Verlustrate der Pins bei

männlichen Patienten lag um ca. 5% höher als die der weiblichen Patienten (vgl. Abbildung 16). Hierbei konnte jedoch für die Variable Geschlecht mittels des exakten Tests nach Fisher ($p=0,191$) kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen nachgewiesen werden.

4.1.6 Alter der Patienten

Das Durchschnittsalter der Patienten zum Insertionszeitpunkt lag bei 16,1 Jahren mit einer Standardabweichung von 10,3 Jahren. Der jüngste Patient war bei Insertion sechs Jahre, der Älteste 58 Jahre alt. In Abbildung 17 ist das Alter mit und ohne Pinverlust dargestellt. Hierbei betrug das Alter im Mittel 16,1 Jahre mit einem Medianwert von 13 Jahren. Während in der Gruppe der Patienten ohne Pinverlust das Alter im Mittel 15,4 Jahre betrug, belief sich das Alter bei Patienten mit Pinverlust um die 22 Jahre. Bezüglich dieser Differenz, die 6,5 Jahre ausmacht, wurde eine statistische Signifikanz mittels des Mann-Whitney-U-Tests ermittelt ($p<0,001$). Die Verlustrate bei Patienten unter 13 Jahren betrug 5,9% (n=10/167), bei Patienten über 13 Jahren 17,3% (n=22/127).

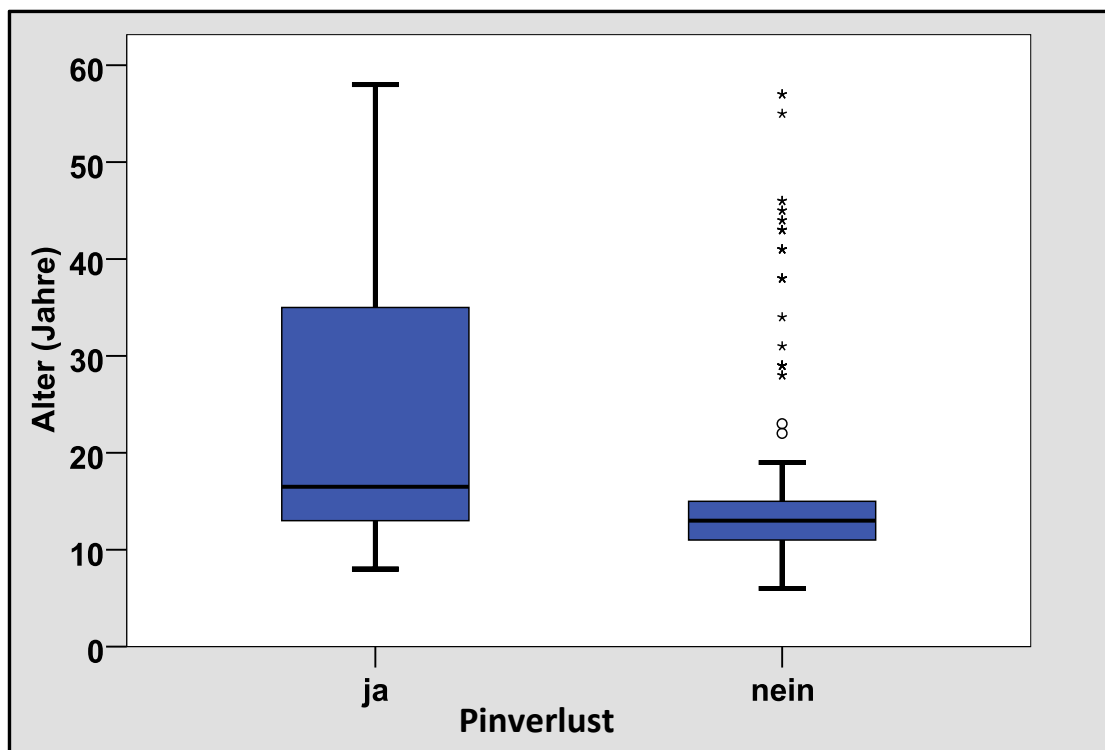


Abbildung 17: Altersverteilung der Patienten mit und ohne Pinverlust

Die Einteilung der Patienten in drei Altersgruppen ergaben die in Abbildung 18 angezeigten Verlustraten. Für Patienten zwischen 6-20 Jahren betrug diese 8,8% (n=251/22). Die Verlustrate der Miniimplantate bei Patienten im Alter zwischen 20 und 30 betrug 9,1% (n=11/1). Die höchste Verlustrate ergab sich bei Erwachsenen über 30 Jahren mit 28,1% (n=32/9).

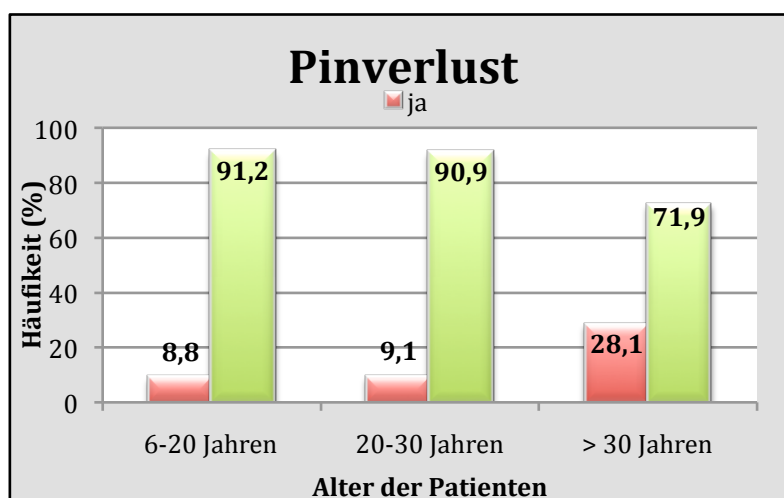


Abbildung 18: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf das Alter der Patienten

4.1.7 Mundhygiene

Bei 36 Fällen von insgesamt 294 inserierten Pins wurde eine schlechte Mundhygiene bei den jeweiligen Patienten dokumentiert. Davon blieben 30 Pins stabil. Die Verlustrate betrug somit 16,7% (n=6). Bei Patienten mit guter Mundhygiene (n=258) sind 26 Pins frühzeitig verloren gegangen, das entsprach einer Verlustrate von 10,1%. 18,8% der Verlostschrauben konnten bei Patienten mit schlechter Mundhygiene (n=6/32) nicht bis zum Ende der Behandlungszeit belastet werden. Mittels des exakten Tests nach Fisher wurde kein signifikanter Unterschied im Vergleich zwischen guter und schlechter Mundhygiene festgestellt (p= 0,252) (vgl. Abbildung 19).

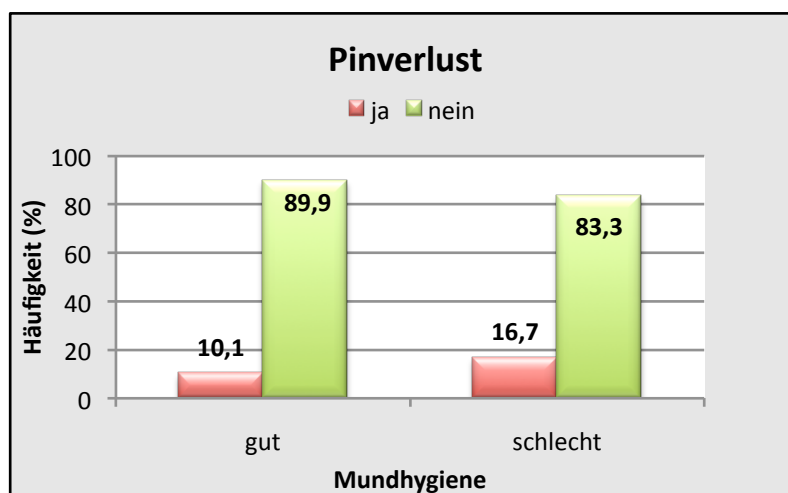


Abbildung 19: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die Mundhygiene

4.1.8 Dentition

Der Pinverlust im Zusammenhang mit der Dentition, in welcher der Pin eingebracht wurde, zeigt, dass 78,1% (n=25 /32) der verloren gegangenen Pins in die 2. Dentition inseriert wurden. 25 von 179 Pins (14%), die in der 2. Dentition inseriert wurden, gingen somit verloren oder wurden wegen Komplikationen frühzeitig entfernt (vgl. Abbildung 20).

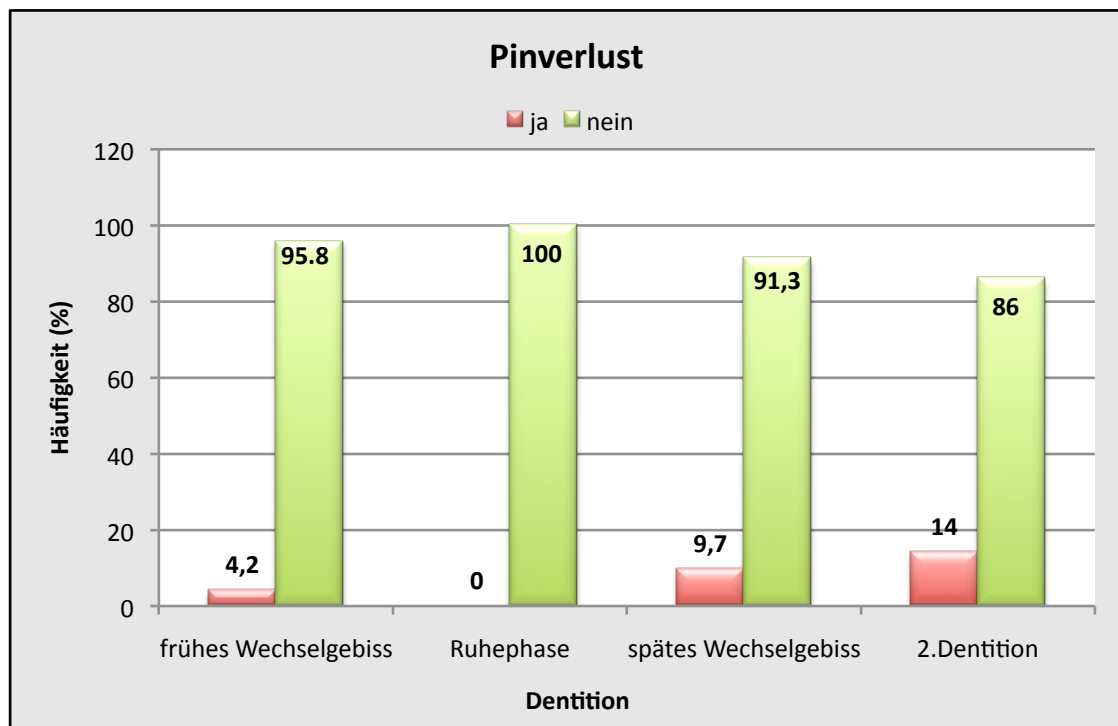


Abbildung 20: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die Dentition

Die Verlustrate für das späte Wechselgebiss betrug 9,7% (n= 6/62) und für das frühe Wechselgebiss 4,2% (n=1/24). In der Ruhephase des Dentitionswechsels hingegen blieben alle 29 Schrauben stabil.

Statistisch wurde mittels des Chi-Quadrat-Tests nach Pearson kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Phasen des Dentitionswechsels in Zusammenhang mit dem Pinverlust festgestellt (p=0,089).

4.1.9 Verankerung

Die Verlustrate in Zusammenhang mit der Verankerungsform wird in Abbildung 21 gezeigt. Sie betrug für die indirekte Verankerung 26,8% (n=15/56). 238 Pins wurden zur direkten Verankerung genutzt. 17 Schrauben sind nicht stabil geblieben. Das entsprach einer Verlustrate von 7,1%, die im Gegensatz zur direkten Verankerung somit 19,7% niedriger lag. Mittels des exakten Tests nach Fisher wurde ein höchst signifikantes Ergebnis bezüglich der beiden Verankerungsformen ermittelt ($p < 0,001$).

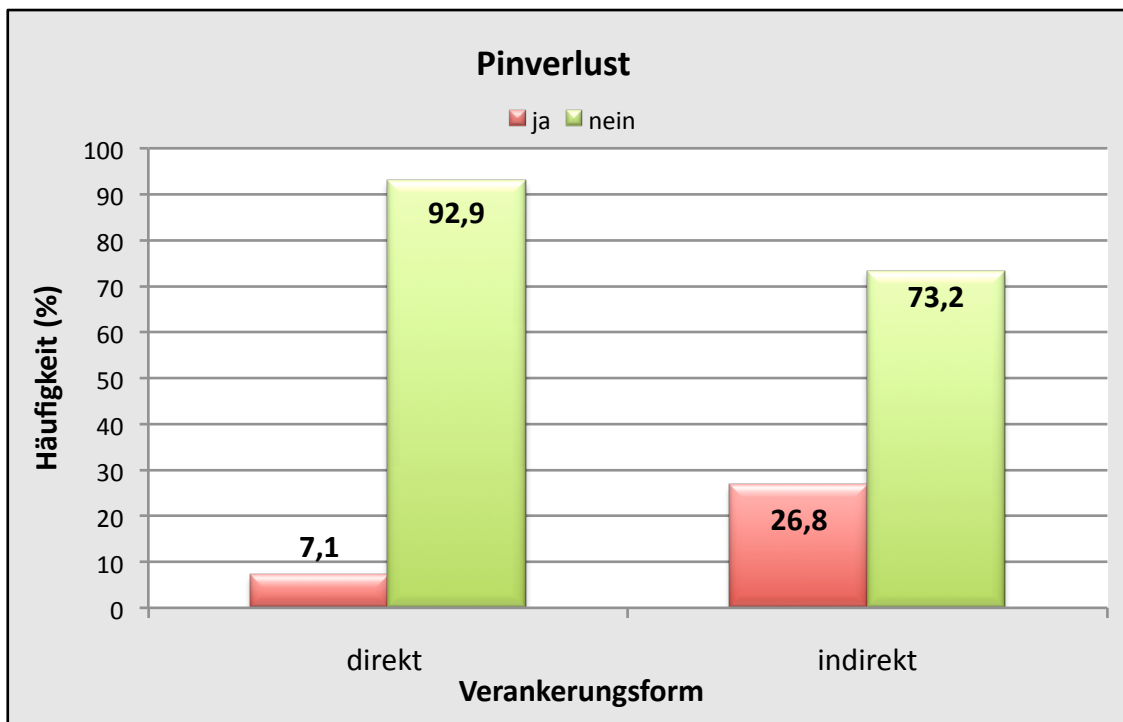


Abbildung 21: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die Verankerungsform

Tabelle 5: Zusammenfassung der Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die ausgewerteten Parameter
 (* kein Vergleich der Parameter wegen beschränkter Fallzahl)

Parameter	Verlust- rate (%)	Verlust- rate (n)	Signifikanz (p)
Kiefer			<0,001 (Fisher)
Oberkiefer	4,40	10/228	
Unterkiefer	33,30	22/66	
Insertionsort			< 0,001 (Pearson)
palatinal	2,10	4/192	
interradikulär	29	27/93	(UK und OK zusammen)
alveolär-vertikal	11,10	1/9	(UK und OK zusammen)
Indikation			Eingeschränkte Validität *
Molarendistalisierung mittels	2,20	2/90	
Froschapparatur			
Gaumennahterweiterung	0	0/88	
Lückenschluss	35,10	27/77	
Sonstige Indikationen	7,70	3/39	
Länge des Miniimplantats			0,002 (Mann-Whitney-U-Test)
6mm	18,80	22/117	
8mm	4,85	8/165	
10mm	16,76	2/12	
Geschlecht des Patienten			0,191 (Fisher)
weiblich	8,80	15/170	
männlich	13,70	17/124	
Alter des Patienten			< 0,005 (Mann-Whitney-U-Test)
≤13	5,90	10/167	
>13	17,30	22/127	
Mundhygienestatus			0,252 (Fisher)
Gut	10,10	26/258	
schlecht	16,70	6/36	
Dentition			0,089 (Pearson)
Frühes Wechselgebiss	4,20	1/24	
Ruhephase	0	0/29	
Spätes Wechselgebiss	9,70	6/62	
Bleibende Dentition	14,00	25/179	
Verankerungsform			<0,001 (Fisher)
Direkt	7,10	17/238	
Indirekt	26,80	15/56	
Gesamt	10,9	32/294	

4.2 Überlebenszeitanalysen und Signifikanztestung

4.2.1 Kaplan-Meier-Analysen

Die Wahrscheinlichkeit der Überlebensdauer wurde mit der Methode nach Kaplan-Meier berechnet. Der Log-Rank Test diente zum Vergleich der Überlebensraten der verschiedenen Parameter. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Ergebnisse mit $p \leq 0,01$ wurden als hoch signifikantes Ergebnis gewertet. In der Statistik wird bei der Kaplan-Meier-Analyse von Überlebensdaten gesprochen. Das wird folgend so beibehalten, obwohl innerhalb dieser Studie Implantate und dessen Erfolg/Misserfolg, anstatt Personen und deren Überleben, untersucht wurden.

Insgesamt wurden alle 294 Minischrauben bei 158 Patienten in die Auswertung mit einbezogen. Der Beobachtungszeitraum definierte sich vom Tag der Insertion bis zum Verlust einer Schraube, der vorzeitigen Entfernung oder der planmäßigen Explantation. In der Analyse wurde berücksichtigt, dass der Zeitraum zwischen Insertion und Verlust oder planmäßiger Entfernung für jedes Implantat ein anderer war. Im gesamten Beobachtungszeitraum wurden 32 Implantate explantiert oder sind frühzeitig verloren gegangen. Nach einer maximalen Beobachtungsdauer von 25,5 Monaten lag die kumulative Überlebensrate bei ca. 65%. Das in Abbildung 22 dargestellte Kaplan-Meier-Überlebensdiagramm zeigt die Überlebensdauer aller Minischrauben. Die Erfolgsrate fiel in den ersten fünf Monaten von 100% auf 90% ab. Der Mittelwert für die Überlebenszeit betrug nach der Berechnung der Kaplan-Meier-Schätzer-Analyse 22,1 Monate.

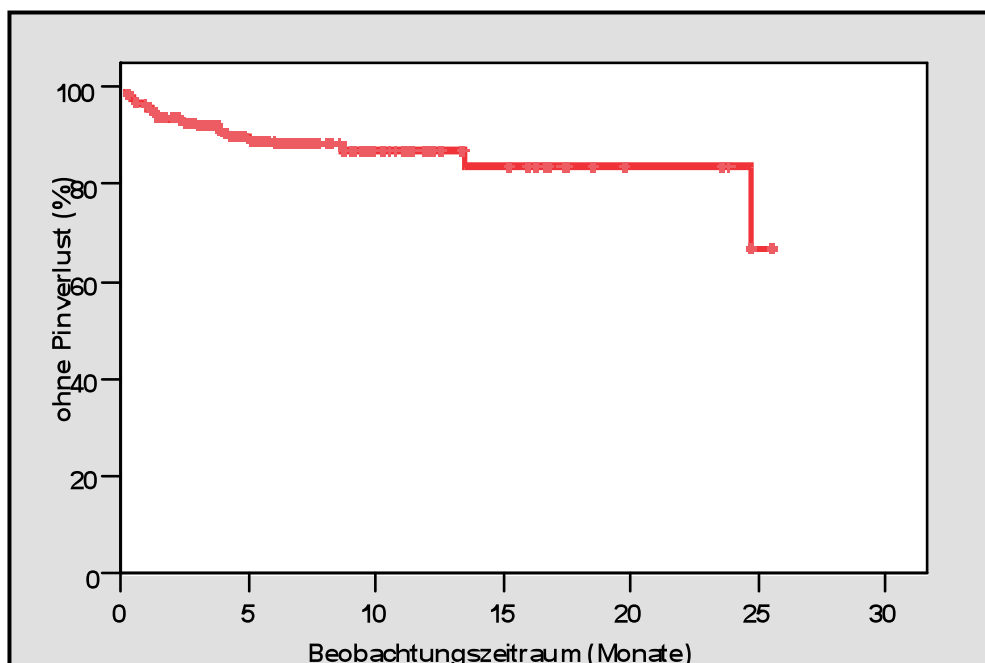


Abbildung 22: Überlebenszeit aller Miniimplantate

4.2.1.1 Insertionsort - Kiefer

Das in Abbildung 23 dargestellte Diagramm zeigt die Überlebenswahrscheinlichkeit von Miniimplantaten in Bezug auf den Kiefer. Die Kurve zeigt einen deutlichen Trend, dass die Wahrscheinlichkeit des Pinverlustes im Unterkiefer höher gewesen ist als im Oberkiefer, speziell in den ersten fünf Monaten. Nach fünf Monaten lag die Erfolgswahrscheinlichkeit der im Unterkiefer platzierten Pins bei ca. 65%. Die mittlere Überlebenszeit betrug für den Oberkiefer 24 Monate und für den Unterkiefer 15,3 Monate. Ein statistisch höchst signifikanter Zusammenhang zwischen Verlustrate der Pins und dem Insertionsort wurde mittels Log-Rank Test aufgezeigt $p > 0,001$.

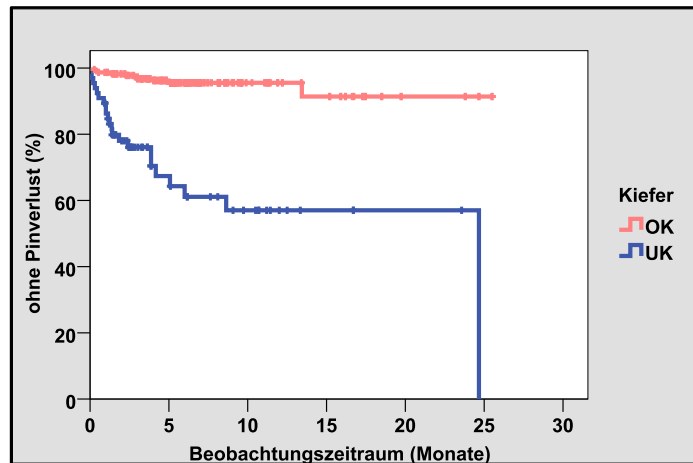


Abbildung 23: Überlebenszeiten der Miniimplantate bezogen auf den Kiefer

4.2.1.2 Insertionsort - Lokalisation

Der Graph in Abbildung 24 bezogen auf die Lokalisation zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit des Verlustes mit einer mittleren Überlebenszeit von 23,7 Monaten palatinal am geringsten war.

Die Erfolgswahrscheinlichkeit der interradikulären Miniimplantate nach fünf Monaten lag bei ca. 65%.

Die mittlere Überlebenszeit nach der Kaplan-Meier-Schätzer-Analyse lag

hier bei 16,1 Monaten. Sie betrug bei den alveolär - vertikal inserierten Miniimplantaten 22,8 Monate. Ein statistisch höchst signifikanter Zusammenhang zwischen dem Verlust der Schrauben und dem Insertionsort wurde mit $p < 0,001$ aufgezeigt.

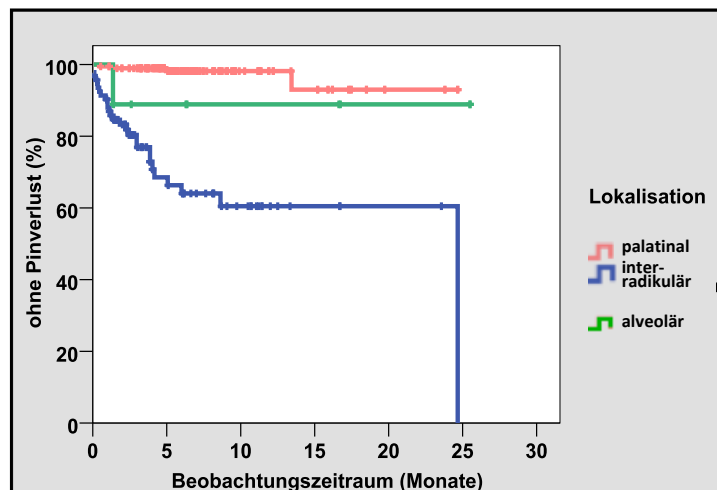


Abbildung 24: Überlebenszeiten der Miniimplantate bezogen auf die Lokalisation

4.2.1.3 Länge der Miniimplantate

Bei Betrachtung der Implantatlänge ergibt sich das in Abbildung 25 gezeigte Überlebensdiagramm. Aufgrund der begrenzten Fallanzahl in der Gruppe der Pins mit einer Länge von 10 mm wurden diese mit Pins der Länge 8 mm statistisch zusammengefasst.

Die Wahrscheinlichkeit eines Verlustes bei Pins über 6 mm war höher. Der Wert der Kaplan-Meier-Schätzer-Analyse betrug hier 19,6 Monate und bei Pins mit einer Länge von 8 und 10 mm 23,7 Monate. Mittels Log-Rank-Analyse wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Implantaten unterschiedlicher Länge im Zusammenhang mit der Überlebenszeit festgestellt ($p=0.001$).

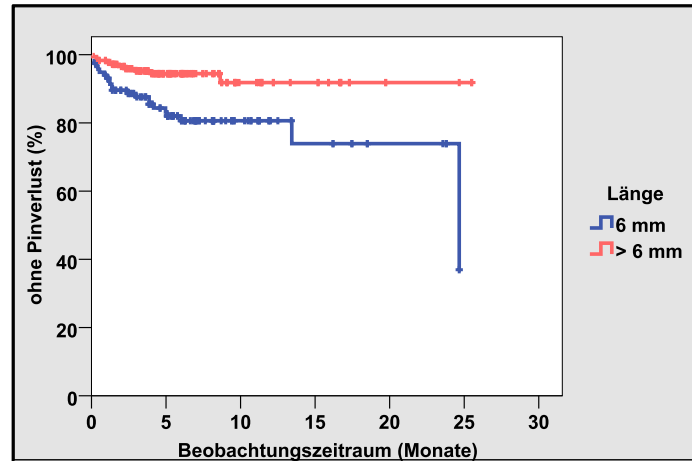


Abbildung 25: Überlebenszeiten der Miniimplantate bezogen auf die Implantatlänge

4.2.1.4 Geschlecht der Patienten

Für das Geschlecht der Patienten ergaben sich die in Abbildung 26 dargestellten Überlebenskurven der Pins. Der Mittelwert für die Überlebenszeit der Pins bei männlichen Patienten betrug 21 Monate, für weibliche Patienten 21,6 Monate. Hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Verlustrate und Geschlecht des Patienten konnte kein signifikantes Ergebnis ermittelt werden ($p=0,304$).

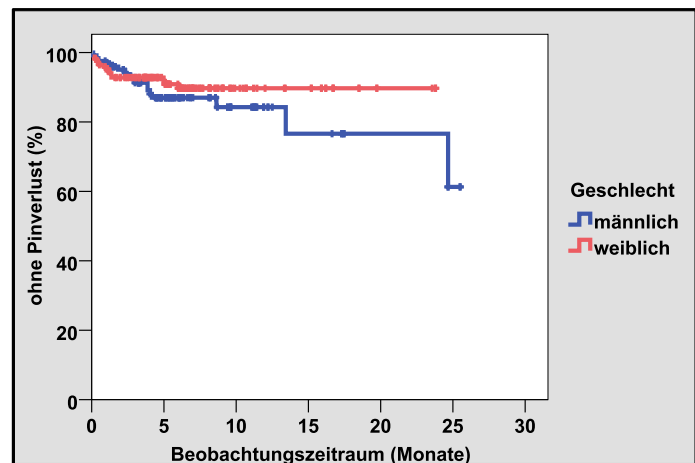


Abbildung 26: Überlebenszeiten der Miniimplantate bezogen auf das Geschlecht

4.2.1.5 Alter der Patienten

Die statistische Auswertung hat zwei Hauptaltersgruppen ergeben, eine Gruppe ≤ 13 und eine Gruppe > 13 Jahren. Ein hoch signifikanter Unterschied bezüglich dieser Überlebenskurven der Minischrauben wurde mittels des Log-Rank Tests festgestellt. Hier lag das Ergebnis mit $p=0,01$ auf dem vorab festgelegten Signifikanzniveau von $p \leq 0,01$. Demnach war die

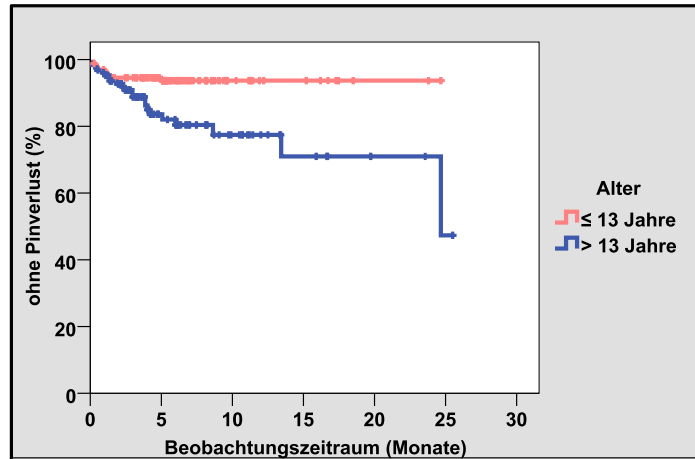


Abbildung 27: Überlebenszeiten der Miniimplantate bezogen auf das Alter der Patienten

Erfolgswahrscheinlichkeit nach fünf Monaten bei Patienten über 13 mit ca. 80% um 15% geringer als bei Patienten unter 13 Jahren (ca. 95%) (vgl. Abbildung 27).

4.2.1.6 Mundhygiene

Die Analyse des Pinverlustes bei Patienten mit schlechter und guter Mundhygiene nach Kaplan-Meier erbrachte das in Abbildung 28 dargestellte Überlebensdiagramm.

Die mittlere Überlebenszeit betrug für Pins bei schlechter Mundhygiene 14,2 Monate, bei guter Mundhygiene hingegen 22,2 Monate. Mittels der Log-Rank-Analyse konnte jedoch kein signifikanter Unterschied ermittelt werden ($p=0,243$).

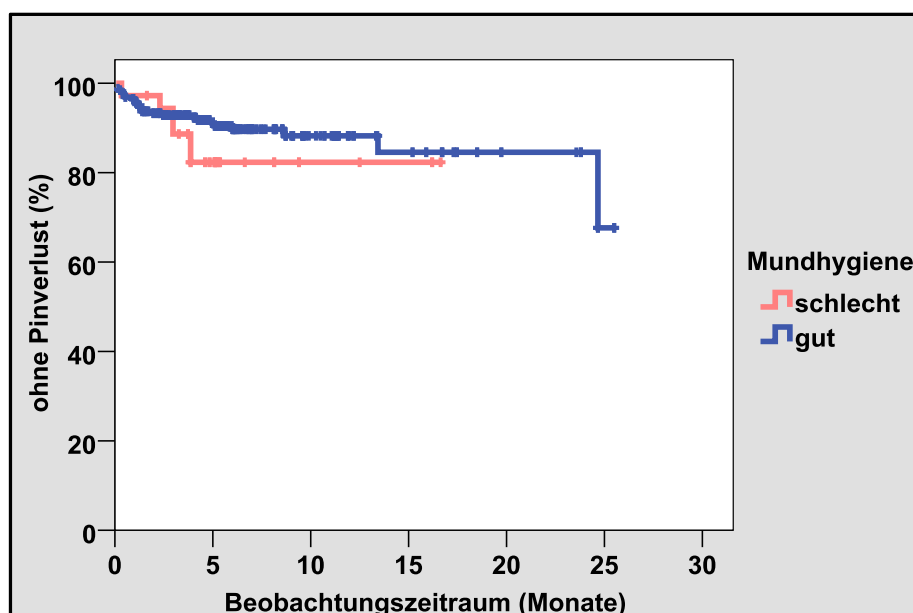


Abbildung 28: Überlebenszeiten der Miniimplantate bezogen auf die Mundhygiene

4.2.1.7 Verankerung

Der Log-Rank Test in Bezug auf die Verankerung ergab ebenfalls ein höchst signifikantes Ergebnis ($p < 0,001$). In Abbildung 29 ist die Überlebenswahrscheinlichkeit der Pins bei indirekter und direkter Verankerung aufgezeigt. Die mittlere Überlebenszeit von Schrauben, die für die direkte Verankerung genutzt wurden, betrug 22,9 Monate. Bei indirekten Verankerungspins waren es 17 Monate. Auch bei dieser Überlebenszeitkurve ist ein starker Abfall innerhalb der ersten fünf Monate zu verzeichnen. Die Erfolgswahrscheinlichkeit nach fünf Monaten betrug ca. 70% bei der indirekten Verankerung.

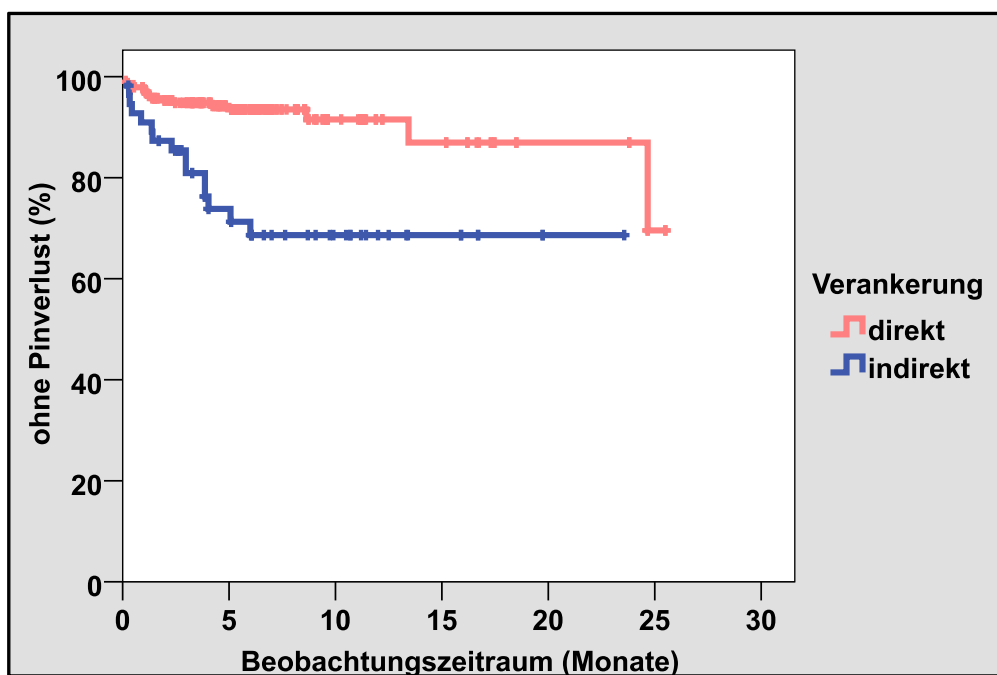


Abbildung 29: Überlebenszeiten der Miniimplantate bezogen auf die Verankerungsform

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Ergebnisse

Es gibt einige Gründe bzw. Risikofaktoren für die Mobilität oder den Verlust von Miniimplantaten. Diese wurden in den letzten Jahren mehrfach innerhalb von Tierstudien und Untersuchungen an Patienten analysiert. Die wissenschaftlichen Ansichten zur Verlustproblematik von Miniimplantaten sind jedoch nicht ganz einheitlich und ausgewertete Studien zum Teil sehr variabel. Bei vielen Untersuchungen, die sich mit der Problematik des Verlustes beschäftigen, handelt es sich um Fallbeispiele [4,36,39] oder um eine Analyse eines kleinen Patientenkollektivs [4,6,15,28,67]. Außerdem wurde eine sehr hohe Anzahl an Variablen, wie zum Beispiel Insertionsverfahren [38,50], Belastungszeiten [15,18,38,52,53] und unterschiedliche Schraubensysteme mit ihren verschiedenen Längen und Durchmessern [2,18,28,55] betrachtet. Die Masse an Faktoren erschwert einen direkten Vergleich bezüglich der Überlebensraten unterschiedlicher Hersteller von Kortikalis-Schrauben.

Innerhalb dieser Studie wurden dem entgegen nur ein Schraubensystem (OrthoEasy von FORESTADENT) und eine größere Anzahl von Miniimplantaten retrospektiv betrachtet. Die Implantate wurden nach einem prospektiven und etablierten Behandlungsprotokoll inseriert.

Einig ist man sich zumeist über den Zusammenhang des Verlustes mit den Knochengegebenheiten, der damit verbunden Primärstabilität und den Schleimhautverhältnissen am Implantat [18,50]. Wenn die Knochenqualität am Insertionsort nicht ausreicht bzw. eine zu dünne kortikale Knochenschicht besteht, ist das ein Nachteil für die Primärstabilität. Es ergibt sich somit das erhöhte Risiko eines Verlustes. Außerdem sollte die Insertion innerhalb befestigter keratinisierter Gingiva stattfinden und eine bakterielle Infektion vermieden werden.

In dieser Studie betrug die Gesamtverlustrate 10,1% und lag damit im Bereich anderer Studienwerte. Die Parameter Lokalisation des Implantats, Indikation, Länge, Geschlecht, Alter der Patienten, Mundhygiene, Dentition und Verankerung wurden, in Bezug auf dem Verlust, statistisch ausgewertet.

Lokalisation des Miniimplantats

Zunächst wurde Oberkiefer mit Unterkiefer verglichen. Der Unterschied der Verlustraten zwischen den beiden Kiefern war sehr auffällig. Für den Oberkiefer ergab die Berechnung eine Verlustrate von 4,4% und lag damit knapp 30% unter dem Wert des Unterkiefers (33,3%). Die statistische Analyse mittels des Chi-Quadrat-Tests ergab einen signifikanten Unterschied.

Die Wahrscheinlichkeit eines Verlustes im Unterkiefer war höher als im Oberkiefer. Andere Studien kamen auf ein vergleichbares Ergebnis und gaben für den Oberkiefer ebenfalls niedrige Werte an [2,8,18,40,52,55,56,72]. So lagen die Verlustraten im Oberkiefer bei den Untersuchungen zwischen 0 und 13,3% und waren im Vergleich der Kiefer ebenfalls geringer als die Verlustraten im Unterkiefer. Die Studien von *Cheng et al.* [18] und *Park et al.* (55) beinhalteten einen zusätzlichen Parametervergleich und wiesen einen signifikanten Unterschied zwischen Ober- und Unterkiefer nach. *Cheng et al.* gaben für den Oberkiefer eine Verlustrate von 6,7% und im Unterkiefer von 22,9% an. Diese Werte finden Übereinstimmung mit den vorliegenden Werten. Es gibt außerdem Studien, die ein gegenteiliges Ergebnis aufzeigten, und in denen der Unterkiefer die besseren Werte aufwies, jedoch ohne statistische Signifikanz [14,45,46,50,71].

Ob die Wahrscheinlichkeit des Verlustes im Oberkiefer generell geringer ist als im Unterkiefer sollte durch eine genauere Betrachtung des Insertionsortes geprüft werden.

Jeder Kiefer besitzt eine palatinale/linguale und eine vestibuläre Seite, bei der grundsätzlich eine Insertion von Minischrauben zur kortikalen Verankerung möglich ist. Aus einer früheren Publikation von *Berens et al.* [8] geht hervor, dass die Insertion im Unterkiefer lingual zwischen den Wurzeln nicht zum Erfolg führte. Das belegte er mit einer Verlustrate von 78% bis 100% in dieser Region (vgl. auch *Wiechmann* [72]). Der Einfluss der Zunge und die schwierige Insertion in diesem Gebiet galten als die Hauptrisikofaktoren. Innerhalb der Behandlungen mit Minischrauben in der vorliegenden Studie wurden keine Pins lingual gesetzt.

Bei Betrachtung des Oberkiefers fällt auf, dass die meisten Pins (n=192) palatinal gesetzt wurden und nur 27 Pins vestibulär zum Einsatz kamen. Die Bezeichnung palatinal kann verschiedene Bedeutungen haben, nicht immer ist dabei klar, was gemeint ist. Entweder wird der Pin zwischen den Wurzeln am Alveolarfortsatz oder am Gaumendach median oder paramedian von der Sutur gesetzt. *Tsaousidis et al.* [66] gaben eine Verlustrate von 44,4% an.

Die Schrauben wurden dort ausschließlich interradikulär im Alveolarfortsatz gesetzt. Als Begründung für den Verlust wurde eine erhöhte Belastung durch die Zunge im Zusammenhang mit einer dicken Schleimhaut angegeben. Ein durch die Schleimhaut verlängerter Hebelarm kann zur Überbelastung des Knochens führen und eine Lockerung nach sich ziehen. Außerdem kann das Knochenangebot eine weitere Rolle gespielt haben. Es wird angeraten, eine Mindestinsertionstiefe von 5 mm im Knochen zu beachten.

Innerhalb dieser Studie betrug die Verlustrate für die palatinalen Miniimplantate 2,1% (n=4 von 192) und ist somit der niedrigste Wert im Zusammenhang mit dem Insertionsort und im Gegensatz zur Untersuchung von *Tsaousidis et al.* sehr gering. Die palatinalen Pins wurden in allen Fällen paramedian im anterioren Gaumendach und aufgrund der Indikation (Distalisierung der Molaren mittels der so genannten Froschapparatur (vgl.



Abbildung 30: Zwei palatinal, paramedian inserierte Miniimplantate im Oberkiefer

Abbildung 31) und Gaumennahterweiterung mithilfe einer Gaumennahterweiterungsapparatur (vgl. Abbildung 32)) zwei Pins symmetrisch auf jede Seite inseriert (vgl. Abbildung 30).



Abbildung 31: Froschapparatur zur Distalisierung von Molaren



Abbildung 32: Gaumennahterweiterungsapparatur

Ob und inwieweit eine Kopplung zweier Pins mit einer Apparatur eine Bedeutung für die hohe Erfolgsrate hat, ist mit dieser Untersuchung nicht genau zu belegen. Man kann davon ausgehen, dass es keinen Nachteil in Bezug auf den Verlust hat, zwei Pins miteinander zu koppeln. Für gewisse Indikationen, wie zum Beispiel bei transversalen Zahnbewegungen, ist

die Insertion von zwei Implantaten hintereinander sogar angeraten, um die gewünschte Krafrichtung bei gleichzeitiger Vermeidung eines Drehmoments auf die Pins zu erreichen [43]. Auch bei der Gaumennahtexpansion im Oberkiefer wird bei der Hyrax-Apparatur von einer symmetrischen Abstützung auf beide Molaren und zwei anterior gesetzten Schrauben gesprochen. Außerdem ist der palatinale Knochen von einer dicken Schicht keratinisierter Schleimhaut bedeckt, was zusätzlich einen positiven Effekt auf die Implantatstabilität haben kann [55].

Wenn man nur Pins betrachtet, die interradiikulär zum Einsatz kamen, verringert sich die Anzahl der analysierten Pins um 68% (n=93/294). Die Verlustrate betrug interradiikulär im Oberkiefer 23% und im Unterkiefer 34 %. Die Grundtendenz, dass die Wahrscheinlichkeit des Verlustes im Unterkiefer größer ist als im Oberkiefer, bleibt erhalten. Eine weitere detailliertere deskriptive Analyse der Insertionsräume ergab zwischen zweiten Prämolaren und ersten Molaren sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer eine Verlustrate von 40% und mehr. Die Verlustrate für die Region zwischen ersten und zweiten Prämolaren betrug für den Oberkiefer 16,7% und für den Unterkiefer 24%. Jedoch lag die Verlustrate im Oberkiefer zwischen Eckzahn und ersten Prämolaren mit 0% deutlich unter dem Unterkiefer-Wert für diese Region (37,5%) (vgl. Tabelle 2).

Moon et al. [51] gaben zwischen zweitem Prämolaren und erstem Molaren ebenfalls die höchste Verlustrate an. *Baek et al.* [6] errechneten eine Verlustrate von 23,3%, jedoch zwischen dem ersten und zweiten Prämolaren eine Verlustrate von 0%, was mit der gegenwärtigen Studie nicht übereinstimmt. *Viwattananatipa et al.* [69] errechneten eine Verlustrate von 32% zwischen Prämolaren und Molar und *Lee et al.* [40] einen Wert von 8,46%

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass der Insertionsort eine entscheidende Rolle spielt, da sich die Verlustraten für die verschiedenen Regionen deutlich unterscheiden. Eine mögliche Erklärung ist sowohl im Zusammenhang mit der Knochenqualität als auch mit den Schleimhautgegebenheiten, die für die jeweilige Region variieren können, zu suchen.

Innerhalb der Studie von *Berens et al.* [7] ergab die rein deskriptive Berechnung ebenfalls hohe Verlustraten für im Unterkiefer vestibulär gesetzte Schrauben. Beim klinischen Vergleich zweier Miniimplantatsysteme der Hersteller Dual Top Anchor Screw (JeilMedical, Seoul, Korea) und der Schrauben von Absoanchor (Dentos, Taegu, Korea) zeigte sich ein

Zusammenhang der Verlustrate mit Insertionsort, Schraubendurchmesser und –länge. Im intraradikulär-vestibulären Unterkieferbereich zeigten Minischrauben mit einem Durchmesser zwischen 1,3mm und 1,8 mm eine Verlustrate von 46,7%, jedoch im Unterschied dazu für die 2 mm Schraube eine Verlustrate von 7,1%. Sie gaben an, dass die Verwendung von Schrauben mit dickerem Durchmesser für die vestibuläre Region im Unterkiefer grundsätzlich geeigneter ist. Die dünneren Implantate hätten nicht die erforderliche Stabilität, ihr Gewinde in eine kräftige Kortikalis zu schneiden. Vielleicht ist es für die Platzierung im Unterkiefer besser auf Pins mit größerem Durchmesser zurückzugreifen. Ortho Easy ist mit 1,7 mm eine Schraube mit geringerem Durchmesser. Damit es nicht zu Berührungen mit den Zahnwurzeln kommen kann, ist dabei auf ein ausreichendes Knochenangebot zwischen den Zähnen zu achten.

Neun Miniimplantate wurden vertikal in den Kieferkamm inseriert und wie ein Implantat in der Prothetik mit einem Kunststoffaufbau als provisorischer Zahnersatz genutzt (vgl. Abbildungen 8,9). Die vertikal inserierten Pins wurden den natürlichen Kaukräften ausgesetzt und nicht zur weiteren Kopplung an kieferorthopädische Apparaturen genutzt. Sie dienten der ästhetischen Korrektur einer Frontzahnücke und als Platzhalter. Sie verhinderten somit eine spontane unkontrollierte Lückenverkleinerung durch Zahnkippen oder Aufwanderungen. Fünf Pins ersetzen Frontzähne und zwei Pins Eckzähne im Oberkiefer. Sie blieben stabil. Ein 10 mm langer Pin, gesetzt in der Region 35, hat sich nach 41 Tagen gelockert und musste frühzeitig entfernt werden. Der Pin wurde durch einen Neuen ersetzt, der in dieser Region über die gewünschte Nutzungszeit in situ geblieben ist. Der Verlust des Pins kann an fehlender Primärstabilität gelegen haben, oder die dort herrschenden Kaukräfte waren für die Stabilität des Miniimplantats zu hoch.

Trotz Spekulationen sollte man beachten, dass die Werte für bestimmte Regionen nur aus einer kleinen Anzahl von Fällen errechnet wurden. Hier kann nicht von einer evidenzbasierten Analyse in dieser Teilthematik gesprochen werden.

Die Schleimhaut ist ebenfalls ein wichtiger Faktor, der in vorangegangenen Studien [18,55,67,69] mehrfach beleuchtet wurde. Sowohl diese als auch das Buch » Miniimplantate in der Kieferorthopädie « von Ludwig empfohlen generell in straff keratinisierter Gingiva zu inserieren [7,18,47]. Keratinisierte Gingiva scheint die Entstehung von Schwellung und Entzündung zu reduzieren [34,48]. Innerhalb dieser Studie wurde die vertikale

Insertionsregion nicht differenziert betrachtet, nach Angaben der behandelnden Ärzte jedoch stets in befestigter Gingiva inseriert.

Sowohl die anatomische Beschaffenheit der Schleimhaut, als auch die Veränderung nach Insertion haben Auswirkungen auf die Verlustrate. Aus der Implantologie ist bekannt, dass Entzündungen im periimplantären Bereich zu Stabilitätsverlust des Implantats führen können. Auch innerhalb der Kieferorthopädie wurde das in wissenschaftlichen Arbeiten hinterfragt und als Risikofaktor angesehen [18,46,49,55,69]. Innerhalb dieser Studie traten bei vier von 294 Pins sichtbare periimplantäre Entzündungen oder Schwellungen auf. Dabei lockerte sich ein Pin. Bei den übrigen Pins blieb die Stabilität nach Entzündungsrückgang weiterhin erhalten.

Dieser Faktor wurde hier nicht näher beleuchtet. Die Anzahl der Patienten mit sichtbar periimplantären Entzündungszeichen war innerhalb der Studie zu gering. Außerdem ist eine Entzündung bzw. bakterielle Besiedlung des Implantationsgebiets mit einer visuellen Bestimmung allein nicht auszuschließen, wenn keine Rötung oder Schwellung der Schleimhaut aufgetreten ist. Das könnte in einem weiteren wissenschaftlichen Studienprotokoll analysiert werden.

Es gibt Studien, die den Insertionsort in Zusammenhang mit der Mundhygiene beleuchteten [40,50,52,53,55]. Dort wurden die beiden Kieferhälften (rechts und links) miteinander verglichen. *Park et al.* (55) waren der Meinung, dass die rechte Seite bei Rechtshändern während der täglichen Mundhygiene vernachlässigt wird, und die Wahrscheinlichkeit eines Verlustes deswegen in dieser Region größer erscheint. Innerhalb dieser Studie ist nach deskriptiver Betrachtung kein großer Unterschied zu erkennen, die Aussage kann mit den vorliegenden Werten nicht bestätigt werden. Für die rechte Seite der Kiefer zeigt sich eine Verlustrate von 31,8% und für die linke Seite eine Verlustrate von 28%. Außerdem wurde die Mundhygiene innerhalb dieser Studie gesondert betrachtet.

Aufgrund der beschränkten Fallzahl innerhalb der einzelnen Gruppen schien es nicht sinnvoll einen Parametervergleich der detaillierten Insertionsregion vorzunehmen. Er wurde lediglich für den Unterschied der Kiefer (Oberkiefer und Unterkiefer) und der Lokalisation (palatinal, interradikulär und alveolär-vertikal) vorgenommen und signifikante Unterschiede zugunsten des Oberkiefers und der palatinalen Region statistisch belegt. Demnach sollte bei der Planung die Lokalisation besonders hinreichend betrachtet werden.

Indikation

Die Studie filterte drei Hauptindikationsgruppen heraus:

- Distalisierung von Molaren mithilfe einer Froschapparatur (n=90/294) (vgl. Abbildung 31)
- Die Gaumennahterweiterung mithilfe einer Gaumennahtexpansionsapparatur (n=88/294) (vgl. Abbildung 32)
- Lückenschluss (n=77/294) (vgl. Abbildung 33)

Die Region, in der die Pins inseriert wurden, hängt eng mit der Indikation zusammen. Die meisten Miniimplantate innerhalb dieser Studie wurden genutzt, um eine Froschapparatur zur Distalisierung von Molaren und eine Gaumennahterweiterungsapparatur zur Gaumennahtexpansion im anterioren Gaumen zu stützen. Aufgrund der Kopplung zweier Implantate erschien hier die Kraft so gut verteilt zu sein, dass sich eine geringe Verlustrate ergab. Das Miniimplantat schien somit für die beiden Hauptindikationsgruppen eine optimale Verankerungshilfe zu sein.

Bei der dritten Hauptindikation Lückenschluss hingegen wurden Implantate im Unterkiefer intraradikulär inseriert und an die zu bewegende Zahneinheit (ein oder mehrere Zähne) direkt (vgl. Abbildung 33) oder indirekt (vgl. Abbildung 34) gekoppelt. Die Verlustrate war mit 35,1% hoch. 27 von den insgesamt 32 verloren gegangenen Pins wurden bei der Indikation Lückenschluss als nicht erfolgreich eingestuft.



Abbildung 33: Lückenschluss mithilfe eines Miniimplantats inseriert zwischen 33 und 34 (direkt)



Abbildung 34: Lückenschluss mithilfe eines Miniimplantats inseriert zwischen 43 und 44 (indirekt)

Die Kombination aus Region (Unterkiefer), Lokalisation (interradikulär) und Indikation (Lückenschluss) ließ eine schlechte Prognose erwarten. Demnach sollte nach einer Lösung für diese besondere Problematik gesucht und gegebenenfalls weitere Alternativen (evtl. Miniplatten [16,19,25]) genutzt werden.

In Hinblick auf die niedrige Verlustrate bei Kopplung zweier Implantate kann man versuchen, auch bei der Indikation Lückenschluss auf ein zweites Implantat auf der gegenüberliegenden Kieferseite und weiterer Kraftverteilung zurückzugreifen. Jedoch bleibt die Frage offen, ob zusätzliche interrädikulär von lingual inserierte Implantate im Unterkiefer in Zusammenhang mit interradikulär-vestibulären Implantaten wirklich eine bessere Prognose haben. In der Literatur wird außerdem von der Methode der bikortikalen Insertion eines längeren Miniimplantats mit geringerem Durchmesser gesprochen. In der in-vitro Studie von *Brettin et al.* hatten bikortikale Minischrauben höhere Resistenz- und geringere Knochenbelastungswerte als die monokortikalen Schrauben. Demnach sollten sie nach Ermessen des Behandlers dann genutzt werden, wenn erhöhte Kräfte und ein verminderter kortikaler Knochen zu erwarten sind [12].

Unter den übrigen Indikationen zeigten die Miniimplantate in Verbindung mit dem Transpalatinalbogen, einer Aufrichtefeder und Intrusion/Extrusion von Zähnen 100%igen Erfolg. Bei der Kombination der Miniimplantate mit einem Functional Mandibular Advancer und mit provisorischem Zahnersatz lockerten sich Implantate vorzeitig. Aufgrund der geringen Fallzahlen lässt sich hier keine praxisrelevante Aussage treffen, jedoch bedarf es noch weiterer Untersuchungen zu diesen Indikationen.

Länge

Es gab zahlreiche Untersuchungen, bei denen Pins mit einer Länge von 8 mm die niedrigsten Verlustraten haben [14,15,17,22,38,53,56]. Sie liegen zwischen 0 und 10%. Sowohl *Miyawaki et al.* [49] als auch *Chaddad et al.* [14] waren der Meinung, dass die Länge grundsätzlich keinen Einfluss auf die Verlustrate der Miniimplantate hat. Sie sahen auch keinen Zusammenhang zwischen Länge und Verlustrate. In der Studie von *Chen et al.* wurde dazu angeraten, die Schrauben mit einer Länge von 8 mm den 6 mm-Schrauben vorzuziehen [15]. Innerhalb dieser Studie ergab die Berechnung der Verlustrate für Miniimplantate mit einer Länge von 8 mm einen Wert von 4,85%. Im Gegensatz dazu betrug Sie bei Schrauben mit einer Länge von 6 mm 39,8% und bei einer Länge von 10 mm 16,76%. Circa 70% der 32 Verlustpins sind 6 mm lang gewesen.

Anhand der deskriptiven Berechnung der Implantatverluste verschiedener Längen in Bezug auf den Insertionsort ließ sich herausfiltern, dass

- die Verlustraten für alle drei Längen im palatinalen Bereich niedrig waren (0% - 4,4%, vgl. Tabelle 3),
- 6mm und 8mm Pins im Oberkiefer interradikulär mit 21% und 25% ähnlich hohe Werte erzielten,
- die Verlustrate im Unterkiefer mit 41,5% für Pins mit einer Länge von 6mm im Gegensatz zu 16% für 8mm-Pins am Höchsten war.

Mittels der statistischen Analyse wurde ein signifikanter Unterschied für die Längen der Implantate im Zusammenhang mit dem Verlust berechnet. Jedoch war hier entscheidend wo die Pins inseriert wurden. Im palatinalen Insertionsgebiet und interradikulär-vestibulär schien die Pinlänge keine Rolle gespielt zu haben. Dagegen waren 8mm-Pins im Unterkiefer mit einer Verlustrate von 16% besser geeignet.

Verlustzeiten

Bei Betrachtung der Verlustzeiten der Pins erkennt man, dass 78% der Schrauben innerhalb der ersten vier Monate verloren gegangen sind (vgl. Tabelle 4). Der Durchschnittswert lag mit 2,4 Monaten im Bereich der in anderen Studien angegebenen Werte. Die Durchschnittswerte bis ein Pin verloren ging, lag dort zwischen 1,65 und 3,4 Monaten [6,48, 50,64]. In der Studie von *Moon et al.* [50] lockerten sich die meisten Pins (55 %) innerhalb der ersten beiden Monate und innerhalb der ersten vier Monate sogar fast alle Schrauben (90%). Bei *Baek et al.* [6] war ein Verlust von 55,56% innerhalb der ersten beiden Monate zu verzeichnen, innerhalb des ersten halben Jahres 92,59%. Die vorliegende Untersuchung ergibt einen Verlust von 93,75% innerhalb des ersten halben Jahres. Die Pins, die die ersten 4 - 6 Monate in situ blieben und belastet wurden, konnten als erfolgreich und stabil betrachtet werden. Nur ein Pin lockerte sich nach circa 9 Monaten und ein Weiterer nach 13 Monaten.

Die Retention der Schraube ist bei den Miniimplantaten nach Insertion zunächst rein mechanisch (Primärstabilität) und wird von den Insertionsbedingungen und dem Schraubendesign bestimmt. Aufgrund der glatten Oberfläche der Miniimplantate kommt es zu einer verminderten Kontaktfläche zwischen Knochen und Implantat. Das hat Einfluss auf die Sekundärstabilität, die durch den Umbau des Knochengewebes um das Implantat zustande kommt [43]. Die so genannte Osseointegration, die Verbindung zwischen lebendem Knochengewebe und der Oberfläche eines belasteten Knochenimplantats [10] wird somit verzögert, was ein leichtes Ausdrehen der Schraube gewährleisten soll.

Der Verlust fand zu 40% innerhalb des ersten Monats statt. Das kann bedeuten, dass die Primärstabilität nicht ausreichte. Sie kann zum Beispiel bei Insertion wegen einer sehr dicken Gingiva (kein tieferes Eindrehen der Schraube in den Knochen möglich) zu gering gewesen sein. Innerhalb kurzer Zeit kann es zum Verlust kommen. Der Anwender sollte daher auf optimale Insertionsbedingungen und Stabilität nach der Insertion achten. Die Gingivadicke kann vorher unter lokaler Oberflächenanästhesie mithilfe einer Sonde gemessen werden. So kann ein Platzieren der Schraube in Bereichen mit dicker Gingiva vor Therapiebeginn vermieden werden.

Geschlecht

Bei Betrachtung der Verlustrate im Zusammenhang mit dem Geschlecht ergaben sich zwar keine signifikanten Unterschiede, jedoch lag die Verlustrate bei Männern mit 13,7% über der Verlustrate der Frauen (8,8%). Einen derartigen Unterschied zwischen Männern und Frauen zum Nachteil der Männer zeigten auch *Baek et al.* [6], *Kurado et al.* [38] und *Asscherickx et al.* [3]. Die Untersuchung von *Baek et al.* ergab im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit zusätzlich einen signifikanten Unterschied zwischen Männern und Frauen in Bezug auf den Verlust. Die Verlustrate für Männer lag hier bei 47,8% und somit fast 30% höher als bei Frauen (18,1%). Es gibt jedoch auch Untersuchungen von Patientengruppen, bei denen genau das Gegenteil zu verzeichnen war. Die Studie von *Lee et al.* [40] ergab einen Wert von 10,2% für Männer und von 16% für Frauen, allerdings ergab die statistische Auswertung in diesem Fall und in mehreren anderen Studien wiederum keinen signifikanten Unterschied [31,49,50,55,69]. Dem Geschlecht wurde generell in Bezug auf den Verlust keine Bedeutung zugewiesen. Dies wird mit der vorliegenden Arbeit bestätigt.

Alter

In dieser Studie wurden Patienten zwischen sechs und 58 Jahren mit kortikalen Verankerungsschrauben behandelt. Der Durchschnittswert lag bei 16,1 Jahren und der Median bei 13 Jahren. Bei den meisten Studien lag der Durchschnittswert des Alters der Patienten mit 21 bis 30 Jahren deutlich darüber [15,18,28,38,52,67,72]. Das kann entweder daran liegen, dass jüngere Patienten nicht mit dieser Art der Verankerung behandelt wurden oder erst gar nicht in die Untersuchung aufgenommen wurden. Die Studien von *Herman et al.* [31] und *Park et al.* [56] gaben jeweils einen Durchschnittswert von 13,7 Jahren und 15,5 Jahren an und liegen damit ungefähr bei den Werten dieser Untersuchung.

Die Verlustrate in Bezug auf das Alter wurde innerhalb der Publikationen meist für drei verschiedene Gruppen berechnet. Dabei zählten Patienten unter 20 zu der Gruppe der Jugendlichen, Patienten zwischen 20 und 30 zu den „Twenties“ [51], und Patienten ab 30 Jahren zu den Erwachsenen.

Bei der Untersuchung von *Moon et al.* [51] lag die Verlustrate für Jugendliche bei 32,9%, für Twenties bei 18,3% und für Erwachsene bei 12,7%. Auch *Lee et al.* [40] gibt für Patienten unter 20 Jahren mit 17,6% eine größere Verlustrate an als für Patienten die älter sind (Gruppe 20-30: 6,2%; Gruppe 30: 6,4%). Auch die Werte von *Park et al.* [55] zeigten die Tendenz, dass die Wahrscheinlichkeit des Verlustes bei Jugendlichen bis 20 Jahren größer ist als bei

Erwachsenen über 20 Jahren. *Kurado et al.* gaben sogar eine Verlustrate von 0% für Patienten über 30 Jahren an [38].

Innerhalb dieser Studie ergab die deskriptive Berechnung für Patienten unter 20 eine Verlustrate von 8,8%, für Twenties 9,1%, und für Erwachsene über 30 Jahren einen Wert von 28,12%. Diese Werte differieren mit denen der aktuellen Studien und besagen, dass die Wahrscheinlichkeit des Verlustes bei Patienten über 30 Jahren im Vergleich zu den jüngeren Patienten am Größten war. Der Unterschied zu den anderen Studien lag möglicherweise darin, dass hier in der Gruppe der Jugendlichen eine größere Anzahl an Patienten jünger war und diese bei anderen gar nicht in die Beobachtungsgruppe einbezogen wurden (48 von 294 Pins bei Patienten ≤ 10 Jahren). Für einen Vergleich der Parameter wurde der Median (13 Jahre) verwendet und eine statistische Signifikanz mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests bezüglich des Verlustes bei Patienten unter 13 und über 13 Jahren errechnet. Die Verlustrate für Patienten unter 13 Jahren liegt bei 5,9%, für Patienten über 13 bei 17,3%.

Mundhygiene

Mundhygiene ist trotz Compliance-Unabhängigkeit der skelettalen Verankerung ein Faktor, bei dem der Behandler auf die Mitarbeit der Patienten angewiesen ist. Die Mundhygiene ist generell wichtig, um das umliegende Gewebe frei von Bakterien zu halten bzw. das vorhandene Gleichgewicht innerhalb der Mundhöhle aufrecht zu erhalten. Voraussetzung für den Erfolg ist eine optimale Umgebungsbedingung des Implantats [18,47,49,55]. Schlechte Mundhygiene begünstigt Entzündungen der Schleimhaut, im schlimmsten Fall des Knochens und kann zu Periimplantitis und anschließender Lockerung von Miniimplantaten führen [55]. Trotz dieser Wichtigkeit ergab die Untersuchung zwischen guter und schlechter Mundhygiene keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf den Verlust. Jedoch lag die Verlustrate bei Patienten mit schlechter Mundhygiene mit 16,7% über der Verlustrate der Patienten mit guter Mundhygiene, die bei 10% lag. Bei der Arbeit von *Lee et al.* [40] und *Park et al.* [55] ergaben die Untersuchungen ebenfalls niedrigere Verlustraten für Pins bei guter im Vergleich zu schlechter Mundhygiene.

Mit der Kontrolle der Mundhygiene kann keine spezifische Aussage über die tatsächlichen Schleimhautgegebenheiten und die Bakterienaktivität am Implantat gemacht werden. Der Approximale Plaque Index ist dafür zu ungenau. Hiermit kann die Verlusttendenz nur allgemein bei Patienten mit unterschiedlicher Mundhygiene angegeben werden.

Dentition

Es gab im Vorfeld keine weitere Studie, die das Dentitionsstadium des Patienten im Zusammenhang mit der Verlustrate von Miniimplantaten begutachtet und bewertet hat. In dieser Studie ergab die Analyse des Verlustes im Zusammenhang mit der Dentition für das frühe Wechselgebiss eine Verlustrate in Höhe von 4,2%, für das späte Wechselgebiss 9,7% und für die zweite Dentition 14%. Die Wahrscheinlichkeit des Verlustes bei Erwachsenen innerhalb der 2. Dentition schien höher zu sein als bei Kindern, die im Zahnwechsel sind. Da das Dentitionsalter mit dem tatsächlichen Alter des Patienten korreliert, sind diese Werte mit der vorangestellten Altersanalyse zu vergleichen. Die statistische Analyse mithilfe des Chi-Quadrat-Tests ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Dentitionsgruppen.

Verankerung

Es gibt zwei Varianten der Belastungsform am Miniimplantat:

- 1) die direkte Verankerung, bei der zwischen Miniimplantat und der zu bewegenden Zahneinheit eine direkte Verbindung besteht und
- 2) die Indirekte, bei der ein Verankerungsblock gebildet wird, in dem das Miniimplantat mit einer dentalen Verankerungseinheit verbunden ist und diese somit stabilisiert.

Die Verlustrate betrug für die direkte Verankerung 7,1% und für die Indirekte 26,8%. Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit des Verlustes für Pins, die mit einer direkten Verankerung an die Basis gekoppelt waren, geringer war als für die anderen Pins. Das wurde in dieser Untersuchung mittels des Chi-Quadrat-Tests statistisch untermauert. Außerdem zeigt die Kaplan-Meier-Kurve innerhalb der ersten sechs Monate einen steilen Abfall der Überlebenswahrscheinlichkeit für die indirekte Verankerung.

Dieses Ergebnis erscheint paradox. In der Regel geht man davon aus, dass bei der direkten Verankerung/direkten Kraftapplikation (vgl. Abbildung 35) im Vergleich zur indirekten Verankerung (vgl. Abbildung 36) höhere bzw. sich ändernde Kräfte beteiligt sind, und damit ein erhöhtes Risiko des Verlustes besteht.



Abbildung 35: Direkte Verankerung am Zahn 36 mithilfe eines Miniimplantats zwischen 33 und 34



Abbildung 36: Indirekte Verankerung an den Zähnen 33 und 34

Es gibt lediglich eine weitere Studie, die die Verankerung im Zusammenhang mit der Verlustrate untersucht hat. *Antoszewska [2] et al.* konnte zwar keinen signifikanten Unterschied errechnen, jedoch ergaben sich bei der Berechnung der Verlustrate gegenteilige Werte: für die direkte Verankerung 7,4% und für die indirekte Verankerung 3,04%.

Das paradoxe Ergebnis entstand eventuell aufgrund der palatinalen Pins, die die größte Anzahl der Gesamtmenge ausmacht (65%). Sie wurden in Verbindung mit der Gaumennaht- und Froschapparatur genutzt, zeigten sehr niedrige Verlustraten und zählten in der Statistik zur direkten Verankerung.

5.2 Abschließende Bewertung

Der Verlust ist nicht von einem einzigen Faktor abhängig. Auch anhand dieser Studie ist zu erkennen, dass der Verlust von Miniimplantaten multifaktoriell bedingt ist, und man so nur Hinweise bekommen kann, bei welcher Gruppe von Patienten, bei welchen Indikationen und in welchen Insertionsregionen ein Verlust wahrscheinlicher ist. Die Variabilität der Faktoren erschwert es, eine wirklich große Anzahl von Fällen innerhalb der einzelnen Gruppen zu beleuchten, so dass eine statistische Analyse eine ausreichend hohe Aussagekraft hat. Die Studie brachte folgende Ergebnisse:

1. Die Gesamtverlustrate lag mit 10,1% im Bereich der in anderen Studien angegebenen Werte.
2. Innerhalb der Analyse wurde die Insertionsregion, der Kiefer, die Länge des Miniimplantats, das Alter der Patienten und die Verankerung als statistisch signifikant bewertet. Dabei galt jedoch die Insertionsregion als entscheidender Parameter.
3. Palatinal inserierte Miniimplantate stellten, mit einer sehr geringen Verlustrate von 2,1%, besonders für die Distalisierung von Molaren in Kombination mit der Froschapparatur und für die Gaumennahterweiterung eine gute Therapiemöglichkeit dar.
4. Im Gegensatz zu den palatinalen Schrauben betrug die Verlustrate der interradikulären Miniimplantate im Ober- und Unterkiefer 29% und zwischen erstem Molaren und zweiten Prämolaren ca. 40%. In diesem Zusammenhang war die Verlustrate bei der Indikation Lückenschluss (35,1%) am Größten.
5. Das Geschlecht des Patienten, die Dentition und die Mundhygiene spielten eine untergeordnete Rolle.
6. Nach dem Vergleich mit anderen Publikationen wird deutlich, dass die Thematik des Verlustes noch nicht eindeutig geklärt ist, und es noch weiterer Analysen, vor allem mit einer größeren Anzahl von Schrauben und Patienten, bedarf.
7. Abschließend kann gesagt werden, dass der Einsatz von Minischrauben trotz Verlustproblematik eine Bereicherung für die kieferorthopädische Therapie ist, jedoch einer guten Vorbereitung und Abwägung zwischen Nutzen und Risiko für den Patienten bedarf.

6 Literaturverzeichnis

1. Angle E (1907) Treatment of malocclusion of teeth. 7th ed S.S. White Dental Manufacturing Company, Philadelphia
2. Antoszewska J, Papadopoulos MA, Park HS, Ludwig B (2009) Five-year experience with orthodontic miniscrew implants: a retrospective investigation of factors influencing success rates. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 136:158.e1-10
3. Asscherickx K, Vannet BV, Bottenberg P, Wehrbein H, Sabzevar MM (2010) Clinical observation and success rates of palatal implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 137:114-22
4. Bae SM, Park HS, Kyung HM, Kwon OW, Sung JH (2002) Clinical application of micro-implant anchorage. *Journal of Clinical Orthodontics* 36:298-302
5. Baumgaertel S, Razavi MR, Hans MG (2008) Mini-implant anchorage for the orthodontic practitioner. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 133(4):621-7
6. Baek SH, Kim BM, Kyung SH, Lim JK, Kim YH (2008) Success rate and risk factors associated with mini-implants reinstalled in the maxilla. *Angle Orthodontist* 78(5):895-901
7. Berens A, Wiechmann D, Dempf R (2006) Mini- und Mikroschrauben zur temporären skelettalen Verankerung in der Kieferorthopädie. *Fortschritte der Kieferorthopädie* 67(6):450-8
8. Berens A, Wiechmann D, Rüdiger J (2005) Erfolgsraten von Mini- und Mikroschrauben zur skelettalen Verankerung in der Kieferorthopädie. *Information aus Orthodontie und Kieferorthopädie* 37:283-7
9. Block MS, Hoffman DR (1995) A new device for absolute anchorage for orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 107(3):251-58
10. Brånemark PI (1983): Osseointegration and its experimental background. *Journal of Prosthetic Dentistry* 50:399-410

11. Brånemark PI, Hansson BO, Adell R, Breine U, Lindström J, Hallén O, Ohman A (1977) Osseointegrated implants in the treatment of edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery* 16:1-132
12. Bretin BT, Grosland NM, Qian F, Southard KA, Stuntz TD, Morgan TA, Marshall SD, Southard TE (2008): Bicortical vs monocortical orthodontic skeletal anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 134(5):625-35
13. Carano A, Velo S, Leone P, Siciliani G (2005) Clinical applications of the Miniscrew Anchorage System. *Journal of Clinical Orthodontics* 39:9-24
14. Chaddad K, Ferreira AF, Geurs N, Reddy MS (2008) Influence of surface characteristics on survival rates of mini-implants. *Angle Orthodontist* 78:107-13
15. Chen CH, Chang CS, Hsieh CH, Tseng YC, Shen YS, Huang IY, Yang CF, Chen CM (2006) The Use of microimplants in orthodontic anchorage. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 64(8):1209-13
16. Chen CH, Hsieh CH, Tseng YC, Huang IY, Shen YS, Chen CM (2007) The use of miniplate osteosynthesis for skeletal anchorage. *Journal of Plastic and Reconstructive Surgery* 120(1):232-5; 236-7.
17. Chen Y, Kyung HM, Zhao WT, Yu WJ (2009) Critical factors for the success of orthodontic mini-implants: A systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 135(3):284-91
18. Cheng SJ, Tseng IY, Lee JJ, Kok SH (2004) A prospective study of the risk factors associated with failure of mini-implants used for orthodontic anchorage. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* 19(1):100-6
19. Choi BH, Zhu SJ, Kim YH (2005) A clinical evaluation of titanium miniplates as anchors for orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 128(3):382-4

20. Costa A, Raffaini M, Melsen B (1998) Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. *International Journal Adult Orthodontic Orthogenetic Surgery* 13(3):201-9
21. Creekmore TD, Eklund MK (1983) The possibility of skeletal anchorage. *Journal of Clinical Orthodontics* 17(4):266-9
22. Crismani AG, Bertl MH, Čelar AG, Bantleon HP, Burstone CJ (2010) Miniscrews in orthodontic treatment: Review and analysis of published clinical trials. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 137(1):108-13
23. Deguchi T, Takano-Yamamoto T, Kanomi R, Hartsfield JK Jr, Roberts WE, Garetto LP (2003) The use of small titanium screws for orthodontic anchorage. *Journal of Dental Research* 82(5):377-81
24. Diedrich P. (1993) Verschiedene orthodontische Verankerungssysteme. Eine kritische Betrachtung. *Fortschritte der Kieferorthopädie* 54(4):156-76
25. Faber J, Velasque F (2009) Titanium miniplate as anchorage to close a premolar space by means of mesial movement of the maxillary molars. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 136(4):587-95
26. Favero L, Brollo P, Bressan E (2002) Orthodontic anchorage with specific fixtures: related study analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 122(1):84-94
27. Fortini, A, Cacciafesta V, Sfondrini MF, Cambi S, Lupoli M (2004) Clinical applications and efficiency of miniscrews for extradental anchorage. *Orthodontics* 1(2)
28. Fritz U, Ehmer A, Diedrich P (2004) Clinical suitability of titanium microscrews for orthodontic anchorage – preliminary experiences. *Journal of Orofacial Orthopedics* 65(5):410-8

29. Gainsforth BL, Higley LB (1945) A study of orthodontic anchorage possibilities in basal bone. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery* 31:406-17
30. Harzer W (1999) *Lehrbuch der Kieferorthopädie*. 1. Auflage. Karl Hanser Verlag, München, Wien
31. Herman RJ, Currier GF, Miyake A (2006) Mini-implant anchorage for maxillary canine retraction: A pilot study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 130(2):228-35
32. Heymann GC, Tulloch JFC (2006) Implantable devices as orthodontic anchorage: A review of current treatment modalities. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 18(2):68-80
33. Higuchi KW, Slack JM (1991) The use of titanium fixtures for intraoral anchorage to facilitate orthodontic tooth movement. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* 6(3):338-44
34. Hong RK, Hoe JM, Ha YK (2005) Lever-arm and mini-implant system for anterior torque control during retraction in lingual orthodontic treatment. *Angle Orthodontist* 75(1):129-41
35. Informationsbroschüre OrthoEasy - Das komplette System für kortikale Verankerungsaufgaben (2008) , Info No. 185/02 , FORESTADENT, Pforzheim
36. Kanomi R (1997) Mini-implants for orthodontic anchorage. *Journal of Clinical Orthodontics* 31(11):763-7
37. *Kieferorthopädie Nachrichten* (2010) Interview: „Minischrauben bewegen sich durchaus.“ 9(8):1-6
38. Kuroda S, Sugawara Y, Deguchi T, Kyung HM, Takana-Yamamoto T (2007) Clinical use of miniscrew implants as orthodontic anchorage: Success rates and postoperative discomfort. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 131:9-15

39. Kyung HM, Park HS, Bae SM, Sung JH, Kim IB (2003) Development of orthodontic micro-implants for intraoral anchorage. *Journal of Clinical Orthodontics* 37(6):321-8
40. Lee SJ, Ahn SJ, Lee JW, Kim SH, Kim TW (2010) Survival analysis of orthodontic mini-implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 137(2):194-9
41. Lin JC, Liou EJ (2003) A new bone screw of orthodontic anchorage. *Journal of Clinical Orthodontics* 37(12):676-81
42. Linkow, LI (1969) The endosseus blade implant and its use in orthodontics. *International Journal of Orthodontics* 7(4):149-54
43. Ludwig B (2008) *Mini-Implantate in der Kieferorthopädie: innovative Verankerungskonzepte*. 1.Auflage. Quintessenz, Berlin
44. Ludwig B, Glasl B, Lietz T, Lisson JA (2008) *Kompendium Minischrauben. Kieferorthopädie Nachrichten* 1.Jahrgang: 6-28
45. Luzi C, Verna C, Melsen B (2009) Guidelines for success in placement of orthodontic mini-implants. *Journal of Clinical Orthodontics* 43:39-44
46. Luzi C, Verna C, Melsen B (2007) A prospective clinical investigation of the failure rate of immediately loaded mini-implants used for orthodontic anchorage. *Progress in Orthodontics* 8:192-201
47. Mah J, Bergstrand F (2005) Temporary anchorage devices: a status report. *Journal of Clinical Orthodontics* 39(3):132-6
48. Maino BG, Maino G, Mura P (2005) Spider screw: skeletal anchorage system. *Progress in Orthodontics* 6(1):70-81

49. 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(4):373-8
50. Moon CH, Lee DG, Lee HS, Im JS, Baek SH (2008) Factors associated with the success rate of orthodontic miniscrew placed in the upper and lower posterior buccal region. *Angle Orthodontist* 78(1):101-6
51. Moon CH, Park HK, Nam JS, Im JS, Baek SH (2010) Relationship between vertical skeletal pattern and the success rate of orthodontic mini-implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 138:51-7
52. Motoyoshi M, Hirabayashi M, Uemura M, Shimizu N (2006) Recommended placement torque when tightening an orthodontic mini-implant. *Clinic of Oral Implants Research* 17(1):109-14
53. Motoyoshi M, Matsuoka M, Shimizu N (2007) Application of orthodontic mini-implants in adolescents. *International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery* 36(8):695-9
54. Owens SE, Buschang PH, Cope JB, Franco PF, Rossouw PE (2007) Experimental evaluation of tooth movement in the beagle dog with the mini-screw implant for orthodontic anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 132(5):639-46
55. Park HS, Jeong SH, Kwon OW (2006) Factors affecting the clinical success of screw implants used as orthodontic anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 130(1):18-25
56. Park HS, Lee SK, Know OW (2005) Group distal movement of teeth using micro-screw implant anchorage. *Angle Orthodontist* 75(4):602-9
57. De Pauw, GA, Dermaut L, De Bruyn H, Johansson C (1999) stability of implants as anchorage for orthopedic traction. *Angle Orthodontics* 69(5):401-7

58. Perry SG (1888) "Mehrere Fälle von Implantation." *Korr Zahnheilk* 2: 357
59. Proffit WR (2000) *Contemporary Orthodontics*, 3rd ed, St. Louis, Mosby
60. Reynders R, Ronchi L, Bipat S (2009) Mini-implants in orthodontics: a systematic review of the literature. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 135(5): 564.e1-19
61. Roberts, WE; Smith, RK; Zilberman, Y; Mozsary, PG; Smith, RS (1984) Osseous adaptation to continuous loading of rigid endosseous implants. *American Journal of Orthodontics* 86(2):95-111
62. Rocci A, Martignoni M, Gottlow J (2003) Immediate loading in the maxilla using flapless surgery, implants placed in predetermined positions, and prefabricated provisional restorations: a retrospective 3-year clinical study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research* 5 Suppl 1:29–36
63. Romanos G, Toh CG, Siar CH, Swaminathan D, Ong AH, Donath K, Yaacob H, Nentwig GH (2001) Peri-implant bone reactions to immediately loaded implants. An experimental study in monkeys. *Journal of Periodontology* 72(4):506-11
64. Schopf, P. (2008) *Curriculum Kieferorthopädie Band II. 4 Auflage*. Quintessenz, Berlin
65. Snamensky NN (1891). "Implantation künstlicher Zähne." *Dtsch Mschr Zahnheilk* 8: 87
66. Tsaousidis G, Bauss O (2008) Influence of insertion site on the failure rates of orthodontic miniscrews. *Journal of orofacial orthopedics* 69(5):349-56
67. 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):704-7
68. Turley PK, Kean C, Schur J, Stefanac J, Gray J, Hennes J, Poon LC (1988) Orthodontic force application to titanium endosseous implants. *Angle Orthodontics* 58(2):151-62

69. Viwattanatipa N, Thanakitcharu S, Uttraravichien A, Pitiphat W (2009) Survival analyses of surgical miniscrews as orthodontic anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 136(1):29-36
70. Wehrbein H (1994) Enossale Titanimplantate als orthodontische Verankerungselemente. Experimentelle Untersuchungen und klinische Anwendungen. *Fortschritte der Kieferorthopädie* 55(5):236-50
71. Wehrbein H, Glatzmeier J, Mundwiller U, Diedrich P (1996) The Orthosystem – a new implant system für orthodontic anchorage in the palate. *Journal of orofacial orthopedics* 57:142-53
72. Wiechmann D, Meyer U, Büchter A (2007) Success rate of mini- and micro- implants used for orthodontic anchorage: a prospective clinical study. *Clinical Oral Implants Research* 18(2):263-7
73. Wilmes B, Rademacher C, Olthoff G, Drescher D (2006): Parameters affecting primary stability of orthodontic mini-implants. *Journal of orofacial orthopedics* 67(3):162-74
74. Woods PW, Buschang PH, Owens SE, Rossouw PE, Opperman LA (2009) The effect of force, timing and location on bone-to-implant contact of miniscrew implants. *European Journal of Orthodontics* 31(3):232-40

7 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Prinzip des reziproken Lückenschlusses ⁵
- Abbildung 2: Delaire-Maske am Patienten ⁶
- Abbildung 3: Miniimplantate verschiedener Hersteller ⁷
- Abbildung 4: Ortho Easy Miniimplantate mit den Längen 6mm, 8mm, 10mm ⁶
- Abbildung 5: Aufklärungsbogen zur Insertion von Minischrauben ⁶
- Abbildung 6: Maschinelle Insertion zweier Pins mit der Länge von 8mm, palatinal ⁶
- Abbildung 7: Interradikulärer Pin zwischen den Zähnen 23 und 24 ⁶
- Abbildung 8: Röntgenbild: alveolär-vertikal inserierte Pins zum Ersatz von 21 und 22 ⁶
- Abbildung 9: Alveolär-vertikal inserierte Pins mit provisorischer Zahnkrone 21 und 22 ⁶
- Abbildung 10: Anzahl der gesetzten Miniimplantate bezogen auf den Insertionsort
- Abbildung 11: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf den Kiefer
- Abbildung 12: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die genauere Lokalisation
- Abbildung 13: Anzahl der gesetzten Miniimplantate bezogen auf die Indikation
- Abbildung 14: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die Indikation
- Abbildung 15: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die Implantatlänge
- Abbildung 16: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf das Geschlecht
- Abbildung 17: Altersverteilung der Patienten mit und ohne Pinverlust
- Abbildung 18: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf das Alter der Patienten
- Abbildung 19: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die Mundhygiene
- Abbildung 20: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die Dentition
- Abbildung 21: Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die Verankerungsform
- Abbildung 22: Überlebenszeit aller Miniimplantate
- Abbildung 23: Überlebenszeiten der Miniimplantate bezogen auf den Kiefer
- Abbildung 24: Überlebenszeiten der Miniimplantate bezogen auf die Lokalisation
- Abbildung 25: Überlebenszeiten der Miniimplantate bezogen auf die Implantatlänge
- Abbildung 26: Überlebenszeiten der Miniimplantate bezogen auf das Geschlecht
- Abbildung 27: Überlebenszeiten der Miniimplantate bezogen auf das Alter der Patienten
- Abbildung 28: Überlebenszeiten der Miniimplantate bezogen auf die Mundhygiene

⁵ Kahl-Nieke, Bärbel. Einführung in die Kieferorthopädie: Diagnostik, Behandlungsplanung, Therapie; Köln Dt. Ärzte-Verl., 2010. S. 202

⁶ Ludwig, B

⁷ Lietz, T, Glasl, B, and Ludwig, B (2007) Die guten ins Töpfchen ... Das Angebot an Minischrauben wächst, der Überblick sinkt (1). DZW (44): 30-31

Abbildung 29: Überlebenszeiten der Miniimplantate bezogen auf die Verankerungsform

Abbildung 30: Zwei palatinal, paramedian inserierte Miniimplantate im Oberkiefer⁶

Abbildung 31: Froschapparatur zur Distalisierung von Molaren⁶

Abbildung 32: Gaumennahterweiterungsapparatur⁶

Abbildung 33: Lückenschluss mithilfe eines Miniimplantats inseriert zwischen 33 und 34
(direkt)⁶

Abbildung 34: Lückenschluss mithilfe eines Miniimplantats inseriert zwischen 43 und 44
(indirekt)⁶

Abbildung 35: Direkte Verankerung am Zahn 36 mithilfe eines Miniimplantats zwischen 33
und 34⁶

Abbildung 36: Indirekte Verankerung an den Zähnen 33 und 34⁶

⁶ Ludwig,B

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Synonyme für Miniimplantate aus der deutschen und englischen Literatur ⁸

Tabelle 2: Verlustraten der vestibulär-interradikulär gesetzten Miniimplantate bezogen auf ihre Lage zu den Zähnen

Tabelle 3: Verlustraten der Miniimplantate mit verschiedener Länge bezogen auf den Insertionsort

Tabelle 4: Verlustzeiten der Miniimplantate

Tabelle 5: Zusammenfassung der Verlustraten der Miniimplantate bezogen auf die ausgewerteten Parameter

⁸ Ludwig, B, and Lietz, T: Einleitung. In Ludwig, B (Editor) (2007) Mini-Implantate in der Kieferorthopädie Innovative Verankerungskonzepte. Quintessenz, Berlin, 1-4

9 Danksagung

Ich möchte mich zunächst ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. Lisson für die freundliche Überlassung des interessanten Dissertationsthemas und die kompetente Betreuung bedanken. Die Kieferorthopädie hat unter Anderem auch durch das Studium und die wissenschaftliche Arbeit in Ihrer Abteilung eine ganz besondere Rolle in meinem Leben eingenommen.

Ich bedanke mich besonders bei meinem Promotionsbetreuer Herrn Dr. Ludwig für die fachliche Kompetenz, die Überlassung der Patientendaten, das Bildmaterial und die anhaltende Begeisterung für dieses Thema. Darüber hinaus bedanke ich mich für die zahlreichen konstruktiven Diskussionen, für seine Geduld und für seine immer wieder aufmunternde und motivierende Art.

Frau Dr. Kottmann danke ich für Ihre Hilfe bei der Anfertigung des statistischen Teils dieser Arbeit.

Ein ganz besonderer Dank geht an meine Eltern, die mir das Studium der Zahnmedizin ermöglichten und mir auch während der Anfertigung dieser Dissertation immerzu unterstützend und liebevoll zur Seite standen.

Ich möchte mich bei meinem Lebenspartner bedanken, der mir mit seiner Liebe besonders in dieser Phase immer wieder Kraft gegeben hat.

10 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus Datenschutzgründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht mit veröffentlicht.