

Aus der Klinik für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie  
der Medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin

## DISSERTATION

Zahnschädigung durch intraoperative mandibulo-maxilläre Fixation mittels  
intraossärer Schrauben nach Vorbohrung. Ergebnisse einer klinischen  
Nachuntersuchung

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von  
Stefan Hartwig  
aus Bremen

Datum der Promotion: 22.09.2017

Für Sarah

# Inhaltsverzeichnis

Abstrakt.....	II
Abstract.....	IV
Veröffentlichungen im Rahmen dieser Arbeit .....	VI
I. Abkürzungsverzeichnis .....	VIII
II. Tabellenverzeichnis.....	VIII
III. Abbildungsverzeichnis.....	IX
1. Einleitung .....	1
1.1 Mandibulo-maxilläre Fixation.....	1
1.2 Indikationen und Anwendungsarten.....	8
1.3 Applikation .....	8
1.4 Anwendungskomplikationen .....	8
1.5 Reparaturvorgänge .....	10
1.6 Studienlage .....	13
2. Zielsetzung .....	16
3. Material und Methoden .....	17
3.1 Studienkohorte .....	17
3.2 Ein- und Ausschlusskriterien.....	18
3.2.1 Retrospektive Röntgenbildanalyse.....	18
3.2.2 Klinische Nachuntersuchung .....	18
3.3 Klassifikation der Zahnwurzelverletzung .....	19
3.4 Klinische Nachuntersuchung .....	20

3.5 Statistische Auswertung .....	21
3.6 Ethikkommission und <i>Good clinical practice</i> .....	21
4. Ergebnisse.....	22
4.1 Retrospektive Bildanalyse .....	25
4.1.1 Verteilung der Vorbohrungen.....	25
4.1.2 Zahnwurzelverletzungen .....	25
4.1.2.1 Inzidenz.....	25
4.1.2.2 Trefferklassen.....	26
4.1.2.3 Örtliche Verteilung.....	27
4.2 Klinische Nachuntersuchung .....	29
4.2.1 Wurzelkanalbehandlung.....	29
4.2.2 Kältetest.....	30
4.2.3 Zahnverlust.....	30
4.2.4 Schmerzen.....	30
4.2.5 Perkussion.....	30
4.2.6 Sondierungstiefe.....	31
4.2.7 Lockerungsgrad.....	31
4.3 Absolutes Risiko.....	32
5. Diskussion.....	33
5.1 Diskussion der Fragestellung .....	33
5.2 Diskussion der Ergebnisse.....	36
5.3 Limitationen .....	52
5.3.1 Bildgebung.....	52

5.3.2 Studiendesign .....	53
5.4 Schlussfolgerung.....	54
6. Zusammenfassung .....	57
7. Literaturverzeichnis .....	60
Danksagung .....	69
Eidesstattliche Versicherung.....	70
Curriculum Vitae .....	71
Publikationsliste.....	72
Anhang.....	75

## Abstrakt

### **Einleitung**

Die mandibulo-maxilläre Fixation (MMF; Synonym: intermaxilläre Fixation) ist eine Technik zur Fixierung der beiden Kiefer zueinander unter Benutzung der habituellen Okklusion z. B. bei der Frakturversorgung oder im Rahmen skelettal verlagernder Operationen. Eine heute gängige Technik gegenüber der klassischen Drahtschienen-MMF (wie *Erich* oder *Schuchardt*) ist die Schrauben-MMF aufgrund der reduzierten Parodontalschädigung, des erhöhten Tragekomforts bei längerer Anwendung, der Einsparung von OP-Zeit und des reduzierten Stichverletzungsrisikos des Operateurs. Bei der Schrauben-MMF besteht jedoch das Risiko einer Verletzung der Zahnwurzel bei der Applikation. Die vorliegende Arbeit untersuchte retrospektiv die Inzidenz und örtliche Verteilung von Zahnwurzelschädigungen und in einer Nachuntersuchung betroffener Patienten die klinischen Folgen in Abhängigkeit ihres Schweregrades.

### **Methodik**

Die untersuchte Periode beinhaltet die Jahre 01/2009–05/2015. In diesem Zeitraum wurden die postoperativ durchgeführten Röntgenkontrollen (Panoramachichtaufnahme/Digitale Volumentomographie/Computertomographie) auf Zahnwurzelverletzungen hin untersucht und in verschiedene Trefferklassen eingeteilt. Patienten mit einer radiologisch nachgewiesenen Wurzelverletzung durch vorgebohrte Schrauben wurden bezüglich der klinischen Folgen nachuntersucht. Eine Risikoanalyse für die Zähne wurde durchgeführt.

### **Ergebnisse**

Insgesamt wurden 585 Patienten aufgrund einer Mandibulafraktur operativ behandelt. Von diesem Kollektiv erfüllten 296 Patienten (50,6 %) die

Einschlusskriterien und bildeten die Studienkohorte. Innerhalb dieser wurden 1067 applizierte Schrauben mit Vorbohrung in die Bewertung aufgenommen, bei denen radiologisch 133 Zahnwurzelverletzungen bei 95 Patienten diagnostiziert wurden (12,5 % aller Bohrungen). Das mediane Nachuntersuchungsintervall betrug 16 Monate (3–77 Monate). Von den Patienten mit Zahnwurzelverletzung wurden 49,5 % nachuntersucht.

Vier der verletzten Zähne benötigten eine endodontologische Behandlung (3 % der verletzten Zähne; 0,4 % aller Bohrungen). Keine Odontalgie wurde berichtet und es kam zu keinem Zahnverlust. Es gab weiterhin keinen Zusammenhang zwischen der Zahnwurzelschädigung und dem klinischen Parodontalstatus. Für die Zähne konnte ein absolutes Risiko berechnet werden.

### **Schlussfolgerung**

Die MMF-Anwendung mit vorgebohrten Schrauben kann zu Zahnwurzelverletzungen führen. Verletzungen des Zahnes ohne Beteiligung der Zahnpulpa haben klinisch die beste Prognose. Relevanz haben Zahnwurzeltreffer mit Pulpabeteiligung. Bei diesen ist eine frühzeitige postoperative Diagnose dieser Zahnverletzungen, deren Kommunikation mit dem betroffenen Patienten, eine eventuell notwendige Einleitung einer endodontologischen Therapie sowie eine Nachuntersuchung wichtig in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit dem Zahnarzt.

## Abstract

### **Introduction**

Mandibulomaxillary fixation (MMF; synonym: intermaxillary fixation) can be a complicated procedure due to the protracted and injury-prone use of wire cerclages and arch bars, such as those of *Erich* or *Schuchardt*. The development of screw-dependent MMF, which aims to minimize the impact on periodontal health, risk of operator injury during the wire application and to shorten the operation time runs the risk of injury to the tooth root during drilling of the pilot hole. The present study examined the incidence and distribution of root injury and the clinical consequences depending on their severity.

### **Methods**

The studied period includes the years 01/2009–05/2015. During this period, 585 patients were treated surgically due to a mandibular fracture. From this collective, 296 patients (50.6%) fulfilled the required inclusion criteria. The postoperative performed radiographs (panoramic radiographs, cone beam tomography or computed tomography) were retrospectively analyzed for root injury. Patients with proven hits were clinically followed up. An absolute risk for root injury was calculated.

### **Results**

In total, 1067 applied screws were assessed. A total of 133 radiologically diagnosed tooth root injuries were recorded (12.5% of drillings). The median follow-up interval was 16 months (range: 3–77 months). The return rate was 49.5% of all patients with root injuries. Four of the injured teeth (3% of the injured teeth; 0.4 % of the drillings) needed endodontic treatment. No toothache was reported, no tooth was lost, and no negative impact on periodontal health was clinically evident.



### **Conclusion**

Intermaxillary fixation with pre-drilled transgingival screws is a quick way to secure occlusion in open reduction and internal fixation of mandibular fractures. The incidence of tooth root injury is evident, but the adverse side effects are rare and the health of the affected teeth is seldom compromised. Proven root-hits should be followed-up to detect any negative impact and initiate endodontic treatment, if necessary.

## Veröffentlichungen im Rahmen dieser Arbeit

Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden in Teilen in folgender internationaler *peer-reviewed* Fachzeitschrift veröffentlicht:

Drill-related root injury caused by intraoperative intermaxillary fixation. An analysis of 1067 screw-applications.

**Hartwig** S, Boettner A, Doll C, Voss JO, Hertel M, Preissner S, Raguse JD

### **Journal for Dental Traumatology**

ISSN: 1600-4469

Eigenfactor: 0.003 Stand: 12.12.2016

Impact factor: 1.327 Stand: 12.12.2016

5 Y-Impact factor: 1.496 Stand: 12.12.2016

PMID: 27681036

Submission: 16.07.2016

Akzeptiert: 17.09.2016

**Anteilerklärung:** Idee und Konzept der Studie, Durchführung der Studie, Verfassen des Manuskripts

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind in Teilen auf folgendem Kongress vorgestellt worden:

Iatrogene Zahnschädigung durch intraoperative mandibulo-maxilläre Fixation. Ergebnisse einer klinischen Nachuntersuchung.

**Hartwig** S, Doll C, Voß JO, Langer C, Vöge K, Adolphs N, Hoffmeister B, Raguse, JD

Poster & Präsentation auf dem Jahreskongress 2015 der Deutschen Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (DGMKG)

**Anteilerklärung:** Verfassen des Posters, Präsentation

## I. Abkürzungsverzeichnis

AR	Absolutes Risiko
DICOM	<i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i>
DVT	Digitale Volumen Tomographie
IMF	Intermaxilläre Fixation
LG	Lockerungsgrad
MKG	Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie
MMF	Mandibulo-maxilläre Fixation
OK	Oberkiefer
ORIF	<i>Open reduction and internal fixation</i>
PSA	Panoramaschichtaufnahme
UK	Unterkiefer

## II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Studienlage MMF mittels Schrauben-Technik mit Vorbohrung.....	14
Tabelle 2: Frakturverteilung in der Studienkohorte .....	22
Tabelle 3: Örtliche Verteilung der Zahnwurzeltreffer Oberkiefer/Unterkiefer .....	27
Tabelle 4: Örtliche Verteilung der Zahnwurzeltreffer rechts/links .....	27
Tabelle 5: Ermittelte endodontologische Behandlungen.....	29
Tabelle 6: Ermittelte Reaktionen auf den Kältetest .....	30
Tabelle 7: Ermittelte Sondierungstiefen .....	31
Tabelle 8: Ermittelte Lockerungsgrade.....	31
Tabelle 9: Absolute Risiken .....	32
Tabelle 10: Studienlage MMF mittels Schrauben-Technik mit Vorbohrung .....	38
Tabelle 11: Studienlage MMF mit selbstbohrenden Schrauben.....	39
Tabelle 12: Studienlagenvergleich MMF mit Schraubentechnik.....	43

## III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Immobilisierungs-Apparatur von <i>Chopart</i> .....	1
Abbildung 2: <i>Kingsley's</i> Apparatus .....	2
Abbildung 3: Gunning-Splint .....	2
Abbildung 4: <i>Gilmer's</i> mandibulo-maxilläre Fixation durch Stahldrahtcerclagen.....	3
Abbildung 5: „ <i>Angle's</i> Apparat“ und „ <i>Angle's</i> intermaxilläre Fixation“ .....	3
Abbildung 6: Mandibulo-maxilläre Fixation nach <i>R. T. Oliver</i> .....	4
Abbildung 7: <i>Ivy</i> -loops.....	4
Abbildung 8: <i>Schuchardt</i> -Schienung 1/2.....	5
Abbildung 9: <i>Schuchardt</i> -Schienung 2/2.....	5
Abbildung 10: <i>Otten</i> -Haken .....	6
Abbildung 11: Intraoperative mandibulomaxilläre Fixation.....	6
Abbildung 12: Spezielle mandibulo-maxilläre Fixationsschraube .....	7
Abbildung 13: Spino-mentale mandibulo-maxilläre Fixation.....	7
Abbildung 14: Mikroskopischer Nachweis der Heilung einer Wurzelverletzung 1 ...	10
Abbildung 15: Mikroskopischer Nachweis der Heilung einer Wurzelverletzung 2 ...	11
Abbildung 16: Röntgenbild einer Ausheilung eines Zahnwurzeltreffers.....	12
Abbildung 17: Studienablauf.....	17
Abbildung 18: Klassifikation der Zahnwurzeltreffer .....	19
Abbildung 19: Altersverteilung der Studienkohorte .....	22
Abbildung 20: Postoperative Röntgenkontrollen.....	23
Abbildung 21: Nachuntersuchungsintervalle. ....	24
Abbildung 22: Übersicht der Regionen für die Vorbohrungen .....	25
Abbildung 23: Inzidenzen der Zahnwurzeltreffer.....	26
Abbildung 24: Verteilung der Zahnwurzeltreffer nach Schädigungsklasse .....	26
Abbildung 25: Häufigkeiten der Zahnwurzeltreffer innerhalb der Quadranten .....	28
Abbildung 26: Klinische Risikozonen.....	46
Abbildung 27: MMF-Algorithmus .....	51
Abbildung 28: Objektverzerrung und –verblässung .....	52

# 1. Einleitung

## 1.1 Mandibulo-maxilläre Fixation

Die mandibulo-maxilläre Fixation (MMF) ist ein Verfahren zur Fixierung beider Kiefer zueinander unter Einstellung und Verwendung der habituellen Okklusion. Diese Ruhigstellung als Therapieform von Kieferbrüchen ist bereits von *Hippocrates* durch Schienung der frakturnahen Zähne mittels Goldfäden sowie der Kieferbandagierung beschrieben worden (1). Im Spätmittelalter beschrieb *Salicetti* die Immobilisation beider Kiefer zueinander über Drahtligaturen (2). Weite Verbreitung aufgrund der relativ einfachen Anwendung fand das Bandagieren von Unterkieferfrakturen in Amerika im 17. und 18. Jahrhundert. Ihre dortige Einführung wird dem Arzt *John Rhea Barton* zugeschrieben, jedoch fanden sich viele Variationen wie z. B. die von *Gibson* oder *Hamilton* (3). Eine erste Schienen-Immobilisation wurde im Jahr 1795 von *Chopart* beschrieben (4). Hierbei erfolgte die Immobilisation noch über eine extraorale Abstützung und nicht über den Gegenkiefer (siehe Abbildung 1).

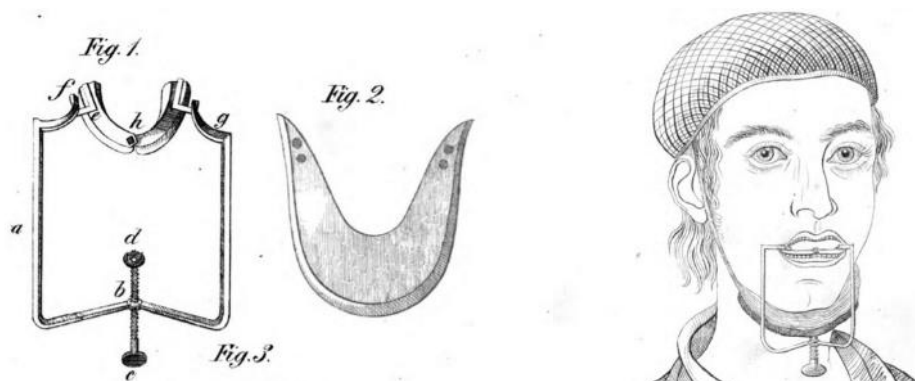


Abbildung 1: Immobilisierungs-Apparatur basierend auf der Arbeit von *Chopart* (mod. aus (5)).

Dieses Fixierungsprinzip wurde im nachfolgenden Jahrhundert durch Allgemeinchirurgen weiter ausgearbeitet. In Deutschland, England und den Niederlanden sind ähnliche Apparate eingesetzt worden (5–7).

## 1. Einleitung

---

Eine zunehmende Fokussierung auf die Okklusion und hierüber auf ein funktionell-mastikatorisches Therapieziel führte zu einem Wechsel der Zuständigkeit dieser Fälle von den Allgemeinchirurgen zu den damaligen sogenannten Kieferchirurgen. Die zu dieser Zeit aufkommenden Dentalwerkstoffe unterstützten diese Entwicklung und die Einführung der Allgemeinanästhesie durch *Archer und Wells* 1846 lenkte den Fokus von der schnellen Behandlung weg, hin zu einer die Okklusion in ihren Feinheiten berücksichtigenden Therapie (8,9). Eine intermaxilläre Ruhigstellung mittels eines Guttapercha/Silber-Splints in Kombination mit einer Kopf-Kinn-Bandage wurde von *Hamilton* im Jahr 1875 postuliert und fand erste Anwendung im amerikanischen Sezessionskrieg (3). Eine Fixierungstechnik mittels Splint und direkter extraoraler Bandage fand monomaxillär für den Unterkiefer Anwendung im 1855 entwickelten *Kingsley's apparatus*; siehe Abbildung 2.



Abbildung 2: *Kingsley's apparatus* (mod. aus (10)).

Kurze Zeit später folgte der *Gunning-Splint*, ein die Zähne umfassender intermaxillärer Gummiblock mit einer Aussparung im Frontbereich zur Essensaufnahme, der über Ligaturen oder Schrauben fixiert werden konnte (11); siehe Abbildung 3.

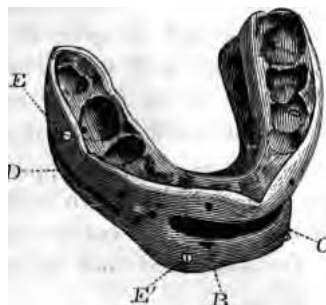


Abbildung 3: *Gunning-Splint* (aus (11)).

## 1. Einleitung

---

Ein Nachteil der nicht-rigiden Fixierungstechniken war der lange, teilweise Monate währende Anwendungszeitraum. Eine rigidere, den Gegenkiefer als Splint benutzende Fixierungstechnik wurde im Jahr 1887 mittels Drahtcerclagen durch den Amerikaner *Thomas Gilmer* in einer Kasuistik einer Unterkieferfrakturbehandlung präsentiert (12); siehe Abbildung 4.

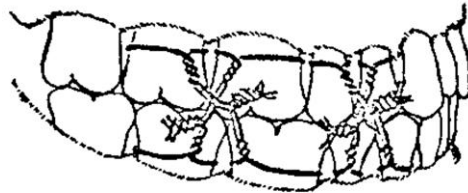


Abbildung 4: Zeichnung der von *Gilmer* angewendeten mandibulo-maxillären Fixation durch Stahldrahtcerclagen aus seiner Kasuistik (aus (12)).

Durch den Kieferorthopäden *Edward H. Angle* wurden kurze Zeit später weitere rigide Fixierungselemente vorgestellt, die der Bebänderungstechnik aus der damals neuartigen Multiband-Apparatur entnommen waren (13); siehe Abbildung 5.

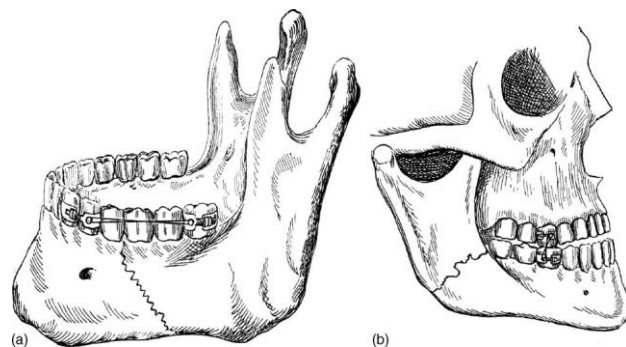


Abbildung 5: „*Angle's Apparat*“ und „*Angle's intermaxilläre Fixation*“ (aus (10)).

Weitere Innovationen, die Fortschritte in der Diagnostik und der Operationstechnik in dem sich bildenden Fachgebiet der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie (MKG) nach sich zogen, waren die Erfindung der Röntgenstrahlen im Jahr 1895 durch *Wilhelm C. Röntgen* und die Etablierung der endotrachealen Intubation durch *Ivan W. Magill* (14,15).



## 1. Einleitung

---

Zusammen mit dem Auftreten neuer Verletzungsmuster in den beiden Weltkriegen kam es zu einer Spezialisierung der Kieferchirurgie zur MKG. Als Reaktion auf die interdisziplinären Erfordernisse bezüglich der Gesichts- und Kopfverletzungen wurde in Deutschland nach dem 1. Weltkrieg im Jahr 1924 der „Facharzt für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten“ geschaffen (16). Die gesammelten Erfahrungen aus den Weltkriegen führten zu einer großen Anzahl an neuen Therapieverfahren im Bereich der primären und sekundären Traumaversorgung. Ebenfalls im Bereich der MMF wurden während dieser Zeit verschiedene Modifikationen der inzwischen etablierten Drahtligaturen veröffentlicht. Ein Kieferchirurg der US Army, *Robert Todd Oliver*, propagierte z. B. eine den gesamten Kiefer umspannende Drahtcerclage (17); siehe Abbildung 6.

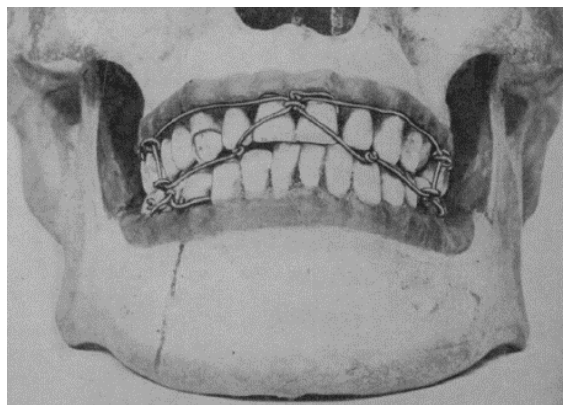


Abbildung 6: Mandibulo-maxilläre Fixation nach *R. T. Oliver* (aus (17)).

Eine Drahtcerclagen-Technik, die Drahtschlaufen (sogenannte Loops) als Fixierungselemente benutzte, wurde von den Militär-Kieferchirurgen *Joseph Eby* und *Robert Ivy* postuliert und als „Ivy loops“ bekannt; siehe Abbildung 7 (18).

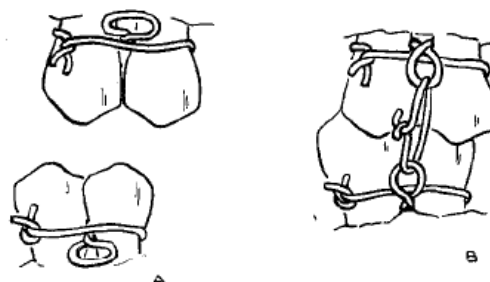


Abbildung 7: Zeichnung der Ivy-loops als mandibulo-maxilläre Fixation (aus (18)).

## 1. Einleitung

---

In Deutschland wurde u. a. die aus Achterligaturen bestehende *Ernst*-Ligatur populär (19). Weite Verbreitung fand ebenfalls die Drahtschienentechnik von *Obwegeser* (20). Die MMF wurde auch im letzten Jahrhundert weiter modifiziert. Eine den gesamten Kieferbogen umfassende Drahtbogenkunststoffschiene wurde im Jahr 1956 in Deutschland von *Karl Schuchardt* eingeführt (21), siehe Abbildung 8 und Abbildung 9.



Abbildung 8: Beispiel einer Schuchardt-Schienung. Der Drahtbogen ist bereits individualisiert und mittels Drahtcerclagen am Zahnbogen fixiert. Die nachfolgende Kunststoffüberkappung ist in der Abb. 9 zu sehen. Klinikeigenes Bildmaterial.



Abbildung 9: Beispiel einer Schuchardt-Schienung. Gleicher Patient wie in Abb. 8, nun mit Kunststoffüberkappung des Drahtbogens. Noch ausstehend ist die Kappung der überstehenden Drahtbogenelemente. Klinikeigenes Bildmaterial.

Es folgten im Jahr 1967 die nach ihrem Erfinder bezeichneten *Dal Pont*-Haken, S-förmige Drahthaken, die seitlich der Apertura piriformis fixiert wurden und deren Gegenspieler an der Unterkiefersymphyse mit einer Schraube fixiert wurde (22).

## 1. Einleitung

---

Eine Modifikation hierzu sind die per Schraube fixierten *Otten*-Haken („Minihäkchen“), die im Jahr 1981 durch *Jörg-Elard Otten* vorgestellt wurden (23); siehe Abbildung 10.



Abbildung 10: Spino-mentale mandibulo-maxilläre Fixation durch *Otten*-Haken. Ausschnitt aus einer Fernröntgenseitenaufnahme. Aus (23).

Durch die Entwicklung der offenen Reposition und internen Fixation u. a. durch die Arbeiten von *Maxime Champy* und Kollegen (24) wurden neben den bis dahin angewendeten Drahtcerclagen nun Osteosynthesysteme zur Frakturversorgung verwendet, die eine Reposition unter Sicht und eine direkte Fixierung der Frakturenenden ermöglichten; siehe Abbildung 11.



Abbildung 11: Beispielhafte Anwendung einer intraoperativen mandibulo-maxillären Fixation zur Okklusionssicherung bei offener Reposition und internen Fixation einer Fraktur des Angulus mandibulae (aus (25)).

## 1. Einleitung

---

Die Implementierung dieses (Mini-) Platten-Osteosynthese-Verfahrens und konsekutiv der Mono- und bikortikalen Schrauben führte zu der Anwendung der Schrauben-MMF. Diese hatte neben dem Vorteil der geringeren Schädigung des Parodonts das Ziel, das Verletzungsrisiko des Operateurs während der Drahtanwendung zu minimieren (26,27) und die Operationszeit und die Kosten zu verringern (28–31). Zunächst wurden klassische Osteosyntheseschrauben für die MMF zweckentfremdet (32). Später folgten spezielle MMF-Schrauben mit modifizierten Schraubenköpfen, die eine Anwendung von Draht oder Gummi zur Fixierung erleichtern sollten (33,34); siehe Abbildung 12 und Abbildung 13.

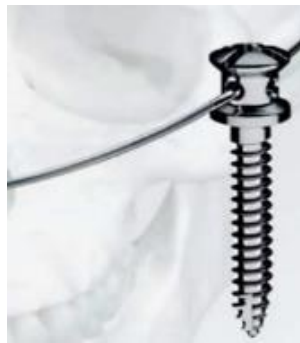


Abbildung 12: Spezielle mandibulo-maxilläre Fixationsschraube mit beispielhafter Drahtanwendung (mod. aus (35))



Abbildung 13: Beispiel einer spino-mental mandibulo-maxillären Fixation durch Osteosyntheseschrauben 2,0 x 10 mm, die nach Vorbohrung inseriert werden. Klinikeigenes Bildmaterial.

### 1.2 Indikationen und Anwendungsarten

Der Einsatz der MMF erfolgt in der MKG-Chirurgie in mehreren Gebieten: als konservative Therapie einer Unterkieferfraktur, zur intraoperativen Okklusionssicherung bei der Frakturversorgung von Ober- und Unterkiefer, von Mittelgesichts- oder panfazialen Frakturen, zur zusätzlichen postoperativen Ruhigstellung nach operativer Frakturversorgung sowie zur intraoperativen und/oder postoperativen Okklusionssicherung bei orthognathen Eingriffen.

### 1.3 Applikation

Die Schrauben können bei einer MMF als konservative Frakturbehandlung in örtlicher Betäubung appliziert werden. Bei den restlichen Indikationen wird die MMF im Rahmen des operativen Eingriffes, der üblicherweise in nasaler Intubationsnarkose stattfindet, verwendet. Bezüglich der Positionierung der Schrauben gibt es in der internationalen Literatur unterschiedliche Empfehlungen, die viele Interdentalräume abdecken: spino-mental, von Eckzahn/erster Prämolare über erster Prämolare/zweiter Prämolare bis zu zweiter Prämolare/erster Molare (25,26,29,36). Individuelle Frakturmuster können ein Abweichen von festgelegten Schraubenpositionen erfordern. Eine internationale oder nationale Leitlinie zur MMF gibt es bis dato nicht.

### 1.4 Anwendungskomplikationen

Die nachgewiesenen Komplikationen bei der Verwendung von MMF-Schrauben sind zum einen die Überwucherung der Schraubenköpfe durch die umgebene Mukosa bei längerer Anwendung, die eine erneute lokale Anästhesie zur Mukotomie bei der Entfernung der Schrauben notwendig macht (37,38). Auch der Verlust einer Schraube (39,40) und eine Schraubenfraktur wurden beschrieben (26,41). Zum anderen kann es zu einer Verletzung des N. alveolaris inferior (42,43) und zu Zahnwurzelverletzungen kommen (39,41,44–47). Letztere können zu klinischem Vitalitätsverlust

## 1. Einleitung

---

(47,48), einer Wurzelfraktur (45,49,50), einer Infektion (41,46), einer Fistelung (45) und zu Zahn- und Stützzonenverlust (51) führen. Dass die Bohrung vor Applikation der Schraube zu Zahnwurzelverletzungen führen kann, fiel zunächst bei der isolierten Anwendung von Schrauben zur Plattenfixierung bei der Osteosynthese auf (52). Später folgten Arbeiten hierzu bezüglich der Anwendung von MMF-Schrauben (41,42,48).

### 1.5 Reparaturvorgänge

Über die Reparaturvorgänge nach Zahnwurzelverletzung durch eine Schraube wurde erstmals in einem *in vivo*-Versuch berichtet, bei dem Hunden zur Untersuchung der Anwendung von orthodontischen Minischrauben selbige zwischen die Zahnwurzeln appliziert wurden. In der Versuchsreihe an fünf Hunden mit insgesamt 20 gesetzten Minischrauben wurden drei akzidentelle Zahnwurzelverletzungen festgestellt. In der Röntgenkontrolle wurde bildmorphologisch eine Reparatur 18 Wochen nach Schraubenentfernung beschrieben und in der histologischen Untersuchung *post mortem* konnte eine Neuanlagerung von Zement gezeigt werden (53); siehe Abbildung 14.

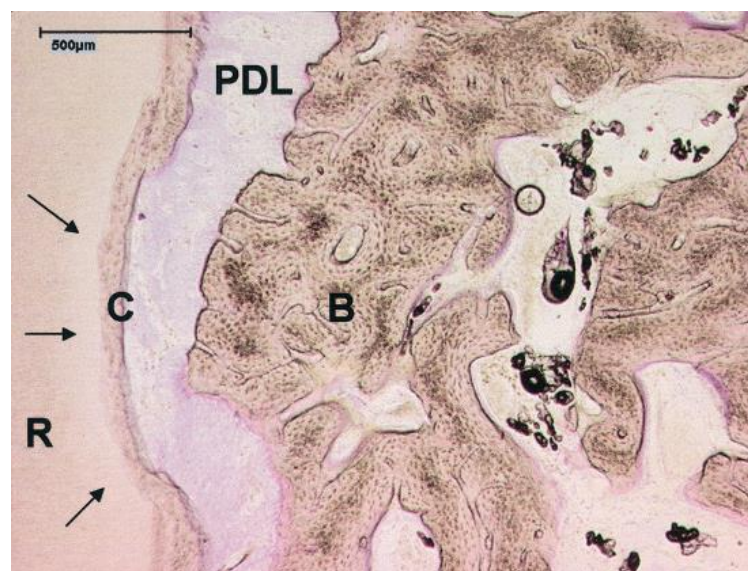


Abbildung 14: Mikroskopischer Nachweis einer Heilung einer Wurzelverletzung. Schnittdicke 70 μm, Toluidinblau-Färbung. Die Pfeile verweisen auf die neue Zementschicht auf der verletzten Wurzeloberfläche. Abk.: R=Zahnwurzel; C=Zement; PDL=Desmodont; B=Knochen. Der Vergrößerungsbalken ist mit 500 μm bezeichnet. Aus (53).

Diese Neubildung von Zement wurde ebenfalls in einem Fallbericht beschrieben, bei dem durch eine orthodontische Minischraube die Zahnwurzeloberfläche des Patienten verletzt wurde; siehe Abbildung 15; folgende Seite.

## 1. Einleitung

---

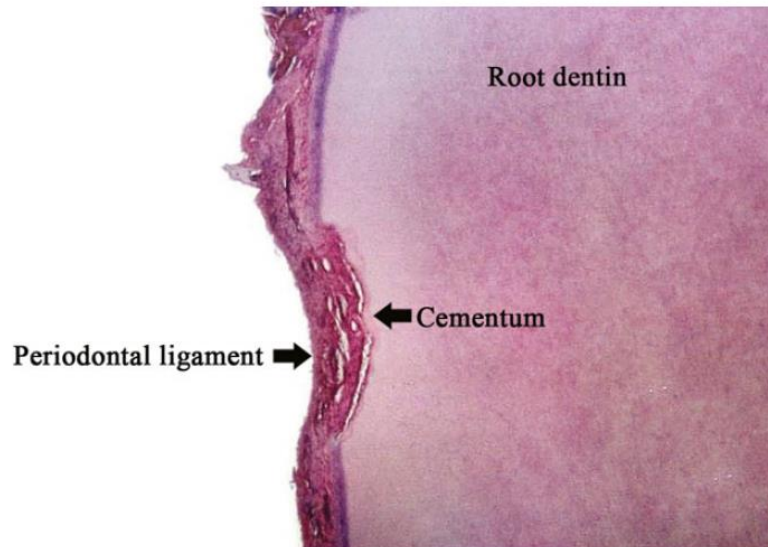


Abbildung 15: Mikroskopischer Nachweis einer Heilung einer Wurzelverletzung durch eine orthodontische Minischraube. 10-fache Vergrößerung. Hämatoxylin-Eosin-Färbung. Aus (54).

Nach einer Zahnwurzelverletzung durch eine Bohrung kann es zu einer Neubildung von Zement kommen (55). Ausgehend von vitalen Zementoblasten, die in der Umgebung der Wunde vorhanden sind, kann eine Auffüllung des Defekts an der Dentinwand stattfinden (56,57). Bleibt die Ausbildung dieser Zementschicht aus, kann es zu einer ossären Defektauffüllung mit Ankylose kommen.

Eine Verletzung der Pulpa kann zu einer Nekrose derselbigen führen, jedoch gibt es Revitalisierungsvorgänge, die mit dem Ausbildungsgrad des Wurzelwachstums korrelieren (58). Systematische *in vivo*-Versuche an Hunden, bei denen intentionell Wurzelverletzungen durch Schrauben mit histologischer Untersuchung *post mortem* jeweils zwölf Wochen nach Schraubenentfernung erfolgten, konnten die Reparaturvorgänge bestätigen (27,59,60). Beispielhaft für eine radiologische Ausheilung ist ein Fall aus der vorliegenden Studie: In der Abbildung 16 auf der folgenden Seite ist eine röntgenologisch nachgewiesene Ausheilung nach einer iatrogenen Wurzelverletzung zu sehen. Die Röntgenverlaufskontrolle erfolgte im Rahmen einer postoperativen Röntgenkontrolle nach operativer Entfernung des Osteosynthesematerials.



## 1. Einleitung

---



Abbildung 16 a +b: Beispiel einer röntgenologischen nachgewiesenen Ausheilung eines Zahnwurzeltreffers an dens 45 (Schema der Fédération Dentaire Internationale). Detailausschnitt aus je einer Panoramaschichtaufnahme. Abbildung (a) ist die Röntgenaufnahme, die am 2. postoperativen Tag nach der Frakturversorgung durchgeführt wurde. Zu sehen ist eine Wurzelverletzung an dens 45 mesial. In der Kontrolle fünf Jahre später (b) ist der Wurzeldefekt röntgenologisch nicht mehr als Bohrloch konfiguriert. Zu sehen ist um den Bereich des ehemaligen Defekts eine Opazität im Sinne einer Sklerosierung, welche als Zeichen der abgelaufenen Reparaturvorgänge zu werten ist. Der Zahn war zum Zeitpunkt der sekundären Bildgebung reaktiv im Kältestest und beschwerdefrei. Klinikeigenes Bildmaterial.

### 1.6 Studienlage

Eine Prüfung der verfügbaren Literatur zu Zahnwurzelverletzungen durch MMF-Schrauben und seine Folgen ergibt eine große Kriterienvielfalt und Differenzen in den Ergebnissen. Betrachtet man die Studien, welche die Verwendung von MMF-Schrauben mit notwendiger Vorbohrung zum Gegenstand hatten, so finden sich zunächst solche mit relativ geringen Kohortengrößen: Es beginnt mit einer prospektiven Fallserie mit neun Patienten und insgesamt 36 gewerteten Schrauben von *Farr* und *Whear*, gefolgt von der prospektiven Fallserie von *Nandini et al.* mit zehn Patienten und 40 gewerteten Schrauben. In der Arbeit von *Satish et al.* wurden zwölf Patienten mit 80 gewerteten Schrauben prospektiv untersucht. Die hierbei ermittelten Inzidenzen von Zahnverletzungen waren 36,1 %, 30 % und 2,5 % (48,61,62). Es finden sich Studien mit Fallzahlen in ähnlicher Größenordnung, die keine Zahnverletzungen feststellten: Die retrospektive Fallserie von *Imazawa et al.* mit 15 Patienten und 60 Schrauben (63), die prospektive Fallserie von *Schneider et al.* mit 19 Patienten und insgesamt 76 gewerteten Schrauben (42) und die prospektive Studie von *Sahoo* und *Mohan* mit 45 Patienten und 180 Schrauben (36). Es finden sich auch Studien mit stark abweichenden Ergebnissen: In der prospektiven Studie von *Ingole et al.* mit 25 Patienten und 104 gewerteten Schrauben war die Inzidenz der Zahnwurzelverletzung, bezogen auf alle Schrauben, 22 % (28). In der prospektiven Arbeit von *Fabbroni et al.* mit 54 Patienten und 232 gewerteten Schrauben wurde eine Inzidenz von Wurzeltreffern von 27 %, bezogen auf alle Schrauben, festgestellt (38). Eine weitaus geringere Inzidenz mit 3,4 %, bezogen auf alle Schrauben, wurde hingegen in der retrospektiven Studie von *Roccia et al.* bei einer Kohortengröße von n=62 und 265 gewerteten Schrauben ermittelt (37). In den Studien mit vergleichsweise großen Kohorten setzt sich diese Heterogenität in den Ergebnissen fort: Die prospektive Studie von *Coburn et al.* mit 122 Patienten (eine Angabe über die Anzahl der gewerteten Schrauben fehlt) gibt eine

## 1. Einleitung

Zahnwurzeltrefferinzidenz von 0,8 % an (41). Eine ähnliche Inzidenz mit 1 %, bezogen auf alle Schrauben, ermittelten *Sahoo et al.* in einer retrospektiven Arbeit mit 200 Patienten und 880 gewerteten Schrauben (44). Die größte Kohorte analysierten *Schulte-Geers et al.* mit n=521 Patienten und 1663 gewerteten Schrauben: sie ermittelten eine Inzidenz, bezogen auf alle Schrauben, von 17,1 % (46). Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Studien mit vorgebohrten MMF-Schrauben.

Jahr	Studie	prospektiv vs. retrospektiv	Patienten insgesamt	Schrauben insgesamt	Schrauben intraoral je Fall	Inzidenz [%]
2000	<i>Schneider et al.</i> (42)	prospektiv	19	76	4	0
2002	<i>Coburn et al.</i> (41)	prospektiv	122	keine Angaben	keine Angaben	0,8 (P)
2002	<i>Farr et al.</i> (48)	prospektiv	9	36	4	36,1
2004	<i>Fabbroni et al.</i> (38)	prospektiv	54	232	4	27
2005	<i>Roccia et al.</i> (37)	retrospektiv	62	265	4–9	3,4
2006	<i>Imazawa et al.</i> (63)	retrospektiv	15	60	4	0
2009	<i>Sahoo et al.</i> (44)	retrospektiv	200	880	4–6	1
2010	<i>Sahoo und Mohan</i> (36)	prospektiv	45	180	4	0
2011	<i>Nandini et al.</i> (61)	prospektiv	10	40	4	30 (P)
2012	<i>Schulte-Geers et al.</i> (46)	retrospektiv	521	1663	4–6	17,1
2014	<i>Satish et al.</i> (62)	prospektiv	12	80	4–8	2,5 (P)
2014	<i>Ingole et al.</i> (28)	prospektiv	25	104	4–6	22
2015	<i>Bai et al.</i> (64)	retrospektiv	168	705	4–6	1,8
<b>gesamt</b>	<b>13 Studien</b>		<b>9–521</b>	<b>40–1663</b>	<b>4–9</b>	<b>0–36,1</b>

Tabelle 1: Übersicht der Studienlage bezüglich der Zahnverletzungen durch MMF mittels Schrauben-Technik mit Vorbohrung (chronologisch sortiert). Die Inzidenz bezieht sich auf die Anzahl der gesamt applizierten Schrauben; wenn sie sich auf die Patientengesamtzahl bezog, so steht (P) hinter dem Wert.

## 1. Einleitung

---

Es lässt sich zusammenfassend feststellen, dass die weite Spanne der ermittelten Inzidenzen von 0–36 % sich aus der großen Variabilität der existierenden Studiendesigns ergibt: eingeschlossene Patientenzahl (9–521), insgesamt verwendete Schraubenanzahl (40–1663), die Menge an pro Patient verwendeten Schrauben (4–9), Anwendungsdauer der *in situ* verbleibenden Schrauben (intraoperativ–8 Wochen), unterschiedliche Ein- und Ausschlusskriterien sowie unterschiedliche Längen der Nachuntersuchungszeiträume (0–116 Wochen). Dies erschwert eine Vergleichbarkeit der Studien und macht eine klare Aussage bezüglich Inzidenz, Schwere und Prognose der Zahnverletzung durch MMF-Schrauben mit Vorbohrung diffizil.

## 2. Zielsetzung

Aufgrund der heterogenen Studien- und Ergebnislage sollte durch Analyse des klinikeigenen Patientenkollektivs im Rahmen einer eng definierten Anwendungsanalyse und nachfolgenden klinischen Untersuchung die Kontroversen der bereits publizierten Daten überprüft und durch eigene Ergebnisse ergänzt werden. Die vorliegende Arbeit hatte dabei folgende Zielsetzungen:

1. Erhebung der Häufigkeit von iatrogenen Zahnwurzelverletzungen durch eine rein intraoperative MMF mittels Schraubentechnik mit Vorbohrung.
2. Definition von klinischen Risikozonen für iatrogene Zahnwurzelverletzungen, um Zähne mit dem höchsten Risiko zu deklarieren.
3. Vergleich der klinischen Risikozonen mit den postulierten anatomischen Risikozonen.
4. Überprüfung der Korrelation zwischen röntgenologisch nachgewiesener Wurzelverletzung und dem klinischen Befund.
5. Erstellung einer Behandlungsempfehlung.

## 3. Material und Methoden

### 3.1 Studienkohorte

Der untersuchte Zeitraum umfasst die Periode 01/2009–05/2015. In dieser Zeit wurden 585 Patienten aufgrund einer Unterkieferfraktur operativ an der Klinik für MKG-Chirurgie der Charité - Campus Virchow Klinikum behandelt. Von diesem Kollektiv erfüllten 296 Patienten (45 %) die geforderten Einschlusskriterien (siehe 3.2 Ein- und Ausschlusskriterien) und bildeten die Studienkohorte für die retrospektive Auswertung der postoperativen Bildgebung. Patienten mit röntgenologisch nachgewiesenen Zahnwurzelverletzungen wurden zu einer Nachuntersuchung eingeladen. Eine Übersicht über den Studienablauf bietet Abbildung 17.

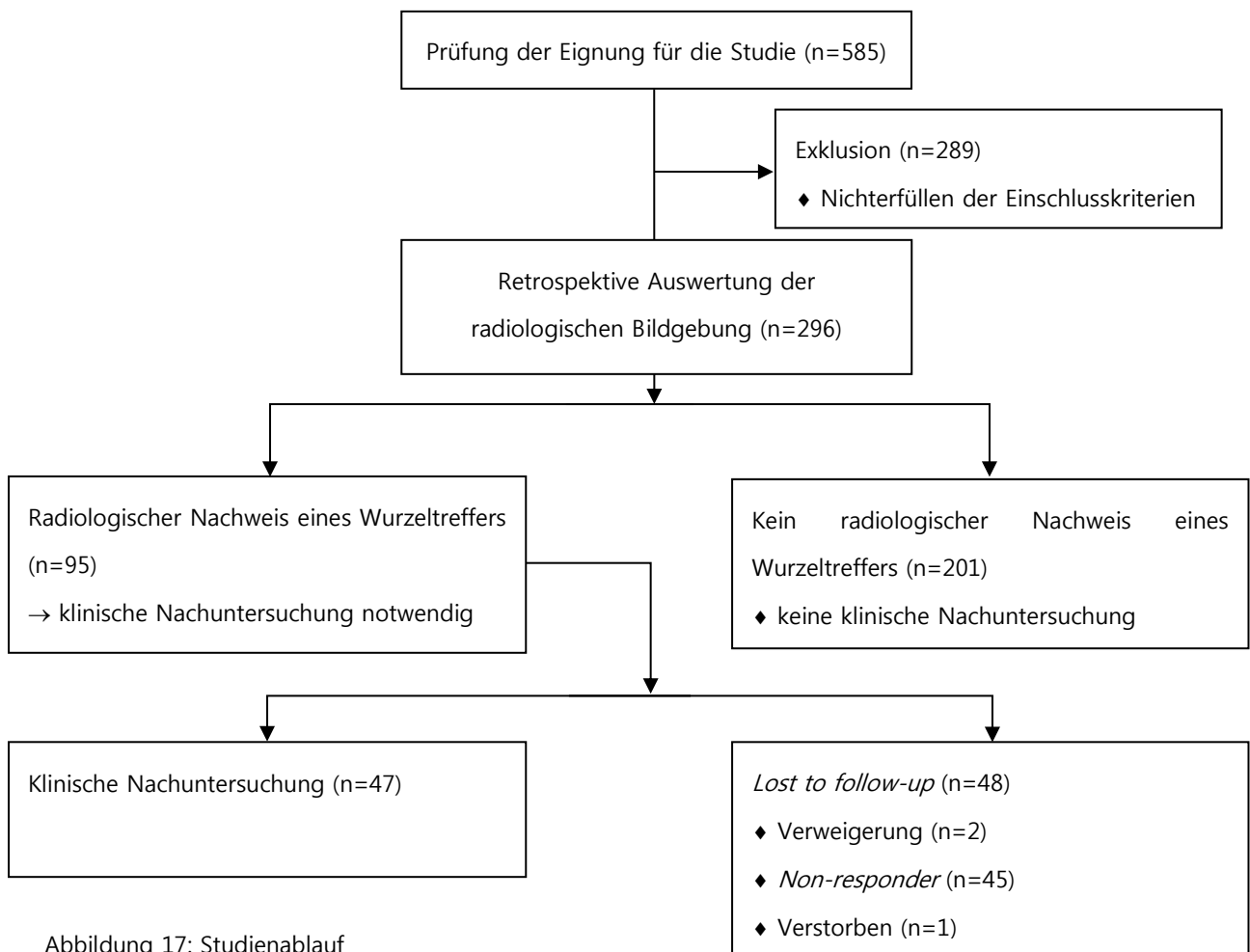


Abbildung 17: Studienablauf

## 3.2 Ein- und Ausschlusskriterien

### 3.2.1 Retrospektive Röntgenbildanalyse

#### Einschlusskriterien

- + MMF-Schrauben mit Vorbohrung nur intraoperativ verwendet
- + postoperative Bildgebung vorhanden in Form von Panoramaschichtaufnahme (PSA), Digitaler Volumentomographie (DVT) oder Computertomographie (CT)

#### Ausschlusskriterien

- Schrauben postoperativ belassen
- Panfaziale Fraktur
- Zahnlosigkeit
- MMF-Anlage aufgrund des Stützzonenverlustes nicht möglich
- Pathologische Fraktur
- Unterkiefertrümmerfraktur

### 3.2.2 Klinische Nachuntersuchung

#### Einschlusskriterium

- + röntgenologisch nachgewiesene Zahnwurzelverletzung
- + Einwilligungsfähigkeit

#### Ausschlusskriterien

- nicht einwilligungsfähig
- psychisch erkrankte Person
- Widerruf der Teilnahme durch Studienteilnehmer

### 3.3 Klassifikation der Zahnwurzelverletzung

Die röntgenologische Klassifikation anhand der retrospektiven Auswertung der PSA bzw. DVT/CT eines Zahnwurzeltreffers erfolgte in den von *Schulte-Geers et al.* (46) postulierten Graduierungen von 0–3 durch einen Untersucher:

Klasse 0 = kein Treffer der Zahnwurzel

Klasse 1 = <50 % des Bohrlochs im Dentin ohne Pulpabeteiligung

Klasse 2 = >50 % des Bohrlochs im Dentin ohne Pulpabeteiligung

Klasse 3 = Pulpatreffer; siehe Abbildung 18.

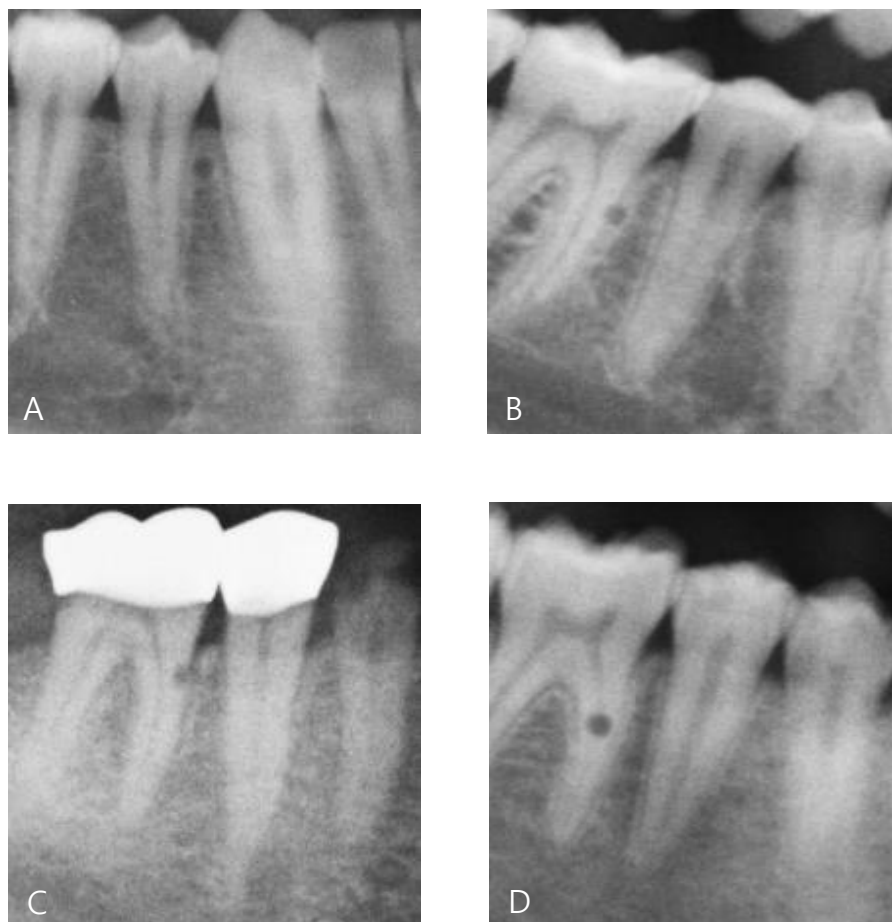


Abbildung 18: Klassifikation der Zahnwurzelverletzung nach *Schulte-Geers et al.* (46): (A) Klasse 0=kein Treffer der Zahnwurzel, (B) Klasse 1=<50 % des Bohrlochs im Dentin ohne Beteiligung der Zahnpulpa, (C) Klasse 2=>50 % des Bohrlochs im Dentin ohne Beteiligung der Zahnpulpa und (D) Klasse 3=Treffer der Zahnpulpa. Vergrößerungsausschnitte aus klinischen Panoramaschichtaufnahmen.



## 3.4 Klinische Nachuntersuchung

Bei röntgenologisch nachgewiesener Zahnwurzelverletzung erfolgte die klinische Nachuntersuchung frühestens ab der 13. Woche postoperativ, da hier die Reparaturvorgänge als abgeschlossen gelten (27,53,59,60). Bei der klinischen Nachuntersuchung wurden folgende Parameter anamnestisch und klinisch durch einen Untersucher erhoben (der Untersuchungsbogen ist im Anhang zu finden):

- stattgehabte/präsente Odontalgie
  - ja/nein
- Sondierungstiefen
  - in mm (tiefster Messwert bei sechs Messungen pro Zahn)
- Perkussionsempfindlichkeit axial und lateral
  - ja/nein
- Lockerungsgrad
  - 0: keine Lockerung
  - I: Zahnlockerung fühlbar
  - II: Zahnlockerung sichtbar
  - III: Zahn durch Zungendruck beweglich
- Zustandsüberprüfung der Pulpa durch Kältetest
  - Reaktion/keine Reaktion
- postoperativer Zahnverlust
  - ja/nein
- erfolgte endodontische Behandlung
  - ja/nein

Zeigte ein Zahn in der klinischen Nachuntersuchung keine Reaktion auf den Kältetest oder war perkussionsempfindlich, so wurde eine PSA angefertigt, um einen pathologischen Prozess auszuschließen. Eine standardmäßige Röntgenkontrollaufnahme aller klinischen Nachuntersuchungen wurde aus Gründen der medizinischen Strahlenhygiene nicht durchgeführt.

## 3.5 Statistische Auswertung

Kategoriale Daten wurden mittels absoluter und relativer Häufigkeiten dargestellt. Zur Analyse von Häufigkeitsunterschieden hinsichtlich des Schweregrades fand der Chi-Quadrat-Test oder Fisher's Exakter Test für unabhängige Stichproben Anwendung. Für normalverteilte kontinuierliche Messwerte wurden jeweils Mittelwert und Standardabweichung angegeben, für nicht normalverteilte Daten Median und Interquartilsabstand. Für die ordinalen Messgrößen wurden Korrelationsanalysen nach Spearman berechnet. Zum Vergleich verschiedener Regionen wurden absolute Risiken (AR) berichtet. Zur Bestimmung der Häufigkeit von Zahnwurzelverletzungen wurde eine Punktschätzung sowie ein 95 % Konfidenzintervall berichtet. Aufgrund des Beobachtungscharakters der retrospektiven Studie ohne Vergleichsgruppe erfolgten alle p-Wert-Angaben deskriptiv. Als Vorgabe für eine bestehende Signifikanz wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05 für die Signifikanz gesetzt. Die Datenanalyse wurde mit der Statistik Software IBM SPSS v. 22 (NY, USA) durchgeführt.

## 3.6 Ethikkommission und *Good clinical practice*

Für die vorliegende Arbeit wurde ein positives Ethikvotum der Ethikkommission der Charité unter der Antragsnummer EA1/217/14 erteilt. Alle beschriebenen Untersuchungen am Menschen wurden mit Zustimmung der zuständigen Ethikkommission, im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung von 2013) durchgeführt (65). Von allen beteiligten Patienten der klinischen Nachuntersuchung liegt eine Einverständniserklärung vor.

Der Autor gibt an, keine finanziellen oder persönlichen Beziehungen zu Dritten zu haben, deren Interessen vom Beitragsinhalt positiv oder negativ betroffen sein könnten, es bestand und besteht kein Interessenkonflikt.

## 4. Ergebnisse

Insgesamt erfüllten 296 Fälle die Einschlusskriterien und bildeten die Studienkohorte für die röntgenologische Analyse. Das Patientenalter betrug median 27 Jahre (11–72 Jahre), siehe Abbildung 19.

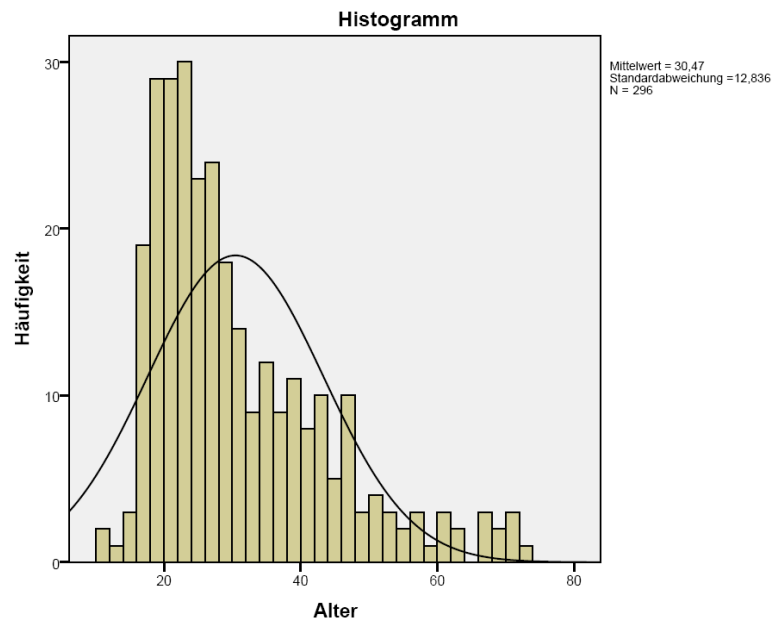


Abbildung 19: Altersverteilung der Studienkohorte.

Die Kohorte bestand aus 54 Frauen und 242 Männern (18 % bzw. 82 %). Die Verteilung der Frakturen zeigt Tabelle 2.

Angulus	Corpus	Kondylus	Median	Capitulum	Ramus	Total
156	134	105	17	4	5	421

Tabelle 2: Frakturverteilung in der Studienkohorte. Insgesamt 122 Patienten (41,2 %) wiesen mehr als eine Fraktur auf.

## 4. Ergebnisse

---

Bei 55 Patienten (18,6 %) wurde eine rein spino-mentale MMF appliziert, bei 233 Patienten (78,7 %) eine MMF im Seitenzahnbereich und bei acht Patienten (2,7 %) eine Kombination.

Die standardmäßig durchgeführte postoperative Bildgebung umfasste 248 PSA, drei CT und 45 DVT. Das Intervall zwischen Operation und postoperativer Bildgebung betrug mittelwertig 1,53 Tage und variierte zwischen 0 Tagen (die Bildgebung erfolgte noch am Tag der Operation) und 24 Tagen; siehe Abbildung 20.

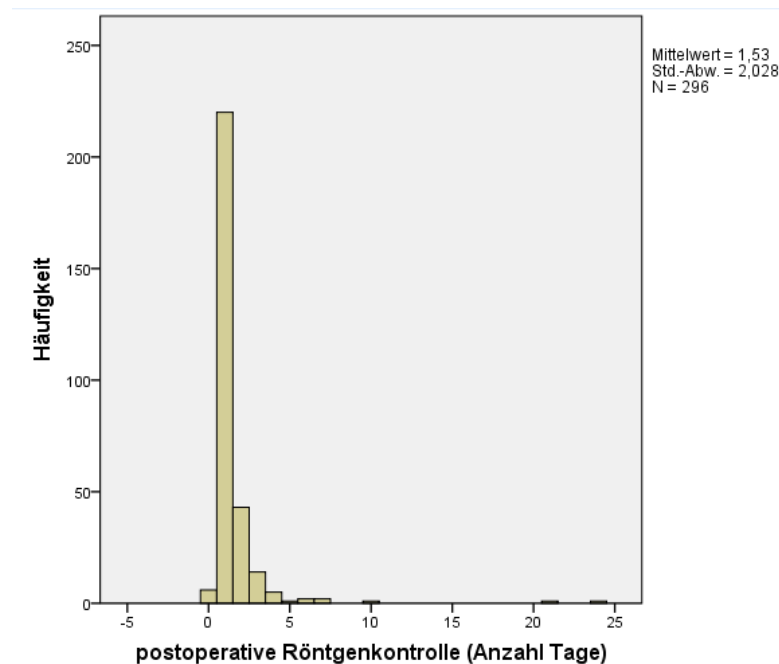


Abbildung 20: Zeitintervalle zwischen Operationstag und Durchführung der postoperativen Röntgenkontrolle in Tagen.

Insgesamt wurden 1067 Schrauben in die Bewertung aufgenommen. Die Anzahl der in Zahnlücken gesetzten und damit nicht gewerteten Schrauben war n=23. Die Anzahl der Operateure war 14. Der Zeitraum von der Operation bis zur klinischen Nachuntersuchung betrug im Median 16 Monate; siehe Abbildung 21, folgende Seite.

## 4. Ergebnisse

---

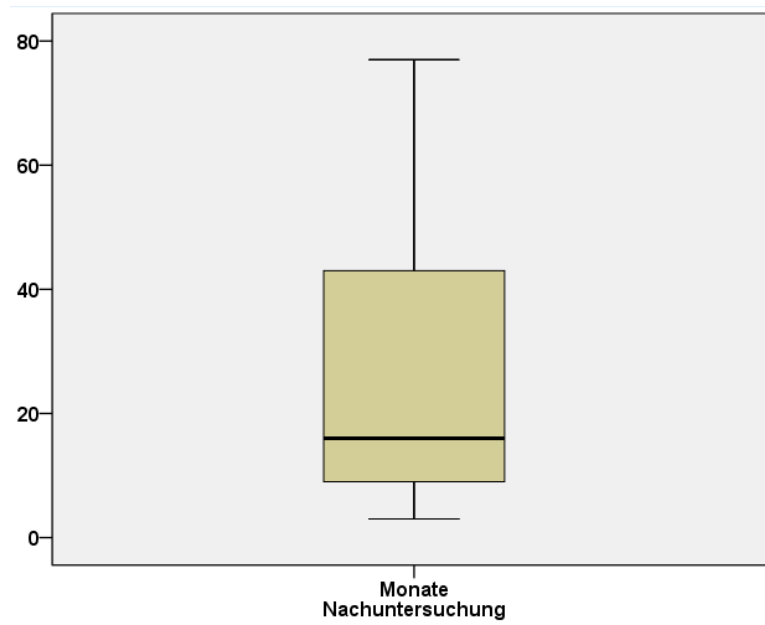


Abbildung 21: Übersicht der Nachuntersuchungsintervalle. Mittelwert=27,5 Monate, Median=16 Monate, SD=22,2 Monate, Minimum=3 Monate, Maximum=77 Monate. Ordinatenachse=Monate.

### 4.1 Retrospektive Bildanalyse

#### 4.1.1 Verteilung der Vorbohrungen

Für die notwendigen Vorbohrungen wurden unterschiedliche Approximalräume gewählt. Der am häufigsten gewählte Approximalraum mit 60,7 % war zwischen ersten und zweiten Prämolaren, gefolgt von dem Approximalraum zweiter Prämolare/erster Molar mit 18,8 %. Eine Übersicht der gewählten Approximalräume gibt Abbildung 22:

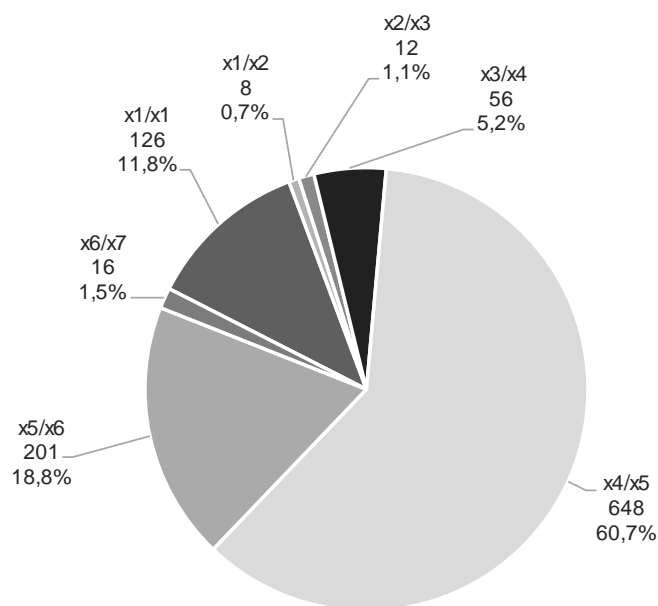


Abbildung 22: Übersicht der Regionen für die Vorbohrungen. Zusammengefasst sind alle Approximalräume der Quadranten in eine Gruppe. Das "x" ersetzt die Quadrantenbezeichnung, die Zahl dahinter steht für den Zahn in dem Quadranten. "x5/x6" beinhaltet folglich die Approximalräume 15/16, 25/26, 35/36 und 45/46. Unter jeder Gruppenbezeichnung steht die absolute Anzahl an Bohrungen und darunter deren Häufigkeitsverteilung unter allen Bohrungen in Prozent.

#### 4.1.2 Zahnwurzelverletzungen

##### 4.1.2.1 Inzidenz

In dem untersuchten Kollektiv mit 296 Patienten und insgesamt 1067 Bohrungen wurden radiologisch 133 Zahnwurzelverletzungen bei 95 Patienten festgestellt

## 4. Ergebnisse

---

(12,5 % aller Bohrungen). Davon hatten 64 Patienten eine singuläre Verletzung, bei 25 Patienten wurden zwei Treffer, bei fünf Patienten drei Treffer und bei einem Patienten vier Zahnwurzeltreffer nachgewiesen. Bezogen auf alle Bohrungen, ergab sich folgende Verteilung der Schädigungsklassen; siehe Abbildung 23:

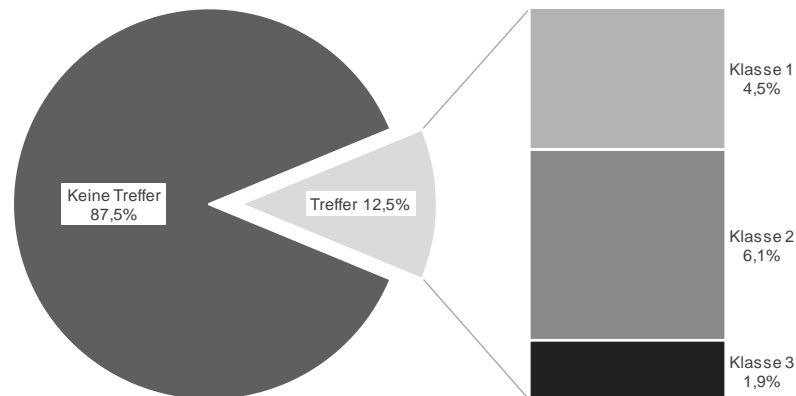


Abbildung 23: Inzidenzen der Zahnwurzeltreffer bezogen auf 1067 Vorbohrungen (=100 %-gewichtet) und aufgeteilt auf die Schädigungsklassen 1–3. Klasse 1 n=48; Klasse 2 n=65 und Klasse 3 n=20.

### 4.1.2.2 Trefferklassen

Teilt man die Treffer in die einzelnen Schädigungsklassen auf, ergaben sich, bezogen auf alle Zahntreffer (n=133), folgende Ergebnisse; siehe Abbildung 24.

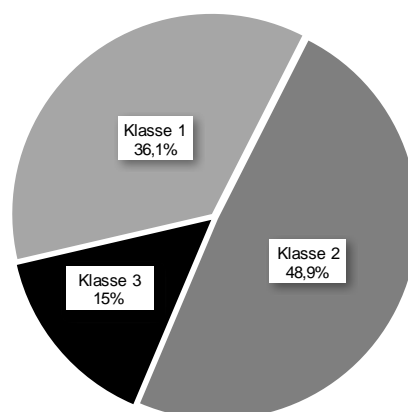


Abbildung 24: Verteilung der Zahntreffer innerhalb der Schädigungsklassen 1–3, bezogen auf alle Zahntreffer (=100 %-gewichtet).

## 4. Ergebnisse

---

### 4.1.2.3 Örtliche Verteilung

Im Oberkiefer (OK) wurden 50 Treffer nachgewiesen (37,6 %) und im Unterkiefer (UK) 83 Treffer (62,4 %), wobei der Chi-Quadrat-Test nach Pearson keinen signifikanten Unterschied zwischen OK/UK und Schweregrad ermittelte ( $p=0.65$ ; Tabelle 3).

	<b>Oberkiefer</b>	<b>Unterkiefer</b>	<b>Total</b>
<b>Klasse 1</b>	16 (33.3)	32 (66.7)	48 (100.0)
<b>Klasse 2</b>	25 (38.5)	40 (61.5)	65 (100.0)
<b>Klasse 3</b>	9 (45.0)	11 (55.0)	20 (100.0)
<b>Total</b>	50 (37.6)	83 (62.4)	133 (100.0)

Tabelle 3: Örtliche Verteilung der Zahnwurzeltreffer bezogen auf Oberkiefer/Unterkiefer. Der Chi-Quadrat-Test nach Pearson ermittelte keinen signifikanten Unterschied zwischen Kiefer und Schweregrad ( $p=0.65$ ). Prozentangaben in Klammern.

Links wurden 59 Treffer (44,4 %) nachgewiesen, während rechts 74 Treffer (55,6 %) gefunden wurden, wobei der Chi-Quadrat-Test nach Pearson keinen signifikanten Unterschied zwischen der Seite und dem Schweregrad ermittelte ( $p=0.65$ ; Tabelle 4).

	<b>Rechts</b>	<b>Links</b>	<b>Total</b>
<b>Klasse 1</b>	24 (50.0)	24 (50.0)	48 (100.0)
<b>Klasse 2</b>	38 (58.5)	27 (41.5)	65 (100.0)
<b>Klasse 3</b>	12 (60.0)	8 (40.0)	20 (100.0)
<b>Total</b>	74 (55.6)	59 (44.4)	133 (100.0)

Tabelle 4: Örtliche Verteilung der Zahnwurzeltreffer bezogen auf rechts/links. Der Chi-Quadrat-Test nach Pearson ermittelte keinen signifikanten Unterschied zwischen der Seite und dem Schweregrad ( $p=0.65$ ). Prozentangaben in Klammern.

Die Verteilung der Zahnwurzeltreffer auf die einzelnen Quadranten ist wie folgt: Im I. Quadranten wurden 25 Treffer nachgewiesen (18,8 %), im II. Quadranten ebenfalls 25 (18,8 %), im III. Quadranten 34 (25,6 %) und im IV. Quadranten 49 (36,8 %). Teilt



## 4. Ergebnisse

man die einzelnen Schädigungsklassen auf die Quadranten auf, ergeben sich folgende Ergebnisse (die Häufigkeitsverteilung innerhalb der Trefferklasse wurde bei 100 %-Gewichtung der Klasse angegeben): für die Trefferklasse 1 im I. Quadranten neun Treffer (18,8 %), im II. Quadranten sieben (14,6 %), im III. Quadranten 17 (35,4 %) und im IV. Quadranten 15 (31,3 %). Für die Trefferklasse 2 wurden im I. Quadranten zehn Treffer festgestellt (15,4 %), im II. Quadranten 15 (23,1 %), im III. Quadranten zwölf (18,5 %) und im IV. Quadranten 28 Treffer (43,1 %). Bei Trefferklasse 3 finden sich im I. Quadranten sechs Treffer (30 %), im II. Quadranten drei (15 %), im III. Quadranten fünf (25 %) und im IV. Quadranten sechs (30 %). Gewichtet man alle Wurzeltreffer in den einzelnen Quadranten 100 %, so ergeben sich folgende Verteilungsmuster der Trefferklassen (Abbildung 25):

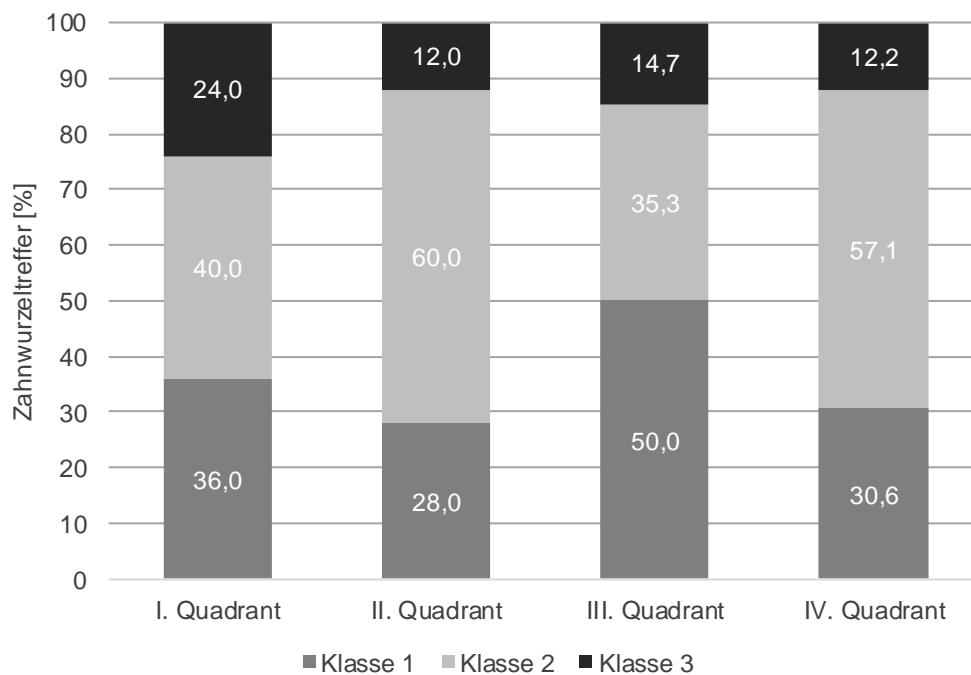


Abbildung 25: Häufigkeiten der Zahnwurzeltreffer innerhalb der Quadranten. Alle Zahnwurzeltreffer pro Quadrant wurden 100 % gewichtet. Innerhalb des Balkenbereiches für die jeweilige Trefferklasse ist die Häufigkeit in Prozent angegeben. Modifiziert aus (66). Der Chi-Quadrat-Test nach Pearson ermittelte keinen signifikanten Unterschied zwischen der Seite oder OK/UK und dem Schweregrad ( $p=0.65$ ).

### 4.2 Klinische Nachuntersuchung

Von 95 Patienten mit röntgenologisch nachgewiesenen Wurzeltreffern reagierten 47 auf die Anfrage zur Nachuntersuchung (Rücklaufquote von 49,5 %). Das Intervall zwischen Operation und klinischer Nachuntersuchung betrug median 16 Monate (von 3–77 Monaten). Die Rücklaufquote innerhalb der Schädigungsklassen auf Zahnebene waren bei Klasse 1=43,8 %, bei Klasse 2=61,5 % und bei Klasse 3=70 %.

#### 4.2.1 Wurzelkanalbehandlung

In den Nachuntersuchungen wurden zwei postoperativ erfolgte endodontologische Behandlungen in der Anamnese angegeben. In beiden Fällen waren es Klasse 3-Verletzungen, so dass es diesbezüglich einen statistisch signifikanten Gruppenunterschied zwischen den Klassen gab ( $p=0.032$ ); siehe Tabelle 5.

neue Wurzelkanalbehandlung			
	nein	ja	Total
Klasse 1	18 (100.0)	0 (0.0)	18 (100.0)
Klasse 2	39 (100.0)	0 (0.0)	39 (100.0)
Klasse 3	11 (84.6)	2 (15.4)	13 (100.0)
Total	68 (97.1)	2 (2.9)	70 (100.0)

Tabelle 5: Ermittelte endodontologische Behandlungen in den Nachuntersuchungen. Prozentangaben in Klammern. Der Exakte Test nach Fischer ermittelte einen statistisch bedeutsamen Gruppenunterschied - nur in Klasse 3 erfolgten postoperativ Wurzelkanalbehandlungen ( $p=0.032$ ).

## 4. Ergebnisse

---

### 4.2.2 Kältetest

In den Nachuntersuchungen reagierten zwei betroffene Zähne, die keine vorhergehende Wurzelkanalbehandlung hatten, negativ auf den Kältetest. Beide Zähne hatten Klasse-3-Verletzungen, so dass ein signifikanter Gruppenunterschied nachweisbar war ( $p=0.032$ ); siehe Tabelle 6. In diesen Fällen wurde eine endodontologische Behandlung initiiert.

Reaktion auf Kältetest			
	Ja	Nein	Total
<b>Klasse 1</b>	18 (100.0)	0 (0.0)	18 (100.0)
<b>Klasse 2</b>	39 (100.0)	0 (0.0)	39 (100.0)
<b>Klasse 3</b>	11 (84.6)	2 (15.4)	13 (100.0)
<b>Total</b>	68 (97.1)	2 (2.9)	70 (100.0)

Tabelle 6: Ermittelte Reaktionen auf den Kältetest. Prozentangaben in Klammern. Der Exakte Test nach Fischer ermittelte einen statistisch bedeutsamen Gruppenunterschied - nur Klasse 3 wies negative Reaktionen auf ( $p=0.032$ ).

### 4.2.3 Zahnverlust

In den Nachuntersuchungen waren alle betroffenen Zähne *in situ*.

### 4.2.4 Schmerzen

In allen Nachuntersuchungen aller Verletzungsklassen wurden anamnestisch keine Schmerzen in der Vergangenheit oder während der Nachuntersuchung angegeben.

### 4.2.5 Perkussion

In allen Nachuntersuchungen aller Verletzungsklassen gab es keine pathologische Reaktion auf die axiale oder laterale Perkussionstestung.

### 4.2.6 Sondierungstiefe

Die gemessenen Sondierungstiefen (ST) bewegten sich allesamt in den Kategorien „bis 2 mm“ und „3–5mm“; größere ST wurden nicht festgestellt. Es wurde ein signifikanter Gruppenunterschied zu den Verletzungsklassen festgestellt ( $p=0.002$ ), hierbei wies die höchste Verletzungsklasse die geringeren ST auf und die geringste Verletzungsklasse die tieferen ST; siehe Tabelle 7.

Sondierungstiefe			
	bis 2 mm	3–5 mm	Total
<b>Klasse 1</b>	3 (16.7)	15 (83.3)	18 (100.0)
<b>Klasse 2</b>	12 (30.8)	27 (69.2)	39 (100.0)
<b>Klasse 3</b>	10 (76.9)	3 (23.1)	13 (100.0)
<b>Total</b>	25 (35.7)	45 (64.3)	70 (100.0)

Tabelle 7: Ermittelte Sondierungstiefen in den Nachuntersuchungen. Der Chi-Quadrat-Test nach Pearson ergab einen Gruppenunterschied bzw. eine Abhängigkeit vom Schweregrad ( $p=0.002$ ). Prozentangaben in Klammern.

### 4.2.7 Lockerungsgrad

Die ermittelten Lockerungsgrade bewegten sich zwischen LG 0 und LG I. Es gab keinen signifikanten Gruppenunterschied ( $p=0.48$ ); siehe Tabelle 8.

Lockerungsgrad			
	LG 0	LG I	Total
<b>Klasse 1</b>	4 (22.2)	14 (77.8)	18 (100.0)
<b>Klasse 2</b>	14 (35.9)	25 (64.1)	39 (100.0)
<b>Klasse 3</b>	3 (23.1)	10 (76.9)	13 (100.0)
<b>Total</b>	21 (30.0)	49 (70.0)	70 (100.0)

Tabelle 8: Ermittelte Lockerungsgrade in den Nachuntersuchungen. Absolute Werte und Häufigkeitsangaben in Klammern in Prozent. Der Chi-Quadrat-Test nach Pearson ergab keinen Gruppenunterschied bzw. keine Abhängigkeit des Lockerungsgrades vom Schweregrad ( $p=0.48$ ). Abk.: LG=Lockerungsgrad.

### 4.3 Absolutes Risiko

Eine Bohrung in den Approximalraum hat immer ein Verletzungsrisiko für beide benachbarten Zähne. In Bezug zur Studiengrundgesamtheit kann dieses absolute Risiko für jeden Zahn berechnet werden; siehe hierfür Tabelle 9.

Approximalraumbohrungen (n)	Zahn	Zahntreffer (n)	Risiko (%)	Approximalraumbohrungen (n)	Zahn	Zahntreffer (n)	Risiko (%)
5	17	1	(20,0)	3	37	0	0
	16	1	1,75		36	5	9,62
52	15	13	6,05	49	35	13	6,13
	14	6	3,39		163	34	7
163	13	3	(17,65)	14	33	5	(29,41)
	12	0	0		3	32	0
14	11	1	1,54	2	31	4	6,15
	3	0	0		63	41	3
2	21	1	1,54	2	42	0	0
	22	1	(20,0)		3	43	3
63	23	2	(11,76)	14	44	5	2,89
	24	7	3,95		159	45	25
2	25	11	5,16	50	46	13	23,64
	26	3	5,66		5	47	0
3	27	0	0				

Tabelle 9: Übersicht der Vorbohrungen (absolute Werte), der Zahnwurzeltreffer (absolute Werte) und der absoluten Risiken (in Prozent), aufgeschlüsselt nach den einzelnen Bohrregionen bei n=1067 Bohrungen. Die erste Spalte bezeichnet den Approximalraum, die benachbarten Zähne sind in der zweiten Spalte angegeben. Die absoluten Risiken in Klammern bieten aufgrund der geringen Anzahl an Bohrungen (als n<40 definiert) eine geringe Aussagekraft. Zahnschema der Fédération Dentaire Internationale (mod. aus (66)).

# 5. Diskussion

## 5.1 Diskussion der Fragestellung

Die MMF ist eine standardisierte Technik in der operativen Therapie von Dysgnathien oder Kieferfrakturen. Auf Seite des Patienten ist der Vorteil der Schrauben-MMF neben dem erhöhten Tragekomfort in dem geringen negativen Einfluss auf das Parodont zu sehen, da die alternative Drahtbogen-Kunststoffschiene aufgrund der Cerclage durch die Approximalräume zu ausgeprägten Gingivitiden und bei längeren Anwendungszeiträumen zu Parodontitiden führen kann, was bei Verwendung von MMF-Schrauben seltener auftritt (26,67–69).

Die Implementierung der Schrauben-basierten MMF in den 1990er Jahren hatte zudem das Ziel, das hohe Verletzungsrisiko des Operateurs durch die spitzen Drahtenden zu reduzieren, da Handschuhperforationen bei der Draht-basierten MMF in bis zu 24 % der Fälle auftreten (26,70). Ein weiterer Grund für die zunehmende Verbreitung der Schrauben-MMF ist die kürzere Operationszeit. In Zeiten zunehmender Sparzwänge und der Effizienzoptimierung in der stationären Krankenversorgung ist die Reduktion der OP-Zeit ein relevanter Kostenfaktor. Die Dauer für die Applikation der Drahtbogen-Kunststoffschienen ist mit bis zu 95 Minuten im Vergleich zur Schrauben-MMF, deren Applikation zwischen 5–19 Minuten dauert, sehr lang (26,28,30).

Ein zusätzlicher Kostenfaktor ist die anschließende Entfernung der Drahtbogen-Kunststoffschiene. Eine retrospektive Kostenanalyse eines 12-Jahres-Zeitraumes in den USA konnte zeigen, dass 62 % der Patienten mit einer Drahtbogen-Kunststoffschiene (*Erich Arch Bar*) einen Sekundäreingriff in Allgemeinnarkose zur Entfernung benötigten; mit dementsprechendem Anstieg der Gesamtkosten (31). Eine Schrauben-MMF kann hingegen in der Regel ohne eine örtliche Betäubung innerhalb von Minuten entfernt werden.

## 5. Diskussion

---

Die Studie von *West et al.* konnte eine Kostenersparnis von 600 \$ pro Fall durch den Einsatz von MMF-Schrauben gegenüber der Drahtbogen-Kunststoffschiene nachweisen (29).

All diesen Vorteilen steht der Nachteil der iatrogenen Zahnwurzelverletzung gegenüber. Die Bewertung des Risikos hierfür und seiner Konsequenzen ist schwierig, da die Ergebnisse in den verfügbaren Studien voneinander abweichen. Dies liegt vor allem an der Heterogenität der Studienbedingungen: Die Anzahl der intraoperativ verwendeten Schrauben variiert von 2–10. Über die Anzahl der Operateure und deren Ausbildungsstand - ein potentieller Faktor - werden in der Regel keine Angaben gemacht. Ein breites Spektrum findet sich desgleichen bei der Verweildauer der Schrauben - eine Tatsache, die die Vergleichbarkeit zusätzlich erschwert: es finden sich Platzierungszeiten *in situ* von intraoperativ bis zu 56 Tagen. Ebenso variieren die Nachbeobachtungszeiträume in den verschiedenen Studien, sofern sie angegeben werden, zwischen 0–116 Wochen. Durch all diese Faktoren erklärt sich das breite Ausmaß der publizierten Inzidenzen von Zahnwurzeltreffern von 0–36 % (26,28,29,35–48,61–64,71–76).

Aufgrund dieser heterogenen Datenlage entstand das Bestreben durch Analyse des Patientenkollektivs der hiesigen Klinik für MKG-Chirurgie der Charité - Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow Klinikum, eigene Daten zu erheben. Im Rahmen einer eng definierten retrospektiven Analyse (u. a. rein intraoperative Anwendung; siehe auch *3.2 Ein- und Ausschlusskriterien* auf Seite 18) und anschließenden klinischen Nachuntersuchungen betroffener Patienten sollten die Resultate der bereits publizierten Daten um die eigenen ergänzt und mit ihnen verglichen werden. Die vorliegende Arbeit grenzt sich von dem Großteil der bisher publizierten Arbeiten zum einen durch die solitäre Analyse der rein intraoperativen MMF ab, zum anderen wurde der klinische Einfluss der Wurzeltreffer auf das Parodont untersucht. Dies wurde in der Mehrzahl der verfügbaren Studien nicht berücksichtigt.

## 5. Diskussion

---

Im Folgenden werden die Zielsetzungen (siehe auch Kapitel 2. *Zielsetzung* auf Seite 16) hinsichtlich der erarbeiteten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit im Einzelnen beantwortet.



### 5.2 Diskussion der Ergebnisse

Erhebung der Häufigkeit von iatrogenen Zahnwurzelverletzungen durch eine rein intraoperative MMF mittels Schraubentechnik mit Vorbohrung.

#### Vergleich der Inzidenzen mit vorgebohrten MMF-Schrauben

In der vorliegenden Arbeit wurde in Bezug auf die Gesamtzahl der verwendeten vorgebohrten Schrauben (n=1067) eine Inzidenz von 12,5 % Zahnwurzelverletzungen festgestellt. Vergleicht man diese Ergebnisse mit denen in der Literatur, so liegen die hiesigen im unteren Drittel der verfügbaren Ergebnisse. Studien, die eine analog hohe Anzahl an Patienten und verwendeten Schrauben bewerteten, bieten sowohl niedrigere als auch höhere Inzidenzen. In der Studie von *Florescu et al.* wird eine Inzidenz von 1,1 % angegeben (retrospektive Studie mit 156 Patienten und 793 selbstbohrenden sowie vorgebohrten Schrauben – eine Unterscheidung bezüglich der Verletzungen wurde nicht gemacht; keine Angabe über die Anzahl der Operateure; Applikationsdauer 4–28 Tage; keine Angaben über das Follow-up (76)). Die retrospektive Studie von *Bai et al.* kommt mit einer Inzidenz von 1,8 % zu ähnlichen Ergebnissen (168 Patienten; 705 vorgebohrte Schrauben; keine Angaben über die Anzahl der Operateure; unbekannte Applikationsdauer; Follow-up von 12 Wochen (64)).

Eine höhere Inzidenz von 17,1 % wird von der Arbeitsgruppe um *Schulte-Geers* angegeben (retrospektiv; 521 Patienten; 1663 vorgebohrte Schrauben; keine Angaben über die Anzahl der Operateure; unbekannte Applikationsdauer; Follow-up bis zu 41,2 Wochen (46)). Eine Arbeit mit ähnlichen Inzidenzen wie in der vorliegenden Arbeit ist die Studie von *Widar et al.* mit 13,3 % in der Gruppe mit vorgebohrten Schrauben (retrospektiv; 123 Patienten mit 337 selbstbohrenden und 445 vorgebohrten Schrauben; unbekannte Anzahl an Operateuren; Applikationsdauer 0–14 Tage; Follow-up 48 Wochen (47)). Unter Berücksichtigung der teilweise

## 5. Diskussion

differierenden Studiensettings erscheint die Einordnung der vorliegenden Ergebnisse als mittelwertiges Ergebnis zwischen diesen genannten als plausibel.

Die Verteilung der Zahnwurzeltreffer auf die einzelnen Schädigungsklassen ist in der vorliegenden Arbeit folgende (bezogen auf alle Bohrungen): Klasse 1=4,5 %, Klasse 2=6,1 % und für Klasse 3=1,9 %. Ein Vergleich mit anderen Studien ist erschwert, da manche Studien keine Differenzierung der Wurzelverletzungen durchführen (39,62,64,77) oder in der angewendeten Klassifikation keine Pulpentreffer differenziert werden (28,38). Eine Differenzierung in die verschiedenen Trefferklassen erfolgte in der Studie von *Schulte-Geers et al.*, hier wurde folgende Verteilung festgestellt: Klasse 1=10,6 %, Klasse 2=3,6 % und Klasse 3=3,1 %. In der Arbeit von *Florescu et al.* wird eine Unterteilung in Pulpatreffer (sogenannte zentrale Treffer) und alle anderen Treffer (sogenannte periphere Treffer) gemacht mit einer Inzidenz von 0,25 % zentral und 0,88 % peripher (76). Auch bei der Unterteilung in die Trefferklassen sind die in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Ergebnisse plausibel; siehe Tabelle 10 (diese und folgende Seite).

Jahr	Studie	prospektiv vs. retrospektiv	Patienten insgesamt	Schrauben insgesamt	Schrauben intraoral je Fall	Inzidenz [%]
2000	<i>Schneider et al.</i> (42)	prospektiv	19	76	4	0
2002	<i>Coburn et al.</i> (41)	prospektiv	122	keine Angaben	keine Angaben	0,8 (P)
2002	<i>Farr et al.</i> (48)	prospektiv	9	36	4	36,1
2004	<i>Fabbroni et al.</i> (38)	prospektiv	54	232	4	27
2005	<i>Roccia et al.</i> (37)	retrospektiv	62	265	4–9	3,4
2006	<i>Imazawa et al.</i> (63)	retrospektiv	15	60	4	0
2009	<i>Sahoo et al.</i> (44)	retrospektiv	200	880	4–6	1
2010	<i>Sahoo und Mohan</i> (36)	prospektiv	45	180	4	0
2011	<i>Nandini et al.</i> (61)	prospektiv	10	40	4	30 (P)
2012	<i>Schulte-Geers et al.</i> (46)	retrospektiv	521	1663	4–6	17,1
2014	<i>Satish et al.</i> (62)	prospektiv	12	80	4–8	2,5 (P)
2014	<i>Ingole et al.</i> (28)	prospektiv	25	104	4–6	22

## 5. Diskussion

2015	<i>Bai et al.</i> (64)	retrospektiv	168	705	4-6	1,8
<b>2016</b>	<b>eigene</b>	<b>retrospektiv</b>	<b>296</b>	<b>1067</b>	<b>4-6</b>	<b>12,5</b>

Tabelle 10: Übersicht der Studienlage bezüglich der Zahnverletzungen durch MMF mittels Schrauben-Technik mit Vorbohrung (chronologisch sortiert). Die Inzidenz bezieht sich auf die Anzahl der gesamt applizierten Schrauben; wenn sie sich auf die Patientengesamtzahl bezog, so steht (P) hinter dem Wert.

### Vergleich der Inzidenzen mit selbstbohrenden MMF-Schrauben

Im Vergleich zu den vorgebohrten Schrauben zeichnet sich bei den verfügbaren Studien mit selbstbohrenden Schrauben ein ähnliches Bild ab. Die Studien beginnen mit Kohortengrößen zwischen 20 und 30 Patienten: die Studien von *Gibbons* und *Hodder* und von *West et al.* besitzen beide die Kohortengröße von n=20. Die retrospektive Analyse von *Gibbons* und *Hodder* wertete 80 Schrauben in einer *technical note* und *West et al.* 106 selbstbohrende Schrauben in einer prospektiven Vergleichsstudie bezüglich der rein konservativen Frakturversorgung von einfachen Mandibulafrakturen durch eine MMF (mit selbstbohrenden Schrauben) versus eine Gruppe mit offener Frakturposition und Osteosynthese (ORIF-Gruppe). Während *Gibbons* und *Hodder* keinerlei Zahnwurzelverletzungen feststellten, registrierten *West et al.* eine Inzidenz von 14 %, bezogen auf alle Schrauben (29,72).

In weiteren Studien mit geringfügig mehr Patienten in der Kohorte wurden ebenfalls keine Zahnwurzeltreffer festgestellt: *Maurer et al.* mit einer prospektiven Untersuchung mit 28 Patienten und 168 Schrauben sowie *Roccia et al.* in ihrer ebenfalls prospektiven Studie mit 40 Patienten und 160 Schrauben (71,74). Auch die retrospektiven Studien von *Laurentjoye et al.* (50 Patienten und 200 Schrauben) und *Ansari et al.* (53 Patienten und 212 Schrauben) registrierten keine Zahnwurzelverletzungen (35,73), wohingegen *Coletti et al.* mit 49 Patienten und 229 selbstbohrenden Schrauben eine Inzidenz von 0,8 %, bezogen auf alle Patienten, feststellten (40). Die nächstgrößeren Untersuchungen zeigen jedoch hierzu einen Anstieg in der Inzidenz von Zahnverletzungen: In der retrospektiven Untersuchung

## 5. Diskussion

von *Hashemi* und *Parhiz* mit 73 Patienten und 373 gewerteten selbstbohrenden Schrauben ist eine Inzidenz von Zahnwurzelverletzungen, bezogen auf alle Schrauben, von 6,5 % festgestellt worden (39). Die retrospektive Studie von *Trinkle* mit 102 Patienten und 489 selbstbohrenden Schrauben ermittelte eine Inzidenz von 17 %, ebenfalls bezogen auf alle Schrauben (75). Die Studie mit der größten Kohorte bei selbstbohrenden Schrauben von *Camargo et al.* (untersucht wurde retrospektiv die MMF-Anwendung bei Dysgnathie-Operationen) mit 125 Patienten und 393 Schrauben registrierte eine Inzidenz von 5,3 % (77). Die Tabelle 11 gibt einen Überblick über die Studien mit selbstbohrenden MMF-Schrauben.

Jahr	Studie	prospektiv - retrospektiv	Patienten insgesamt	Schrauben insgesamt	Schrauben intraoral je Fall	Inzidenz [%]
2002	<i>Maurer et al.</i> (71)	prospektiv	28	168	6	0
2003	<i>Gibbons und Hodder</i> (72)	retrospektiv	20	80	4	0
2007	<i>Coletti et al.</i> (40)	retrospektiv	49	229	4–8	0,8 (P)
2009	<i>Trinkle</i> (75)	retrospektiv	102	489	2–10	17
2009	<i>Laurentjoye et al.</i> (73)	retrospektiv	50	200	4	0
2009	<i>Roccia et al.</i> (74)	prospektiv	40	160	4	0
2011	<i>Ansari et al.</i> (35)	retrospektiv	53	212	4	0
2011	<i>Rai et al.</i> (26)	prospektiv	90	240	keine Angabe	5,8
2011	<i>Hashemi und Parhiz</i> (39)	retrospektiv	73	373	4–6	6,5
2014	<i>West et al.</i> (29)	prospektiv	20	106	6–8	14
2016	<i>Camargo et al.</i> (77)	retrospektiv	125	393	3–4	5,3
<b>gesamt</b>	<b>11 Studien</b>		<b>20–125</b>	<b>80–489</b>	<b>2–10</b>	<b>0–17</b>

Tabelle 11: Übersicht der Studienlage bezüglich der Zahnverletzungen durch MMF mit selbstbohrenden Schrauben (chronologisch sortiert). Die Inzidenz bezieht sich auf die Anzahl der gesamt applizierten Schrauben; wenn sie in dieser Form nicht angegeben wurde und nicht berechenbar war und sich auf die Patientengesamtzahl bezog, so steht (P) hinter dem Wert.

## 5. Diskussion

---

Klinische Studien, die vorgebohrte MMF-Schrauben mit selbstbohrenden vergleichen, sind rar. Es gibt eine *technical note*, in der prospektiv 12 Patienten untersucht wurden, in der bei zehn Patienten selbstbohrende Schrauben angewendet wurden und bei zwei Patienten solche mit Vorbohrung. Es wurde eine Inzidenz von 12,5 % von Wurzelverletzungen festgestellt, jedoch keine Angaben über den verursachenden Schraubentyp gemacht (45).

In einer retrospektiven Vergleichsstudie von *Widar et al.* mit einer Kohortengröße von n=123 (59 Patienten mit dem selbstbohrenden Schraubentyp und 64 Patienten in der Vorbohrungsgruppe) und insgesamt 782 Schrauben (337 selbstbohrende Schrauben versus 445 vorgebohrte Schrauben) wurde eine Inzidenz von 13,3 % in der Vorbohrungsgruppe ermittelt, während in der Gruppe mit selbstbohrenden Schrauben keine Zahnverletzungen auftraten (47).

Eine weitere retrospektive Studie von *Florescu et al.* verwendete beide Schraubentypen, jedoch mit unterschiedlichen Durchmessern von 2 mm bei den vorgebohrten Schrauben und 1,5–1,55 mm bei den selbstbohrenden Schrauben. Es wurde eine geringere Inzidenz von Zahnverletzungen bei den selbstbohrenden Schrauben postuliert, dies wurde jedoch nicht mit Zahlen belegt: angegeben wurde nur eine Gesamtinzidenz von 1,13 %, bezogen auf alle Patienten (76).

Es lässt sich folglich feststellen, dass das Spektrum an Inzidenzen für Zahnwurzelverletzungen für beide Schraubentypen großen Schwankungen unterlegen ist, wobei sich der Großteil unterhalb von 17 % antreffen lässt. Häufigere Inzidenzen von 22–36,1 % findet man in der Literatur nur bei Studien mit vorgebohrten Schrauben (28,38,48,61).

### Vergleich der Studieneigenschaften „Anwendung *in situ*“ sowie „Nachbeobachtungszeitraum“

Betrachtet man die gegenwärtige Studienlage, so fallen zwei Studienparameter mit einer großen Varianz auf: die Zeit der Schrauben *in situ* sowie die Länge des Follow-up. Die Anwendungsdauer der MMF ist sehr variabel, zum einen zwischen den verschiedenen Studien, zum anderen jedoch auch regelmäßig innerhalb derselben Studie (sowohl prospektive als auch retrospektive). So haben sechs Studien eine fixe Applikationsdauer: von rein intraoperativ (35,72,77), von sieben Tagen (36), von 28 Tagen (42) sowie von 42 Tagen (61). In dem Großteil der Studien wird unterschiedlich lang appliziert: es gibt Zeiträume von rein intraoperativer Anwendung bis zu 56 Tage (siehe Tabelle 12 auf Seite 43).

Einen Einfluss der Applikationsdauer *in situ* auf die Schädigungsintensität durch eine Verletzung lässt sich durch die vorhandene Literatur nicht klären, da die Studien hierüber keine Angaben machen und histologische Untersuchungen diesbezüglich nicht existieren. Ob über die Schraubenoberfläche eine bakterielle Besiedelung mit der in Kontakt stehenden Wurzeloberfläche stattfindet, wurde bisher noch nicht untersucht. Die Studie von *Uysal et al.* überprüfte das Vorliegen einer Bakteriämie nach Insertion von orthodontischen Minischrauben und konnte bei n=40 Patienten eine singuläre Bakteriämie ohne klinische Konsequenz nachweisen (78). Die Studie *Livas et al.* untersuchte die gleiche Fragestellung nach Entfernung von orthodontischen Minischrauben und konnte eine Bakteriämie bei allen Patienten (n=30) ausschließen (79).

Vergleichbare Ergebnisse sollten bei der Anwendung von selbstbohrenden MMF-Schrauben zu erwarten sein, bei solchen mit Vorbohrung wird jedoch ein Vergleich schwieriger. Hier könnten äquivalente Studien zu den genannten in der Klärung dieser Frage helfen.

Ein weiteres Studienmerkmal, das sehr variabel in der Literatur angegeben wird, ist der Nachbeobachtungszeitraum. Es finden sich reichlich Studien, die hierzu keine Angaben machen (26,28,41,48,62,71,72,76). Die kürzesten Nachbeobachtungsintervalle beginnen mit 4–8 Wochen - unabhängig des retro- oder prospektiven Charakters der Studie: beginnend mit der prospektiven Arbeit von *Schneider et al.* und einem Follow-up von 4–8 Wochen (42). Es folgen die retrospektive Studie von *Ansari et al.* mit sechs Wochen (35) sowie die prospektive Studie von *Nandini et al.*, die ebenfalls sechs Wochen nachbeobachtet hat (61).

Bis zu acht Wochen Nachbeobachtungszeitraum haben die Studien von *Fabbroni et al.* (prospektiv), *Hashemi* und *Parhiz* (retrospektiv) und *Coletti et al.* (retrospektiv) (38–40). Anschließend werden Nachuntersuchungszeiträume von zwölf Wochen in den Studien von *Roccia et al.* (prospektiv) und *Bai et al.* (retrospektiv) berichtet (64,74). Die nächst längeren Follow-ups sind bereits mit 24 Wochen doppelt so lang (29,36,37,44). Zu den Studien mit noch längeren Nachbeobachtungsintervallen zählen mit 48 Wochen die Arbeiten von *Widar et al.* (retrospektiv), *Hoffmann et al.* (prospektiv) und *Imazawa et al.* (retrospektiv) (45,47,63). Danach gibt es die Studie von *Schulte-Geers et al.* (retrospektiv), die durchschnittlich einen 41 Wochen (SD=32 Wochen) langen Nachuntersuchungszeitraum angab (46).

Abschließend zu nennen ist die retrospektive Untersuchung mit selbstbohrenden Schrauben von *Trinkle* mit einem Follow-up zwischen 6–116 Wochen (75). Die Tabelle 12 (nachfolgende Seite) gibt einen Überblick über die Applikationsdauer der MMF in den Studien sowie über die Länge der Nachbeobachtungszeiträume.

## 5. Diskussion

Jahr	Studie	Dauer <i>in situ</i> [Tage]	Nachbe- obachtung [Wochen]	Inzidenz [%]
2002	<i>Farr et al.</i> (48)	keine Angaben	keine Angaben	36,1
2011	<i>Nandini et al.</i> (61)	42	6	30 (P)
2004	<i>Fabbroni et al.</i> (38)	5–50	8	27
2014	<i>Ingole et al.</i> (28)	5–45	keine Angaben	22
2012	<i>Schulte-Geers et al.</i> (46)	keine Angaben	Ø 41,2	17,1
2009	<i>Trinkle</i> (75)	intraoperativ–42	6–116	17
2014	<i>West et al.</i> (29)	35–42	24	14
2012	<i>Widar et al.</i> (47)	intraoperativ–14	48	13,3 (V); 0 (S)
2003	<i>Hoffmann et al.</i> (45)	intraoperativ–20	48	12,5
2011	<i>Hashemi und Parhiz</i> (39)	42–56	6–8	6,5
2011	<i>Rai et al.</i> (26)	28–42	keine Angaben	5,8
2016	<i>Camargo et al.</i> (77)	intraoperativ	0	5,3
2005	<i>Roccia et al.</i> (37)	14–21	24	3,4
2014	<i>Satish et al.</i> (62)	keine Angaben	keine Angaben	2,5 (P)
2015	<i>Bai et al.</i> (64)	keine Angaben	12	1,8
2016	<i>Florescu et al.</i> (76)	4–28	keine Angaben	1,13 (P)
2009	<i>Sahoo et al.</i> (44)	intraoperativ–7	24	1
2007	<i>Coletti et al.</i> (40)	42–56	8	0,8 (P)
2002	<i>Coburn et al.</i> (41)	keine Angaben	keine Angaben	0,8 (P)
2011	<i>Ansari et al.</i> (35)	intraoperativ	6	0
2010	<i>Sahoo und Mohan</i> (36)	7	24	0
2009	<i>Laurentjoye et al.</i> (73)	7–42	6	0
2009	<i>Roccia et al.</i> (74)	21–31	12	0
2006	<i>Imazawa et al.</i> (63)	Ø 41	48	0
2003	<i>Gibbons und Hodder</i> (72)	intraoperativ	keine Angaben	0
2002	<i>Maurer et al.</i> (71)	3,5–14	keine Angaben	0
2000	<i>Schneider et al.</i> (42)	28	4–8	0
<b>GESAMT</b>	<b>27 Studien</b>	<b>intraoperativ–56</b>	<b>0–116</b>	<b>0–36</b>

Tabelle 12: Studienlage bezüglich der Zahnverletzungen durch MMF mittels Schrauben-Technik (nach Inzidenz absteigend sortiert). Die Inzidenz bezieht sich auf die Anzahl der gesamt applizierten Schrauben; wenn sie in dieser Form nicht angegeben wurde, nicht berechenbar war und sich auf die Patientengesamtzahl bezog, so steht (P) hinter dem Wert. Abkürzungen: V=Vorbohrungs-Gruppe; S=selbstbohrend-Gruppe; Ø=durchschnittlich.



## 5. Diskussion

---

Die vorliegende Arbeit mit einem Nachbeobachtungszeitraum zwischen 12–308 Wochen reiht sich an das Ende diese Ergebnisse ein. Dieser große Zeitraum ist mit dem retrospektiven Charakter der vorliegenden Arbeit zu erklären, die aufgrund der großen Patientenzahl eine dementsprechend lange Periode untersuchte. Die verschiedenen Längen des Follow-up haben zwar den theoretischen Nachteil, dass ein evtl. zu kurz geplantes Nachuntersuchungsintervall mögliche Spätfolgen nicht erfasst. In der vorliegenden Studie war jedoch kein Zusammenhang zwischen den Folgen für den Zahn und seinem Nachuntersuchungsintervall feststellbar. Die vier Zähne mit endodontologischer Behandlung hatten die Follow-up-Intervalle von 13, 54, 60 und 69 Wochen.

Definition von klinischen Risikozonen für iatrogene Zahnwurzelverletzungen,  
um Zähne mit dem höchsten Risiko zu deklarieren.

Betrachtet man die Verteilung der Treffer unter Berücksichtigung der Gesamtverteilung der Bohrungen, so fällt ein Schwerpunkt der Trefferverteilung auf der rechten Seite sowie im Unterkiefer auf. Die absoluten Trefferzahlen sowie die Berechnungen des jeweils absoluten Risikos sind in der Tabelle 9 auf Seite 32 angegeben. Dort zeigt sich eine deutliche Graduierung in den absoluten Risiken: Dens 46 präsentiert mit einem absoluten Risiko (AR) von 23,64 das höchste, gefolgt von seinem mesialen Nachbarzahn dens 45 mit einem AR von 11,96. Das Muster setzt sich auf der kontralateralen Seite fort: Es folgen dens 36 mit einem AR von 9,62 und dens 35 mit einem AR von 6,13. Im OK folgen dentes 15, 26 und 25 mit je einem AR von 6,05, 5,66 bzw. 5,16. Der Sonderfall der spino-mentalenen MMF zeigt eine deutlich höhere kumulative Inzidenz für die dentes 31/41 als 11/21 mit einem AR für dens 31=6,15, dens 41=4,62 und für dens 11 und 21 je 1,54.

Hieraus lassen sich klinische Risikozonen in folgender Reihenfolge festlegen (vom höchsten zum geringsten Risiko):

- Seitenzahnbereich: 46 > 45 > 36 > 35 > 15 > 26 > 25
- Frontzahnbereich: 31 > 41 > 11/21

Die Abbildung 26 auf der folgenden Seite gibt eine grafische Übersicht hierüber, basierend auf den ermittelten absoluten Risiken aus Tabelle 9 auf Seite 32.

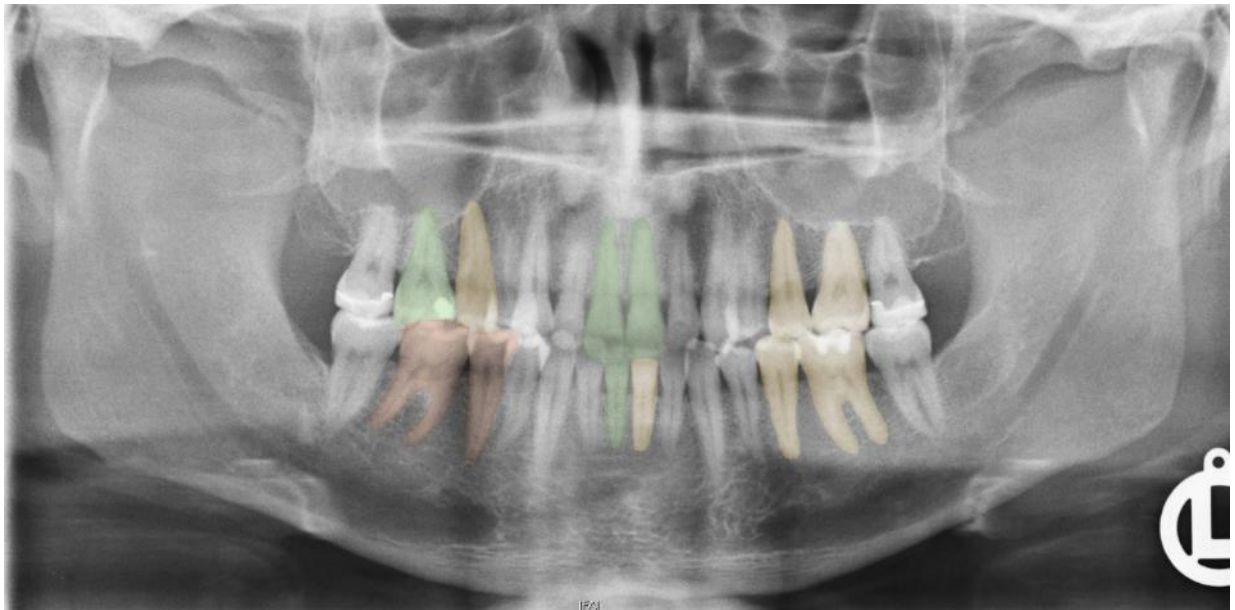


Abbildung 26: Klinische Risikozonen. Für die Berechnung des absoluten Risikos (AR) wurden nur jene Zähne berücksichtigt, in deren benachbarten Approximalräumen >40 Bohrungen stattfanden. Rot bedeutet AR>10, gelb bedeutet AR 5–10 und grün bedeutet AR<5. Die entsprechenden Daten sind in der Tabelle 9 auf Seite 32 zu finden. Aus (66).

In der Regel steht der rechtshändige Operateur auf der rechten Seite des Patienten. Die Anwendung des Bohrers auf dieser Seite führt naturgemäß zu einer anderen Handposition (relativ zum Patientenkiefer) als auf der kontralateralen Seite - mit einer anderen Bohrachse und einem veränderten Blickfeld. Ein weiterer Einflussfaktor ist die Erfahrung des Operateurs (80–82). Diesbezüglich gilt für die vorliegende Studie der besondere Umstand, dass die hiesige Klinik eine universitäre Ausbildungsklinik ist und 14 verschiedene Operateure (Ärzte in Weiterbildung, Fach- und Oberärzte) an der Applikation der MMF-Schrauben beteiligt waren.

In der Literatur findet man in der Regel keine Angaben über die Anzahl der involvierten Chirurgen. Werden diese angegeben, so wurden in der Regel alle Schrauben durch 1–2 erfahrene Chirurgen (*senior surgeon*) appliziert; iatrogene Wurzelverletzungen wurden dabei mit einer Häufigkeit von 5,3 % und 14 % festgestellt (29,77).

## 5. Diskussion

---

Eine Ausnahme stellt die Arbeit von *Coburn et al.* mit der Angabe über neun beteiligte Chirurgen dar (darunter fünf Ärzte in Weiterbildung und vier Fachärzte; die Inzidenz betrug 0,8 %, bezogen auf die Patientenzahl (41)). Die Mehrzahl der Publikationen macht diesbezüglich keine Angaben. In der vorliegenden Arbeit konnte kein Zusammenhang zwischen der Erfahrung des Operateurs und der Häufigkeit von Zahnwurzelverletzungen festgestellt werden.

Vergleich der klinischen Risikozonen mit den postulierten anatomischen Risikozonen.
---

Das Platzangebot im Interradikulärraum ist ein weiterer mutmaßlicher Einflussfaktor für einen potentiellen Wurzeltreffer. Publikationen, die diesen Raum vermaßen und auswerteten, liegen vor - jedoch korrelieren die anatomischen Interradikulärräume mit dem jeweils postulierten geringsten Risiko nicht mit dem ermittelten klinischen Risiko in der vorliegenden Arbeit. In der Studie der italienischen Arbeitsgruppe um *Poggio* wurden 25 DVTs ausgewertet und für den UK u. a. der durchschnittlich größte mesio-distale Raum zwischen dem ersten und zweiten Prämolaren gemessen und der geringste durchschnittliche Interradikulärraum zwischen dem Eckzahn und dem ersten Prämolaren (83). In der Untersuchung von *Park und Cho* wurden 60 DVTs einer amerikanischen Kohorte analysiert, welche die Region 35/36 bzw. 45/46 ebenfalls als ideal zur Insertion angeben und um die Region 36/37 bzw. 46/47 erweitern (84). Die zahlenmäßig größte Analyse von *Purmal et al.* mit 193 ausgewerteten DVTs einer malaysischen Kohorte gibt als sichersten Bereich für die Mandibula ebenfalls die Regionen zwischen den Prämolaren sowie zwischen den zweiten Prämolaren und den ersten Molaren an (85). In diesen Bereichen sind jedoch die klinischen Risiken mit am höchsten, wie auf Seite 46 dargelegt.

Anatomische Interradikulärräume und deren vermeintliche Risikozonen korrelieren bedingt mit der Risikoverteilung in der vorliegenden Arbeit. Vielmehr resultieren klinisch relevante Risikozonen, die deklariert werden sollten (siehe Abbildung 26 auf Seite 46). Die Gründe für diese Diskrepanz ist dem Faktor Operateur und den technischen Anforderungen geschuldet, die im vorherigen Abschnitt (*Definition von klinischen Risikozonen für iatrogene Zahnwurzelverletzungen, um Zähne mit dem höchsten Risiko zu deklarieren.*) geschildert werden.

Überprüfung der Korrelation zwischen röntgenologisch nachgewiesener Wurzelverletzung und dem klinischen Befund.
---

Die Betrachtung der klinischen Parameter aus den Nachuntersuchungen lässt auf eine geringe Beeinträchtigung der Zahngesundheit durch die Zahnwurzeltreffer schließen: Es kam bei 1067 Bohrungen zu keinem Zahnverlust bei den nachuntersuchten Patienten, es wurden keine Odontalgien angegeben und keine pathologischen Lockerungsgrade festgestellt. Kein Zahn reagierte pathologisch auf den axialen sowie lateralen Perkussionstest und die Sondierungstiefen korrelierten umgekehrt proportional zum Schweregrad des Wurzeltreffers (Klasse-3-Verletzungen zeigten z. B. die geringsten ST). Bei vier Zähnen war eine endodontologische Therapie notwendig (insgesamt 0,4 % aller Bohrungen).

Im Vergleich hierzu waren in der Untersuchung von *Fabbroni et al.* mit 55 Patienten und 232 vorgebohrten Schrauben sechs Zähne (2,6 % bezogen auf alle Bohrungen) mit Verletzungen durch Schrauben avital (38). In der Studie von *Roccia et al.* mit einer Kohorte von 62 Patienten und 265 vorgebohrten Schrauben waren zwei Wurzelkanalbehandlungen notwendig (0,8 % aller Bohrungen; (37)).

Zu ähnlichen Ergebnissen kam die Arbeitsgruppe um *Schulte-Geers*: bei einer Kohortengröße von 521 Patienten und 1663 vorgebohrten Schrauben kam es zu fünf Wurzelkanalbehandlungen (0,3 % aller Bohrungen) und zwei Zahnverlusten (0,1 % aller Bohrungen; (46)). In der Studie von *Widar et al.* mit einer Kohorte von n=64 und 445 gewerteten Bohrungen bzw. Schrauben wurden 13 Zähne endodontologisch behandelt (2,9 % aller Bohrungen) und ein Zahn extrahiert (0,2 % aller Bohrungen; 64(47)). Die Untersuchung von *Ingole et al.* mit 25 Patienten und 104 gewerteten Bohrungen kam auf neun endodontologische Therapien nach Wurzeltreffern (8,7 % aller Bohrungen) und keinem Zahnverlust 8,7 %(28).

Klinische Untersuchungen der Parodontalgesundheit wie Lockerungsgrad, Perkussion und Sondierungstiefe oder eine Schmerzanamnese fehlen häufig. Die Ausnahmen hierzu sind *Schulte-Geers et al.*, *Bai et al.* und *Camargo et al.* mit zusätzlich anamnestischer Erfassung von Schmerzen (46,64,77). Die Arbeitsgruppe um *Sahoo* gab zwar eine Erhebung des Lockerungsgrades an, präsentierte jedoch keine Ergebnisse hierzu (44). In der Studie von *Roccia et al.* wurde ebenfalls der Lockerungsgrad erhoben (es wurden keine pathologischen Werte ermittelt (37)) und *Trinkle* (retrospektiv; 102 Patienten und 489 selbstbohrende Schrauben) mit Erfassung all dieser Parameter, die keine Pathologien feststellte mit Ausnahme eines Zahnes, der extrahiert wurde (75). Pathologische Befunde wie Wurzelfrakturen (45,49,50) oder Fistelung (45) wurden in der vorliegenden Studie nicht festgestellt.

## 5. Diskussion

### Erstellung einer Behandlungsempfehlung.

In der Durchführung der Bohrung ist neben der Kontrolle der Bohrachse für jeden Quadranten besondere Sorgfalt in der Applikation im rechten UK geboten, da hier die höchsten Risiken für Zahnwurzelverletzungen existieren, wie in Abbildung 26 auf Seite 46 ersichtlich. Vor der Bohrung ist die PSA des Patienten zu würdigen, um Zahnfehlstellungen und pathologische Prozesse auszuschließen und sie zusammen mit den klinischen Risikozonen zu evaluieren.

Postoperativ ist in der röntgenologischen Kontrollbildgebung die Prüfung auf Vorliegen von Zahnwurzelverletzungen notwendig. Bei Vorliegen derselben sollte eine klinische Kontrolle postoperativ erfolgen. Bei fehlender Reaktion im Kältetest ist eine Initiierung einer endodontologischen Therapie erforderlich. In der Abbildung 27 ist das MMF-Flowchart der hiesigen Klinik dargestellt, welches auf den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit basiert.

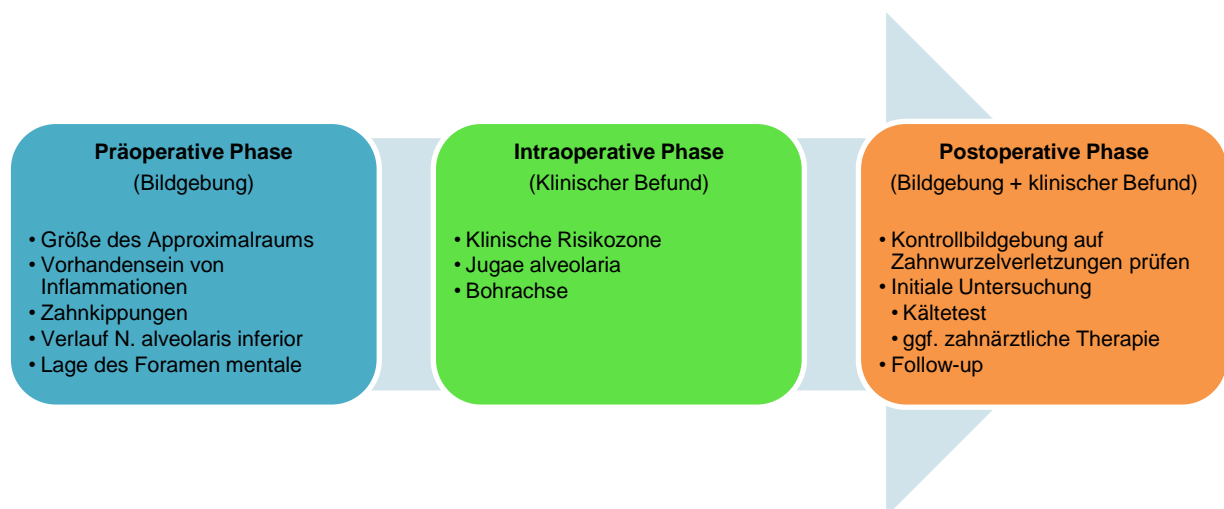


Abbildung 27: MMF-Algorithmus in der Klinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie der Charité - Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow Klinikum.



### 5.3 Limitationen

#### 5.3.1 Bildgebung

Ob die PSA die ideale Aufnahme zur Detektion von Wurzeltriftern ist, ist diskutabel. Problematisch ist die gegebene Variabilität in der Bilddarstellung, bedingt durch die Aufnahmetechnik der PSA. Aufgrund der planaren Darstellung des dreidimensionalen Unterkiefers mit variabler Lage des Fokuszahnes innerhalb der Röntgenschicht (sogenannte Objektverzerrung) kann die exakte Darstellung eines Wurzeltriftern teilweise nicht gelingen (siehe Abbildung 28).

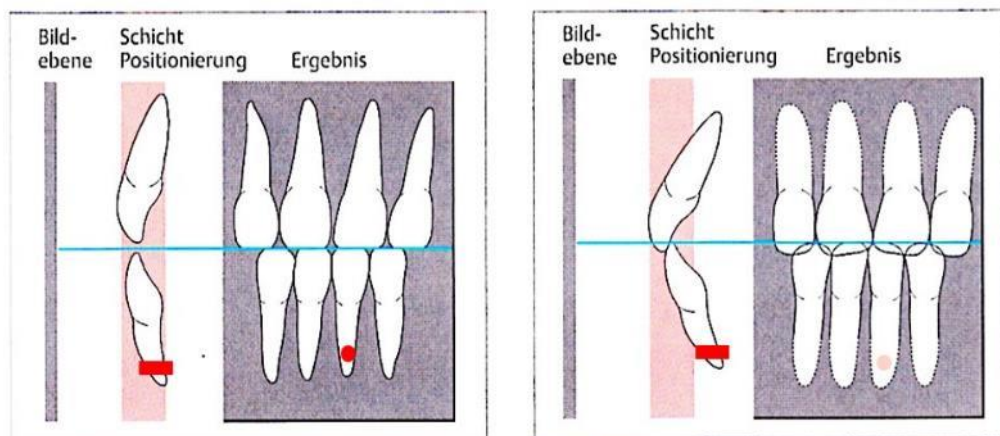


Abbildung 28: Schematische Darstellung der Objektverzerrung und -verblässung durch die Röntgenschichtposition in der Panoramaschichtaufnahme. Aus der Zeichnung ist ersichtlich, dass hinter der Röntgenschicht (rosa Balken) liegende Wurzelspitzen unscharf und verbreitert abgebildet werden. Der rote Balken/Kreis soll einen Wurzeltreffer durch Vorbohrung darstellen, welcher im rechtsseitigen Beispiel einer Objektverzerrung verblasst und daher übersehen werden kann. Modifizierte Abbildung aus (79). Mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags, Stuttgart.

Der Vorteil der DVT gegenüber der PSA ist die Möglichkeit, in der Schichtrekonstruktion die einzelnen Interessengebiete in allen Raumebenen (axial/koronal/sagittal) zu betrachten. Eine standardmäßige postoperative DVT-Aufnahme zur Kontrolle der Frakturversorgung wird in der aktuellen S2k-Leitlinie von 2013 der DGZMK jedoch nicht generell empfohlen (86). In der experimentellen

Untersuchung von *Bennemann et al.* wurde ein Vergleich PSA/DVT bei der Evaluierung von orthodontischen Minischrauben (Durchmesser=1,2 mm) sowohl bezüglich deren Position und Nähe zu Zahnwurzeln als auch bei der Erkennung von Zahnwurzeltreffern durchgeführt. In dieser *in vitro*-Untersuchung an mazerierten humanen Schädeln war die DVT der PSA hierbei überlegen (87).

Ob die DVT-Aufnahme zur besseren Diagnostik von Wurzeltreffern jedoch gerechtfertigt ist, muss in dementsprechenden Fachgremien diskutiert werden, da dem vermuteten Informationsgewinn (in Relation zur klinischen Konsequenz) bezüglich der Zahnwurzeltreffer die immer noch höhere Strahlenexposition und der finanzielle Mehraufwand gegenüberstehen.

### 5.3.2 Studiendesign

Durch den retrospektiven Charakter der vorliegenden Untersuchung konnten nicht alle Patienten, bei denen eine röntgenologische Zahnwurzelverletzung festgestellt wurde, nachuntersucht werden. Dies liegt zum größten Teil an der fehlenden Erreichbarkeit der Patienten (sogenannte *Non-responder*=45). Die Verweigerung einer Nachuntersuchung erfolgte in zwei Fällen und ein Patient war verstorben. Die Rekrutierung der betroffenen Patienten wurde durch die Tatsache erschwert, dass teilweise lange Intervalle zwischen Operation und der Anfrage zur Nachuntersuchung vorlagen. Die in der Konsequenz zustandgekommene Rücklaufquote betrug 49,5 % aller Patienten mit nachgewiesener Zahnwurzelverletzung. Die Rücklaufquote innerhalb der Schädigungsklassen auf Zahnebene waren bei Klasse 1=43,8 %, bei Klasse 2=61,5 % und bei Klasse 3=70 %.

### 5.4 Schlussfolgerung

Die Schrauben-basierte MMF mit notwendiger Vorbohrung ist eine schnelle und bewährte Technik zur Sicherung der Okklusion, die weltweit breite Anwendung findet. Das Hauptrisiko dieser Technik besteht in der iatrogenen Verletzung von Zahnwurzeln während der Vorbohrung. Die örtliche Verteilung der Treffer in der vorliegenden Arbeit scheint weniger mit der Größe des Interradikulärraums zusammenzuhängen, als vielmehr mit den klinischen Aspekten des Eingriffes: die Bohrachse bedingt durch die Lagerung des Patienten und der Position des Operateurs. Die deutliche Korrelation zwischen dem Schweregrad des Zahnwurzeltreffers und den klinischen Konsequenzen (keine Pulpa-beteiligung > keine Konsequenz) zeigt, dass die Mehrheit der Zahnwurzeltreffer keine Folgen für die klinische Zahngesundheit haben.

Der Versuch der Prüfung eines Zusammenhanges zwischen der Applikationsdauer und der Inzidenz ist nicht erfolgreich, da die Anwendungszeiten in der Literatur stark differieren und sich oftmals überschneiden. Ähnliches gilt für den Nachbeobachtungszeitraum: es finden sich Inzidenzen an Zahnwurzelverletzungen ohne Bezug zu den Längen an Nachbeobachtungszeiträumen.

Ein weiteres Merkmal der Studien, über welches wenige Angaben gemacht werden, ist die Anzahl der Operateure. Trotz der iatrogenen Ursache dieser Zahnwurzelverletzungen durch MMF-Schrauben und dem vermeintlichen Einfluss der operativen Fähigkeiten des jeweiligen Operateurs sind Angaben über die Anzahl der Operateure selten. Lediglich in den Studien *West et al.* (ein Operateur; 14 % Inzidenz), von *Camargo et al.* (zwei Operateure; 5,3 % Inzidenz) und *Coburn et al.* (neun Operateure; 0,8 % Inzidenz) werden diesbezüglich Angaben gemacht (29,41,77).

In der vorliegenden Studie waren 14 verschiedene Operateure beteiligt, wobei die ermittelte Inzidenz an Zahnwurzelverletzungen mit 12,5 % im Vergleich nicht kontrastiert und ein Zusammenhang zwischen dem Ausbildungsstand des Operateurs und der Häufigkeit von erfolgten Zahnverletzungen nicht feststellbar war. Eine generelle Aussage bezüglich des Einflusses der Anzahl der Operateure auf die Häufigkeit von Zahnwurzelverletzungen ist aufgrund der Datenlage nicht möglich.

Diskutabel ist die Frage nach der Inzidenz von Zahnwurzeltreffern bei selbstbohrenden Schrauben. Für diese wird eine geringere Inzidenz angenommen aufgrund einer möglichen Achsenkorrektur bei der händischen Insertion.

Die verfügbaren Studien zu dieser Fragestellung präsentieren ein heterogenes Bild: In verschiedenen retrospektiven Arbeiten mit insgesamt 110 Patienten wurden keine Zahnwurzeltreffer registriert, wobei kein Vergleich mit vorgebohrten Schrauben stattfand (72–74). Eine retrospektive Vergleichsanalyse von vorgebohrten und selbstbohrenden MMF-Schrauben (123 Patienten insgesamt) ermittelte in der Gruppe mit Vorbohrung Zahnschäden an 13,3 %, bezogen auf alle Bohrungen, während in der Gruppe mit selbstbohrenden Schrauben keine Zahnwurzeltreffer auftraten (47). Eine retrospektive Analyse von *Trinkle* mit 102 Patienten und 489 gewerteten selbstbohrenden Schrauben ergab eine Inzidenz von 17 % Zahnverletzungen, bezogen auf alle Schrauben (75).

In einer prospektiven Studie mit 20 Patienten wurden 14 % Wurzeltreffer, bezogen auf alle Schrauben, registriert (29). Prospektive Studien, die beide Schraubentypen randomisiert vergleichen, gibt es bis dato nicht. Schrauben- und drahtlose MMF-Techniken wie Kunststoff-Kabelbinder, Nahtmaterial oder Leonard-Knöpfe sind Alternativen, die bisher wenig Verbreitung gefunden haben und deren wissenschaftliche Evaluation in Bezug auf die Anwendung (z. B. Stabilität der Okklusionssicherung) noch aussteht (88–90).

Es kann daher abschließend festgestellt werden, dass die intraoperative Schraubenbasierte MMF mit Vorbohrung zu relevanten Mengen an Zahnwurzeltreffern führt, diese jedoch aufgrund ihrer in den wenigsten Fällen einhergehenden Pulpenbeteiligung in der Regel keine Folgen für die Zahngesundheit darstellen.

In der vorliegenden Arbeit bei 1067 gewerteten vorgebohrten Schrauben kam es bei lediglich vier Zähnen in der Konsequenz zu einer endodontologischen Behandlung. In diesen Fällen war eine suffiziente zahnärztliche Therapie möglich, welche die Konsequenzen beherrschbar machte. Hervorzuheben ist die Relevanz der postoperativen Diagnose dieser Zahnverletzungen, deren konsequente Kommunikation mit dem betroffenen Patienten und ein Follow-up. Letzteres ist notwendig, um eine gegebenenfalls notwendige zahnärztliche Therapie frühzeitig zu initiieren, um mögliche Spätfolgen wie Zahnverlust zu vermeiden (51). Hierfür ist ein interdisziplinärer Austausch zwischen Chirurgen und Zahnärzten essentiell.

Ob die selbstbohrende Schrauben-MMF ein geringeres Risiko für Zahnwurzeltreffer hat als vorgebohrte, ist aktuell noch Gegenstand von Untersuchungen. Prospektive, randomisierte Vergleichsstudien, die es bis dato nicht gibt, wären notwendig, um klare Aussagen treffen zu können und evtl. zu einer national sowie international noch ausstehenden Standardisierung der MMF beitragen zu können. Dies fordern die wenigen, zu diesem Thema auffindbaren Reviews ebenfalls (29,91).

Solch eine prospektive, randomisierte Vergleichsstudie beider Schraubentypen wurde in der Klinik inzwischen initiiert.

### 6. Zusammenfassung

Die Fixierung beider Kiefer zueinander zur Ruhigstellung von Frakturen hat eine lange Geschichte und war stets ein Beispiel für Innovation und das Bestreben, vorhandene Techniken weiterzuentwickeln. Die Anfänge machten einfache Drähte und Kopf-Kinn-Bandagen, denen aufwendige Apparaturen mit extraoralen, teilweise monomaxillären Fixierungsmöglichkeiten folgten. Mit zunehmender Einbeziehung der habituellen Okklusion über den Gegenkiefer wurde die MMF der Goldstandard in der über lange Zeit ausschließlich konservativen Frakturversorgung der Kiefer.

Populäre Techniken waren aufgrund ihrer kostengünstigen und ubiquitären Verfügbarkeit die Drahtcerclagen mit verschiedensten Modifikationen (z. B. *Oliver*, *Ivy-loops*, *Ernst*-Ligaturen), deren Weiterentwicklung in der Drahtbogen-Kunststoffschiene gipfelte (z. B. *Schuchardt* oder *Erich*). Letztere sind immer noch populäre MMF-Techniken in weiten Teilen der Welt. Die zunehmende Kostenoptimierung in den Krankenhäusern sowie das hohe Verletzungsrisiko des Operateurs durch diese Drahttechniken haben jedoch zu der sicheren und zeitsparenden Alternative der Schrauben-basierten MMF geführt.

Diese benötigt nur einen Bruchteil der Applikationsdauer, präsentiert ebenfalls stabile Fixierungseigenschaften und reduziert das Stichverletzungsrisiko des Operateurs auf die Anlage der Drahtschlingen über die Schrauben. Für den Patienten erhöht sich auf der einen Seite der Tragekomfort, auf der anderen Seite reduziert sich der negative Einfluss auf das Parodont. Ein Nachteil der Schrauben-MMF ist das Risiko der iatrogenen Zahnwurzelverletzung.

Trotz einer scheinbaren Fülle an Studien, die dieses Thema zum Gegenstand haben, kann eine eindeutige Aussage bezüglich der Risiken dieser Zahnwurzelverletzungen und ihrer Folgen nur eingeschränkt erfolgen, da die verfügbaren Studien sich in ihren

## 6. Zusammenfassung

---

Designs erheblich unterscheiden und infolgedessen zu stark divergierenden Ergebnissen gelangen.

Es war daher das Bestreben der vorliegenden Arbeit, durch Analyse einer eigenen Kohorte und mittels klar definierten Ein- und Ausschlusskriterien das Risiko von iatrogenen Zahnwurzelverletzungen durch erfolgte Vorbohrung für MMF-Schrauben bei der isoliert intraoperativen Anwendung zu untersuchen und die klinischen Folgen in einer Nachuntersuchung zu evaluieren.

In einer retrospektiven Auswertung der postoperativen Bildgebung von 585 operativen Frakturversorgungen des Zeitraumes 01/2009–05/2015 konnten 296 Fälle ermittelt werden, welche die Einschlusskriterien erfüllten und die Studienkohorte bildeten. Insgesamt gab es 14 verschiedene Operateure, die in diesem Zeitraum die MMF durchführten. In Fällen mit radiologisch nachgewiesenen Zahnwurzeltreffern wurden die betreffenden Patienten zur klinischen Nachuntersuchung einbestellt. Es wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

1. Es wurden radiologisch insgesamt 133 Zahnwurzelverletzungen diagnostiziert (12,5 % bezogen auf alle Bohrungen). Vier der verletzten Zähne benötigten eine endodontologische Behandlung (3 % der verletzten Zähne; 0,4 % aller Bohrungen). Es kam zu keinem Zahnverlust und es gab keinen Zusammenhang zwischen der Zahnwurzelschädigung und der klinischen Parodontalgesundheit.
2. Es konnten klinische Risikozonen definiert werden, um Zähne mit dem höchsten Risiko für Zahnwurzelverletzungen zu deklarieren.
3. Die klinischen Risikozonen korrelieren nicht mit den postulierten anatomischen Risikozonen.

Abschließend kann festgestellt werden, dass Zahnwurzelverletzungen durch Vorbohrung die klinische Zahngesundheit in Abhängigkeit ihres Schädigungsgrades beeinflussen. Verletzungen des Zahnes ohne Beteiligung der Zahnpulpa haben die

## 6. Zusammenfassung

---

beste Prognose. In den Schädigungsklassen ohne Pulpabeteiligung kam es zu keinen negativen Folgen für die Zahngesundheit wie Schmerzen oder Vitalitätsverlust. Relevanz haben Zahnwurzeltreffer mit Pulpabeteiligung, die jedoch mit 1,9 %, bezogen auf alle Bohrungen, selten auftreten und durch endodontologische Therapie erfolgreich behandelbar sind.



## 7. Literaturverzeichnis

1. Hippocrates. *Oiuvres Completes*. Cambridge; 1928. (The Loeb Classical Library).
2. Salicetti G. *Praxeos Totius Medicinae. Chir.* 1275;
3. Hamilton FH. *A practical treatise on fractures and dislocations*. 1st ed. Philadelphia: H.C. Lea; 1875. 878 p.
4. Chopart. *Traité des maladies chirurgicales et des operations qui leur conviennent* / Chopart, François [Internet]. 1795 [cited 2014 Jun 26]. Available from: [http://reader.digitale-sammlungen.de/de/fs1/object/display/bsb10390891\\_00005.html?leftTab=toc](http://reader.digitale-sammlungen.de/de/fs1/object/display/bsb10390891_00005.html?leftTab=toc)
5. Rutenick F. *De Fractura mandibulae*. Berlin; 1823.
6. Lonsdale E. *Instrument for treating Fractures of the Jaw*. London: Med. Gazette; 1833. (12; vol. 565).
7. Hartig. *Beschreibung eines neuen Apparates zur Retention des Unterkiefers*. 1st ed. Braunschweig: Eigenverlag; 1837.
8. Archer WH, Wells H. *The History of General Anesthesia*. *J Am Dent Soc Anesthesiol.* 1960 Feb;7(2):12–4.
9. Rowe NL. *The history of the treatment of maxillo-facial trauma*. *Ann R Coll Surg Engl.* 1971 Nov;49(5):329–49.
10. Mukerji R, Mukerji G, McGurk M. *Mandibular fractures: Historical perspective*. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2006 Jun;44(3):222–8.
11. Gunning T. *Treatment of fracture of the jaw*. 1st ed. Baltimore: Thomas & Evans; 1881.
12. Ivy RH. *The classic reprint: a case of fracture of the lower jaw with remarks on the treatment*. Case report. *Plast Reconstr Surg.* 1969 Mar;43(3):305–7.
13. Angle E. *The Angle System of Treating Fractures of the Maxillary Bones*. *Brit J Dent Sc.* 1890;(33):484.

## 7. Literaturverzeichnis

---

14. Roentgen. Ueber eine neue Art von Strahlen (Vorläufige Mittheilung) – Wikisource [Internet]. 1895 [cited 2015 Jan 2]. Available from: [http://de.wikisource.org/wiki/Ueber\\_eine\\_neue\\_Art\\_von\\_Strahlen\\_\(Vorl%C3%A4ufige\\_Mittheilung\)](http://de.wikisource.org/wiki/Ueber_eine_neue_Art_von_Strahlen_(Vorl%C3%A4ufige_Mittheilung))
15. Magill IW, Edridge A w. Editorial. *Anaesthesia*. 1987 März;42(3):231–3.
16. Winter M. Einflüsse auf die zahnärztliche Ausbildung in Deutschland und den USA seit 1800. Bonn: Diss.; 1990.
17. OLIVER RT. A method of treating mandibular fractures. *J Am Med Assoc*. 1910 Apr 9;LIV(15):1187–91.
18. Thoma KH. A historical review of methods advocated for the treatment of jaw fractures, with ten commandments for modern fracture treatment. *Am J Orthod Oral Surg*. 1944 Aug;30(8):C399–504.
19. Ernst F. Die Schienenverbände bei Ober-und Unterkieferbrüchen. In: Bruhn C, Kantorowicz A, Partsch C (Hrsg.): *Handbuch der Zahnheilkunde*, 4. Auflage, Band 1, Bergmann, München 1932:115. 1932;
20. Obwegeser H. [A simple method of off-hand wiring of jaw fractures]. *Österr Z Für Stomatol*. 1952 Dec;49(12):652–70.
21. Schuchardt K. Ein Vorschlag zur Verbesserung der Drahtschienenverbände. *Dtsch Zahn-Mund-Kieferheilk*. 1956;39–44.
22. Dal Pont G. A new method of intermaxillary bone fixation. *Trans Int Conf Oral Surg*. 1967;325–9.
23. Koulocheris P, Sakkas N, Otten J-E. Maxillomandibular fixation with Otten mini-hooks. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2007 Dec;45(8):679–80.
24. Champy M, Loddé JP, Schmitt R, Jaeger JH, Muster D. Mandibular osteosynthesis by miniature screwed plates via a buccal approach. *J Maxillofac Surg*. 1978 Feb;6(1):14–21.
25. Cornelius C-P, Ehrenfeld M. The Use of MMF Screws: Surgical Technique,

Indications, Contraindications, and Common Problems in Review of the Literature. *Craniofacial Trauma Reconstr.* 2010 Jun;3(2):55–80.

26. Rai A, Datarkar A, Borle RM. Are maxillomandibular fixation screws a better option than Erich arch bars in achieving maxillomandibular fixation? A randomized clinical study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011 Dec;69(12):3015–8.

27. Hembree M, Buschang PH, Carrillo R, Spears R, Rossouw PE. Effects of intentional damage of the roots and surrounding structures with miniscrew implants. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2009 Mar;135(3):280.e1-9; discussion 280-281.

28. Ingole PD, Garg A, Shenoi SR, Badjate SJ, Budhreja N. Comparison of intermaxillary fixation screw versus eyelet interdental wiring for intermaxillary fixation in minimally displaced mandibular fracture: a randomized clinical study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014 May;72(5):958.e1-7.

29. West GH, Alan Griggs J, Chandran R, Vincent Precheur H, Buchanan W, Caloss R. Treatment outcomes with the use of maxillomandibular fixation screws in the management of mandible fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014 Jan;72(1):112–20.

30. Trupthi DV, Chowdhury S, Shah A, Singh M. Treatment of mandibular fractures using intermaxillary fixation and vacuum forming splints: a comparative study. *J Maxillofac Oral Surg.* 2014 Dec;13(4):519–24.

31. Farber SJ, Snyder-Warwick AK, Skolnick GB, Woo AS, Patel KB. Maxillomandibular fixation by plastic surgeons: cost analysis and utilization of resources. *Ann Plast Surg.* 2015 Jul 23;

32. Arthur G, Berardo N. A simplified technique of maxillomandibular fixation. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* 1989 Nov;47(11):1234.

33. Karlis V, Glickman R. An alternative to arch-bar maxillomandibular fixation. *Plast Reconstr Surg.* 1997 May;99(6):1758–9.

34. Jones DC. The intermaxillary screw: a dedicated bicortical bone screw for

temporary intermaxillary fixation. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 1999 Apr;37(2):115–6.

35. Ansari K, Hamlar D, Ho V, Hilger P, Côté D, Aziz T. A comparison of anterior vs posterior isolated mandible fractures treated with intermaxillary fixation screws. *Arch Facial Plast Surg.* 2011 Aug;13(4):266–70.

36. Sahoo NK, Mohan R. IMF Screw: an ideal intermaxillary fixation device during open reduction of mandibular fracture. *J Maxillofac Oral Surg.* 2010 Jun;9(2):170–2.

37. Roccia F, Tavolaccini A, Dell'Acqua A, Fasolis M. An audit of mandibular fractures treated by intermaxillary fixation using intraoral cortical bone screws. *J Craniomaxillofac Surg.* 2005 Aug;33(4):251–4.

38. Fabbroni G, Aabed S, Mizen K, Starr DG. Transalveolar screws and the incidence of dental damage: a prospective study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2004 Jul;33(5):442–6.

39. Hashemi HM, Parhiz A. Complications using intermaxillary fixation screws. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2011 May;69(5):1411–4.

40. Coletti DP, Salama A, Caccamese JF Jr. Application of intermaxillary fixation screws in maxillofacial trauma. *J Oral Maxillofac Surg.* 2007 Sep;65(9):1746–50.

41. Coburn DG, Kennedy DWG, Hodder SC. Complications with intermaxillary fixation screws in the management of fractured mandibles. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2002 Jun;40(3):241–3.

42. Schneider AM, David LR, DeFranzo AJ, Marks MW, Molnar JA, Argenta LC. Use of specialized bone screws for intermaxillary fixation. *Ann Plast Surg.* 2000 Feb;44(2):154–7.

43. Vartanian AJ, Alvi A. Bone-screw mandible fixation: an intraoperative alternative to arch bars. *Otolaryngol-Head Neck Surg.* 2000 Dec;123(6):718–21.

44. Sahoo N, Sinha R, Menon P, Sharma R. Retrospective study on efficacy of intermaxillary fixation screws. *Med J Armed Forces India.* 2009 Jul;65(3):237–9.

45. Hoffmann A, Mast G, Ehrenfeld M. Verwendung von IMF-Schrauben zur

mandibulo-maxillären Fixation. *OP-J.* 2003 Apr;19(1):70–5.

46. Schulte-Geers M, Kater W, Seeberger R. Root trauma and tooth loss through the application of pre-drilled transgingival fixation screws. *J Craniomaxillofac Surg.* 2012 Oct;40(7):e214-217.

47. Widar F, Kashani H, Kanagaraja S, Dahlin C, Rasmusson L. A retrospective evaluation of iatrogenic dental root damage with predrilled vs drill-free bone anchor screws for intermaxillary fixation. *Dent Traumatol.* 2012 Apr;28(2):127–31.

48. Farr DR, Whear NM. Intermaxillary fixation screws and tooth damage. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2002 Feb;40(1):84–5.

49. Alves M Jr, Baratieri C, Araújo MTS, Souza MMG, Maia LC. Root damage associated with intermaxillary screws: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2012 Nov;41(11):1445–50.

50. Holmes S, Hutchison I. Caution in use of bicortical intermaxillary fixation screws. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2000 Oct;38(5):574.

51. Hartwig S, Doll C, Voss JO, Raguse JD. Severe tooth loss after root damage caused by predrilled intermaxillary fixation screw: a case report. *Dent Traumatol DOI* 101111edt12271. 2016 Mar 22;

52. Borah GL, Ashmead D. The fate of teeth transfixed by osteosynthesis screws. *Plast Reconstr Surg.* 1996 Apr;97(4):726–9.

53. Asscherickx K, Vannet BV, Wehrbein H, Sabzevar MM. Root repair after injury from mini-screw. *Clin Oral Implants Res.* 2005 Oct;16(5):575–8.

54. Ahmed VKS, Krishnaswamy NR, Thavarajah R. Miniscrew implant fracture and effects of such retained tip on dentin-pulp complex: a histological report. *Dent Traumatol Off Publ Int Assoc Dent Traumatol.* 2016 Apr;32(2):161–5.

55. Andreasen JO. Cementum repair after apicoectomy in humans. *Acta Odontol Scand.* 1973 Oct;31(4):211–21.

56. Helldén L. Periodontal healing following experimental injury to root surfaces

of human teeth. *Scand J Dent Res.* 1972;80(3):197–205.

57. Blomlöf L, Lindskog S. Quality of periodontal healing. II: Dynamics of reparative cementum formation. *Swed Dent J.* 1994;18(4):131–8.

58. Andreasen JO. Pulp and periodontal tissue repair - regeneration or tissue metaplasia after dental trauma. A review. *Dent Traumatol Off Publ Int Assoc Dent Traumatol.* 2012 Feb;28(1):19–24.

59. Renjen R, Maganzini AL, Rohrer MD, Prasad HS, Kraut RA. Root and pulp response after intentional injury from miniscrew placement. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2009 Nov;136(5):708–14.

60. Dao V, Renjen R, Prasad HS, Rohrer MD, Maganzini AL, Kraut RA. Cementum, pulp, periodontal ligament, and bone response after direct injury with orthodontic anchorage screws: a histomorphologic study in an animal model. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2009 Nov;67(11):2440–5.

61. Nandini GD, Balakrishna R, Rao J. Self Tapping Screws v/s Erich Arch Bar for Inter Maxillary Fixation: A Comparative Clinical Study in the Treatment of Mandibular Fractures. *J Maxillofac Oral Surg.* 2011 Jun;10(2):127–31.

62. Satish M, Rahman NM, Reddy VS, Yuvaraj A, Mulyar S, Razak PA. Use of cortical bone screws in maxillofacial surgery - a prospective study. *J Int Oral Health JIOH.* 2014 Apr;6(2):62–7.

63. Imazawa T, Komuro Y, Inoue M, Yanai A. Mandibular fractures treated with maxillomandibular fixation screws (MMFS method). *J Craniofac Surg.* 2006 May;17(3):544–9.

64. Bai Z, Gao Z, Xiao X, Zhang W, Fan X, Wang Z. Application of IMF screws to assist internal rigid fixation of jaw fractures: our experiences of 168 cases. *Int J Clin Exp Pathol.* 2015;8(9):11565–8.

65. WMA [Internet]. 2013 [cited 2016 Jun 20]. Available from:

<http://www.wma.net/en/30publications/10policies/b3/>

66. Hartwig S, Boettner A, Doll C, Voss JO, Hertel M, Preissner S, et al. Drill-related root injury caused by intraoperative intermaxillary fixation. An analysis of 1067 screw-applications. *Dent Traumatol Off Publ Int Assoc Dent Traumatol*. 2016 Sep 28;
67. Falci S-G, Douglas-de-Oliveira D-W, Stella P-E-M, Rocha-Dos Santos C-R. Is the Erich arch bar the best intermaxillary fixation method in maxillofacial fractures? A systematic review. *Med Oral Patol Oral Cirurgia Bucal*. 2015 Jun 2;
68. Qureshi AA, Reddy UK, Warad NM, Badal S, Jamadar AA, Qurishi N. Intermaxillary fixation screws versus Erich arch bars in mandibular fractures: A comparative study and review of literature. *Ann Maxillofac Surg*. 2016 Jun;6(1):25–30.
69. Park K-N, Oh S-M, Lee C-Y, Kim J-Y, Yang B-E. Design and application of hybrid maxillomandibular fixation for facial bone fractures. *J Craniofac Surg*. 2013;24(5):1801–5.
70. Avery CM, Johnson PA. Surgical glove perforation and maxillofacial trauma: to plate or wire? *Br J Oral Maxillofac Surg*. 1992 Feb;30(1):31–5.
71. Maurer P, Syska E, Eckert AW, Berginski M, Schubert J. [The FAMI screw for temporary intermaxillary fixation. Report of experiences for extending indications]. *Mund- Kiefer- Gesichtschirurgie MKG*. 2002 Sep;6(5):360–2.
72. Gibbons AJ, Hodder SC. A self-drilling intermaxillary fixation screw. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2003 Feb;41(1):48–9.
73. Laurentjoye M, Majoufre-Lefebvre C, Siberchicot F, Ricard AS. Result of maxillomandibular fixation using intraoral cortical bone screws for condylar fractures of the mandible. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. 2009 Apr;67(4):767–70.
74. Roccia F, Rossi P, Gallesio C, Boffano P. Self-tapping and self-drilling screws for intermaxillary fixation in management of mandibular fractures. *J Craniofac Surg*.

2009 Jan;20(1):68–70.

75. Trinkle KLA. Zahnwurzelläsionen durch Schrauben zur mandibulo-maxillären Fixation Röntgenologische und klinische Nachuntersuchungen. Germany: University of Munich. 2009. Dissertation. [Dissertation]. [Germany]: Ludwig-Maximilians-Universität München; 2009.

76. Florescu V, Kofod T, Pinholt EM. IMF screw morbidity in treatment of mandibular fractures – a retrospective study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2016 Apr 25;74(9):1800–6.

77. Camargo IB, Van Sickels JE, Laureano Filho JR, Cunningham LL. Root contact with maxillomandibular fixation screws in orthognathic surgery: incidence and consequences. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2016 Mar 15;

78. Uysal T, Yagci A, Esel D, Ramoglu SI, Kilinc A. Investigation of bacteremia following insertion of orthodontic mini-implants. *World J Orthod.* 2010;11(4):357–61.

79. Livas C, Delli K, Karapsias S, Pandis N, Ren Y. Investigation of bacteremia induced by removal of orthodontic mini-implants. *Eur J Orthod.* 2014 Feb;36(1):16–21.

80. Winter TW, Olson RJ, Larson SA, Oetting TA, Longmuir SQ. Resident and fellow participation in strabismus surgery: effect of level of training and number of assistants on operative time and cost. *Ophthalmology.* 2014 Mar;121(3):797–801.

81. Papachristofi O, Jenkins D, Sharples LD. Assessment of learning curves in complex surgical interventions: a consecutive case-series study. *Trials.* 2016;17(1):266.

82. Fecso AB, Szasz P, Kerezov G, Grantcharov TP. The Effect of Technical Performance on Patient Outcomes in Surgery: A Systematic Review. *Ann Surg.* 2016 Aug 17;

83. Poggio PM, Incorvati C, Velo S, Carano A. "Safe zones": a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. *Angle Orthod.* 2006 Mar;76(2):191–7.



84. Park J, Cho HJ. Three-dimensional evaluation of interradicular spaces and cortical bone thickness for the placement and initial stability of microimplants in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009 Sep;136(3):314–5.
85. Purmal K, Alam MK, Pohchi A, Abdul Razak NH. 3D mapping of safe and danger zones in the maxilla and mandible for the placement of intermaxillary fixation screws. *PloS One*. 2013;8(12):e84202.
86. DGZMK. S2k-Leitlinie Dentale-Volumentomographie. 2013;
87. Bennemann R, Baxmann M, Keilig L, Reimann S, Braumann B, Bourauel C. Evaluating miniscrew position using orthopantomograms compared to cone-beam computed tomography. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie OrganOfficial J Dtsch Ges Für Kieferorthopädie*. 2012 May;73(3):236–48.
88. van der Walt JC, Graewe FR, McIntosh C. Fixation of mandible fractures: a simplified method. *SADJ J South Afr Dent Assoc Tydskr Van Suid-Afr Tandheelkd Ver*. 2010 Sep;65(8):358–63.
89. Ghazali N, Benlidayi ME, Abizadeh N, Bentley RP. Leonard buttons: a reliable method of intraoperative intermaxillary fixation in bilateral mandibular fractures. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. 2012 May;70(5):1131–8.
90. Rai A. Intermaxillary fixation with sutures: RAI Modification. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2016 Apr 27;
91. Bins A, Oomens MAE, Boffano P, Forouzanfar T. Is There Enough Evidence to Regularly Apply Bone Screws for Intermaxillary Fixation in Mandibular Fractures? *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. 2015 Apr 11;

## Danksagung

Mein erster Dank gilt meinem Betreuer PD Dr. Dr. Jan Dirk Raguse. Neben der schnellen und intensiven Betreuung gab er mir das Vertrauen und die Unterstützung, Forschungsprojekte in unserer Klinik zu initiieren und durchzuführen.

Herrn B.A. Andreas Böttner vom Biometrischen Institut der Charité danke ich für die Evaluation der Statistik. Dem Fotografen der hiesigen Klinik für MKG-Chirurgie am Campus-Virchow-Klinikum, Franz Hafner, danke ich für die erfolgreiche Durchforstung des Dia-Archivs zwecks Auffinden einer Anwendung der Schuchardt-Schienung. Ich danke der MTA Ute Kruse-Boitschenko für die Bereitstellung der archivierten DVT-Datensätze.

Frau PD Dr. Saskia Preissner und PD Dr. Moritz Hertel danke ich als Kollegen und Freunde für die Mit-/ Begeisterung an der Forschung und den vielen konstruktiven Diskussionen. Meinen Kollegen und Freunden Dres. Christian Doll, Jakob Ihbe und Jan Voß danke ich für ihre fachlichen und freundschaftlichen Diskussionen, vor allem im Vag\*.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht und mich in all meinen Entscheidungen unterstützt haben.

Zum Schluss danke ich meiner Frau Sarah, die stets Quelle meiner Kraft ist. Ihr ist diese Arbeit in Liebe und Dankbarkeit gewidmet.

## Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Stefan Hartwig, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Zahnschädigung durch intraoperative mandibulo-maxilläre Fixation mittels intraossärer Schrauben nach Vorbohrung. Ergebnisse einer klinischen Nachuntersuchung.“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE - [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s. o) und werden von mir verantwortet. Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s. o) und werden von mir verantwortet. Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

### Anteilerklärung an etwaigen erfolgten Publikationen

Stefan Hartwig hatte Anteil an folgender Publikation:

Drill-related root injury caused by intraoperative intermaxillary fixation. An analysis of 1067 screw-applications. **Hartwig S**, Boettner A, Doll C, Voss JO, Hertel M, Preissner S, Raguse JD

Beitrag im Einzelnen: Idee und Konzept der Studie, Durchführung der Studie, Verfassen des Manuskripts

Datum

Unterschrift

## Curriculum Vitae

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## Publikationsliste

Erstautor/Letztautor

**Hartwig S**, Boettner A, Doll C, Voss JO, Hertel M, Preissner S, et al. Drill-related root injury caused by intraoperative intermaxillary fixation. An analysis of 1067 screw-applications. Dent Traumatol. 2016 Sep 28. DOI: 10.1111/edt.12305

**Hartwig S**, Doll C, Voss JO, Hertel M, Preissner S, Raguse JD. Treatment of Wound Healing Disorders of Radial Forearm Free Flap Donor Sites Using Cold Atmospheric Plasma: A Proof of Concept. J Oral Maxillofac Surg. 2016 Aug 24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2016.08.011>

**Hartwig S**, Doll C, Voss JO, Raguse JD. Severe tooth loss after root damage caused by predrilled intermaxillary fixation screw: a case report. Dent Traumatol. 2016 Oct 1;32(5):425–7

Pierdzioch P\*, **Hartwig S**\*, Herbst S, Raguse JD, Dommisch H, Abu-Sirhan S, Wirtz H, Hertel M, Paris S, Preissner S. 2016.

„Cold Plasma: A Novel Approach to Treat Infected Dentin-a Combined Ex Vivo and in Vitro Study“. Clinical Oral Investigations, Jan. doi:10.1007/s00784-016-1723-5

Abu-Sirhan S, Hertel M, Preissner S, Wirtz H, Herbst S, Pierdzioch P, Raguse JD, **Hartwig S**.

Bactericidal efficacy of cold plasma in processed bone. A new approach for adjuvant therapy of medication-related osteonecrosis of the jaw? Clinical Plasma Medicine. doi:10.1016/j.cpme.2015.12.001

\* geteilte Erstautorenschaft

Co-Autor

Voss JO, **Hartwig** S, Doll C, Hoffmeister B, Raguse JD, Adolphs N. The „tight orbit“: Incidence and management of the orbital compartment syndrome. *J Craniomaxillofac Surg.* Aug **2016**;44(8):1008–14.

Raguse JD, Czabanka M, Voss JO, **Hartwig** S, Vajkoczy P, Voss P, Doll C. The lower trapezius island myocutaneous flap in tunnelled technique to cover complicated tissue defects located between the craniocervical and cervicothoracic junction following spinal surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* Aug **2016**;44(8):969–72.

Preissner S, Kastner I, Schütte E, **Hartwig** S, Schmidt-Westhausen AM, Paris S, Preissner R, Hertel M. „Adjuvant Antifungal Therapy Using Tissue Tolerable Plasma on Oral Mucosa and Removable Dentures in Oral Candidiasis Patients: A Randomised Double-Blinded Split-Mouth Pilot Study“. *Mycoses*, **2016** Mar. doi:10.1111/myc.12495.

Doll C, Arsenic R, Lage H, Jöhrens K, **Hartwig** S, Nelson K, Raguse JD. **2015**. „Expression of Estrogen Receptors in OSCC in Relation to Histopathological Grade“. *Anticancer Research* 35 (11): 5867–72.

Doll C, **Hartwig** S, Nack C, Nahles S, Nelson K, Raguse JD. **2015**. „Dramatic course of osteomyelitis in a patient treated with immediately placed dental implants suffering from uncontrolled diabetes: A case report.“ *European Journal of Oral Implantology* 8 (4): 405–10.

Hertel M, **Hartwig** S, Schütte E, Gillissen B, Preissner S, Schmidt-Westhausen AM, Paris S, Kastner I, Preissner S. „Identification of Signature Volatiles to Discriminate

Candida Albicans, Glabrata, Krusei and Tropicalis Using Gas Chromatography and Mass Spectrometry". *Mycoses*, **2015** Dec. doi:10.1111/myc.12442.

Preissner S, Wirtz HC, Tietz AC, Abu-Sirhan S, Herbst S, **Hartwig** S, Pierdzioch P, Schmidt-Westhausen AM, Dommisch H, Hertel M. "Bactericidal Efficacy of Tissue Tolerable Plasma on Microrough Titanium Dental Implants: An in-Vitro-Study". *Journal of Biophotonics*, **2015** Sep. doi:10.1002/jbio.201500189.

Raguse JD, Hossamo J, Tinhofer I, Hoffmeister B, Budach V, Jamil B, Jöhrens K, Thieme N, Doll C, Nahles S, **Hartwig** S, Stromberger C. **2015**. „Patient and treatment-related risk factors for osteoradionecrosis of the jaw in patients with head and neck cancer". *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*. doi:10.1016/j.oooo.2015.10.006.

## Anhang

## Datenerfassungsbogen Nachuntersuchung

Patienten ID #	Datum (tt/mm/jjjj)	Patienteninitialien	Behandlerinitialien

Einwilligungserklärung	O ja O nein Klasse:	Läsion 1	Läsion 2	Läsion 3	Läsion 4
Schmerzen in der Vorgeschichte/ aktuell					
Sens. +/-					
Zahnverlust					
avital ohne WKB					
neue WKB					
rö. Reparatur					
rö. Defekt					
Perkussion +					
Perkussion -					
ST bis 2					
ST 3-5					
ST 6+					
LG 0					
LG 1					
LG 2					
LG 3					