

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR MUND-, KIEFER- UND GESICHTSCHIRURGIE
DIREKTOR: PROF. DR. DR. T. E. REICHERT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**ZAHNVERLETZUNGEN BEI MINIPLATTENOSTEOSYNTHESE
AM UNTERKIEFER**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Michael Friedrich

2015

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR MUND-, KIEFER- UND GESICHTSCHIRURGIE
DIREKTOR: PROF. DR. DR. T. E. REICHERT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**ZAHNVERLETZUNGEN BEI MINIPLATTENOSTEOSYNTHESE
AM UNTERKIEFER**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Michael Friedrich

2015

Dekan: Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert

2. Berichterstatter: PD Dr. Stephanie Krifka

Tag der mündlichen Prüfung: 17.02.2016

Meinen Eltern, für die stetige Unterstützung in Liebe und Dankbarkeit gewidmet.

Inhalt

	Seite
1. Einleitung	6
1.1. Inzidenz und Ätiologie von Unterkieferfrakturen	6
1.2. Geschichtlicher Hintergrund der Plattenosteosynthese	7
1.3. Die Anatomie des Unterkiefers	11
1.4. Biomechanik des Unterkiefers	13
1.5. Diagnostik von Unterkieferfrakturen	14
1.6. Klassifikation und Prädilektionsstellen von Unterkieferfrakturen	15
1.7. Frakturheilung	15
1.7.1. Primäre Frakturheilung	16
1.7.2. Sekundäre Frakturheilung	17
1.8. Verfahren der Frakturversorgung	18
1.8.1. Konservative Frakturversorgung	18
1.8.2. Drahtosteosynthese	19
1.8.3. Zugschraubenosteosynthese	20
1.8.4. Miniplattenosteosynthese	22
1.8.5. Funktionsstabile Osteosynthese	24
1.9. Darstellung verschiedener Hersteller von Miniplatten	26
1.10. Zentrale Fragestellungen und Zielsetzung der Arbeit	27
2. Material und Methoden	28
2.1. Datenerhebung und Gewinnung des Kollektivs	28
2.1.1. Gewinnung des Patientenkollektivs mit Unterkieferfraktur und Miniplattenosteosynthese	28
2.1.2. Datengewinnung digitaler Volumetomographien	28
2.2. Auswertungskriterien	29
2.2.1. Auswertung Verletzungsmuster der Zähne nach Miniplattenosteosynthese	29
2.2.2. Messung der Dicke der äußeren Kortikalis unter zu Hilfenahme der Digitalen-Volumen-Tomographie	30
2.3. Statistische Auswertung	32
2.4. Literaturrecherche	32

3. Auswertung	33
3.1. Untersuchtes Kollektiv, Altersverteilung und Geschlechtsverteilung	33
3.2. Verteilung der Frakturlokalisierung	34
3.3. Ursachen der Frakturen innerhalb des Kollektivs	35
3.4. Verteilung der Zahnverletzung	36
3.5. Lokalisation der Zahnverletzung am Unterkiefer	37
3.6. Lokalisation der Zahnverletzung am Zahn	37
3.7. Behandlungsmaßnahmen bei Zahnverletzungen	49
3.8. DVT Auswertung – Vestibuläre Kortikalisdicke des Unterkiefers	40
3.8.1 Untersuchtes Kollektiv, Altersverteilung und Geschlechtsverteilung	40
3.8.2 Statistische Auswertung der vestibulären Kortikalisdicke	40
4. Diskussion	47
5. Schlussfolgerung	53
6. Zusammenfassung	54
7. Literaturverzeichnis	55
8. Danksagung	
9. Lebenslauf	

Abkürzungsverzeichnis

AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
BMP	Bone morphogenetic proteins
CT	Computertomographie
DVT	Digitales Volumetomogramm
Et al.	Lateinische Abkürzung für „et alii“ bzw. „et aliae“ entspricht „und andere“
gr.	Griechisch
IMF	Intermaxilläre Fixation
M.	Musculus
N.	Nervus
UK	Unterkiefer
WSR	Wurzelspitzenresektion
Z.n.	Zustand nach

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Fixierung einer Unterkieferfraktur nach Chopart und Desault
- Abbildung 2: Gunning Splint aus vulkanisiertem Kautschuk
- Abbildung 3: Erste Form der Osteosynthese durch Hansmann
- Abbildung 4: Positionierung von Miniplatten am Unterkiefer
- Abbildung 5: Anatomie des Unterkiefers
- Abbildung 6: Spannungslinien im Unterkiefer
- Abbildung 7: Primäre Knochenheilung
- Abbildung 8: Sekundäre Frakturheilung
- Abbildung 9: Mandibulomaxilläre Fixation
- Abbildung 10: Drahtosteosynthese am Gesichtsschädel
- Abbildung 11: Zugschraubenosteosynthese
- Abbildung 12: Senkrechte Positionierung einer Zugschraube zur Frakturebene
- Abbildung 13: Aussprengung durch Krafteinwirkung der Zugschraube
- Abbildung 14: Röntgenaufnahme einer versorgten Kieferwinkelfraktur
- Abbildung 15: Zahnschädigung durch eine Osteosyntheseschraube
- Abbildung 16: Schraube, Bohrer und Osteosyntheseplatte eines Miniplattensystems
- Abbildung 17: Klassifizierung des Zahnverletzungsmusters
- Abbildung 18: Abbildung Kodak CS 9300
- Abbildung 19: Senkrechte Längenmessung in der axialen DVT Ebene
- Abbildung 20: Geschlechterverhältnis
- Abbildung 21: Verteilung der Frakturlokalisierung
- Abbildung 22: Häufigkeiten der Zahnverletzungen
- Abbildung 23: Verteilung der Zahnverletzungen am Unterkiefer von mesial nach distal
- Abbildung 24: Verteilung der Zahnverletzungen an Hand der Klassifikation
- Abbildung 25: Röntgenologischer Verdacht von Zahnverletzungen
- Abbildung 26: Anzahl der unterschiedlichen Therapien
- Abbildung 27: Überblick der Kortikalisdicke an den Zähnen 38 und 48
- Abbildung 28: Häufigkeitsverteilung der Abstände eines Zahnes in mm zur vestibulären Kortikalis
- Abbildung 29: Mittelwertdarstellung von Kieferwinkelbereich bis Median
- Abbildung 30: Box-Plot-Diagramm zur Darstellung der 385 Messungen von Kieferwinkel bis zum Median-Bereich

Abbildung 31: Positionierung der Miniplatten kranial und kaudal des Nervus alveolaris inferior

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Vor- und Nachteile verschiedener Osteosyntheseformen
Tabelle 2: Hersteller von Miniplattenosteosynthesystemen
Tabelle 3: Gründe und Verteilung von Unterkieferfrakturen
Tabelle 4: Ergebnisse des Chi-Quadrat-Testes
Tabelle 5: Statistische Auswertung nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test
Tabelle 6: Signifikanzberechnung mittels post-Hoc-Test

1. Einleitung

1.1 Inzidenz und Ätiologie von Unterkieferfrakturen

Als exponierter Knochen im Gesicht ist der Unterkiefer besonders oft traumatischen Schädigungen ausgesetzt. Daher ist die Unterkieferfraktur eine der häufigsten Frakturen des Gesichtsschädels. In den Literaturangaben haben die Unterkieferfrakturen an den Gesichtsfrakturen einen Anteil von bis zu 70% [Motamedi, 2007].

Die häufigsten Ätiologien für Unterkieferfrakturen sind Rohheitsdelikte (31,8 % aller Unterkiefer-Frakturen) gefolgt von Stürzen (25,6 %), Fahrradunfällen (9,7 %), Verkehrsunfällen (8,4 %), Sportunfällen (5,2%) und andere Ursachen (19,3%) [Hornung, 2010].

Ziel einer regelrechten, bestmöglichen Versorgung von Frakturen ist eine vorzugsweise frühzeitige und belastungsstabile Frakturheilung. Im Bereich der Kieferfrakturen ist jedoch häufig eine konservative Frakturheilung nicht suffizient möglich. Auf Grund der Mobilität des Unterkiefers kommt es häufig zu Verschiebungen der einzelnen Fragmente, so dass eine Reposition der Fragmente nicht ausreichend gelingt. Gerade bei Mehrfachfragmentfrakturen ist eine richtige Reposition ohne operatives Vorgehen nicht möglich [Pfeiffer et al., 1975]. Durch die Operation sollten die ursprünglichen anatomischen Strukturen wieder hergestellt werden, mit der Zielsetzung einer schnellstmöglichen Funktionswiederherstellung um die unerwünschten Folgen einer langen Inaktivität wie dauerhafte Bewegungseinschränkung im Kiefergelenk oder eine Muskelatrophie zu verringern [Schwenzer, 2002]. Eine Restitutio ad integrum sollte stets oberste Priorität haben.

1.2 Geschichtlicher Hintergrund der Plattenosteosynthese

Wie auch bei anderen Frakturen des Körpers hat es im Bereich der Mittelgesichts- und Unterkieferfrakturen eine Weiterentwicklung der Frakturversorgung gegeben. In den letzten fünf Jahrzehnten konnte mit der Einführung der Miniplattenosteosynthese eine neue Methode der operativen Frakturversorgung gefunden werden. Das Ziel dabei war stets eine Ruhigstellung und Wiederherstellung im Sinne einer Restitutio ad integrum zu erlangen. Die intermaxilläre Fixation war über einen langen Zeitraum die einzige Möglichkeit eine Unterkieferfraktur zu behandeln [Uglešić et al., 1993].

In früheren Jahrhunderten konnte hierbei nur eine Kopf-Kinn-Kappe eine konservative Versorgung und Ruhigstellung ermöglichen. Bei Hippokrates wird die Therapie einer Unterkieferfraktur unter zu Hilfenahme eines Lederriemens, der „Funda hippocratis“ beschrieben [Gahlos, 1984]. Die beiden Chirurgen Chopart F. und Desault P.J. beschrieben 1779 eine Metallschiene die dental getragen und extern fixiert wurde [Hoffmann-Axthelm, 1995] (s. Abb. 1).

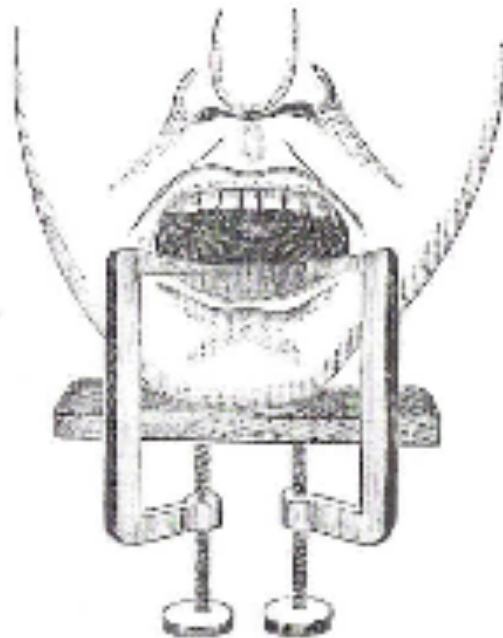


Abbildung 1: Fixierung einer Unterkieferfraktur nach Chopart und Desault

Im amerikanischen Bürgerkrieg kam es 1864 zu einer Weiterentwicklung indem vulkanisierter Kautschuk zur Verwendung kam und ein Splint bei einer beidseitigen Unterkieferfraktur eingeschraubt wurde [Romm, 1986].

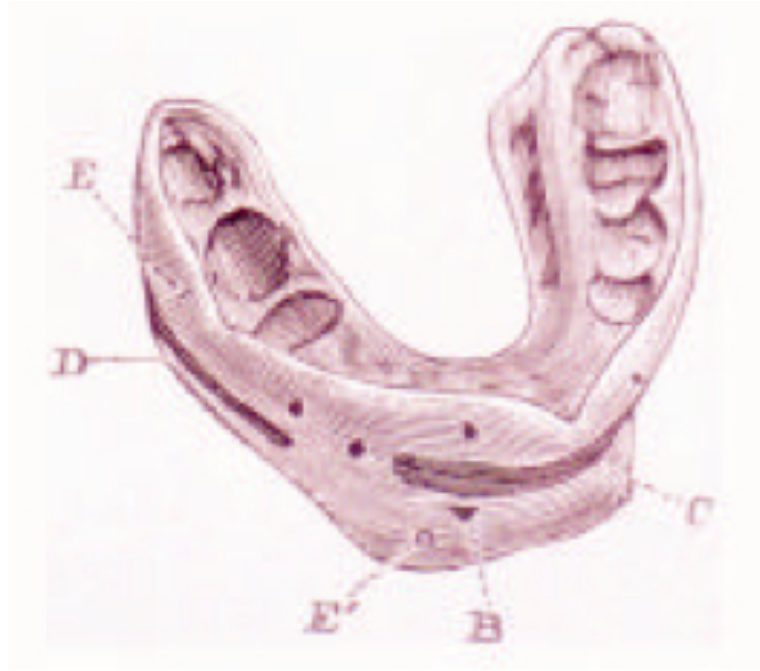


Abbildung 2: Gunning Splint aus vulkanisiertem Kautschuk [Hoffmann-Axthelm,1995]

Nicht zuletzt weil es sich bei dem Patienten um den Staatssekretär von Abraham Lincoln handelte, ging diese von Gunning entwickelte Therapie als Gunning-Splint in die Geschichte ein (s. Abb. 2). Die bei der Befestigung verwendeten Drahtumschlingungen können dabei auch alleine als „circummandibular wiring“ angewandt werden [Krishna, 2013].

Die moderne Plattenosteosynthese fand mit Carl Hansmann ihren Anfang [Werner, 2007]. Dieser gilt als Pionier und Erfinder der Plattenosteosynthese bei der Versorgung von Extremitätenfrakturen und stellte sie 1886 auf der Jahrestagung für Chirurgie in Berlin erstmalig vor [Hansmann, 1886; Luhr, 2000].

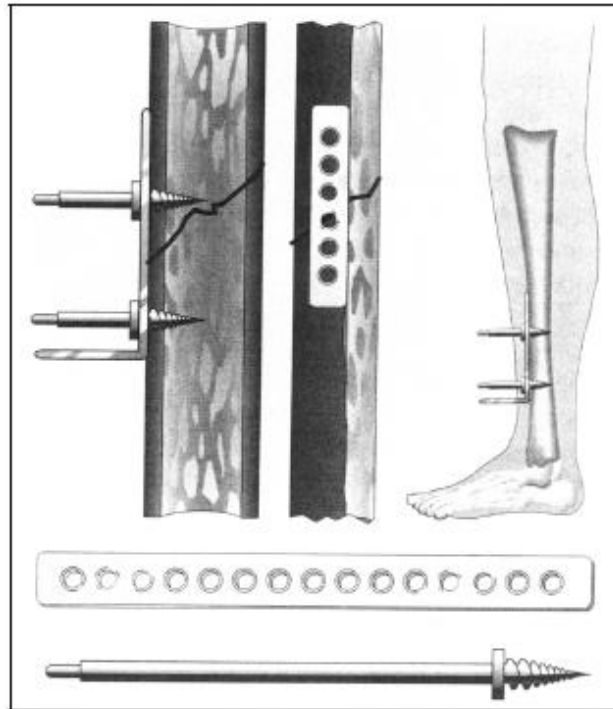


Abbildung 3: Die von Hansmann vorgestellte erste Form der Osteosynthese. Die Legierung bestand aus Nickel, Kupfer und Zinn.

Das Stahlblech wurde dabei extramedullär aufgebracht und die monokortikalen Schrauben von transkutan fixiert (s. Abb. 3).

Dennoch fehlte es auf Grund der mangelnden, suffizienten Therapieformen in der Unfallchirurgie bei vielen Medizinern an Engagement sich mit der Frakturversorgung auseinanderzusetzen: „Der Zudrang zu den Unfallstationen ist bei den klinischen Assistenten sehr gering, da sie wissen, dass sie damit weder für die akademische Laufbahn noch bei der Bewerbung für ein Krankenhaus irgendwelche Aussichten haben.“ [Kuner, 1997]. Bis zur Mitte des 19ten Jahrhunderts stellte die intermaxilläre Fixierung als Maßnahme der Ruhigstellung einer Fraktur im Unterkiefer die übliche Therapie dar [Schuon, 2004].

Durch die schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen – AO - wurde die Osteosynthese (griechisch: Knochenzusammensetzung) in allen Fachgebieten vorangetrieben. Federführend und Weg bereitend waren hierfür Müller M.E., Allgöwer M. und Willenegger H. [Fuchs, 2006]. Diese taten sich zunächst freundschaftlich zusammen und Müller M. hielt am 15.03.1958 erstmalig einen Vortrag zu den „Grundprinzipien der funktionellen Anatomie und der Osteosynthese“ [Schneider, 1969]. Auch durch Luhr H. kam es zu einer Weiterentwicklung der Methodik 1967 indem die erste

Kompressionsosteosynthese mit einer Druckschraubenplatte im maxillofazialen Bereich Verwendung fand [Luhr, 1968].

In den 70er Jahren wurde die Osteosynthese mit der Einführung der monokortikalen Miniplatte revolutioniert. Die Einführung von Miniplatten zur Versorgung von Unterkieferfrakturen geht auf Michelet F. 1973 und Champy M. 1978 zurück und ist als „adaptive Vereinigung reponierter Knochenfragmente durch miniaturisierte Platten, deren Einsatz überwiegend in der operativen Versorgung von Frakturen im Kiefer- und Gesichtsbereich ist“ zu verstehen [Champy, Lodde, 1977] (s. Abb. 4).

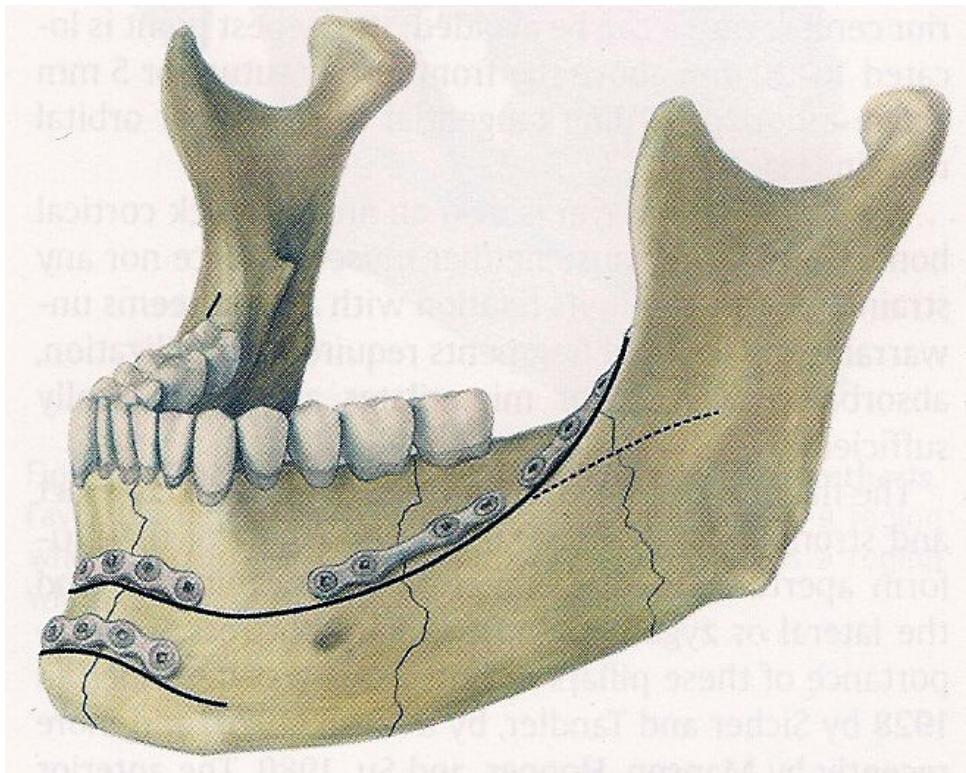


Abbildung 4: Ideale Position von Miniplatten und Osteosyntheselinien am Unterkieferknochen [Härle, Champy, 1999]

1.3 Die Anatomie des Unterkiefers

Der Unterkiefer ist hufeisenförmig mit dem Corpus mandibulae und den beiden paarigen Ramii mandibulae angelegt. Aufgeteilt werden kann der Corpus in eine Basis mandibulae und die Pars alveolaris mit den Zähnen. Diese bildet sich jedoch erst mit dem Durchtritt der Zähne aus und ist bei einem Säugling noch nicht vorhanden [Ulfig, 2002]. Der Unterkiefer ist ein röhrenförmiger Knochen mit einer im Durchschnitt 3,3mm dicken äußeren Kortikalis und zentralem spongiösem Knochen im Zentrum [Härle, 1999; Klaus, 2004].

Den Übergang des Corpus zum Ramus stellt der Angulus mandibulae dar. Kraniale Ausläufer sind der Processus condylaris mit dem Caput mandibulae nach kraniodorsal und der Processus condylaris nach kranioventral, getrennt durch die Inzisura mandibulae [Rohen, Yokochi, 1993]. Auf Höhe des Angulus mandibulae befindet sich auf der Außenseite die Tuberositas masseterica als Ansatzpunkt für den Musculus masseter. Auf der Innenseite ist die Tuberositas pterygoidea als Ansatzpunkt des Musculus pterygoideus medialis [Ulfig, 2002]. Der Angulus mandibulae weist beim Säugling einen stumpfen Winkel von 140 Grad auf. Beim Erwachsenen ist ein Winkel von 120 Grad zu messen. Beim greisen zahnlosen Erwachsenen kann der Winkel erneut auf 140 Grad ansteigen. Am Übergang des Corpus mandibulae zum Ramus mandibulae flankiert auf der Innenseite die Lingua mandibulae das Foramen mandibulae, welches den Eintritt des sensiblen Nervus mandibulae in den Canalis mandibularis darstellt.

An der ventralen Spitze des Unterkiefers befindet sich das Kinn mit der Protuberantia mentalis. Nach lateral versetzt liegt kaudal der Apices des ersten und zweiten Prämolaren das Foramen mentale durch welches der Endast des Nervus alveolaris inferior als Nervus mentalis hervortritt [Rohen, Yokochi, 1993; Platzer, 2011]. Dieser stammt aus dem Nervus trigeminus, dem fünften Gehirnnerv und bildet als Nervus mandibularis den dritten Ast. Das dazugehörige Blutgefäß ist die Arteria mentalis aus der Arteria alveolaris inferior [Rohen, Yokochi, 1993] (s. Abb. 5).

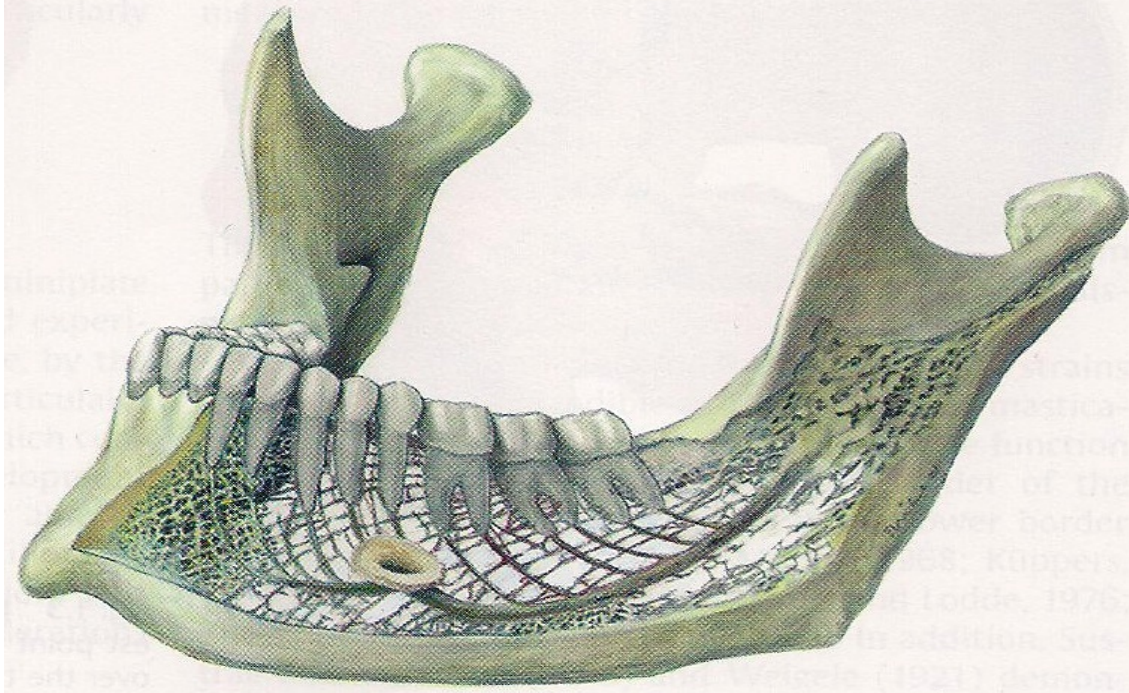


Abbildung 5: Darstellung des Unterkiefers nach Entfernung der inneren und äußeren Kortikalis, sowie des N. mandibularis und seiner Abzweigungen [Härle, Champy, 1999].

1.4 Biomechanik des Unterkiefers

Im kranialen Anteil des Corpus mandibulae verläuft die Zugzone, im kaudalen Teil die Druckzone [AO-Prinzipien 1987]. Durch die unterschiedlich gerichteten Kräfte ist die Dicke der äußeren Knochenschicht, die Kompakta, im Kieferwinkel dünner und nimmt in Richtung des Corpus zu [Heibel, 2001] (s. Abb. 6).

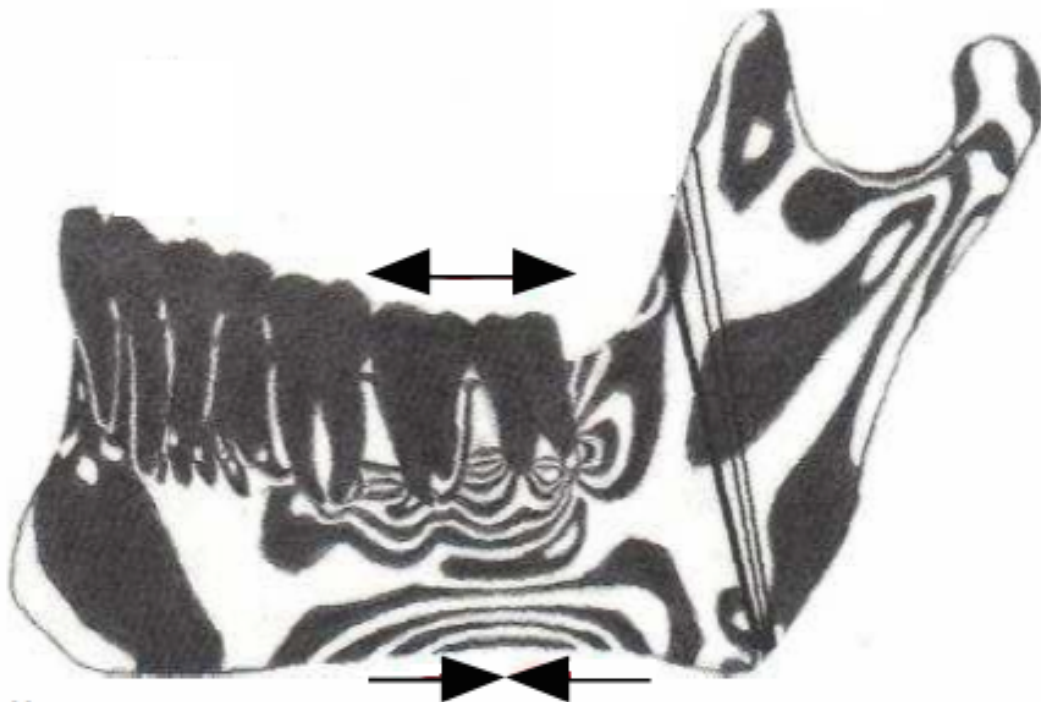


Abbildung 6: Verlauf der Spannungslinien im Unterkiefer. Krestal ist die Zugzone oberhalb der Zähne, kaudal des Unterkiefers die Druckzone in Pfeilrichtung markiert [Hausamen, 1995]

Das Kiefergelenk ist ein Dreh- und Gleitgelenk, dabei ist der Unterkiefer mit einer Muskelschlinge aufgehängt. Bei Kaubewegungen entstehen nun Druck- und Zugzonen, die sich entlang von Spannungslinien ausrichten. Zwischen diesen beiden Zonen verläuft annähernd der Canalis mandibulae. Die durchschnittliche Kaukraft liegt bei etwa 50-80 N. Die Spitzenkräfte treten hierbei beim männlichen Geschlecht mit 750 N im Molarenbereich und beim weiblichen Geschlecht mit 500 N auf [Schuon, 2004; Rahn, 1975]. Die starken Kräfte bewirken auch bei „maximaler Öffnung des Mundes eine Verengung von 0,7 mm, bei Protrusion sogar um bis zu 1 mm“ [Schwenzer, Ehrenfeld, 2000].

1.5 Diagnostik von Unterkieferfrakturen

Bei der klinischen Untersuchung werden direkte und indirekte Frakturzeichen unterscheiden. Indirekte Frakturzeichen sind Schwellung, Hämatome und Bewegungseinschränkungen, direkte Frakturzeichen sind Krepitationen, eine pathologische Beweglichkeit, eine Dislokation oder sichtbare Knochenfragmente. Spezifische Symptome für eine Unterkieferfraktur können ein Mundbodenhämatom, eine Okklusionsstörungen wie zum Beispiel ein Kreuzbiss, offener Biss oder ein Frühkontakt sein [Eckelt, 2000]. Weiterhin ist eine Sensibilitätsstörungen des N. mandibularis hinweisend auf eine Unterkieferfraktur. Zu den röntgenologischen Standarduntersuchungen gehören eine Panoramaschichtaufnahme und eine weitere Bildgebung in einer zweiten Ebene wie eine Unterkieferübersichtsaufnahme nach Clementschitsch [Eckelt, 2000; Rasse, 2000].

Eine Erweiterung in der zahnärztlichen und kieferchirurgischen Diagnostik erfolgte mit Einführung des ersten digitalen Volumtomographen 1998. Diese dreidimensionalen Röntgentomographen unterscheiden sich von den konventionellen Computertomographen (CT) in einer energieeffizienteren Röntgenröhre und zum anderen in einem Konusstrahlverfahren. Dabei wird ein dreidimensionales, kegelförmiges Röntgenstrahlbündel erfasst und nicht wie bei einem Computertomographen ein fächerförmiges, zweidimensionales Strahlenbündel [Hashimoto et al., 2006].

Die in den letzten Jahren an immer mehr Kliniken und Praxen angebotene DVT-Untersuchung übertrifft die Darstellungsmöglichkeiten der CT. Sie ist eine dreidimensionale, röntgenologische Untersuchung mit geringerer Strahlenbelastung als herkömmliche CT-Untersuchungen. Die Strahlenexposition ist abhängig von dem verwendeten Gerät und Fragestellung. Im Mittel besteht bei einem DVT-Gerät eine effektive Dosis von $221 \pm 275 \mu\text{Sv}$, bei einem CT von $847 \pm 313 \mu\text{Sv}$ nach ICRP 2007 [Ludlow und Ivanovic, 2008; ZWP online, 2013].

Aktuell stellt das DVT das höchstauflösendste dreidimensionale Röntgenverfahren dar [Hirsch, 2003]. „Für kleinere Volumina gibt es auch bereits DVT-Geräte, die im Vergleich zum CT (1 Lp/mm) eine wesentlich höhere Ortsauflösung von bis zu 4 Lp/mm ermöglichen.“ [Schulze R., 2008]. Ein weiterer Vorteil der DVT im Vergleich zur konventionellen CT besteht in der Reduzierung von Artefakten durch Metalle im Unterkieferbereich [Pasler, 2003]. Auf Grund der hohen Auflösung können Zahnschädigungen sehr deutlich und in allen Ebenen in der DVT nachgewiesen werden.

1.6 Klassifikation und Prädilektionsstellen von Unterkieferfrakturen

Eine Einteilung erfolgt nach anatomischen und klinischen Kriterien. Die Anatomie des Unterkiefers stellt Prädilektionsstellen für Frakturen dar. Dabei kommen häufig Mehrfachbrüche vor. Meist frakturiert der Unterkiefer an typischen Schwachstellen wie dem Gelenkfortsatz, an Stellen mit retinierten Zähnen, langen Zahnwurzeln oder pathologischen Befunden wie z.B. Zysten [Horch, 1997]. Man unterscheidet hierbei Capitulum-, Collum-, Kieferwinkel-, paramediane, mediane, und Alveolarfortsatzfrakturen [Schweitzer et al, 1980; Lindahl, 1977]. Die Schwachstellen sind dabei durch Collumfrakturen mit dem grazen Gelenkkopf, der Kieferwinkel, welcher häufig durch die Dickenabnahme in Kombination mit retinierten Weisheitszähnen eine Prädilektionsstelle darstellt. Die Eckzahnregion ist durch den Punkt der stärksten Biegung der Knochenspange gefährdet. Die häufigste Bruchlokalisation liegt im Bereich des Collums mit 35,6 %, gefolgt von der Symphysenregion mit 23 %, des Kieferwinkels mit 20,3 % und zuletzt von den Corpusfrakturen mit 15,2% [Hornung, 2010].

1.7 Frakturheilung

Knochengewebe ist eine besonders harte Form des Binde- und Stützgewebes. Knochen ist ein gut durchblutetes Gewebe, welches nach Unterbrechung der Kontinuität auf Grund eines dynamischen Umbauprozesses zur vollständigen Regeneration fähig ist [Welsch, 2003]. Während der Frakturheilung laufen komplexe, reparative Vorgänge ab, welche ein Zusammenspiel verschiedener Zellen histogenetischer Abstammung bedingen. Sie ist kein statischer Prozess, sondern wird heute als dynamischer Vorgang verstanden, der von einer mechanischer Belastung abhängt [Dibbets, 1992; Lammens, 1998]. Es kommt zu reaktiven Veränderungen wie Entzündung, Reparatur und Wiederherstellung des Knochens [Simmons, 1985; Trifflet, 1987]. Makroskopisch und mikroskopisch kann dabei die primäre und die sekundäre Frakturheilung unterschieden werden.

1.7.1 Primäre Frakturheilung

Stehen die beiden Frakturrenden in stabiler anatomischer Verbindung und lagern sich unter Druck aneinander, kommt es zur Frakturheilung ohne Kallusbildung [Willenegger et al, 1971]. Diese Form der Frakturheilung wird auch als direkte oder Kontaktheilung bezeichnet (s. Abb. 7). Bei der Kontaktheilung kommt es zu keiner Einsprossung von Blutgefäßen [Willenegger, 1971]. Sogenannte „cutting cone“ Osteoklasten sprossen in das gegenüber liegende Fragment ein. Ein Resorptionskanal – Harvard Kanal – aus gefäßreichem Mesenchym und Osteoblasten bildet sich aus, welcher im Verlauf mit Osteoid ausgekleidet wird [Gutwald et al, 2003]. Es entsteht neuer lamellärer Knochen ohne den Zwischenschritt von Knorpel und Geflechtknochen.

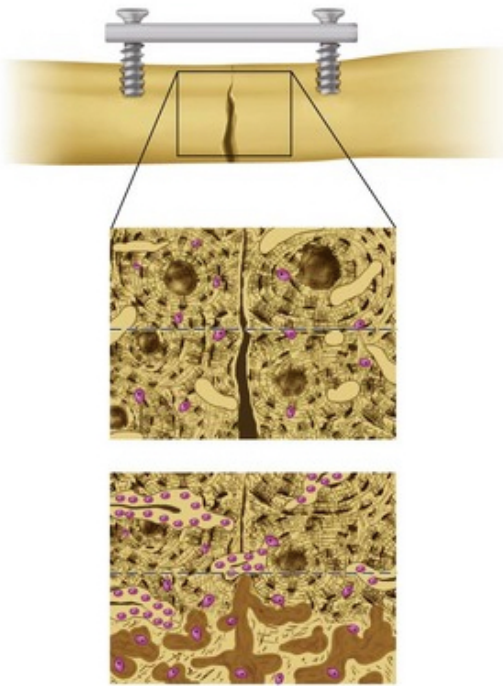


Abbildung 7: Intakte Fragmente mit einer guten Durchblutung und exakter Aneinanderlagerung regenerieren als primäre Knochenheilung [Ashish, Vasiliki, 2015]. Die Distanzgrenze für die primäre Knochenheilung liegt bei 0,2-0,5 mm [Schenk et al, 1977].

1.7.2 Sekundäre Frakturheilung

Die sekundäre Frakturheilung erfolgt, wenn die beiden Frakturenden sich nicht direkt aneinander lagern und ein Spalt zwischen beiden Enden bestehen bleibt. Bei größeren Spaltbildungen über 0,5 mm [Schenk et al, 1977], bei unzureichender Frakturimmobilisation oder durch instabile Osteosyntheseverfahren wird die Frakturheilung auch als indirekte Knochenheilung bezeichnet. Es entsteht direkt im Anschluss an das Frakturereignis ein Frakturhämatom [Rüter et al, 2003]. Es kommt zur Auffüllung des Frakturspalt mit Füll- oder Ersatzgewebe, welches später zu Knochengewebe umgebaut wird [Chao et al, 1989]. Undifferenzierte mesenchymale Zellen sprossen aus dem umliegenden Gewebe ein und Fibroblasten füllen den Frakturspalt auf. Die undifferenzierten Mesenchymzellen werden unter dem Einfluss von bone morphogenetic proteins (BMP's) in Osteoblasten umgebildet, welche Osteoid produzieren [Teitelbaum, Ross, 2003]. Zellen aus dem Periost bilden eine unreife Knochen- und Knorpelmatrix, auch Kallus genannt [Bohndorf, 2006; Gutwald, 2003]. Das Osteoid verkalkt und bildet einen vorläufigen Kallus. Nach etwa vier Wochen baut sich der Geflechtknochen über Wochen und Jahre zu lamellären Knochen um [Gutwald, 2003] (s. Abb. 8).

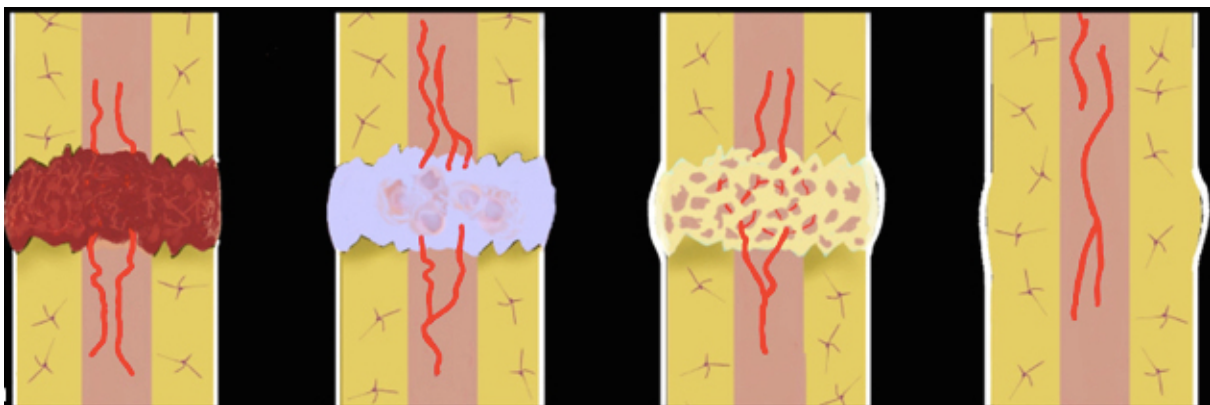


Abbildung 8: Sekundäre Frakturheilung in der Reihenfolge der initialen Phase mit Bildung eines Frakturhämatoms, der Entzündungsphase mit weiterer Ausbildung eines bindegewebigen Kallus, Aushärtung des Kallus und der Remodelling-Phase [Niethard et al, 2014]

1.8 Verfahren der Frakturversorgung

Eine Frakturversorgung hat die Wiederherstellung der Funktion durch sichere Knochenbruchheilung in korrekter Stellung zum Ziel. Um eine optimale Frakturheilung zu erreichen stehen eine konservative Therapie sowie die operative Intervention zur Verfügung. Ob eine Fraktur des Unterkiefers entweder konservativ, operativ oder durch beide Methoden behandelt wird ist von dem Allgemeinzustand, der Frakturlokalisation, den umgebenden Begleitverletzungen und dem Zustand des Gebisses abhängig [Horch, Herzog 1997].

1.8.1 Konservative Frakturversorgung

Unter einer konservativen Therapie werden alle Maßnahmen zusammengefasst die eine Ruhigstellung der Fragmente ermöglichen, ohne einen operativen Eingriff notwendig zu machen. Hier ist eine suffiziente Compliance des Patienten von großer Bedeutung [Chan, Demuth, Miller, Jastak, 1984].

Bei dieser Form der Frakturversorgung ist eine exakte Reposition der dislozierten Knochenfragmente nur eingeschränkt möglich, daher kann dieses Verfahren nur bei nicht oder minimal dislozierten Knochenfragmenten angewendet werden. Ebenso kann eine konservative Versorgung erfolgen, wenn eine dislozierte Fraktur zufriedenstellend manuell reponiert wird [Austermann, 2002]. Die Ruhigstellung kann nur durch eine mandibulo-maxilläre Immobilisation erfolgen und sollte 3-4 Wochen betragen [Austermann, 2002].

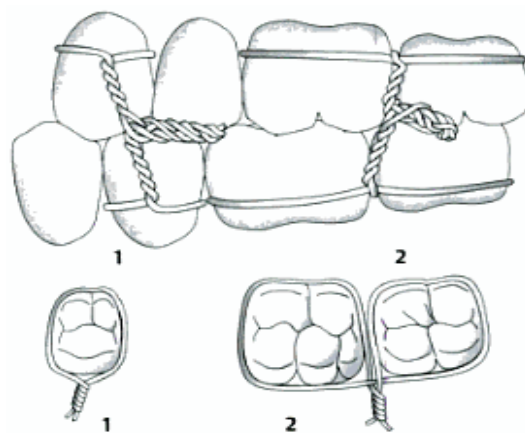


Abbildung 9: Drahtligatur um einen einzelnen Zahn (1) und Ernst'sche Achterligaturen zur Stabilisierung einer Fraktur (2) [Schwenzer, Ehrenfeld, 2002]

Gerade bei einer eingeschränkten Immobilisation der Fraktur kommt es zu einer sekundären Frakturheilung über die Bildung eines „Kallus“ [Luhr et al, 1975; Schwenger, Ehrenfeld, 2002].

Die einfachste Form der Fixierung ist hierbei die Achterligatur nach Ernst (s. Abb. 9). Eine Erweiterung ist die Obwegeser-Stout-Schienung um mehrere Zähne. Die Schuchardt-Schiene wird auch heute noch an vielen Kliniken angewandt und ist eine Drahtbogen-Kunststoffschiene, welche vorgeformt mit Kunststoff an den Zähnen befestigt und ebenso zwischen Maxilla und Mandibula mit Gummiligaturen umschlungen wird [Horch, 1997].

Zur operativen Versorgung steht heute eine Vielzahl an Therapiemöglichkeiten und Osteosynthesematerial zu Verfügung. Hier ist die Drahtosteosynthese, die Zugschraubenosteosynthese, die Plattenosteosynthese und die Miniplattenosteosynthese zu nennen.

1.8.2 Drahtosteosynthese

Die Drahtosteosynthese ist eine der ältesten Formen und universales Mittel zur Versorgung von Frakturen [Gabka, 1975]. Sie ist ein einfaches und vielfach einzusetzendes Verfahren. Es werden Bohrlöcher für die Aufnahme von Drähten geschaffen, der Stahldraht hindurchgeführt und die beiden Enden miteinander verdreht. Auf Grund der geringen Stabilität in funktionell belasteten Gebieten und der Entwicklung weiterer Osteosyntheseformen hat diese Form der Ruhigstellung an Bedeutung verloren [Krüger, 1993]. Schwenger konnte in einer experimentellen Studie die Instabilität der Drahtnaht bei Unterkieferfrakturen nachweisen [Luhr, 1968]. Sie kann dann zum Einsatz kommen, wenn einzelne Knochenfragmente ohne Belastung fixiert werden sollen [Schwenger, Ehrenfeld, 2002] oder bei Kleinkindern die Gefahr der Verletzung von wichtigen Nachbarstrukturen auf Grund der engen Lagebeziehung wie z.B. der Zahnkeime, eine Osteosynthese nur sehr schwer möglich machen würde [Krishna et al., 2013] (s. Abb. 10).

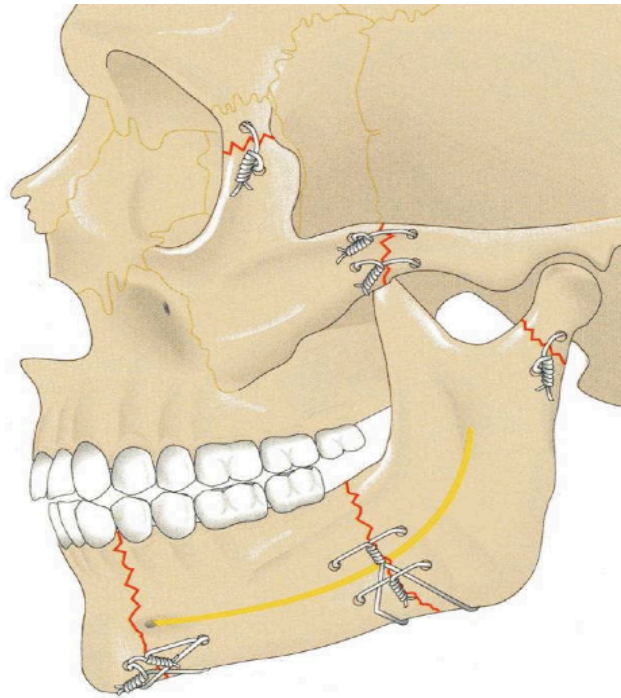


Abbildung 10: Operative Frakturversorgung durch Draht. Diese Form der Versorgung ist instabil [Hansmann, 1896]

1.8.3 Zugschraubenosteosynthese

Erstmalig stellte Brons 1970 die Zugschraube bei der Behandlung einer Fraktur im Unterkiefer vor [Brons, 1970]. Die übungsstabile Form der Osteosynthese ermöglicht es Kompression auf den Frakturspalt zu bringen. Dabei wird in dem proximalen Bohrloch ein Durchmesser gewählt, welcher größer als der Außendurchmesser des Gewindes der verwendeten Schraube ist. Dieses so genannte „Gleitloch“ erfährt nur durch den Schraubenkopf seine entsprechende Krafteinwirkung [Niederdelmann, 1980]. Das weiter entfernte, distale Fragment wird entsprechend dem Durchmesser der Schraube gebohrt und als Gewindeloch bezeichnet [Niederdelmann, 1980]. Sind die Fragmente in ihrer Stellung regelhaft repositioniert worden, zum Beispiel mit einer Repositionszange und die Okklusion durch eine Schuchardt- oder Obwegeser-Stout-Schienung gesichert, kann die Zugschraube eingebracht werden. Die Fragmente nähern sich einander an und werden unter Kompression angelagert. Eine Frakturheilung erfolgt zum einen über die primäre Knochen-, jedoch auch über die sekundäre Frakturheilung [Luhr, Maerkes, 1975] (s. Abb. 11).

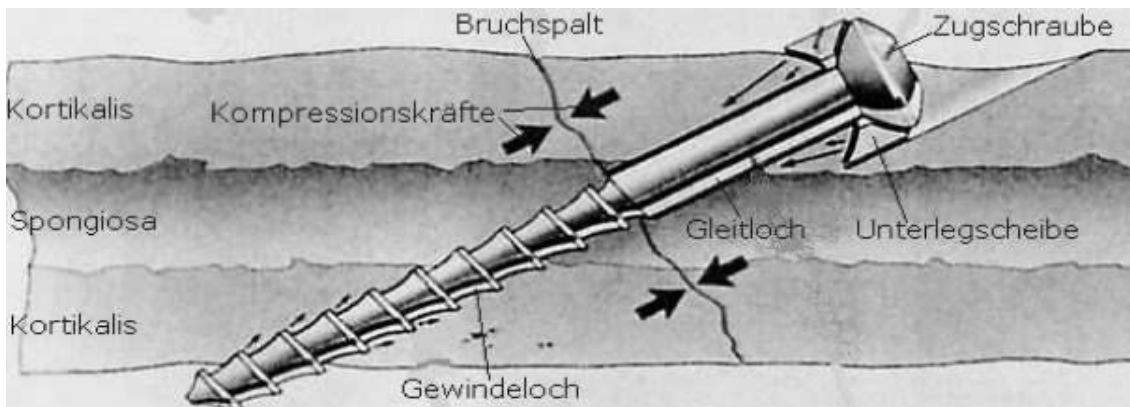


Abbildung 11: Prinzip der Zugschraube. Kompressionskräfte wirken senkrecht auf die Bruchspaltebene. [Krenkel, 1994]

Aufgrund des dünnen Knochens des Mittelgesichts sind Zugschrauben in der Mundkiefergesichtschirurgie allerdings nur eingeschränkt einsetzbar. Diese erfolgt vor allem bei der Osteosynthese einer Unterkieferfraktur (s. Abb. 12) oder auch in der Versorgung einer Kinnplastik [Härle, 1999].

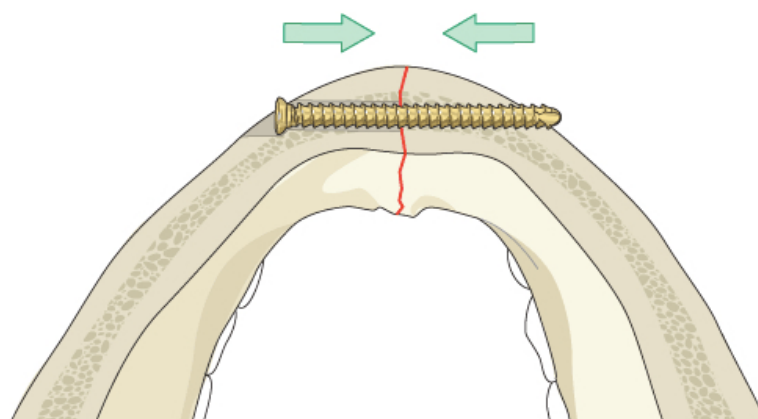


Abbildung 12: Ideale Positionierung einer Zugschraube senkrecht zur Frakturebene am Beispiel einer medianen Unterkieferfraktur [Cienfuegos et al, 2008]

Ein großes Problem ist die notwendige bikortikale Verschraubung und die damit einhergehende hohe Gefahr der Verletzung von wichtigen Nachbarstrukturen wie dem Nervus alveolaris inferior oder von Zahnwurzeln [Krenkel, 1994]. Ein weiteres, aber relevantes Problem besteht in dem Prinzip der Zugschraube, welche viel Kraft aufnehmen muss und diese auf sehr kleiner Fläche auf den Knochen einwirkt. Dieser kann dabei selbst Schaden nehmen und im proximalen Gleitloch durch Eindrehen eines sphärischen Schraubenkopfes splintern [Krenkel, 1994] (s. Abb. 13).

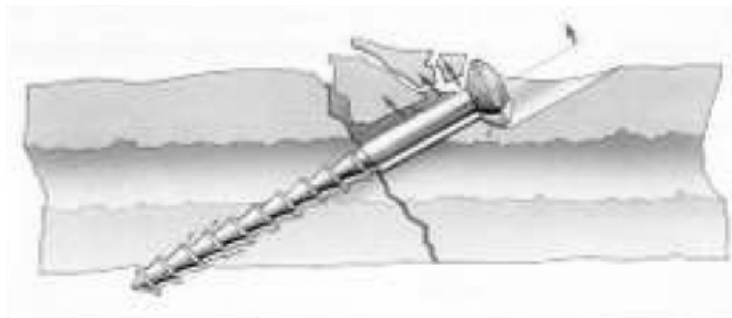


Abbildung 13: Aussprengung kortikaler Fragmente am proximalen Fraktursegment [Krenkel, 1994]

1.8.4 Miniplattenosteosynthese

Experimentelle Arbeiten und klinische Erfahrungen haben gezeigt, dass die Versorgung von Frakturen im Mittelgesichts- und Unterkieferbereich durch Miniplatten stark genug ist, den auftretenden Kaukräften entgegenzuwirken [Härle 1999].

Die bei der Plattenosteosynthese verwendeten Schraubensysteme bieten den Vorteil der Vermeidung von Stichverletzungen für den Operateur im Gegensatz zu einer Therapie mit Drahtligaturen [Maurer, 2004]. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass eine exakte Reposition der Fragmente einer der wichtigsten Faktoren zur Stabilisierung einer Fraktur ist [Piffk, 2003]. Dabei erreicht eine monokortikale Schraubenfixierung nicht die Stabilität einer bikortikalen Schraubenosteosynthese, welche den Unterkiefer in seiner gesamten Breite erfasst [Michel, 1995]. Die Wahrscheinlichkeit der Zahnverletzung ist jedoch durch die Verwendung von kurzen Bohrern und Schrauben von 5-7mm Länge geringer [Langenbeck's, 1997; Gerlach, 1980; Gschoßmann, Schilli, 1998]. Ziel der Miniplattenosteosynthese ist es, innerhalb des frakturierten Kiefers, eine frühzeitige und belastungsfähige Stabilität im

Frakturspalt zu erreichen und somit eine optimale Voraussetzung für die Osteogenese zu schaffen [Piffk, 2003]. Das Prinzip besteht in der monokortikalen Osteosynthese von 1,5 – 2 mm Osteosyntheseplatten exakt im Bereich der Zugzone. Um ein Aufbiegen der Fraktur zu verhindern, werden die Miniplatten im basalen Bereich des Alveolarfortsatzes, dem Gebiet der größten Zugspannung angebracht [Horch, 1997]. Champy und Mitarbeiter stellten fest, dass ein Abstand von der Okklusionsebene von mindestens der dreifachen Höhe der Zahnkrone einzuhalten ist [Champy, 2004].

Im Bereich der Druckzone, dem basalen Teil des Unterkiefers, wird durch die ansetzende Muskulatur eine ausreichende Stabilisierung erzielt und durch die Plattenosteosynthese ein Aufbiegen der Fraktur verhindert [Champy, 1977]. Zwei Platten sind nur dann erforderlich, wenn gleichzeitig Torsionskräfte auftreten [AO-Prinzipien, 1987]. Dies ist vor allem in der Front im Bereich der Kinnbogenregion mesial der Prämolaren der Fall [Horch, 2007]. Im Bereich des Kieferwinkels ist eine Osteosyntheseplatte im Bereich der Linea obliqua ausreichend (s. Abb. 14).



Abbildung 14: Kieferwinkelfraktur mit einer Miniplatte in Lokalisation der Zugzone der Linea obliqua

Das bedeutet, Miniplatten werden nicht am Unterkieferrand sondern im basalen Bereich des Alveolarfortsatzes platziert. Das Ziel ist keine interfragmentäre Kompression wie bei der Dynamic Compression Plate (DCP, Spann-Gleitloch-Platte, 2,4 – 2,7 mm) Versorgung. Auch

die Größe gestattet in der Regel immer den intraoralen Zugang. Auf Grund der grazilen Gestaltung ist das Ausmaß von Zirkulationsstörungen mit retrograder Thrombosierung auf der Knochenoberfläche unter der Platte geringer gegenüber einer massiven funktionsstabilen Osteosyntheseplatte [Schuon, 2004; Gerlach, 2002, Gunst, 1982]. Nachteile bestehen bei komplexen Frakturen. Instabilität und Infektionsanfälligkeit sind häufiger bei fehlender Funktionsstabilität [Schuon, 2004; Dichard, 1994; Joos, 1999]. Trotz einer kurzen Eindringtiefe der Osteosyntheseschrauben kann es zu einer direkten Verletzung der Zähne oder indirekter Verletzung der apikalen arteriellen und nervalen Versorgung kommen (s. Abb. 15).

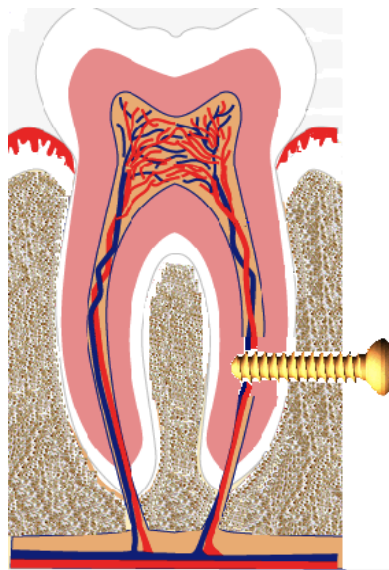


Abbildung 15: Direkte Zahnschädigung im mittleren Wurzeldrittel durch eine Osteosyntheseschraube mit Beteiligung der Zahnhartsubstanz und Pulpa.

1.8.5 Funktionsstabile Osteosynthese

„Dient eine Osteosynthese nur der Retention, ist sie funktionsstabil, dient sie gleichzeitig der Retention und Fixation, ist sie übungs- und funktionsstabil“ [Schwenzer, Ehrenfeld, 2002]. Funktionsstabile Osteosyntheseformen kommen bei ausgedehnten Trümmerfrakturen zum Einsatz [Luhr, 1972]. Ein wichtiges Einsatzgebiet besteht auch in der Tumorchirurgie mit der Überbrückung von fehlenden Teilen des Unterkiefers. Zur erneuten Wiederherstellung des Unterkiefers können dabei Transplantate wie zum Beispiel aus dem Beckenkamm oder der

Fibula entnommen und an der funktionsstabilen Osteosyntheseplatte fixiert werden. Auch bei stark atrophem Unterkiefer oder gering bezahntem Unterkiefer wird diese Form der Versorgung gewählt. Bei geringem Knochenangebot und geringer Anlagerungsfläche favorisieren Kuser, Krebs und Kunz große Osteosynthese- beziehungsweise Rekonstruktionsplatten [Kuser, 1997; Krebs, 1988; Kunz et al 2001].

Die funktionsstabile Osteosynthese erfordert die bikortikale Verschraubung von Platte und Unterkiefer. Sie muss am unteren Rand dessen angebracht werden um eine Verletzung des Nervus alveolaris inferior zu vermeiden [Horch, 1997]. Auf Grund der Plattendicke muss in der Regel ein extraoraler Zugang gewählt werden mit ästhetischer Kompromittierung durch Narbenbildung oder Verletzung des Nervus facialis [Howardt, 2002]. Die Tabelle 1 fasst die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Osteosyntheseverfahren noch einmal übersichtlich zusammen.

Formen der Osteosynthese	Vorteile	Nachteile
Drahtschienung	<ul style="list-style-type: none"> - Einfaches Vorgehen - Durchführung in örtlicher Betäubung 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Funktion des Kiefers möglich - Unzureichende Ruhigstellung - Verletzungsgefahr des Operateurs
Zugschraube	<ul style="list-style-type: none"> - Gleitlöcher bewirken Kompression - Stabile Versorgung - Sofortige Funktion 	<ul style="list-style-type: none"> - Seltene Indikation - Fragmentdislokation bei Bohrung möglich - Gefahr der Nervenläsion
Miniplattenosteosynthese	<ul style="list-style-type: none"> - Grazeile Versorgung in der Zugzone - Leicht an Unterkieferform adaptierbar - Geringe Dislokationsmöglichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine interfragmentäre Kompression - Bei komplexen Frakturen Instabilität und höheres Infektionsrisiko - Keine Versorgung von Defektfrakturen
Funktionsosteosynthese	<ul style="list-style-type: none"> - Stabiles System auf Grund Dicke der Platten - Sofortige Funktion möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Vor allem extraoraler Zugang notwendig - Gefahr der Nervenläsion - Anbiegen schwierig

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Osteosyntheseversorgungen

1.9 Darstellung verschiedener Hersteller von Miniplatten

Anfänglich wurde zur Herstellung von Platten und Schrauben Vitallium - eine Kobalt, Chrom, Molybdän-Legierung - verwendet [Luhr, 1968]. Hierbei traten jedoch erhebliche Nebenwirkungen durch Korrosion mit Wundinfektionen bis hin zur Osteomyelitis auf [Luhr, 2000]. Diese Legierung wurde mit der Zeit durch korrosionsstabile, hochwertige Titanlegierungen oder Reintitan ersetzt [Acero et al., 1999] (s. Abb. 16).

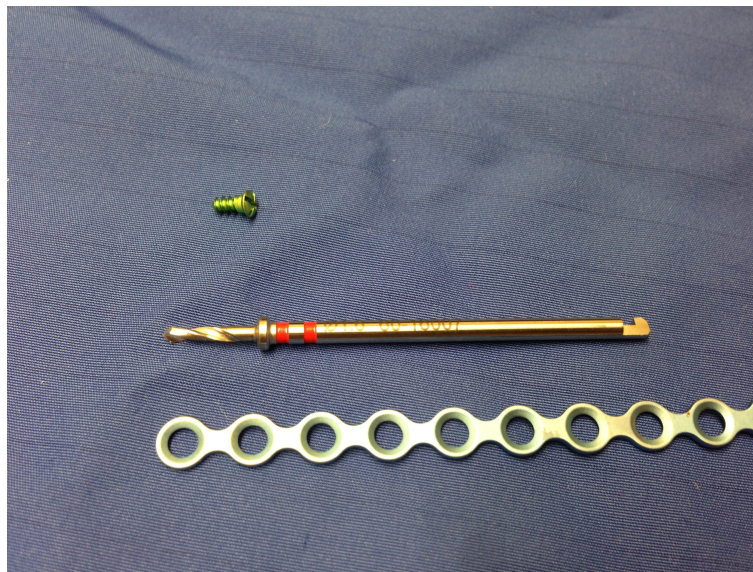


Abbildung 16: Miniplatte mit Bohrer und Osteosyntheseschraube der Firma Stryker

Mittlerweile können Miniplatten von unterschiedlichen Herstellern bezogen werden (s. Tab. 2). Eine Vielzahl an Herstellern wie zum Beispiel KLS Martin oder Synthes bieten unterschiedliche Platten-Schrauben-Profile in verschiedenen Längen und Formen für unterschiedlichste Lokalisationen [Synthes; KLS Martin] an. Die Angaben von 1.5 oder 2.0 mm beziehen sich dabei stets auf den Gewindedurchmesser der Osteosyntheseschrauben. Die Platten selbst können mit Schneidezangen gekürzt und mit Biegezangen der Kontur des Knochens angepasst werden.

Hersteller	Bohrerlänge	Schraubenlänge
KLS Martin 2.0 Mini	5, 7, 9, 11mm bis Stop	4, 5, 6, 7, 9, 11, 13 mm
Synthes 2.0 Lock Mandible	4, 6, 8, 12 mm bis Stop	6 – 12 mm
Stryker 2.0 Mandible Fracture Module	7 und 35 mm	4 – 20 mm
Medartis Modus 2.0	7, 10, 20, 25 mm bis Stop	4 – 23 mm

Tabelle 2: Übersicht der geläufigsten Hersteller von Miniplattenosteosynthese-Systemen

1.10 Zentrale Fragestellungen und Zielsetzung der Arbeit

Patienten mit Unterkieferfraktur werden heutzutage mit den oben beschriebenen Behandlungsverfahren versorgt. Dabei stellt die Miniplattenosteosynthese eine gängige Therapieform dar. Driemel et al. haben 2005 erstmals auf Zahnverletzungen nach Plattenosteosynthese am Unterkiefer hingewiesen und eine Klassifikation entwickelt, die letztendlich die weitere Therapie, die Komplikationsrate und die Wahrscheinlichkeit des Verbleibs des betroffenen Zahnes bestimmt.

In dieser Studie sollte in einem ersten Kollektiv (n=488) evaluiert werden, in welcher Häufigkeit es überhaupt zu Zahnverletzungen nach Miniplattenosteosynthese bei Unterkieferfrakturen kommt und in welcher Häufigkeit diese dann versorgt werden mussten.

Um eine Aussage über die Zahnstellung im Unterkiefer vor einer Osteosyntheseversorgung zu tätigen, stellt sich die Frage, ob mit Hilfe einer dreidimensionalen Bildgebung eine präventive Aussage über die äußere (vestibuläre) Dicke der Kortikalis des Unterkiefers bis zu den darin liegenden Zähnen getroffen werden kann. Daher wurde in einem zweiten Patientenkollektiv (n=32) erstmals die Dicke der vestibulären Kortikalis am Apex jedes einzelnen Zahnes am Unterkiefer mittels digitaler Volumentomographie (DVT) bestimmt um in die Überlegung einzusteigen, ob zukünftig die Wahl der Bohrer- bzw. Schraubenlänge von der Lokalisation der Verletzung abhängen könnte.

2. Material und Methode

2.1 Datenerhebung und Gewinnung des Kollektivs

2.1.1 Gewinnung des Patientenkollektivs mit Unterkieferfraktur und Miniplattenosteosyntheseversorgung

Zur Gewinnung des ersten Patientenkollektivs wurden anhand der Computerdatenbank der beiden Universitätskliniken Würzburg (1990-2000) und Regensburg (2000-2006) alle Patienten ermittelt, die eine Unterkieferfraktur erlitten hatten und mit einer Miniplattenosteosynthese versorgt wurden. Von diesem resultierenden Datensatz wurden retrospektiv alle vorhandenen postoperativen Röntgenbilder erneut evaluiert und diejenigen Patienten herausgefiltert, bei denen röntgenologisch Hinweise auf eine Zahnschädigung vorlagen.

Die daraus resultierenden Patienten (n=488, Würzburg n=380 und Regensburg n=108) sind das Studienkollektiv. Diese Patienten wurden einbestellt und mittels Perkussionstest, Vitalitätsprobe der Zähne nachuntersucht. Bei negativer Vitalitätsprobe wurde zusätzlich eine Röntgenkontrollaufnahme (Zahnfilm oder Panoramaschichtaufnahme) durchgeführt. Von den Patienten, bei denen eine Röntgenkontrollaufnahme durchgeführt wurde (n=43), erfolgte darüber hinaus die Dokumentation der nachweisbaren Behandlungsmassnahme.

2.1.2 Gewinnung des Patientenkollektivs mit digitaler Volumentomographien

Retrospektiv wurden aus allen vorliegenden DICOM-Datensätzen, die zwischen Juni bis Dezember 2013 an einem digitalen Volumentomographen (DVT, Kodak CS 9300) angefertigt wurden diejenigen Datensätze ausgewählt, bei welchen der Unterkiefer mit untersucht worden war (n=32).

2.2 Auswertungskriterien

2.2.1 Auswertung Verletzungsmuster der Zähne nach Miniplattenosteosynthese

Das gesamte Studienkollektiv (n=488) wurde anhand der unmittelbar postoperativ erfolgten Röntgenkontrolle bezüglich der verdächtigten Zahnschädigung auf der Basis der Klassifikation von Driemel et al. eingeteilt [Driemel, 2005] (s. Abb. 17).

Das Verletzungsmuster bei Typ Ia, zeigt eine Verletzung des Zahnes oberhalb des apikalen Wurzel Drittels. Typ Ib weist anhand einer röntgenologischen Kontrolle eine Schädigung im apikalen Wurzel Drittel oder in der periapikalen Blutversorgung auf. Bei der Gruppierung Typ II tangiert die Osteosyntheseschraube das zentrale Wurzel dentin. Es kommt hierbei zu keiner Pulpabeteiligung. Bei der letzten Einteilung Typ III kommt es zu einer Verletzung im peripheren Wurzel dentin und Wurzel zement (s. Abb. 17).

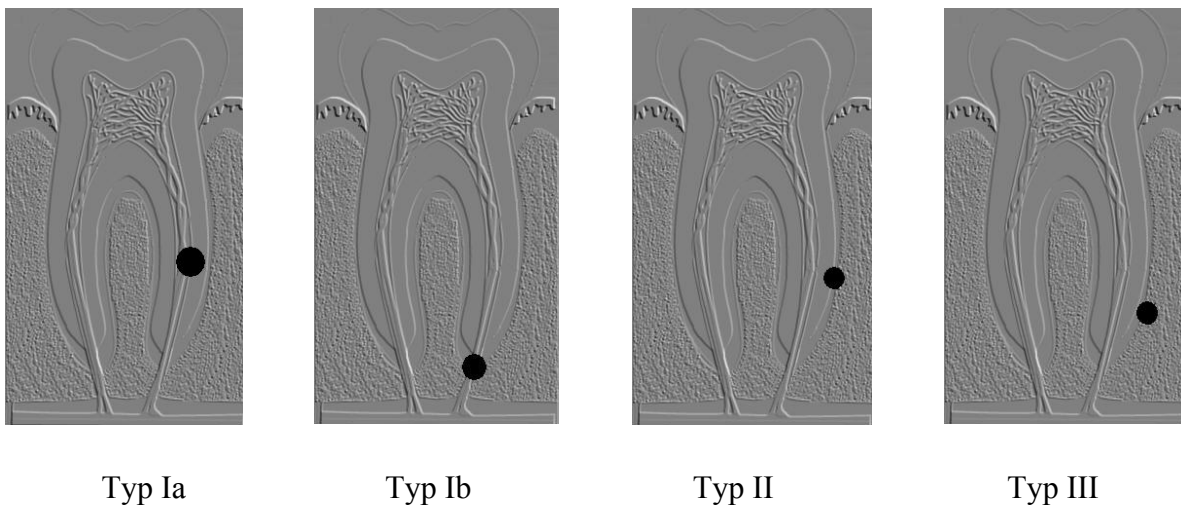


Abbildung 17: Klassifizierung des Zahnverletzungsmusters nach Driemel et al.

Durch die Verwendung von Kältespray lässt sich die Vitalität eines Zahnes überprüfen (Sigurdsson, 2003). Das Verdunsten von Propan und Butan auf einem Watteträger kann einen Kältereiz von -40 C erzeugen (Ahlquist et al., 1984). Um falsch positive und falsch negative Angaben auszuschließen, wurden auch die Nachbarzähne in die Untersuchung mit

eingeschlossen. Auf die Verwendung von CO₂-Schnee wurde verzichtet, da die Möglichkeit von Schmelzsprüngen besteht (Lutz et al., 1974; Peters et al., 1986).

Eine mechanische Schädigung des Zahnes wurde durch die Perkussion in vertikaler und horizontaler Richtung getestet. Im Rahmen von Verlaufskontrollen ergibt sich daraus der Hinweis auf ein periapikales oder entzündliches Geschehen (Arx Th. et al., 2005).

2.2.2 Messung der Dicke der äußeren Kortikalis unter zu Hilfenahme der Digitalen-Volumen-Tomographie

Zur Ausmessung der vestibulären Kortikalisdicke am Unterkiefer und um eine exaktere Aussage über die anatomischen Gegebenheiten am Unterkiefer treffen zu können, wurden 32 DICOM Datensätze von Unterkiefer-DVT's ausgewertet. Bei dem Digitalen Volumentomographen handelt es sich um ein Kodak CS 9300 mit einem Auflösungsvermögen von 0,09mm (90µm) mit der Voxelgröße von 0,2 mm³ und einem Aufnahmevolumen von 15 x 9 cm (s. Abb. 18).

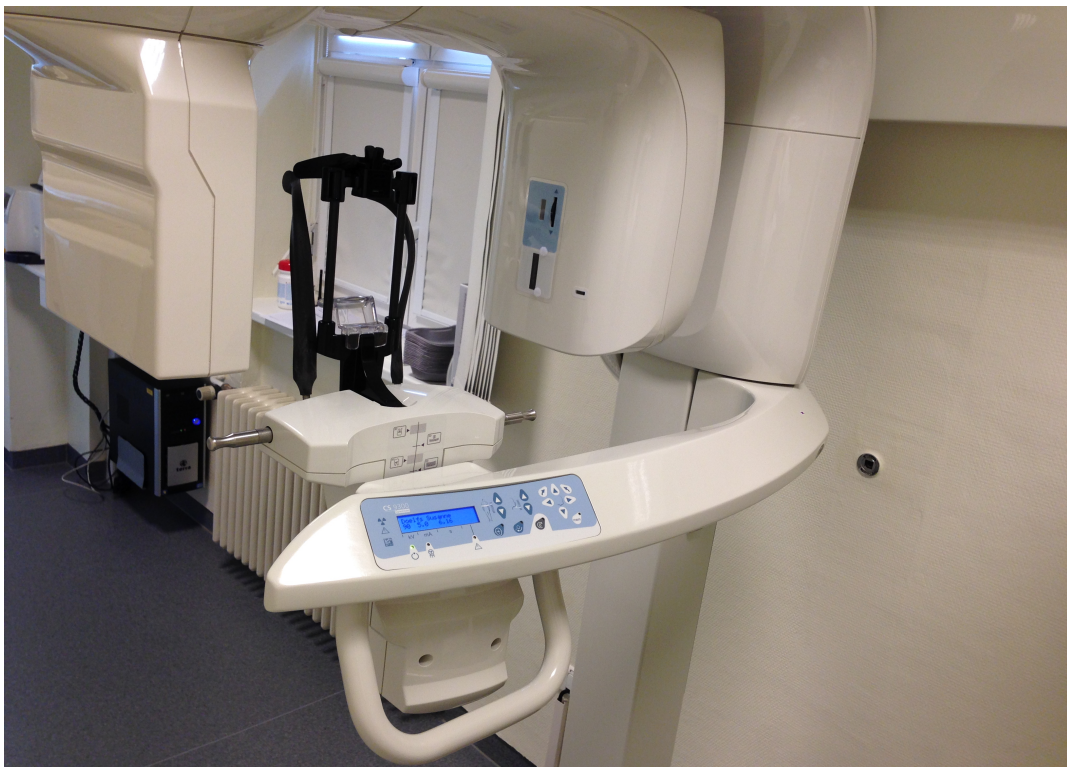


Abbildung 18: Digitaler Volumentomograph Kodak CS 9300

Die Messung der Kortikalisdicke erfolgte mit dem Softwareprogramm OsiriX v.4.1. auf den axialen Schichten des DICOM-Datensatzes. Zunächst wurden die Wurzelspitzen von allen 16 Zähnen des Unterkiefers von Zahn 38 bis Zahn 48 im unteren Drittel eingestellt, wobei im Bereich der Molaren zur Ausmessung die am weitesten vestibulär liegende Wurzel des jeweiligen Zahnes verwendet wurde. Dann wurde von der äußeren Kortikalis das Lot in Richtung Apex gefällt, und dieses als Kortikalisdicke definiert (s. Abb. 19). Zur Darstellung der gemessenen Daten wurde ein Boxplotdiagramm erstellt.

Die Daten wurden für den entsprechenden Zahn addiert und der Mittelwert daraus berechnet.

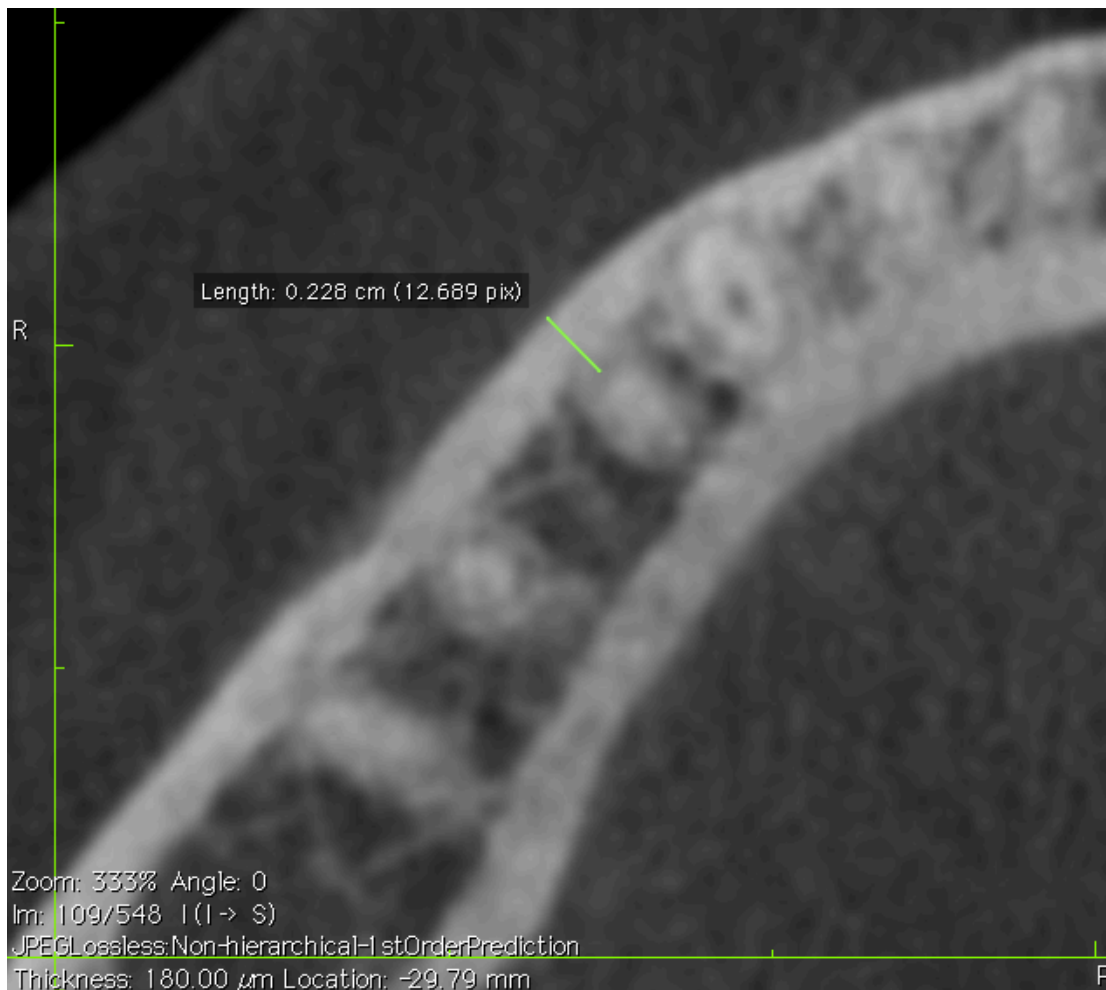


Abbildung 19: Ausschnitt der senkrechten Dickenmessung in der axialen Ebene des DVT's von der äußeren Kortikalis zu dem Zahn 34

2.3 Statistische Auswertung

Quantitative Merkmale wurden deskriptiv untersucht. Der Fragestellung entsprechend wurden Minimum, Maximum, Median und arithmetischer Mittelwert berechnet. Zur graphischen Darstellung wurden Excel-Balkendiagramme, Excel-Kreisdiagramme und Boxplot-Darstellungen verwendet.

2.4 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche erfolgte mit PubMed und der Cochrane Library. Ebenso wurden die wissenschaftlichen Onlineportale der Universitätskliniken Aachen, Heidelberg, Regensburg und Hamburg-Eppendorf verwandt und deren Quellenmaterial zur Komplettierung angefügt. Zusätzlich erfolgte eine Dissertationsrecherche über die Deutsche Nationalbibliothek.

3. Auswertung

In den nachfolgenden Abschnitten sind die Prozentzahlen für Zwecke der besseren Darstellung auf- bzw. abgerundet. Die Gesamtprozentzahl ist jedoch immer mit 100 angesetzt.

3.1 Untersuchtes Kollektiv, Altersverteilung und Geschlechtsverteilung

Das Studienkollektiv umfasste 488 Patienten, die aufgrund einer Unterkieferfraktur mittels Miniplattenosteosynthese versorgt wurden und in der postoperativ erfolgten Röntgenkontrolle den Verdacht auf eine Zahnverletzung hatten. Davon wurden 108 Patienten am Universitätsklinikum Regensburg (A) und 380 Patienten am Universitätsklinikum Würzburg (B) nachuntersucht. Der Altersdurchschnitt lag im Gesamtkollektiv bei 26,7 Jahren (range 14-53 Jahre). Das Verhältnis von Männern (n=29) zu Frauen (n=14) lag bei 1,3 : 1 (s. Abb. 20).

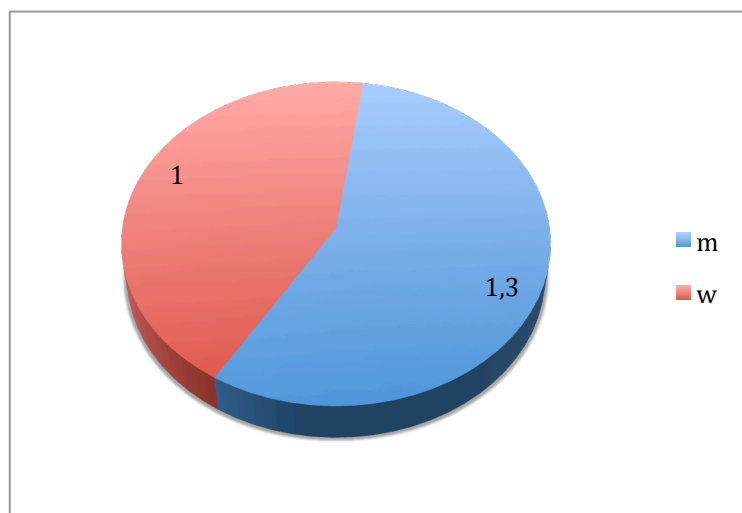


Abbildung 20: Geschlechterverhältnis. Es wurden mehr Männer mit einer Unterkieferfraktur behandelt als Frauen.

3.2 Verteilung der Frakturlokalisation

Innerhalb des Patientenkollektives (n=488) trat am häufigsten eine paramediane Unterkieferfraktur mit 41% (n=200) auf, gefolgt von einer kombinierten Unterkieferfraktur paramedian und im Kieferwinkelbereich mit 32% (n=156). Eine isolierte Kieferwinkelfraktur wurde bei 19% (n=93) der Patienten diagnostiziert. An letzter Position mit 8% (n=39) sind mediane Unterkieferfrakturen zu nennen (s. Abb. 21).

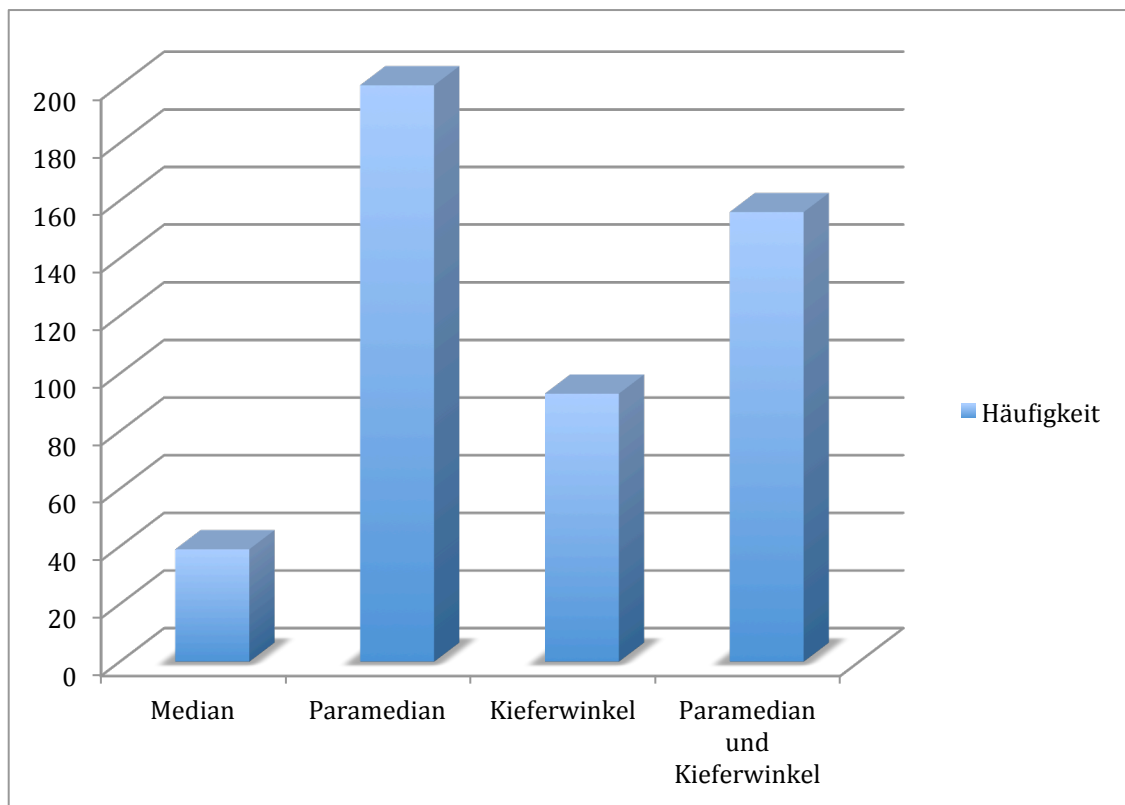


Abb. 21: Verteilung der Unterkieferfrakturen innerhalb des Patientenkollektives

3.3 Ursache der Frakturen innerhalb des Kollektivs

Die Patienten hatten die Unterkieferfraktur während unterschiedlicher Ereignisse erlitten. In 30% der Fälle waren die Ursachen für die Unterkieferfrakturen Rohheitsdelikte, gefolgt von Stürzen mit 27%. Sportunfälle widerfuhren 25%. An letzter Position stehen mit 18% Verkehrsunfälle.

Ursachen	Anzahl	Verhältnis in Prozent
Rohheitsdelikte	32	30
Stürze	29	27
Sportunfälle	27	25
Verkehrsunfälle	20	18

Tabelle 3: Gründe und Verteilung der Unterkieferfrakturen

3.4 Verteilung der Zahnverletzungen

Von den 488 Patienten des Gesamtkollektives hatten 43 Patienten bei der Wiedereinbestellung eine negative Vitalitätsprobe bei einer Zahnverletzung (9%). Davon am Universitätsklinikum Regensburg (A) 14 von 108 Patienten (13%), respektive am Universitätsklinikum Würzburg (B) 29 von 380 Patienten (8%). Der Unterschied innerhalb der Teilkollektive war statistisch nicht signifikant. Daher wird im Folgenden das Gesamtkollektiv dargestellt (s. Abb. 22).

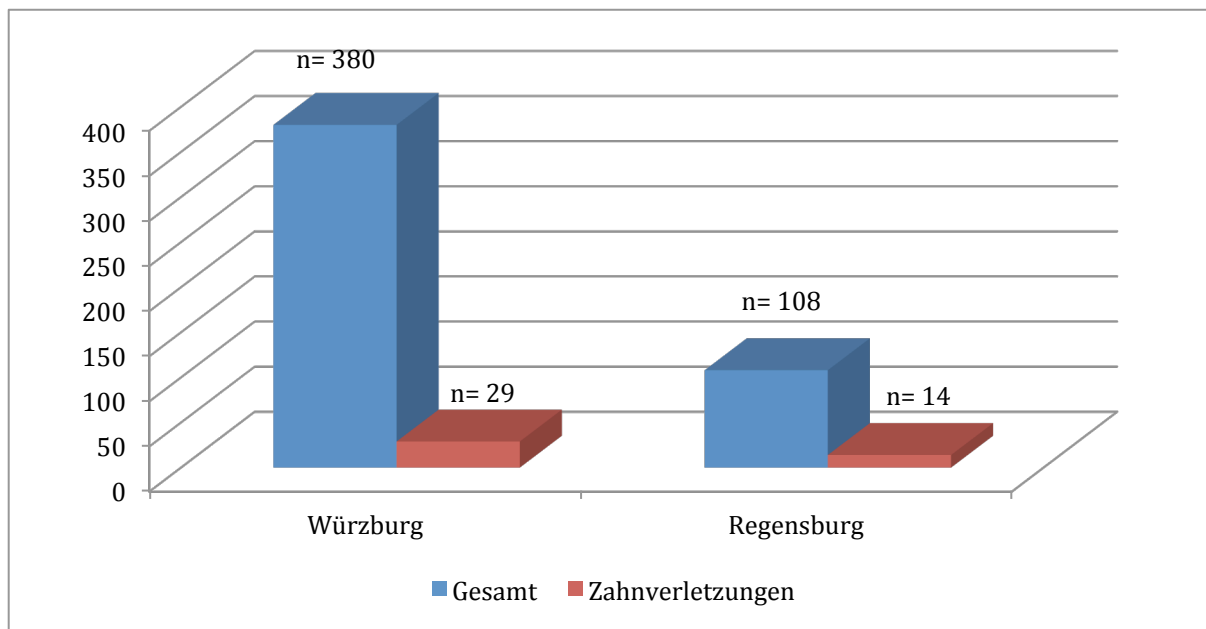


Abbildung 22: Beobachtete Häufigkeiten der Zahnverletzungen

Zweiseitige Signifikanz (p-value):	0,119
Chi-Quadrat-Wert (Chi-square)	2,428
Freiheitsgrade	1
Ergebnis	Nicht signifikant

Tabelle 4: Ergebnis des Chi-Quadrat-Tests

3.5 Lokalisation der Zahnverletzung am Unterkiefer

Von den 43 Patienten mit Zahnverletzung zeigt sich die häufigste Verletzung an den Eckzähnen mit 40% (n=17). Die Prämolaren waren mit 30% (n=13), die Molaren mit 23% (n=10) und die Frontzähne mit 7% (n=3) betroffen (s. Abb. 23).

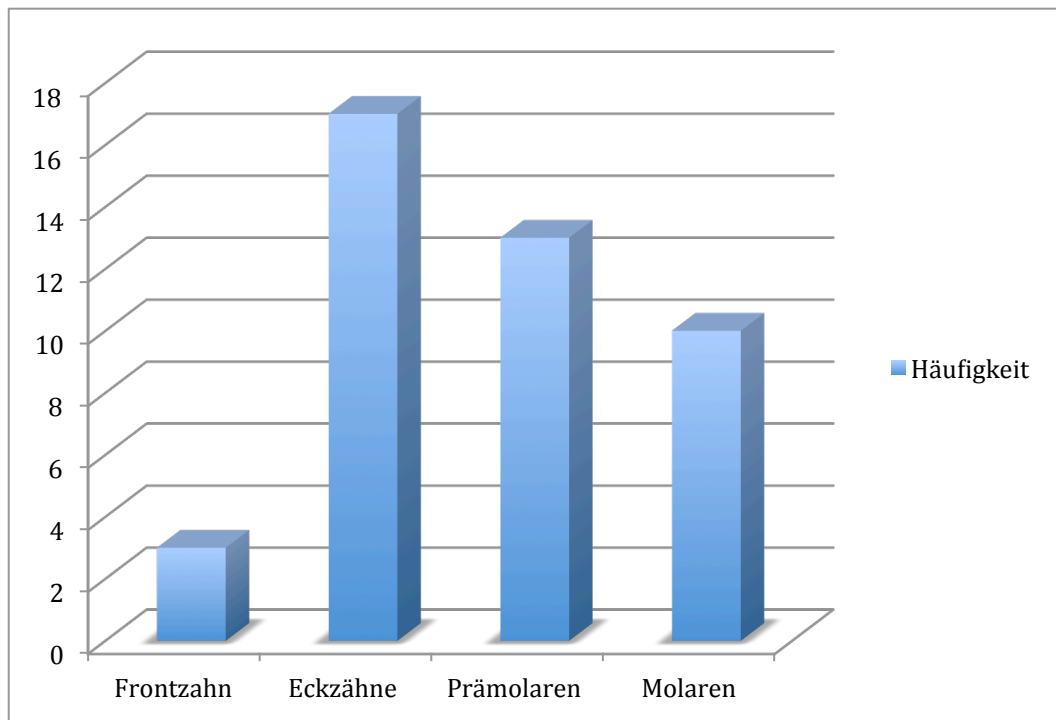


Abbildung 23: Verteilung der Zahnverletzungen am Unterkiefer von mesial nach distal

3.6 Lokalisation der Zahnverletzungen am Zahn (Klassifikation von Driemel)

Von den 43 Patienten mit einer Zahnverletzung zeigten 15 von 43 Patienten (35%) eine Läsion oberhalb des apikalen Wurzeldrittels (Typ Ia) (s. Abb. 25), 10 von 43 Patienten (23%) eine Schädigungen im apikalen Wurzeldrittels oder eine extradentale Schädigung der apikalen Blutversorgung (Typ Ib), 7 von 43 Patienten (16%) eine Pathologie im Bereich des zentralen Wurzelentins ohne Pulpabeteiligung (Typ II) und 11 von 43 Patienten (26%) eine Verletzung des peripheren Wurzelentins und Wurzelzements (Typ III) (s. Abb. 24).

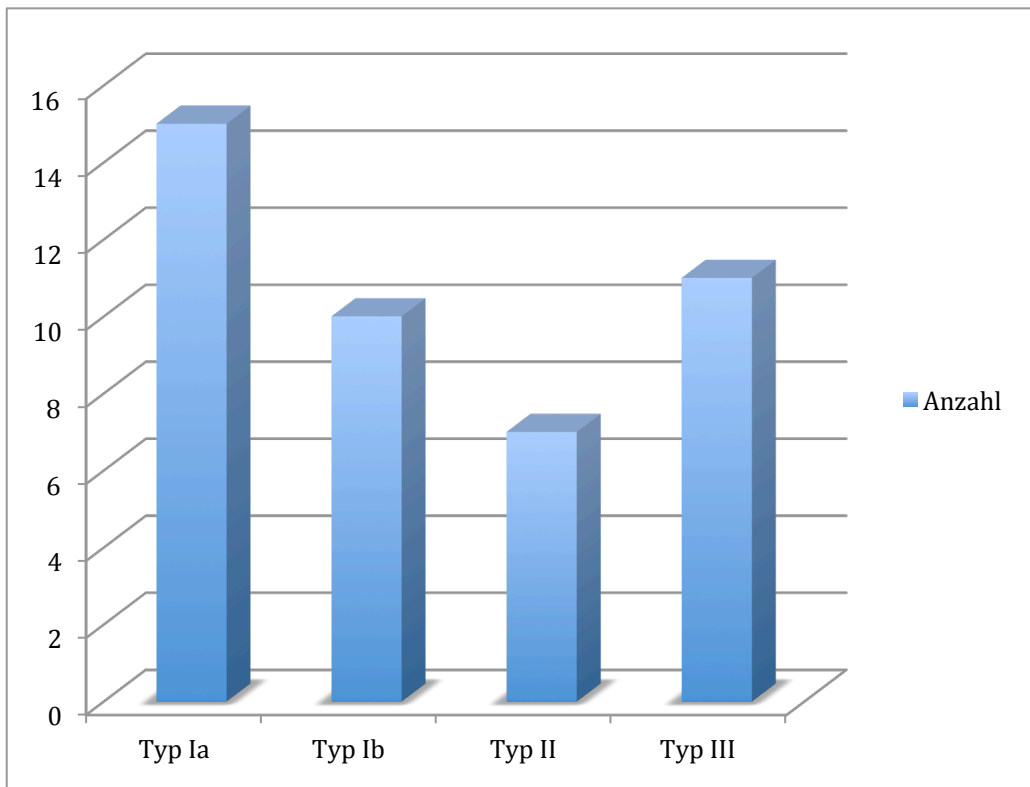


Abbildung 24: Verteilung der Zahnverletzungen (Klassifizierung nach Driemel)

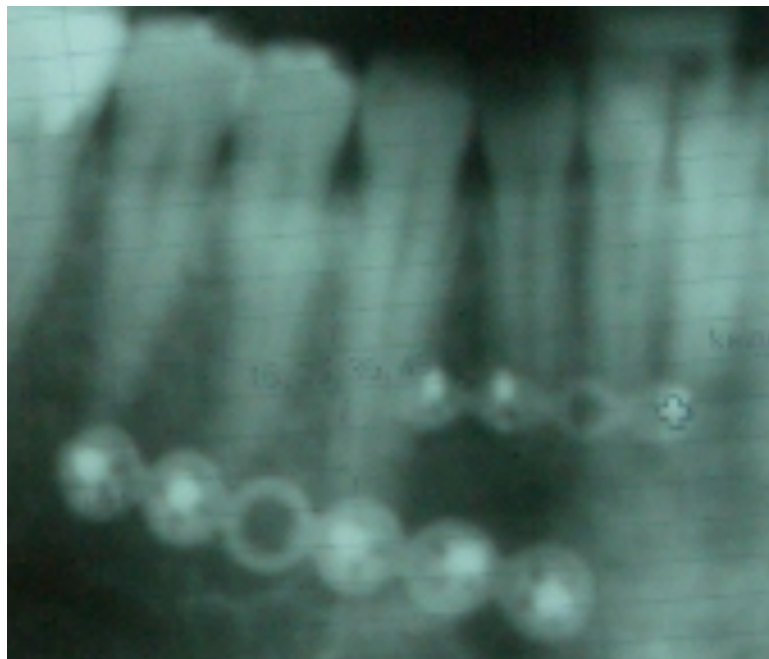


Abbildung 25: Röntgenologischer Verdacht einer Zahnverletzung an den Zähnen 45 und 43 nach dem Verletzungsmuster Ib und den benachbarten Zahn 42 und 31 nach III.

3.7 Behandlungsmassnahmen bei Zahnverletzung

Von den 43 Patienten mit Zahnverletzungen entzogen sich 21 Patienten (49%) zwischen Operation und Einbestellung zur Studiennachkontrolle jeglicher Behandlungsmaßnahme. Bei 11 von 43 Patienten (26%) musste zwischenzeitlich keine Therapie durchgeführt werden, während insgesamt bei weiteren 11 von 43 Patienten (26%) eine Therapiemaßnahme erfolgte. Dabei wurden 7 von 43 Patienten (16%) endodontisch behandelt, 3 von 43 Patienten (7%) erhielten eine weiterführende Therapie mit einer Wurzelspitzenresektion, bei 1 von 43 Patienten (2%) war trotz konservierender Therapie die Erhaltung des Zahnes nicht mehr möglich und hatte die Entfernung des Zahnes zur Folge (s. Abb. 26).

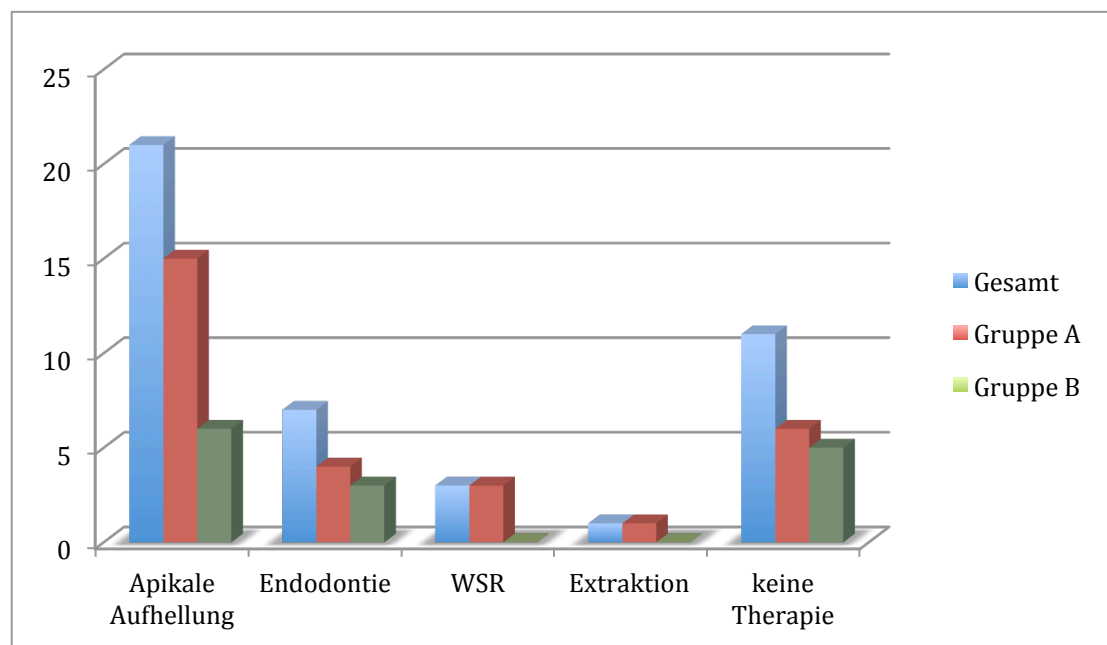


Abbildung 26: Anzahl der unterschiedlichen Therapien an beiden Universitäten und gesamt

3.8 DVT Auswertung - Vestibuläre Kortikalisdicke des Unterkiefers

3.8.1 Untersuchtes Kollektiv, Altersverteilung und Geschlechtsverteilung

Bei dem untersuchten Studienkollektiv handelte es sich um die bereits vorhandenen Dicom-Datensätze von DVT-Untersuchungen von 32 Patienten. Die Altersverteilung betrug im Mittel 47,7 Jahre. Das Geschlechterverhältnis von Männern (n=13) zu Frauen (n=19) lag bei 1,5 : 1.

3.8.2. Statistische Auswertung der vestibulären Kortikalisdicke

Für die Auswertung der gemessenen Daten an den jeweiligen Zähnen von 48 bis 38 wurde ein Boxplot-Diagramm erstellt. Es wurden 385 Messungen durchgeführt. Dabei lag der Mittelwert am Zahn 48 (n=11) bei 4,8mm, am Zahn 47 (n=22) bei 5,2mm, am Zahn 46 (n=18) bei 2,2mm, am Zahn 45 (n=25) bei 2,1mm, am Zahn 44 (n=27) bei 2,0mm, am Zahn 43 (n=31) bei 1,8mm, am Zahn 42 (n=30) bei 1,4mm, am Zahn 41 (n=30) und Zahn 31 (n=30) bei je 1,6mm, am Zahn 32 (n=31) bei 1,5mm, am Zahn 33 (n=32) bei 1,6mm, am Zahn 34 (n=29) bei 1,9mm, am Zahn 35 (n=25) bei 2,2mm, am Zahn 36 (n=15) bei 2,5mm, am Zahn 37 (n=20) bei 5,1mm und am Zahn 38 (n=9) bei 5,2mm (s. Abb. 27).

Es zeigte sich bei der Auswertung eine große Variabilität der Kortikalisdicke sowohl an einem bestimmten Zahn als auch innerhalb des gesamten Unterkiefers und damit der jeweiligen Position eines Zahnes.

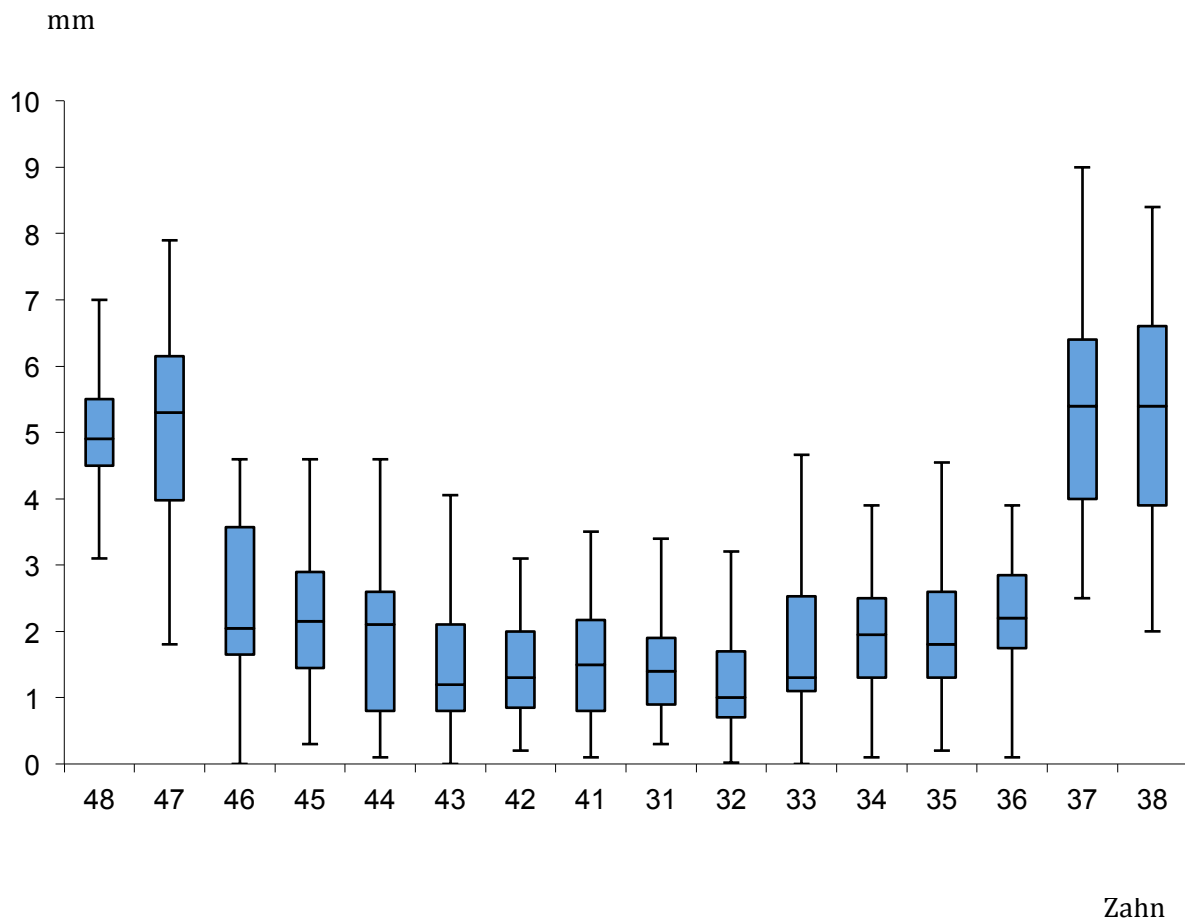


Abbildung 27: Boxplotdiagramm zur grafischen Darstellung der vestibulären kortikalen Dicke an Hand der DVT-Daten. Es zeigt einen Verteilungsüberblick der Kortikalisdicke an den Zähnen 48 bis 38. Die Box zeigt dabei definitionsgemäß das untere und obere Quartil, der Querstrich in der Box den Median, die Antennen unterhalb und oberhalb der Box die Ausreißer und damit die dickste und dünnste gemessene Kortikalisdicke an.

Exemplarisch konnte am Zahn 48 ein Median von 4,8 mm gemessen werden, mit einer Varianz der Dicke von 3,1 mm bis hin zu 7 mm. Die Kortikalisdicke unterscheidet sich an den Zähnen 47 mit 5,2 mm im Median deutlich von den gemessenen Werten bei Seit- und Frontzähnen mit einem Median von 2,1 mm am Zahn 44 und einem Median von 1,2 mm an dem Zahn 42.

Die durchschnittliche vestibuläre Kortikalisdicke zu einem Zahn lag im gesamten Unterkiefer bei 2,33mm (s. Abb 27, 29).

		Ergebnisse
H (n = Anzahl aller gemessenen Abstände)		385
Parameter der Normalverteilung ^a	Mittelwert	2,33
	Standardabweichung	1,739
Extremste Differenzen	Absolut	,127
	Positiv	,127
	Negativ	-,094
Teststatistik		,127
Asymp. Sig. (2-seitig)		,000 ^b

Tabelle 5: Um den durchschnittlichen Abstand eines Zahnes von der äußeren Kortikalis zu berechnen, wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test verwendet. Signifikanz ($p > 0,05$), es liegt eine Normalverteilung vor bzw. die Zahlenreihen stammen aus derselben Verteilung. a) Die Testverteilung ist normal. b) Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

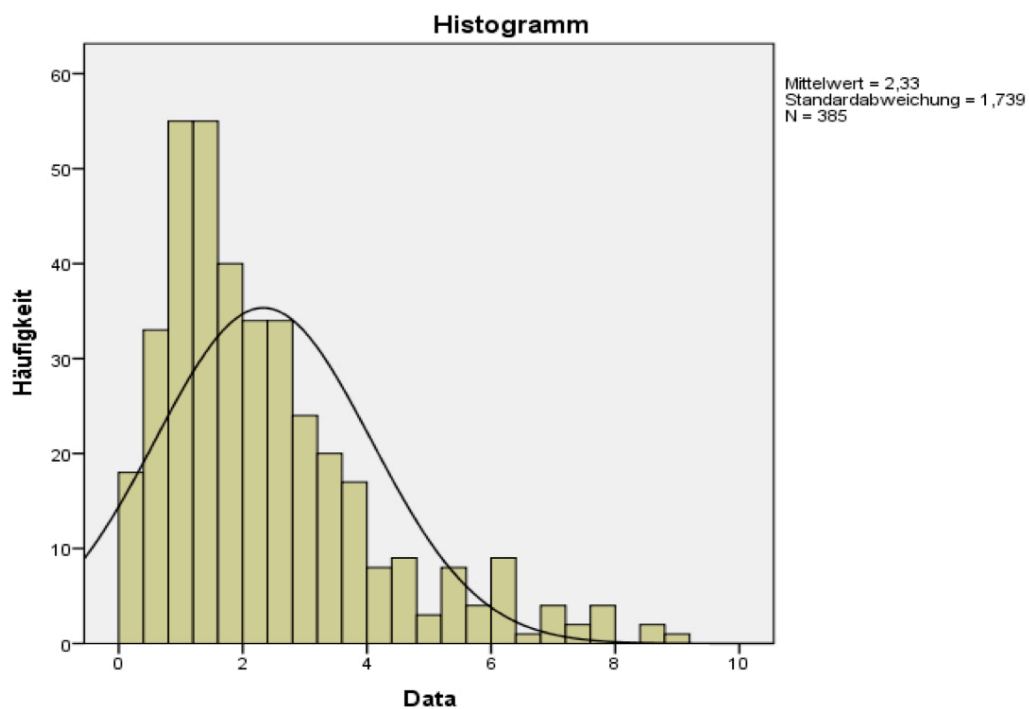


Abbildung 28: Häufigkeitsverteilung der Abstände eines Zahnes in mm zur vestibulären Kortikalis. Mittelwert = 2,33; Standardabweichung = 1,739; n = 385

Bei zuvor festgestellter Signifikanz wurde zur genaueren Beurteilung der Mittelwerte der post-Hoc-Test gewählt, um festzustellen wo genau diese Unterschiede liegen. Dabei wurde der dritte und vierte Quadrant gemeinsam berechnet.

Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: Data

(I) Platzierung	Mittelwertdifferenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95 % Konfidenzintervall				
				Untergrenze	Obergrenze			
Tukey-HSD	Kieferwinkel	Paramedian	2,713*	,333	,000	1,85	3,57	
		Para	3,300*	,175	,000	2,85	3,75	
		median	3,718*	,186	,000	3,24	4,20	
	Molar	Kieferwinkel	-2,713*	,333	,000	-3,57	-1,85	
		Para	,587	,309	,231	-,21	1,38	
		median	1,004*	,316	,009	,19	1,82	
	Prämolar + Eckzahn	Kieferwinkel	-3,300*	,175	,000	-3,75	-2,85	
		Paramedian	-,587	,309	,231	-1,38	,21	
		median	,418*	,138	,014	,06	,78	
	median	Kieferwinkel	-3,718*	,186	,000	-4,20	-3,24	
		Paramedian	-1,004*	,316	,009	-1,82	-,19	
		Para	-,418*	,138	,014	-,78	-,06	
	Scheffé	Kieferwinkel	Paramedian	2,713*	,333	,000	1,78	3,65
			Para	3,300*	,175	,000	2,81	3,79
			median	3,718*	,186	,000	3,19	4,24
Paramedian		Kieferwinkel	-2,713*	,333	,000	-3,65	-1,78	
		Para	,587	,309	,309	-,28	1,45	
		median	1,004*	,316	,019	,12	1,89	
Para		Kieferwinkel	-3,300*	,175	,000	-3,79	-2,81	
		Paramedian	-,587	,309	,309	-1,45	,28	
		median	,418*	,138	,029	,03	,81	
median		Kieferwinkel	-3,718*	,186	,000	-4,24	-3,19	
		Paramedian	-1,004*	,316	,019	-1,89	-,12	
		Para	-,418*	,138	,029	-,81	-,03	

*. die Mittelwertdifferenz ist auf der Stufe 0.05 signifikant.

Platzierung	H	Subset für Alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey-HSD ^{a,b}	median	121	1,50	
	Prämolar mit Eckzahn	187	1,91	1,91
	Molar	16		2,50
	Kieferwinkel	61		5,21
	Sig.		,359	,100
Duncan ^{a,b}	median	121	1,50	
	Para	187	1,91	
	Paramedian	16		2,50
	Kieferwinkel	61		5,21
	Sig.		,102	1,000
Scheffé ^{a,b}	median	121	1,50	
	Para	187	1,91	1,91
	Paramedian	16		2,50
	Kieferwinkel	61		5,21
	Sig.		,444	,154

Mittelwerte für Gruppen in homogenen Subsets werden angezeigt.

a. Verwendet harmonischen Mittelwert des Stichprobenumfangs = 43,241.

b. Die Gruppengrößen sind nicht identisch. Das harmonische Mittel der Gruppengrößen wird verwendet. Typ-I-Fehler-Ebenen werden nicht garantiert.

Tabelle 6: Signifikanzberechnung. Der Bereich „Kieferwinkel“ wurde durch die Zähne 37, 38, 47 und 48 definiert. „Molar“ ist der Abstand der Zähne 36 und 46 von der vestibulären Kortikalis. Der Bereich „Prämolar + Eckzahn“ sind die Zähne 35, 34, 33, 45, 44 und 43. Median sind die Zähne 32 bis 42.

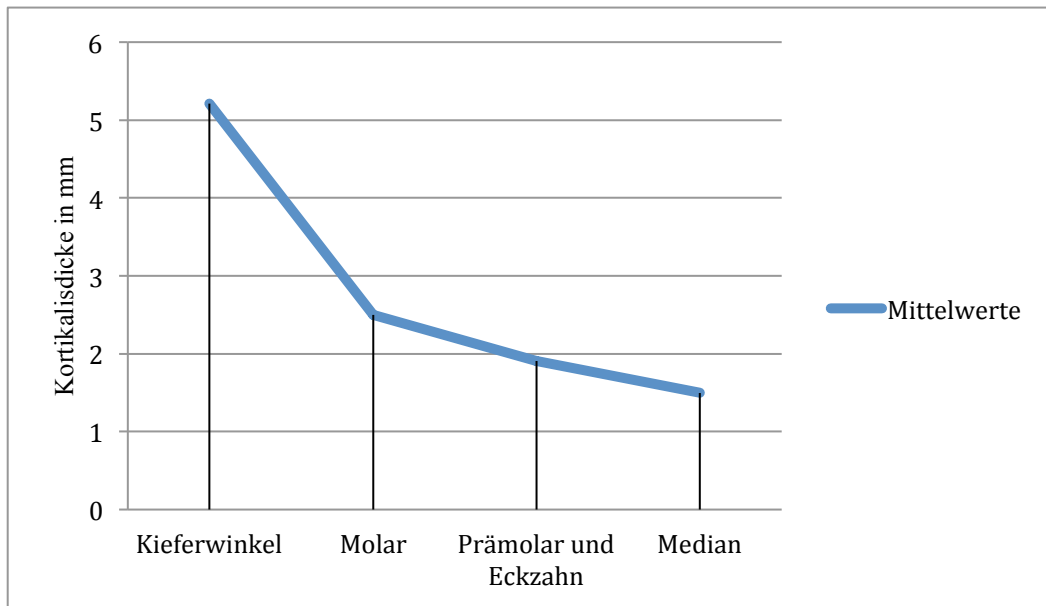


Abbildung 29: Mittelwertdarstellung. Abnahme der Dicke der vestibulären Kortikalis vom Kieferwinkel hin nach median

Wie erwartet, zeigt sich, dass der durchschnittliche Abstand zwischen Kortikalis und Zahn im Kieferwinkelbereich am größten ist. Die Distanz von dem apikalen Ende des Zahnes zur buccalen Lamelle des Unterkiefers nimmt im Seitenzahnbereich ab und ist am seitlichen unteren Schneidezahn am geringsten ausgeprägt.

Bei Betrachtung der Zähne im dritten und vierten Quadranten konnte eine annähernd symmetrische Stärke der Kortikalis der linken und rechten Seite nachgewiesen werden (s. Abb. 27). Unterschiede im dritten und vierten Quadranten machten sich bei gedrehten oder gekippt stehenden Zähnen bemerkbar. Auf Grund der symmetrischen Verteilung der vestibulären Dicke des dritten und vierten Quadranten wurden beide Seiten zusammengelegt. Es zeigt sich ausgehend vom Median eine dünner werdende Kortikalis vom Kieferwinkelbereich mit 5,2mm, über den Molarenbereich mit 2,2mm, dem Seitenzahnbereich mit 1,8 mm bis hin zum Frontzahnbereich mit 1,4 mm (s. Abb. 30).

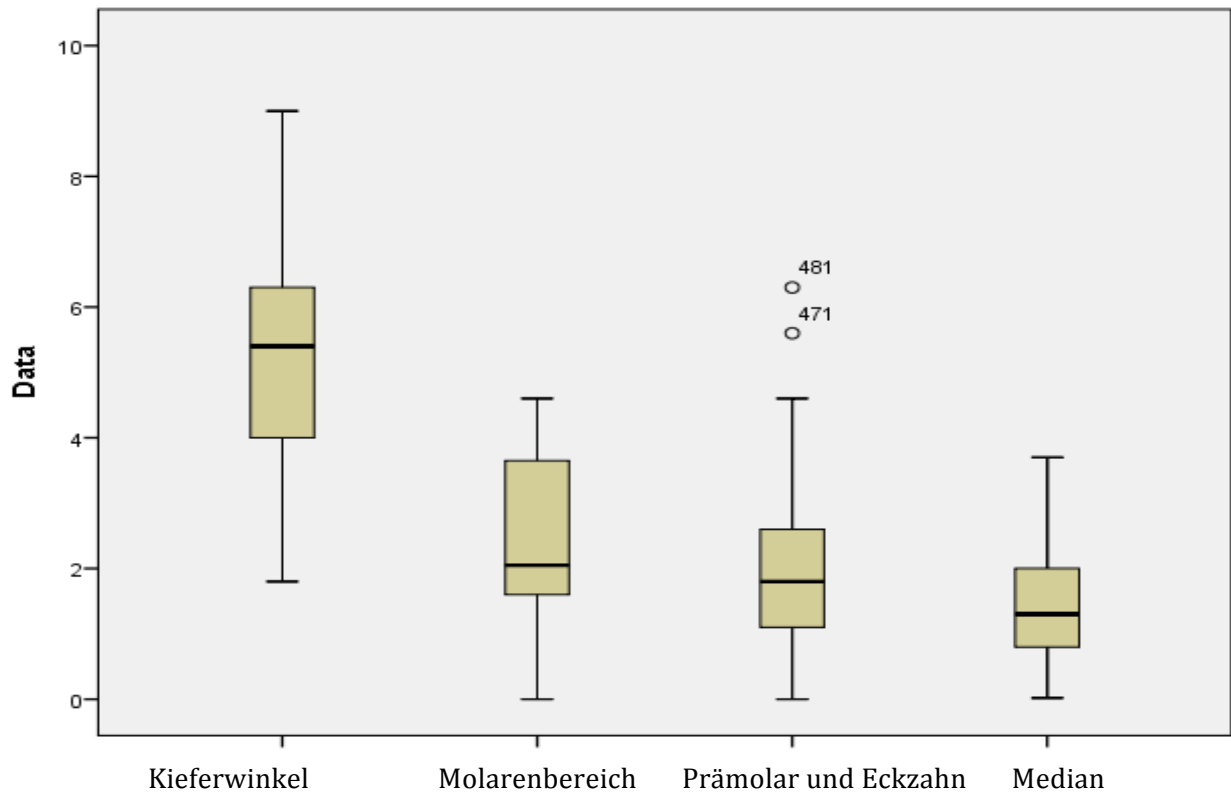


Abbildung 30: Zusammenfassung der Zahnverteilung aus 385 Messungen

4. Diskussion

Für die operative Versorgung der Unterkieferfraktur stehen zum heutigen Zeitpunkt in Deutschland verschiedenartige Osteosyntheseverfahren abhängig von der Indikation zur Verfügung. Die Vor- und Nachteile einer rein konservativen Versorgung durch eine intermaxilläre Fixation wie zum Beispiel einer Schuchardt-Schienung oder IMF-Schrauben und der operativen Wiederherstellung der Knochenkontinuität durch ein Miniplattensystem, einer Zugschraube oder einem funktionsstabilem Plattensystem müssen gegeneinander abgewogen werden. Die unterschiedlichen Osteosyntheseverfahren dienen der Stabilisierung, der Knochenheilung und schnellstmöglichen Wiedererlangung einer Restitutio ad integrum und sind entweder übungs- oder belastungsstabil. Dabei kann es bei der konservativen Versorgung zu parodontalen Schäden oder bei IMF-Schrauben zu Zahnverletzungen kommen. Vorteile der operativen Versorgung liegen in der deutlich schnelleren Genesung und Kallusbildung über dem Frakturspalt [Weerda, 1979]. Bei der Miniplattenosteosynthese ist eine einfache intraorale Applikation am unteren Rand des Alveolarfortsatzes bei geringer Ablösung von Periost und Muskelansätzen möglich [Gerlach, 1989].

Das Patientenkollektiv, welches in unserer retrospektiven Studie eingeschlossen wurde, betrug 488 Patienten aus den Jahren 1990 bis 2006. Dabei stammten 380 Patienten aus Würzburg (B) und 108 Patienten aus Regensburg (A). Diese Patienten erlitten eine Unterkieferfraktur und zeigten einen Altersdurchschnitt von 26,7 Jahren (A 32,9 Jahre / B 20,5 Jahre). In einschlägiger Literatur kann das Alter zum Beispiel an der Universität Düsseldorf mit 33,9 Jahren bestätigt werden [Hornung, 2009]. Innerhalb des Patientenkollektives gab es ein Geschlechterverhältnis von Männern zu Frauen von 1,3 : 1. Bei vergleichenden Studien lag das Verhältnis bei 3,3 : 1 zu Ungunsten der männlichen Patienten [Sänger, Riediger 2009]. In einer Studie von Ellis 1991, welcher eine Nachuntersuchung bei 30 Patienten bezüglich Kieferwinkelfrakturen mit durchgeführter Zugschraubenosteosynthese evaluierte, waren sogar in 80% Männer und nur in 20% Frauen betroffen [Ellis, Ghali, 1991]. Auch am Bundeswehrkrankenhaus Ulm zeigte sich in dem Zeitraum von 2001 bis 2005 ein Verhältnis von Männern zu Frauen von 4:1 [Trinkle, 2009]. Da auch in den Ätiologien teilweise unterschiedliche Daten zu finden sind, ist hier sehr wahrscheinlich auch das unterschiedliche Geschlechterverhältnis begründet. Hier zeigt sich

eine Häufung der Rohheitsdelikte eher bei dem männlichen Geschlecht [Esser, Meister, 1998; Samson 1998]. Gerade für Kieferwinkelfrakturen sind tätliche Auseinandersetzungen die Hauptursache [Krüger, 1993; Ellis, Ghali, 1991; Ellis, 1999].

Bei der Ätiologie sind in einer Studie aus Aachen 40% an Rohheitsdelikten gegenüber 30% in dieser Studie zu finden. Stürze sind mit 27% knapp 7 Prozent häufiger als bei Säger 2009, welcher diese mit 20.8% angibt. Sportunfälle trugen mit 25% der Verletzungen bei, an letzter Stelle Verkehrsunfälle mit 18%. Verkehrsunfälle kamen mit 25,7% häufiger in Aachen vor. In unserer Studie waren dies 18% [Säger, Riediger 2009].

In unserer Studie ergab sich aus den 488 Patienten, welche auf Grund einer Unterkieferfraktur eine Miniplattenosteosynthese erhielten und sich radiologisch der Verdacht einer Zahnschädigung ergeben hatte, eine Zahnverletzung bei 43 Patienten (A 13, B 29). Dies entspricht einer iatrogenen Zahnverletzung von 9%, bei den mit Miniplatten versorgten Unterkieferfrakturen. Dies erscheint auf den ersten Blick hoch, deckt sich jedoch mit der Gefahr der Verletzung durch IMF-Schrauben. In der Nachuntersuchung von Trinkle zeigten sich im Unterkiefer 8,6% radiologisch nachweisbare Läsionen an Zahnwurzeln [Trinkle, 2009].

Die Verletzung der Zähne innerhalb des Unterkiefers variiert stark. Die häufigste Verletzung konnte an Eckzähnen durch monokortikal verankerte Osteosyntheseschrauben bei 40% festgestellt werden. Der Eckzahn weist die längste Wurzel mit 24-26mm auf [Hellwig, 2003]. Im Seitenzahnbereich müssen bei der Osteosynthese zwei Miniplatten angepasst werden, um eine stabile Form der Osteosynthese zu schaffen. Dabei muss eine Miniplatte kranial und eine kaudal des Verlaufs des N. alveolaris inferior beziehungsweise N. mentalis platziert werden. Aufgrund der prominenten Stellung des Eckzahnes und leicht konkaven Vorwölbung der vestibulären Kortikalis kann der Verlauf der Zahnwurzel des Eckzahnes gut beurteilt werden, wird jedoch scheinbar meist zu kurz interpretiert. Daraus erklärt sich auch das häufigste Verletzungsmuster Ia und III. Poggio et al. geben in Ihrer Studie an, dass bei den Prämolaren der größte Abstand zwischen den Wurzeln zu finden ist [Poggio, 2006], jedoch konnte in unserer Auswertung der DVT-Daten gezeigt werden, dass im Prämolarenbereich die vestibuläre Wand nur zwischen 1,8 und 2,2mm dünn ist. Dementsprechend ist hier die zweithäufigste Verletzung zu finden. Entgegen dem Eckzahn ist hier im Bereich der Prämolaren meist keine ausgeprägte und konvexe Kortikalis über der Zahnwurzel mehr auszumachen. In kranialer und kaudaler Richtung bleibt ebenso nur ein kleiner Raum um eine Verletzung des N. alveolaris inferior oder der Zahnwurzel zu verhindern. Im Bereich der

Molaren ist die Dicke der vestibulären Kortikalis von im Median 2,2mm an der mesialen Wurzel des Zahnes 36 bzw. 46 nach distal in den Bereich der Weisheitszähne 38 und 48 hin ansteigend auf bis zu 5,3mm im Median. Daraus könnte die abnehmende Wahrscheinlichkeit einer Wurzelverletzung bei Molaren mit 19% resultieren. Frontzähne sind bei einer Klasse I Verzahnung mit ihrer Krone in der Regel leicht nach anterior geneigt. Die Osteosyntheseplatten werden jedoch kaudal des Alveolarfortsatzes am konkaven Übergang zur Protuberantia mentalis angebracht. Somit ist das Bohrloch und die Osteosyntheseschraube mit der Spitze eher nach kaudal und damit nicht in Richtung des Apex des Frontzahnes gerichtet. Hieraus dürfte die geringe Verletzungswahrscheinlichkeit der Frontzähne mit 11% in unserer Studie resultieren, trotz der dünnen Kortikalisdicke von 1,4mm in der DVT-Messung.

Am häufigsten kamen paramediane Unterkieferfrakturen mit 41% vor, gefolgt von einer kombinierten Unterkieferfraktur paramedian und im Kieferwinkelbereich mit 32%. Eine isolierte Kieferwinkelfraktur wurde bei 19% der Patienten diagnostiziert. An letzter Position mit 8% sind mediane Unterkieferfrakturen zu nennen. Daraus könnte abgeleitet werden, dass eine Zahnverletzung überwiegend im paramedianen Unterkieferbereich auftritt und am wenigsten im medianen Unterkieferbereich.

Andere Studien geben hier andere Ergebnisse wieder. Infante Cossio et al. konnten 1994 eine prozentuale Verteilung bezüglich der Kieferwinkelfrakturen von 20% und der medianen Frakturen von 24% feststellen [Infante, 1994]. Die paramedianen Frakturen sind hier als Corpusfrakturen klassifiziert und betragen 12%. Nach Tanaka et al. kommt es beim Erwachsenen überwiegend im Kieferwinkelbereich mit 34% zu Frakturen und im Corpusbereich mit 14%. Mediane Frakturen im Bereich der Symphyse sind mit 27% genannt [Tanaka et al, 1993]. Abhängig von der Zusammensetzung des Patientenkollektives zeigt sich eine hohe Schwankungsbreite der Frakturlokalisation. In unserem Patientenkollektiv ist eine generelle Aussage deswegen nicht zu treffen.

Eine generelle Aussage bei welcher Frakturlokalisation eine iatrogene Zahnschädigung häufig verursacht wird, kann nur schwer getroffen werden, da eine Miniplatte über den Frakturspalt hinaus Zahnschäden verursachen kann. Je länger die Platte zur Stabilisierung der Fraktur sein muss, umso weiter ragt sie in die anatomisch benachbarte Region hinein.

Bei unserem Patientenkollektiv erwies sich das Verletzungsmuster Ia mit 35% (Vulnerationen oberhalb des apikalen Wurzeldrittels) als die häufigste Schädigung. Bei der Versorgung einer paramedianen Unterkieferfraktur durch ein operatives Verfahren mit Miniplatten müssen zur Stabilisierung der Fraktur zwei Osteosyntheseplatten angebracht werden. Eine Miniplatte wird dabei kaudal des Verlaufs des N. alveolaris inferior angebracht und eine Osteosyntheseplatte kranial des Nervus sowie kaudal des Alveolarfortsatzes (s. Abb. 31). Im Bereich des Kieferwinkels ist die Linea obliqua Platte zur Stabilisierung ausreichend. Bei Torquierung der beiden Frakturrenden in diesem Bereich und unzureichender Stabilisierung ist eine weitere Platte kaudal erforderlich. Wird diese Osteosyntheseplatte nicht ausreichend kaudal platziert, kann eine Verletzung der Zahnwurzeln in diesem Bereich stattfinden.

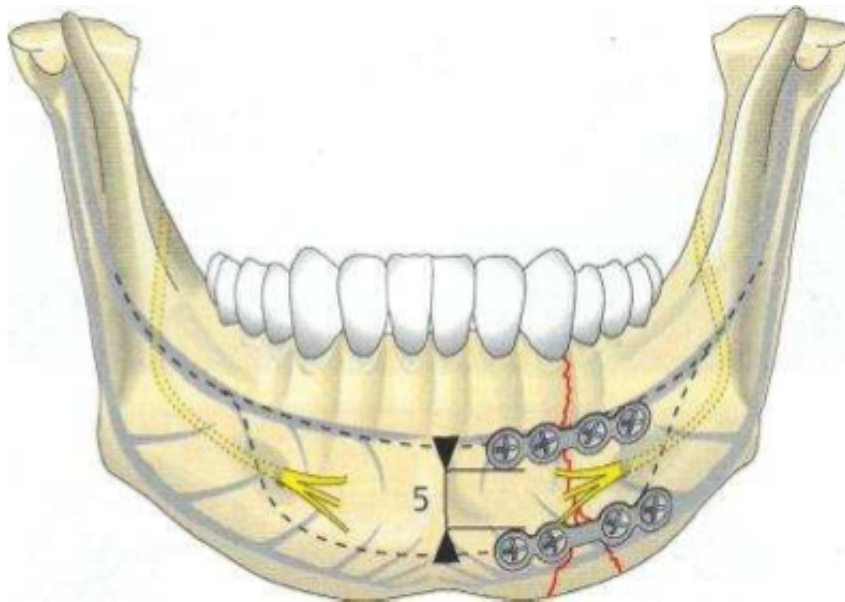


Abbildung 31: Positionierung der Miniplatten im paramedianen Bereich des Unterkiefers [Schwenzer, Ehrenfeld, 2002]

Im Zusammenhang mit der häufigsten Verletzung im Prämolarenbereich scheint vor allem eine Gefahr beim Anbringen der kranialen Platte zu bestehen.

Die Datenerhebung aus der DVT-Auswertung können diese Aussage erhärten, da die Dicke der vestibulären Kortikalis im Bereich der Zähne 33 bis 35 sowie 43 bis 45 im Mittel nur zwischen 1,4 und 2,2mm an der nach vestibulär exponiertesten Stelle beträgt. An zweiter Stelle mit 26% sind Typ III Verletzungen (Bereich des peripheren Wurzeldentins und

Wurzelzements) zu nennen. Typ Ib Verletzungen (Schädigungen im apikalen Wurzel Drittel oder eine extradentale Schädigung der apikalen Blutversorgung) ergaben sich bei 23%. Typ II (zentralen Wurzel dentins ohne Pulpabeteiligung) konnte am wenigsten diagnostiziert werden. Bei einer Miniplattenosteosynthese ist folglich das größte Verletzungsrisiko im apikalen Bereich gefolgt von Verletzungen im peripheren Wurzel dentin und Wurzel zement. Als Operateur ist hier besonders auf die praeoperative Diagnostik mit der Stellung der Zahnwurzeln im Röntgenbild zu achten. Die Positionierung der Miniplatten sollte genauestens angepasst und auch die Verlaufsrichtung des Bohrkanals und die Bohrerlänge exakt gewählt werden. Hier ist als dreidimensionale Bildgebung das digitale Volumentomogramm sehr hilfreich. Mit dieser weiteren Röntgenologischen Bildgebung kann nicht nur eine zweidimensionale Aussage über die Fraktur und Zahnstellung erbracht, sondern auch gegebenenfalls die Dicke der Kortikalis im Bereich der vestibulären Seite des Unterkiefers beurteilt werden. Dies ist eine zusätzliche Information zur Bestimmung der Bohrrichtung und Bohrerlänge. Die Hersteller haben in den Sets für die Miniplattenosteosynthese Bohrer integriert, welche sogenannte Stopbohrer enthalten. Diese können, je nach Hersteller, nicht tiefer als 4-5 mm eindringen. Unter Berücksichtigung der DVT-Daten erscheinen diese Bohrer teilweise zu lang. Sie können zu tief in den Unterkiefer eindringen und die Nachbarstruktur, die Zahnwurzel, verletzen, wenn diese zum Beispiel nur 1-2 mm von der vestibulären Kortikalis entfernt ist. Es obliegt dem Operateur die exakte Zahnstellung und Wurzelform zu berücksichtigen, um die Osteosyntheseschraube gut zu positionieren. Intraoperativ sollte diesbezüglich auf eine gute Frakturdarstellung geachtet werden. Die Knochenverhältnisse müssen gut beurteilbar bleiben.

Die klinische Aufarbeitung der Daten hat ergeben, dass die Hälfte der Patienten einer entsprechenden Nachsorge zugänglich waren. Innerhalb der 22 nachgesorgten Patienten mussten 50% mittels Endodontie, Wurzelspitzenresektion oder Extraktion nachtherapiert werden. Nicht bei allen iatrogen verursachten Zahnverletzungen ist eine weitere nachfolgende Therapie notwendig. In der Regel sind die Zahnwurzeln und die Osteosyntheseschrauben nicht infiziert, so dass nach einer möglichen Verletzung eine Selbstheilung möglich ist [Borah, 1996]. Andreasen wies 1989 darauf hin, dass traumatisierte Zähne oft erst nach Monaten einen positiven Sensibilitätstest aufzeigen [Andreasen, 2009]. Ein Sensibilitätstest ist als alleiniges Kriterium nicht für die Einleitung einer endodontischen Therapie geeignet. Erst wenn zusätzliche klinische und radiologische Befunde eine Pulpanekrose wahrscheinlich erscheinen lassen, soll wie bei den zahnärztlich nachgesorgten Patienten in unserem Patientenkollektiv eine Wurzelkanalbehandlung begonnen werden [Arx, 2005].

Für die Bemessung der Kortikalisdicke am Unterkiefer wurden 32 DICOM Datensätze von Unterkiefer-DVT's ausgewertet. Dabei wurde an allen 16 Zähnen des Unterkiefers von Zahn 38 bis Zahn 48 der Abstand von der äußeren, vestibulären Kortikalis bis zu dem Apex des jeweiligen Zahnes ausgemessen. Die Daten wurden für den entsprechenden Zahn addiert und der Mittelwert daraus berechnet.

Es zeigte sich bei der Auswertung eine große Spannbreite bezüglich des individuellen Abstandes eines Zahnes innerhalb des Unterkiefers. Die durchschnittliche Breite der Kortikalis und dem ausgemessenen Zahn ist dabei sehr variabel und weißt zum Beispiel an einem auszumessendem axialen Schnittbild bei einem Patienten im Weisheitszahnbereich ein Maximum von 5,5 mm und am Zahn 33 einen Mindestwert von 1,2mm auf. Innerhalb unserer ausgewerteten Daten zeigen sich an einem Zahn große Unterschiede. Zum Beispiel hat der kleinste gemessene Wert am Zahn 31 mit 0,02 mm eine sehr dünne Knochenschicht und mit 3,3 mm ebenfalls am Zahn 31 bei einem anderen Patienten am anderen Ende der Verteilung eine deutlich dickere Bewandung.

Wie erwartet, zeigt sich, dass der durchschnittliche Abstand zwischen Kortikalis und Zahn im Molarenbereich am größten ist. Die Distanz nimmt im Seitenzahnbereich ab und ist am seitlichen unteren Schneidezahn am geringsten ausgeprägt.

Bei Betrachtung der Zähne im dritten und vierten Quadranten konnte eine annähernd symmetrische Stärke der Kortikalis der linken und rechten Seite nachgewiesen werden. Unterschiede im dritten und vierten Quadranten machten sich bei gedrehten oder gekippt stehenden Zähnen bemerkbar.

5. Schlussfolgerung

1. Innerhalb des von uns ausgewählten Kollektives von 488 Patienten, zeigte sich eine Verletzungswahrscheinlichkeit der Zähne von 9%. 50% der nachgesorgten 22 Patienten mussten zahnmedizinisch weiter therapiert werden. Hieraus ergibt sich, dass die Verletzung einer Zahnwurzel intraoperativ höher ist, als erwartet wurde und die klinische Erfahrung zeigt. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass es zwar zu einer Zahnschädigung, jedoch nicht zu einer Devitalisierung des Zahnes kommt.

Die Miniplattenosteosynthese ist eine sehr gute Methode zur Versorgung der Unterkieferfraktur mit einem geringen Risiko für eine Zahnverletzung, welche jedoch in der chirurgischen Aufklärung berücksichtigt werden muss.

2. Die größte Wahrscheinlichkeit einer Zahnverletzung besteht im Eckzahn und Prämolarenbereich. Hier ist besondere Vorsicht bei der Platzierung der Osteosyntheseschrauben geboten und die Wahl des Osteosynthesebohrers sollte gegebenenfalls überprüft werden.

3. Die Auswertung der DVT-Daten zeigt eine symmetrische Kortikalisdicke, welche von median im Bereich der beiden Zähne 31 und 41 mit 1,4mm bis hin zum Kieferwinkelbereich mit 5,2mm hin zunimmt.

4. Eine praeoperative dreidimensionale Bildgebung sollte nicht nur der Frakturdarstellung dienen, sondern kann zusätzlich Informationen wie die Kortikalisdicke in dem zu operierenden Bereich bieten. Daraufhin sollten Rückschlüsse zur Wahl der Bohrerlänge und Schraubenlänge erfolgen. Nur alleine durch die Wahl des Stopbohrers ist keine Zahnverletzung auszuschließen. Der Operateur muss die individuelle Anatomie und Frakturnahe Zahnstellung berücksichtigen.

6. Zusammenfassung

In die vorliegende Studie wurden 488 Patienten aus zwei großen universitären Kliniken einbezogen. Dabei wurden die Krankenakten und Röntgenbilder ausgewertet und Patienten klinisch nachuntersucht, bei denen der Verdacht auf eine iatrogene Zahnverletzung durch das Setzen eines Bohrloches oder das Einbringen einer Osteosyntheseschraube bestand.

Es konnte gezeigt werden, dass bei der Versorgung einer Unterkieferfraktur mit einer Miniplattenosteosynthese ein Risiko einer iatrogenen Zahnverletzung von 9% besteht. Eine weiterführende Therapie wie zum Beispiel durch eine Wurzelkanalbehandlung oder sogar Extraktion ist jedoch nur bei 25% notwendig. Wie Ewers und Dükers in ihrer Studie nachwiesen, kann es durch eine teilweise Unterbrechung der Gefäßversorgung im Bereich der Pulpa zu einer Revaskularisierung kommen [Ewers, 1980].

Es lässt sich festhalten, dass das größte Risiko bei der Versorgung einer paramedianen Unterkieferfraktur besteht. Bei dem Anbringen der kranialen Osteosyntheseplatte, oberhalb des Nervus alveolaris inferior, im Seitenzahnbereich ist die Verletzungsgefahr am größten. Durch die Anfertigung einer dreidimensionalen Röntgenaufnahme kann das Risiko für die Verletzung einer Zahnwurzel minimiert werden, wenn die Dicke der äußeren Kortikalis im Unterkiefer dem Operateur bekannt ist. Eine entsprechende Aufklärung muss dennoch erfolgen und dem Patienten bekannt sein.

7. Literaturverzeichnis

1. Acero J., Calderon J., Salmeron J.I., Verdaguer J.J., Concejo C., Somacarrera M.L.: The behaviour of titanium as a biomaterial: Microscopy study of plates and surrounding tissues in facial osteosynthesis. *J Cranio Maxillofac Surg*; 1999; 27:117-123
2. Ahlquist M.L. et al., Perception of pulpal pain as a function of intradental nerve activity, *Pain*, 19, 1984
3. Al-Khateeb T1, Abdullah FM. Craniomaxillofacial injuries in the United Arab Emirates: a retrospective study. *J Oral Maxillofac Surg.*; 2007 Jun, 65(6):1094-101
4. Andreasen F.M.: Pulpal healing after luxation injuries and root fracture in the permanent dentition. 1989, *Endod Dent Traumatol* 5
5. Arx Th. et al.: Verletzungen der bleibenden Zähne. 2/2005; *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* Vol. 115, 133-139
6. Ashish, Vasiliki: *Principles of Fixation for Maxillofacial Trauma.* 2015, 33
7. Austermann K.H.: Frakturen des Gesichtsschädels, in Schwenzer N., Ehrenfeld M.; *Spezielle Chirurgie, Lehrbuch zur Aus- und Weiterbildung*, 3. Aktualisierte Auflage; 2002, 275-366
8. Bohndorf, Imhof, Fischer; *Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke*; 2006

9. Borah GL et al; The fate of teeth transfixed by osteosynthesis screws. *Plastic Reconstructive Surg* 1996; 97:726-729
10. Brons R, Boering G: Fractures of the mandibular body treated by stable internal fixation: a preliminary report. *J Oral Surg*, 1970; 28:407
11. Cienfuegos et al: Mandible - Symphysis and parasymphysis, Lag screw and plate. <https://www2.aofoundation.org/wps/portal/surgery/>. AOFoundation, 2008. Stand 28 Oktober 2015
12. Champy M, Lodde JP, Etude des contraintes dans la mandibule fracturée chez l'homme. Mesures théoriques et verification par jauges extensométriques in situ. *Rev Stomatol*, 1977; 78:545-556
13. Chan D.M. Demuth RJ Miller SH, Jastak JT, 1984 Management of mandibular fractures in unreliable patient populations *Ann. Plast. Surg.* 13, 298-303
14. Chao E.Y., Aro H.T., Lewallen D.G. and Kelly P.J. (1989). "The effect of rigidity on fracture healing in external fixation." *Clin Orthop*(241): 24-35.
15. Eckelt U., Gelenkfortsatzfrakturen. 2000, *Mund Kiefer Gesichtschir.* 4, 110-117
16. Einhorn TA: The cell and molecular biology of fracture healing. *Clin Orthop* 355: 7-21 (1998)

17. Ellis E, 3rd, Ghali GE: Lag screw fixation of mandibular angle fractures. J Oral Maxillofac Surg 1991;49:234
18. Ellis E: Treatment methods for fractures of the mandibular angle. Int J Oral Maxillofac Surg, 1999; 28:243
19. Esser Ph, Meister P: Epidemiologie von Unterkieferfrakturen im Zeitraum 1983-1993. Berlin, Humboldt-Univ., Med. Fak., Diss., 1998
20. Ewers R, Düker J, Zahnverletzung durch Osteosyntheseschrauben. Dtsch Zahnärztl Z 1980
21. Fuchs M., Untersuchungen zu biodegradablen Osteosynthese-Implantaten, 2006; 8
22. Gabka, J., Harnisch, H., Meyer, H., Kieferbrüche. Ein Leitfaden für den Zahnarzt. Quintessenz, Berlin 1975
23. Gahlos F., Ariyan S, Facial fractures: Hippocratic management. Head Neck Surg., 1984; 6:1007-1013
24. Gerlach KL , Pappe HD: Prinzip und Indikation der Miniplattenosteosynthese. Dtsch. Zahnärztl. Z. 35, 346-348, 1989
25. Gutwald R, Gellrich N-C, Schmelzeisen R, Einführung in die zahnärztliche Chirurgie und Implantologie, 2003

26. Härle F: Principles of Application of Lag Screws. In Härle F, Champy M, Terry BC, Atlas of Craniomaxillofacial Osteosynthesis, Stuttgart: Thieme, 1999
27. Hansmann C., Eine neue Methode der Fixierung der Fragmente bei komplizierten Frakturen., Verh Dtsch Ges Chir, 1886; 15: 134-137
28. Hansmann: Zugvorrichtung zur Extension des Unterkiefers aus dem Jahre 1896
29. Hashimoto, K. et al, Comparison of image performance between cone-beam computed tomography for dental use and four-row multidetector helical CT., 2006, J. Oral Sci, 48(1), 27-34
30. Hellwig E, Klimek J, Attin T(Hrsg): Einführung in die Zahnerhaltung, 2. Auflage, Urban und Fischer, München, Jena 2003
31. Hausamen J.-E.; Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie, Kirschnersche allgemeine und spezielle Operationslehre, 1995, Springer
32. Hirsch, E., Bilder mit Tiefe und Schärfe, 2003, Zahnarzt Wirtschaft Praxis, Spezial 8, 16-17
33. Hoffmann-Axthelm, W.; Die Geschichte der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Quintessenz-Verlag 1995, S.148
34. Horch H, Herzog M: Traumatologie im Mund-Kiefer-Gesichtsbereich. In Horch H (ed) Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, (ed. 2). Urban&Schwarzenberg, 1997.

35. Hornung Judith, Ursachen, Therapieformen und Komplikationen von Unterkieferfrakturen - eine retrospektive Analyse der Jahre 1994-2005, Heinrich Heine Universität Düsseldorf, 2010
36. Howaldt H, Schmelzeisen R, Einführung in die Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie. Urban&Fischer, 2002
37. Infante C. et al, Mandibular fractures in children. A retrospective study of 99 fractures in 59 patients. 1994, Int. J. Oral Maxillofac. Surg. 23, 329-331
38. Krebs FJ 3rd (1988) Dynamic compression plating in treatment of the fractured, edentulous mandible Laryngoscope 98:198-201
39. Krenkel C, Biomechanics and Osteosynthesis of Condylar Neck Fractures of the Mandible. (ed. 1). Quintessenz 1994
40. Krenkel C, Treatment of mandibular-condylar fractures. Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am. 1997 Mar; 5(1): 127-55
41. Krishna Priya Vellore et al., Circummandibular Wiring of Symphysis Fracture in a Five-Year-Old Child, Case Reports in Dentistry, Vol 2013, Article ID 930789
42. Krüger, E., Lehrbuch der chirurgischen Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Band 2, 1993, 113-150. Quintessenz, Berlin

43. Kuner E.H., Die Gründung und Entwicklung der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen, 1
44. Kunz C, Hammer B, Prein J, Frakturen des zahnlosen atrophischen Unterkiefers - Frakturversorgung und Komplikationen Mund Kiefer GesichtsChir 2001;5:227-23
45. Kushner Gm, Alpert B., Management of mandibular body fractures. Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am. 1997 Mar;5(1):61-76
46. Luhr H, Zur stabilen Osteosynthese bei Unterkieferfrakturen. Dtsch Zahnärztl; 1968, Z23:745
47. Luhr, H.; Histologische Untersuchungen zur Frage der primären Knochenheilung nach Kompressionsosteosynthese; Fortschr Kiefer Gesichts Chr., 1975, Bd. 19, 13
48. Luhr H, Entwicklung der modernen Osteosynthese, Mund Kiefer GesichtsChir;2000, S84–S90; Springer
49. KLS Martin; LevelOne_1,5; 61
50. Lindahl L. Condylar fractures of the mandible. Classification and relation to age, occlusion, and concomitant injuries of teeth and teeth-supporting structures, and fractures of the mandibular body. Int J Oral Surg; 1977, 6:12-21
51. Ludlow JB, Ivanovic M., Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology; Oral Surg, 2008 Jul; 106(1):106-14

52. Luhr H-G, Zur stabilen Osteosynthese bei Unterkieferfrakturen, Dtsch Zahnärztl Z; 1968, 23:745
53. Luhr H-G, Die Kompressionsosteosynthese im Unterkiefer, Hauser; 1972
54. Luhr H-G, Entwicklung der modernen Osteosynthese, Mund Kiefer Gesichtschir.; 2000, 84-90
55. Lutz, F., Moermann,W., Lutz,T.: Schmelzsprünge durch die Vitalitätsprüfung mit Kohlensäureschnee. Schweizer Monatsschrift Zahnheilkunde 84, 1974
56. Moreno JC1, Fernández A, Ortiz JA, Montalvo JJ. Complication rates associated with different treatments for mandibular fractures, J Oral Maxillofac Surg.; 2000 Mar, 58(3):273-80; discussion 280-1.
57. Motamedi MH., An assessment of maxillofacial fractures: a 5-year study of 237 patients, J Oral Maxillofac Surg.; 2003 Jan, 61(1):61-4
58. Niederdellmann H, Schilli W.: Zugschraubenosteosynthese zur Behandlung der Kieferwinkelfraktur; Aktuelle Traumatologie; 1980, 10:105
59. Niethard et al: Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie; Thieme Verlag, 2014, 309
60. Pasler F.A.: Zahnärztliche Radiologie. 4.unveränderte Aufl.; 2003 Thieme Verlag. Stuttgart

61. Peters, D.D., Mader, C.L., Donnelly, J.C., Evaluation of the effects of carbon dioxide used as apulp test. 3 in vivo effect on human enamel. J. Endod., 1986
62. Pfeiffer G, Busch W, Rottke B; Verlauf und Auswirkungen des Therapiewechsels bei Frakturen des Gesichtsschädels; Fortschr Kiefer Gesichts Chir., Bd. 19, 60-63
63. Poggio PM, Incorvati C, Velo S, Carano A: "Safe zones": a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. Angle Orthod 2006;76:191-197
64. Rasse M., Neuere Entwicklungen der Therapie der Gelenkfortsatzfrakturen der Mandibula. 2000, Mund Kiefer Gesichtschir. 4, 69-87
65. Remi M, Christine MC, Gael P, Soizick P, Joseph-Andre J. Mandibular fractures in children: long term results. Int J Pediatr Otorhinolaryngol.; 2003 Jan, 67(1):25-30
66. Romm S., Thomas Brian Gunning and his splint. Plastic Reconstr. Surg.; 1986, 78:252-258
67. Rüter A, Trentz O, Wagner M; Unfallchirurgie. Urban & Fischer bei Elsevier, 2003
68. Saenger, Riediger; Die Ätiologie und Therapie von Unterkieferfrakturen in der Universitätsklinik Aachen von 1995 bis 2007 – eine retrospektive Analyse; Hochschule Aachen; 2009, 50-51
69. Samson HS: Verteilungsmodalitäten, Ätiologie und Therapiestrategien von Mittelgesichtsfrakturen. Berlin, Humboldt- Univ., Med. Fak., Diss., 1998

70. Schenk RK, Willenegger H (1977) Zur Histologie der primären Knochenheilung. Modifikationen und Grenzen der Spaltheilung in Abhängigkeit von der Defektgrösse. Unfallheilkunde 80: 155
71. Schilli, W: Indikation und Technik der stabilen Osteosynthese im Unterkiefer. Fotschr. Kiefer- u. Gesichts-Chir. XIX, 79 (1975)
72. Schneider R, 10 Jahre AO-Dokumentationszentrale, Bern, 1969
73. Simmons DJ, Fracture healing perspectives. Clin Orthop 200: 101-113, 1985
74. Schulze R., Aktueller Stand der digitalen Röntgentechnik, 2006, zm-online – Zahnmedizin: Diagnostik up to date,
75. Schulze R., Dentale digitale Volumtomographie, 2013, Aug, 20, s2k-Leitlinie, AWMF-Register-Nummer: 083-005
76. Schuon R.A.: Vergleich der biomechanischen Stabilität verschiedener Osteosynthesesysteme am Unterkiefer – eine experimentelle und finite Elemente gestützte Analyse. Univ Diss 2004 Münster
77. Schweitzer F, Beziat JL, Freidel M, Dumas P. Fractures de mandibule de l'enfant. Rev Stomatol Chir maxillofac; 1980, 81:301-305.
78. Schwenzler N., Ehrenfeld M., Spezielle Chirurgie, 2002:304

79. Sigurdsson A: Pulpal diagnosis. *Endod Topics* 5: 12–25 (2003)
80. Synthes; Compact 2.0 Lock Mandible; 016.000.059.pdf, 2
81. Tanaka, N., Uchide, N., Suzuki, K., Tashiro, T., Tomitsuka, K., Kimijima, Y., Amagasa, T., Maxillofacial fractures in children. 1993, *J. Craniomaxillofac. Surg.* 21, 289-293
82. Teitelbaum SL, Ross FP, Genetic regulation of osteoclast development and function. 2003, *Nat Rev Genet* 4(8): 638-649
83. Trifflet JT, Initiation and enhancement of bone formation: a review. *Acta Orthop Scand*; 1987, 58: 673-684
84. Trinkle K, Ehrenfeld M, Zahnwurzelläsionen durch Schrauben zur mandibulo-maxillären Fixation – Röntgenologische und klinische Nachuntersuchung, 2009; Dissertation LMU München
85. Uglešić V., Virag M., Aljinović N., Macan D.: Evaluation of mandibular fracture treatment. *J Cranio Maxillofac Surg* (1993) 21:251-257
86. Weerda H, Niederdellmann H, Ewers R; Erfahrungen mit der stabilen Plattenosteosynthese im Gesichtsschädelbereich; 1979, *HNO* 27, 318-321

87. Welsch U., Sobotta - Lehrbuch Histologie. Urban & Fischer. München Jena, 2003, 132ff

88. Werner E., Enzyklopädie Medizingeschichte, 2007; 1411

89. Willenegger H, SM Perren, RK Schenk Primäre und sekundäre Knochenbruchheilung. Chirurg 42: 241-252, 1971

90. Geibel M.-A., DVT – Indikation und Strahlenbelastung; 2013; ZWP online

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mir mit ihrem Einsatz und stetiger Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben:

Im Besonderen möchte ich mich mit dem Abschluss dieser Promotion bei Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Torsten E. Reichert, Direktor der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universität Regensburg bedanken, welcher sich bereiterklärt hat, dieses Thema zu betreuen, sowie wesentliche Anregungen und Bereicherungen der Arbeit durch seine konstruktive Kritik gegeben hat.

Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Thomas Kreusch möchte ich für die Möglichkeit danken, mir die Infrastruktur zu bieten, die Ressourcen seiner Abteilung zu nutzen um diese Arbeit zu vervollständigen.

Bedanken möchte ich mich weiterhin bei meinen Freunden, welche mir mit anregenden Diskussionen eine wichtige Unterstützung waren.

Lebenslauf - Michael Friedrich

08.03.1976 Geboren in Regensburg (Bayern) als Sohn
 von Marianne und Hans-Jürgen Friedrich

Beruflicher Werdegang

1996 Erwerb der Allgemeinen Hochschulreife
 Privat Gymnasium Pindl – Regensburg

1996 – 1997 Zivildienst am Klinikum der Universität Regensburg

1997 – 2004 Studium der Humanmedizin an der Universität Regensburg
 Ärztliche Approbation

2004 – 2008 Studium der Zahnmedizin an der Universität Regensburg
 Zahnärztliche Approbation

2005 – 2008 Assistenzarzt am Kreiskrankenhaus Wörth a.d. Donau
 Abteilung Chirurgie – Chefärzte Dr. Semsch, Dr. Hummel

2006 Promotion der Humanmedizin

2008 – 2013 Assistenzarzt am Asklepios Klinikum Nord Hamburg
 Abteilung für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie
 Chefarzt Prof. Dr. Dr. Th. Kreuzsch

 2013 Facharzt für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie

 2013 Zusatzbezeichnung Plastische Operationen

2014 – aktuell Anstellung als Facharzt für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie