

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer

Betreuungsausschuss

Betreuer: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. W. Engelke

Ko-Betreuer: OÄ PD Dr. T. Rödiger

Prüfungskommission

Referent/in: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. W. Engelke

Ko-Referent/in: Prof. Dr. med. dent. P. F. Meyer-Marcotty

Drittreferent/in: Prof. Dr. med. dent. R. Mausberg

Datum der mündlichen Prüfung: 28. Oktober 2019

Aus der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
(Prof. Dr. med. Dr. med. dent. H. Schliephake)
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Die navigierte, schablonengeführte und
endoskopisch-assistierte Entfernung von
unteren dritten Molaren über einen okklusalen
Zugang**

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

David Streit

aus

Bad Neustadt

Göttingen 2018

Die vorliegende Promotionsschrift war die Grundlage für folgende Veröffentlichungen:

Engelke W, Streit D, Hornung F (2017): Die geführte Exodontie. Digital Dentistry 03/17, 12-17

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel „Die navigierte, schablonengeführte und endoskopisch-assistierte Entfernung von unteren dritten Molaren über einen okklusalen Zugang“ eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den 12.10.2018

.....

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VIII
Tabellenverzeichnis.....	X
1. Einführung.....	1
1.1	Einführung in die Thematik..... 1
1.2	Anatomische und klinische Grundlagen..... 4
1.2.1	Entwicklung des Weisheitszahnes..... 4
1.2.2	Allgemeine Anatomie der relevanten Strukturen..... 5
1.2.3	Retention, Impaktion und Verlagerung..... 6
1.2.4	Pathologie und Klinik des Weisheitszahnes..... 7
1.3	Radiologische Untersuchung..... 11
1.3.1	Panoramaschichtaufnahme..... 11
1.3.2	Digitale Volumentomographie..... 12
1.4	Navigation in der Zahnmedizin..... 13
1.4.1	Schablonentechnik..... 14
1.4.2	Navigierte Implantologie..... 15
1.4.3	Navigierte Endodontie..... 15
1.5	Endoskopie in der Zahnheilkunde..... 16
1.5.1	Allgemeines..... 16
1.5.2	Stützendoskopie..... 16
1.5.3	Immersionsendoskopie..... 17
1.6	Minimalinvasive Operationstechniken beim unteren Weisheitszahn..... 17
1.6.1	Präparation der Weichgewebe..... 17
1.6.2	Präparation der Hartgewebe..... 18
1.6.3	Koronektomie..... 18
1.6.4	Einwärts-Fragmentierungstechnik..... 19
1.6.5	Wundversorgung und Nachbehandlung..... 19
1.7	Zielsetzung der Arbeit..... 20

2. Material und Methoden.....	21
2.1	Patientenkollektiv..... 21
2.1.1	Aufnahme- und Ausschlusskriterien..... 21
2.2	Grundlagen der Operationsplanung.....21
2.2.1	Panoramaschichtaufnahme..... 21
2.2.2	Digitale Volumentomographie.....22
2.2.3	Intraoralscan..... 23
2.2.4	Darstellung des Verlaufes des <i>Nervus alveolaris inferior</i>23
2.2.5	Definition der Furkationslage..... 24
2.3	Ablauf der Operationsplanung..... 25
2.3.1	Zugangsplanung für die Zielbohrung einschließlich Sicherheitsabstand..... 25
2.3.2	Datenüberlagerung und Datenexport..... 27
2.4	Technische Vorbereitung der Operation.....28
2.4.1	Schablonenherstellung..... 28
2.4.2	Schablonenmodifikation.....29
2.4.3	Instrumentarium..... 30
2.5	Chirurgischer Eingriff..... 32
2.5.1	Anästhesie..... 32
2.5.2	Weichteilpräparation..... 32
2.5.3	Hartgewebspräparation..... 33
2.5.3.1	Osteotomie / Okklusale Exposition..... 33
2.5.3.2	Pilotbohrung.....34
2.5.3.3	Erweiterungsbohrung..... 35
2.5.3.4	Zugangserweiterung zur Furkation.....36
2.5.3.5	Interradikuläre Trennung..... 36
2.5.3.6	Mobilisierung koronoradikulärer Fragmente (EFT)...37
2.5.3.7	Interne Mikroosteotomie..... 37
2.5.3.8	Mobilisierung von Wurzelfragmenten (EFT)..... 38
2.5.3.9	Intraradikuläre Separation..... 38
2.5.3.10	Mobilisation von Kleinfragmenten.....39
2.5.3.11	Lokalisierte Abtragung..... 39
2.5.3.12	Alveolenmessung..... 40
2.5.4	Wundversorgung..... 40
2.6	Auswertung.....41
2.6.1	Radiologische Parametererhebung..... 41

2.6.1.1	Risikoeinschätzung nach Juodzbaly und Daugela	41
2.6.1.2	Analyse der Wurzelseparation	42
2.6.1.3	Präoperative Vermessung der Alveolenhöhe in der DVT-Aufnahme	43
2.7.2	Klinische Parametererhebung	45
2.7.2.1	Intraoperative Analyse der OP-Teilschritte	45
2.7.2.2	Intraoperative Vermessung der Knochendefektsituation	45
2.7.2.3	Postoperative Untersuchungen	46
2.8	Antrag an die Ethikkommission	47
2.9	Statistische Auswertung	47
2.9.1	Statistische Vergleiche	47
3.	Ergebnisse	49
3.1	Deskriptive Datenanalyse	49
3.1.1	Patientendaten	49
3.1.2	Präoperative Operationsplanung	50
3.1.3	Intraoperative Umsetzung der Planung	51
3.1.4	Radiologische Untersuchungen	52
3.1.4.1	Verteilungen in den Schichtebenen	52
3.1.4.2	Risikoeinstufung nach Juodzbaly und Daugela	53
3.1.4.3	Wurzelkonfiguration	53
3.1.5	Knochendefektanalyse	54
3.1.6	Anzahl der OP-Teilschritte	55
3.1.7	Postoperative Befunde	56
3.2	Statistische Vergleiche	57
3.2.1	Nullhypothesen	57
4.	Diskussion	59
4.1	Technische Bewertung der Methode	59
4.1.1	Digitaler Workflow	59
4.1.2	Stellenwert des Endoskopes	64
4.2	Radiologische Untersuchungen	65
4.3	Klinische Umsetzung	67
4.3.1	Chirurgischer Eingriff	67
4.3.2	Postoperative Analyse	73
4.4	Schlussfolgerung	77

5. Zusammenfassung	78
6. Literaturverzeichnis	80
7. Anhang	91
7.1 Patientendokumentationen.....	91
7.2 Unterlagen zur ethischen Begutachtung.....	101
7.3 Protokolle.....	102

Abbildungsverzeichnis

Abb.1.1	Radiologische Darstellung einer Perikoronitis an Zahn 38.....	8
Abb.1.2	Radiologische Darstellung einer <i>Caries penetrans</i> an Zahn 48.....	9
Abb.1.3	Radiologische Darstellung einer Resorption der distalen Wurzel an Zahn 47 durch verlagerten Zahn 48.....	10
Abb.1.4	Navigationsschablone.....	14
Abb.1.5	Stütz-Spülschaft mit angeschlossener Spülleitung; Einsatz der Optik als Geweberetraktor.....	17
Abb.2.1	Beispiel einer Panoramaschichtaufnahme mit <i>Sidexis Orthophos XG 5DS</i>	22
Abb.2.2	Virtuelle Modellherstellung mit dem <i>3Shape ModelBuilder</i>	23
Abb.2.3	Darstellung des Nervverlaufes in <i>3Diagnosys-Software</i>	23
Abb.2.4	Skizze und Ausschnitt aus DVT-Aufnahme zum Auffinden des tiefsten Punktes der Furkation in den drei Schichtebenen.....	24
Abb.2.5	Ausschnitte aus DVT-Aufnahme zur exakten Determinierung des tiefsten Punktes der Furkation.....	25
Abb.2.6a	Skizze der Ausrichtung der Bohrung in den drei Raumebenen.....	26
Abb.2.6b	Beispiel der Ausrichtung der Bohrung in den drei Raumebenen mit Abmessung der Abstände zu NAI, bukkaler und lingualer Kompakta.....	27
Abb.2.7	Konstruierte Bohrschablone in der <i>PlastyCAD-Software</i>	28
Abb.2.8	<i>DigitalWax 028D</i> - 3D Drucker der Firma DWS.....	28
Abb.2.9	Beispiel einer gedruckten Navigationsschablone mit fest eingesetzter Außenbuchse.....	29
Abb.2.10	Modifizierte Innenbuchse mit angelasertem Haltegriff.....	29
Abb.2.11	Beispiel einer gedruckten Navigationsschablone mit eingesteckter Innenbuchse.....	29
Abb.2.12	Genormte Lindemannfräse mit angelaseter Bundbohrbuchse.....	31
Abb.2.13	Genormter Rosenbohrer mit angelaseter zylindrischer und Bundbohrbuchse.....	32
Abb.2.14	Weichteilpräparation (schematische und endoskopische Darstellung).....	32
Abb.2.15	Visualisierung des OP-Feldes.....	33

Abb.2.16	Osteotomie (schematische und endoskopische Darstellung)	33
Abb.2.17	Pilotbohrung (schematische und endoskopische Darstellung).....	34
Abb.2.18	Konzeption der Umsetzung der Pilotbohrung.....	34
Abb.2.19	Erweiterungsbohrung, (schematische und endoskopische Darstellung).....	35
Abb.2.20	Konzeption der Umsetzung der Erweiterungsbohrung.....	35
Abb.2.21	Zugangserweiterung zur Furkation (schematische und endoskopische Darstellung).....	36
Abb.2.22	Interradikuläre Trennung (schematische und endoskopische Darstellung).....	36
Abb.2.23	Mobilisierung koronaradikulärer Fragmente (schematische und endoskopische Darstellung).....	37
Abb.2.24	Interne Mikroosteotomie (schematische und endoskopische Darstellung).....	37
Abb.2.25	Mobilisierung von Wurzelfragmenten (schematische und endoskopische Darstellung).....	38
Abb.2.26	Interradikuläre Separation (schematische und endoskopische Darstellung).....	38
Abb.2.27	Mobilisierung von Kleinfragmenten (schematische Darstellung).....	39
Abb.2.28	Lokalisierte Abtragung (schematische und endoskopische Darstellung).....	39
Abb.2.29	Alveolenmessung (schematische und endoskopische Darstellung).....	40
Abb.2.30	Rekonstruktion der neuen Schnittebene und Hounsfield-Dichtemessung zur Analyse der Separation der Wurzeln.....	42
Abb.2.31	Aufsuchen des apikalsten Punktes des dritten Molaren in den drei Schichtebenen.....	43
Abb.2.32	Rekonstruktion der neuen Schnittebene für die präoperative radiologische Vermessung der Alveolenhöhe.....	44
Abb.2.33	Präoperative bukkale Alveolenhöhenmessung; (schematische Darstellung und Ausschnitt aus DVT-Aufnahme)....	44
Abb.3.1	Schematische Darstellung der Geschlechterverteilung.....	49
Abb.3.2	Schematische Darstellung der Zahnverteilung.....	49

Abb.3.3	Schematische Darstellung der Altersverteilung.....	49
Abb.3.4	Schematische Darstellung des Schwierigkeitsgrades.....	53
Abb.3.5	Verteilung der OP-Teilschritte nach Anzahl und Ampelschema.....	55
Abb.3.6	Streudiagramme zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Knochenverlust und Risikoeinstufung.....	57

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Tabellarische Darstellung der Eigenschaften des <i>Sirona Orthophos XG 5 DS</i>	21
Tab. 2.2	Tabellarische Darstellung der Eigenschaften des <i>Acteon WhiteFox</i>	22
Tab. 2.3	Tabellarische Darstellung der Bohrbuchsenparameter.....	30
Tab. 2.4	Klassifikation der Impaktierung von dritten Molaren im Unterkiefer.....	41
Tab. 3.1	Operationsplanung; Auflistung der Anstellwinkel und Zusammenhang zwischen Planung, Pilotbohrung und Erweiterungsbohrung nach Patienten-ID.....	51
Tab. 3.2	Darstellung des Knochenverlustes nach Patienten-ID.....	54
Tab. 3.3	Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveau bezüglich Risikoeinstufung und weiteren Parametern.....	57
Tab. 3.4	Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveau bezüglich Wurzelkonfiguration und weiteren Parametern.....	58
Tab. 3.5	Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveau bezüglich Anzahl der OP-Teilschritte und weiteren Parametern.....	58
Tab. 3.6.	Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveau bezüglich Knochendefekt und weiteren Parametern.....	58
Tab. 4.1	Mögliche Fehlerquellen in verschiedenen Teilschritten des digitalen Workflows mit Lösungsansätzen.....	64

1. Einführung

1.1 Einführung in die Thematik

Die Entfernung von teilretinierten unteren Weisheitszähnen gehört zu einer der am häufigsten durchgeführten Maßnahmen in der Routine von Zahnärzten, speziell ausgebildeten Oralchirurgen und Mund-Kiefer-Gesichtschirurgen (Sands et al. 1993). Eine Nichtanlage der dritten Molaren wird in der Literatur zwischen 9 und 20% angegeben (Bishara und Andreasen 1983). Mit einer Häufigkeit der Impaktion von 17,5% (Björk und Skieller 1972) ist der Weisheitszahn der meist impaktierte Zahn im bleibenden Gebiss (Grover und Lorton 1985). Laut Juodzbalys und Daugela (2013) geht die Impaktion der dritten Molaren mit verschiedenen Leveln an OP-Schwierigkeitsgraden und damit Komplikationen wie Nervschädigungen einher.

Als Gründe für das Entstehen der Impaktion werden die unzureichende skeletale Entwicklung des Gesichtsschädels und eine Reifung der dritten Molaren, welche zu einem Platzmangel im Bereich des zweiten Molaren und des aufsteigenden Astes führen, angegeben (Alling und Catone 1993). Die Umstellung der modernen Zivilisation auf weiche Nahrung resultiert zudem in einer fehlenden Attrition und damit in einer Verringerung der Zahnbogenlänge, welche wiederum die Eruption der Zähne beeinflusst (Varrela 1990).

Als Indikationen für eine Entfernung werden in der Literatur pathologische Zustände genannt, welche in Verbindung mit den dritten Molaren stehen, wie Infektionen, Karies, Zysten, Tumoren oder eine Schädigung der umliegenden Gewebe (Bishara und Andreasen 1983), wobei die Perikoronitis, noch vor der Karies, die häufigste Ursache darstellt (Smith 2013). Eine prophylaktische Indikation wird kontrovers diskutiert, stellt aber die häufigste Ursache für eine Entfernung dar (Jansma et al. 2004).

Obwohl die operative Entfernung der dritten Molaren so zahlreich vollzogen wird, sind die Anzahl und Prävalenz von Komplikationen, sowohl intra- als auch postoperativ, nicht von der Hand zu weisen. Baqain et al. (2008) gaben eine Häufigkeit von 37,2% für Schmerzen, 17,6% für Trismus und 9,5% für die Entwicklung einer alveolären Ostitis an. Blondeau und Daniel (2007) ermittelten eine Komplikationsrate von 6,9% bezogen auf Alveolitis, Infektionen und Parästhesien.

Die gefürchtetste Komplikation, die (ir)reversible Schädigung des *Nervus alveolaris inferior* (NAI) wird mit stark differierenden Prävalenzen mit 0,1-1,7% (Benediktsdóttir et al. 2004), 0,4% (Smith 2013) <2% (Sedaghatfar et al. 2005) bis zu 22% angegeben, wenn es nach Entfernung des Zahnes zu einer Nervexposition kam (Tantanapornkul et al. 2007).

Eine große Anzahl an Studien beschäftigte sich mit der Analyse der Risikofaktoren für den operativen Eingriff, mit der Übereinstimmung, dass das Level der Impaktion sowie bereits vorhandene Infektionen und Pathologien (Chuang et al. 2008), aber auch die anatomische Lagebeziehung der Wurzeln zum NAI (Smith 2013) und weiterhin das Geschlecht und steigendes Alter (Santana-Santos et al. 2013) einen großen Einfluss auf das Auftreten von Komplikationen haben. Aus diesen Gründen ist eine umfangreiche Diagnostik und klinische Anamnese unabdingbar, um die Patienten über deren individuelles Risiko für das Auftreten von Komplikationen aufzuklären (Benediktsdóttir et al. 2004). Bishara und Andreasen (1983) fordern die Aufklärung der Patienten über die Entwicklung von Hämorrhagie, Schmerz, Schwellung, alveoläre Ostitis, Trismus und Nervverletzung).

Eine umfangreiche und komplette Untersuchung des Patienten erfordert die Aufnahme einer vollständigen allgemeinen Anamnese, um Allgemeinerkrankungen, Allergien oder andere Zustände zu ermitteln, welche mit dem Eingriff der Entfernung kollidieren können, sowie die Erstellung eines Röntgenstatus.

Um die Anlage und weiterführend die anatomische Lagebeziehung zu überprüfen und zu analysieren, gilt die Panoramaschichtaufnahme als radiologischer Goldstandard (Matzen et al. 2013). Im Laufe der Zeit wurden spezifische röntgenologische Anzeichen zur Risikoeinstufung einer Nervverletzung bei Entfernung des dritten Molaren anerkannt, wie die Durchbrechung der weißen Linie, eine Verdunkelung der Wurzeln oder die Abzweigung des Nervkanals (Ghaemnia et al. 2009). Sind eines oder mehrere dieser Zeichen im Orthopantomogramm (OPG) zu erkennen, empfiehlt die Literatur die Anfertigung von dreidimensionalen Aufnahmen mithilfe eines digitalen Volumentomographen (DVT) (Lübbbers et al. 2011).

Im Vergleich zu konventionellen Panoramaschichtaufnahmen eignen sich DVT-Aufnahmen besser, um die Knochen- und Lageverhältnisse zwischen Nervkanal und Wurzeln darzustellen und somit die anatomische Beziehung zu analysieren. Dies hat zur Folge, dass der Operateur seine chirurgische Herangehensweise daran festlegen und somit die Entstehung von Komplikationen minimiert werden kann (Ghaemnia et al. 2009; Ghaemnia et al. 2011). Um die Morbiditätsrate nach Osteotomien von unteren Weisheitszähnen zu senken, erfordert es die Entwicklung und den Einsatz minimalinvasiver Methoden, welche ein möglichst geringes intraoperatives Trauma sicherstellen und so postoperative Komplikationen einschränken können.

Ähnlich fordern Farish und Bouloux (2007) die Etablierung neuer chirurgischer Techniken, gepaart mit intensivem Training, welche zu einer Evolution in der dentalen Chirurgie führen und so die Entfernung der dritten Molaren in einer weniger traumatisierenden Art und Weise ermöglichen kann.

Eine Methode, die dieser Forderung gerecht wird und mit einer geringeren Prävalenz an Komplikationen einhergeht, wird durch Pogrel et al. (2004) durch die Koronektomie beschrieben. Auch durch die Weiterentwicklung der Instrumentarien im Bereich der Piezochirurgie ist eine Reduktion der Schädigung von Nachbarstrukturen nachgewiesen, wodurch die Inzidenz von postoperativen Komplikationen, wie Mundöffnung, Schmerzen und Schwellung, reduziert wird (Barone et al. 2010; Sivoiella et al. 2011).

Einen essentiellen Stellenwert und Grundlage für ein minimalinvasiveres Vorgehen stellt die ausreichende Visualisierung des Operationsfeldes dar. Vor allem durch den Einsatz von Endoskopen und/oder Mikroskopen können hierdurch die Anforderungen an eine weitestgehend atraumatische und schonende Vorgehensweise in einem OP-Feld mit schwierigem Zustand erfüllt werden (Beltrán et al. 2012).

Erste Publikationen auf diesem Gebiet von Choi und Engelke (2009) beschreiben eine minimalinvasive Operationstechnik, welche auf die Anwendung eines Mukoperiostlappens verzichtet und Vorteile in Tierexperimenten, wie die Verringerung von Weichgewebstraumata und den Erhalt der Vaskularisation von Knochengewebe, verdeutlicht.

Choi (2012) hat für die Entfernung von unteren Weisheitszähnen die Vorteile der endoskopischen Visualisierung mit einer okklusalen Expositionstechnik kombiniert. Hierbei konnten auf großflächige Lappenbildung und unnötige Osteotomien verzichtet und eine deutliche Reduktion der Komplikationsraten aufgezeigt werden.

Eine Minimierung der Invasivität und gleichzeitig eine Möglichkeit der Qualitätskontrolle bietet sich seit Jahren in der Implantologie durch die Einführung der computer-assistierten Chirurgie (Frisardi et al. 2011). Gleichzeitig ist die Diagnostik mittels DVT-Aufnahme heutzutage überwiegend als Standardverfahren bei der Planung und Navigation in der Implantatchirurgie und -prothetik anerkannt und erlaubt in Kombination mit optischen Scannern präzise Implantatinsertionen und akkurate Prothetik ohne die Bildung von mukoperiostalen Lappen (Zel 2007). Dabei gibt es verschiedene Herangehensweisen im sogenannten digitalen *Workflow*, angefangen von der digitalen Planung bis hin zu diversen Herstellungsmethoden der Implantatschablonen (Schneider et al. 2009).

Verschiedene Arbeitsgruppen machten sich kürzlich die genannten Vorteile der dreidimensionalen Bildgebung mittels DVT kombiniert mit intraoralen Scans zunutze, um die "geführte Endodontie" zu entwickeln (Buchgreitz et al. 2015; Krastl et al. 2015; Zehnder et al. 2015). Hierbei zeigten sich in ersten Untersuchungen zufriedenstellende Ergebnisse bezüglich Präzision und Umsetzbarkeit.

Bei gerechtfertigter Indikation kann ein digitaler Workflow mit der Kombination von Intraoralscans und DVT-Daten daher zu einer Routinebehandlung in der Zahnmedizin werden (Kraatzl et al. 2015).

Werden nun die Vorteile der diagnostischen Bildgebung durch das DVT, die daraus folgende Möglichkeit einer navigierten, schablonenunterstützten Chirurgie und die endoskopisch assistierte und kontrollierte minimalinvasive Vorgehensweise in der Entfernung der unteren Weisheitszähne kombiniert, können sich für den Patienten ein Maximum an Sicherheit, ein Minimum an intraoperativen Traumata und daraus folgend ein Minimum an postoperativen Komplikationen ergeben.

1.2 Anatomische und klinische Grundlagen

1.2.1 Entwicklung des Weisheitszahnes

Die Anlage der bleibenden Zähne erfolgt lingual der Milchzähne ausgehend von der Ersatzzahnleiste. Über verschiedene Entwicklungsstadien bildet sich zunächst die Zahnkrone und im Laufe des Durchbruchs die Zahnwurzel (Lüllmann-Rauch 2003). Während die Anlage aller bleibenden Zähne bereits ab der 17. Woche beginnt, startet die Entwicklung der dritten Molaren erst im 5. Lebensjahr. Bleibt hier die Verschmelzung der Gewebe aus, werden die Weisheitszähne nicht angelegt (Waldeyer und Mayet 1979).

Da für die dritten Molaren im Alveolarfortsatz kein Platz vorhanden ist, liegen sie im Unterkieferast und müssen beim Wachstum der Kiefer und Alveolarfortsätze komplizierte Wanderungen und Verlagerungen durchmachen, bis sie ihren endgültigen Platz einnehmen (Waldeyer und Mayet 1979).

Diese Tatsache in Kombination mit diversen Umwelt- und genetischen Faktoren, welche die Position der Weisheitszähne beeinflussen, können zu einer Retention oder Verlagerung der dritten Molaren führen.

1.2.2 Allgemeine Anatomie der relevanten Strukturen

Mandibula (Unterkiefer)

Der Unterkiefer (lat. *Mandibula*) besteht aus dem Körper (*Corpus mandibulae*), welcher beidseits im Kieferwinkel (*Angulus mandibulae*) in den aufsteigenden Ast (*Ramus mandibulae*) übergeht. Der Ramus endet zum einen mit dem Gelenkfortsatz (*Processus condylaris*) und zum anderen mit dem spitzeren Muskelfortsatz (*Processus coronoideus*), welcher dem Ansatz des *Musculus temporalis* dient. An der Innenseite des Kieferastes führt das *Foramen mandibulae* die Nerven und Hauptgefäße des Unterkiefers (*Nervus, Arteria und Vena alveolaris inferior*) in den Mandibularkanal. Das *Foramen mandibulae* liegt etwa auf Höhe der Okklusionsebene und ist nach vorne von der *Lingula mandibulae* verdeckt.

Mikroskopisch unterscheidet man zwei Bauformen im Knochenaufbau: die Kompakta und die Spongiosa.

Die Kompakta stellt die Rindenschicht (*Corticalis*) des Knochens dar, die Spongiosa besteht aus einem Gitterwerk aus dünnen Platten und Bälkchen, zwischen denen Gefäße und Nerven verlaufen.

Die Knochenhaut (*Periost*) bedeckt die äußere Oberfläche des Knochens, ist reich vaskularisiert und innerviert und dadurch sehr schmerzempfindlich (Lüllmann-Rauch 2003).

Nervi (Nerven)

Der *Nervus alveolaris inferior* (Unterkiefernerve) steigt hinter dem *Nervus lingualis* an der Innenfläche des Unterkieferastes abwärts bis zum *Foramen mandibulae*. Der NAI verläuft weiter im *Canalis mandibulae*, den er als *Nervus mentalis* durch das *Foramen mentale* verlässt. Er besitzt sowohl motorische als auch sensible Nervqualitäten und versorgt unter anderem die Zähne und Gingiva des Unterkiefers, die Haut des Kinnes und Schleimhaut der Unterlippe (Waldeyer und Mayet 1979). Durch die enge Lagebeziehung des *Canalis mandibulae* zu den Wurzeln, Lübbers et al. (2011) zeigten diese in 69,7% ihres Patientenguts, muss bei der Entfernung der dritten Molaren besondere Rücksicht auf eine Schonung des NAI genommen werden. Viele Studien beschäftigten sich mit der Komplikationsrate von Nervverletzungen mit dem Konsensus, dass die Inzidenz für eine dauerhafte Schädigung des Unterkiefernervens mit Häufigkeiten zwischen 0,4% (Smith 2013) und 0,1-1,7% (Benediktsdóttir et al. 2004) relativ gering ist.

Der *Nervus lingualis* (Zungennerv) verläuft zwischen *Musculus pterygoideus medialis* und *lateralis* ("Pterygoideusschlitz") vor dem NAI an der Innenfläche des *Ramus mandibulae* und versorgt unter anderem sensibel und sensorisch die vorderen 2/3 der Zunge, motorisch die Zungenmuskulatur (über Anastomosen mit *Nervus hypoglossus*) (Waldeyer und Mayet 1979).

Kiesselbach und Chamberlain (1984) untersuchten die anatomischen Lagebeziehungen des *Nervus lingualis* mit dem Ergebnis, dass der Nerv direkten Kontakt mit dem Alveolarknochen aufweisen, beziehungsweise über diesem liegen kann. Dadurch ist der Nerv vor allem bei vehementer Retraktion des mukoperiostalen Lappens gefährdet, wobei auch hier nur selten permanente Schädigungen beobachtet wurden (0,008%; Alling 1986) (0,6%; Carmichael und McGowan 1992).

1.2.3 Retention, Impaktion und Verlagerung

Bei einem retinierten Zahn erfolgt der Zahndurchbruch nicht, obwohl keine Behinderung durch einen anderen Zahn vorlag; bei einem impaktierten Zahn erfolgt der Zahndurchbruch aufgrund einer Behinderung durch einen anderen Zahn nicht. Weiterhin kann man die Formen der Retention vom Durchbruchgrad weiter differenzieren.

Vollretinierte Zähne sind komplett von Mundschleimhaut bedeckt und damit nicht in Kontakt mit der Mundhöhle, während teilretinierte die Mundschleimhaut minimal penetriert haben und so leicht mit dem oralen Milieu in Verbindung stehen. Dabei ist der Rest der Krone von Schleimhaut/Knochen bedeckt. Im Gegensatz dazu sind impaktierte Zähne komplett von Knochen bedeckt.

Da die unteren dritten Molaren von allen permanenten Zähnen am häufigsten impaktiert sind (Grover und Lorton 1985), gilt der Indikationsstellung und dem Zeitpunkt der Entfernung größte Sorgfalt.

Von einer Zahnverlagerung spricht man, wenn die Entwicklung des Zahnes nicht in der anatomisch regulären Position der Zahnanlage erfolgt oder eine abweichende Zahndurchbruchsrichtung bzw. Zahnachsenausrichtung vorliegt (Wagner et al. 2009).

Mehrere Autoren haben in den vergangenen Jahren unterschiedliche röntgenologische Klassifikationen entwickelt, um die Art der Verlagerung und Retention zu beschreiben.

Winter bezog sich 1926 auf die Position der Längsachse des dritten Molaren im Verhältnis zur Längsachse des zweiten Molaren. Es erfolgte daraufhin eine Einteilung in vertikal, horizontal, transversal, mesial und distal angulierte Zähne.

Eine weitere Klassifikation, welche sich mit den Formen der Verlagerung der dritten Molaren befasst, wurde 1933 von Pell und Gregory aufgestellt. Durch diese lässt sich anhand der Lagebeziehung der dritten Molaren zu den zweiten Molaren einerseits, sowie dem aufsteigenden Ast andererseits die Schwierigkeit der Entfernung bewerten.

Die Lage der Tiefe wird anhand der Beziehung des dritten Molaren zur Schmelz-Zement-Grenze des zweiten Molaren bewertet und in drei Stufen eingeteilt (A, B, C). In Stufe A liegt die Krone des dritten Molaren auf Höhe der Okklusionsebene oder darüber, Stufe B kennzeichnet die Lage der Krone zwischen der Okklusionsebene und der Schmelz-Zement-Grenze und in Stufe C liegt die Krone des dritten Molaren unter der Schmelz-Zement-Grenze.

Das Platzangebot zwischen dem zweiten Molaren und dem aufsteigenden Ast des Unterkiefers wird ebenfalls in drei Stufen unterteilt (1,2,3). Hier kennzeichnet Stufe 1 ein ausreichendes Platzangebot zwischen zweitem Molaren und dem *Ramus mandibulae*, in das der dritte Molar durchbrechen könnte. Stufe 2 beschreibt die Breite des Raumes kleiner als die mesio-distale Ausdehnung der Krone des dritten Molaren. In Stufe 3 schließt sich die vordere Begrenzung des aufsteigenden Astes unmittelbar dem distalen Ende des zweiten Molaren an, so dass der Weisheitszahn vollständig im Unterkieferast liegt (Pell und Gregory 1933).

1.2.4 Pathologie und Klinik des Weisheitszahnes

Indikation zur Weisheitszahnentfernung

Wie die aktuellen Leitlinien der DGZMK aus dem Jahr 2012 postulieren, wurde bislang bei der Indikation zur Therapie traditionell zwischen klinisch bzw. radiologisch symptomlosen und symptomatischen Zähnen unterschieden.

Während die wissenschaftliche Erkenntnis zu einer prophylaktischen Entfernung symptomloser Weisheitszähne nicht besteht, ist die Entfernung von klinisch oder radiologisch auffälligen Zähnen einheitlich beschrieben.

Laut den Leitlinien sei nun aber eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen prophylaktischer und therapeutischer Weisheitszahnentfernung nicht mehr gerechtfertigt, da aktuelle Studien Auswirkungen pathologischer Zustände der dritten Molaren auf die parodontale Situation der benachbarten Molaren oder darüber hinaus belegen (Blakey et al. 2010).

Retrospektive Studien zeigten, dass vor allem im Unterkiefer mehr prophylaktische Indikationen (73,9%) zur Weisheitszahnentfernung gestellt wurden, wohingegen 26,1% aus therapeutischen Gründen entfernt wurden (Neumann 2003).

Therapeutische Indikation

Eine therapeutische Indikation besteht sowohl auf der objektiven Ebene, wenn pathologische Befunde des Zahnes selbst oder seiner umgebenden Gewebe eine Erhaltung unmöglich machen, als auch auf der subjektiven Ebene, wenn die erforderlichen Maßnahmen zur Zahnerhaltung trotz ausreichender Aufklärung vom Patienten abgelehnt werden (Wagner et al. 2009).

a) *Dentitio difficilis* (Erschwerter Zahndurchbruch)

Die *Dentitio difficilis* ist die häufigste Ursache für die Entfernung der unteren Weisheitszähne (Smith 2013). Darunter versteht man einen erschweren Zahndurchbruch durch Platzmangel oder sonstige Hindernisse. Dadurch kommt es zur Perikoronitis (Abb.1.1), der Schlupfwinkelinfektion, welche sich zwischen dem durchbrechenden Zahn und den darum befindlichen Weichteilen entwickelt, wenn ein Teil des Zahnes bereits die Mundhöhle erreicht hat. Chuang et al. stellten 2008 fest, dass ein höheres Risiko für postoperative Komplikationen besteht, wenn sich eine Entzündung um den Weisheitszahn befindet.

Die Perikoronitis läuft typischerweise in drei Stadien ab, welche durch verschiedene klinische Zeichen gekennzeichnet sind:

- Stadium 1: Schmerz und Rötung bzw. Schwellung der bedeckenden Weichgewebe
- Stadium 2: Wangenschwellung und Mundöffnungsbehinderung
- Stadium 3: Ausbreitung in die retromaxilläre oder pterygomandibuläre Region, Logenabszess

Daraus ergibt sich auch die stadien-abhängige Therapie, welche von der Taschensäuberung bis zur stationären Aufnahme mit Behandlung des Abszesses und extraoraler Inzision reicht (Wagner et al. 2009).



Abb.1.1: Radiologische Darstellung einer Perikoronitis an Zahn 38

b) Karies

Die Karies ist laut Smith (2013) die zweithäufigste Ursache für die Entfernung von teilretinierten Weisheitszähnen. Aufgrund ihrer anatomischen Lage sind die Weisheitszähne besonders risikobehaftet kariöse Läsionen zu entwickeln (Abb. 1.2). Da auch konservierende Zahnerhaltungsmaßnahmen, vor allem endodontische Behandlungen, in diesen Regionen nur schwer durchzuführen sind, ist die Entfernung der dritten Molaren meist die Therapie der Wahl.



Abb.1.2: Radiologische Darstellung einer Caries penetrans an Zahn 48

c) Pathologische Veränderungen

Eine weitere nicht seltene Begebenheit ist die Entwicklung pathologischer Strukturen, wie Zysten oder Tumoren, welche in Zusammenhang mit den Zahnfollikeln entstehen.

Definitionsgemäß sind Zysten pathologische, epithelial ausgekleidete Hohlräume, welche im Knochen oder Weichgewebe lokalisiert sind und ein- oder mehrkammrig mit flüssigem oder breiigem Inhalt gefüllt sind.

Die häufigste Zystenform ist die radikuläre Zyste mit 52,3%, gefolgt von der follikulären Zyste, welche wiederum vorwiegend am unteren Weisheitszahn auftritt (Wagner et al. 2009).

Die Therapie der Wahl ist die operative Entfernung der Zyste. Im Zuge dieses Eingriffes wird auch die Entfernung des Weisheitszahnes vorgenommen. Routinemäßig sollte das zystische Gewebe differentialdiagnostisch pathologisch untersucht werden, um eine Tumorenbildung auszuschließen.

Weitere therapeutische Indikationen für eine Entfernung der dritten Molaren sind:

- Hinweise, dass der Weisheitszahn eine relevante Schmerzsache darstellt
- nicht behandelbare periapikale Veränderungen
- Resorptionen an benachbarten Zähnen (Abb.1.3)
- Zusammenhang mit der Behandlung parodontaler Erkrankungen
- Zähne, die bei rekonstruktiven oder kieferorthopädischen Eingriffen stören
- Zähne im Bruchspalt, die Frakturbehandlung erschweren
- Verwendung des Zahnes zur Transplantation
- manifeste Störungen der dynamischen Okklusion durch elongierten/gekippten Weisheitszahn (Wagner et al. 2009)



Abb.1.3: Radiologische Darstellung einer Resorption der distalen Wurzel an Zahn 47 durch verlagerten Zahn 48

Prophylaktische Indikation

Die prophylaktische Indikation ergibt sich aus einem Abwägen der Risiken, die bei einem Belassen der Situation auftreten können gegenüber den Risiken, welche bei der Entfernung des Zahnes entstehen. Dieser Prozess bezieht sowohl spezifische lokale Zusammenhänge, wie zahnmedizinische Überlegungen, als auch übergeordnete, allgemeinmedizinische Aspekte, wie eine bevorstehende Bestrahlungs- oder Chemotherapie, mit ein (Wagner et al. 2009). Aus kieferorthopädischer Sicht können durch eine prophylaktische Entfernung Zahnbewegungen vereinfacht werden oder nach Abschluss von kieferorthopädischen Behandlungen das Ergebnis dieser gesichert werden (DGZMK-Leitlinie 2013).

Der günstigste Zeitpunkt der Entfernung wird in der Literatur im Jugendalter gesehen, da bis dato das Wurzelwachstum noch nicht abgeschlossen ist und somit eine Entfernung vereinfacht ist. Des Weiteren werden parodontale Schäden distal der zweiten Molaren vermehrt ab dem 25. Lebensjahr beobachtet (Wagner et al. 2009).

1.3 Radiologische Untersuchung

In der Zahnheilkunde dient die Röntgenuntersuchung als Ergänzung zur klinischen Untersuchung der besseren Diagnosefindung oder –sicherung und ist vollständig und rechtzeitig durchzuführen. Es soll das jeweils optimale Projektionsverfahren gewählt werden, wobei in manchen Fällen die Anfertigung mehrerer Aufnahmen indiziert ist. Eine unterlassene Röntgendiagnostik kann rechtlich als Sorgfaltspflichtverletzung gewertet werden. Das radiologische Aufnahmeverfahren ist je nach Indikation und stets nach dem Prinzip der geringsten Strahlenbelastung (ALARA-Regel) zu wählen (Weber 2016).

1.3.1 Panoramaschichtaufnahme

Die Panoramaschichtaufnahme ist neben den Zahnfilmaufnahmen der Goldstandard bei der radiologischen Untersuchung in der allgemein Zahnärztlichen Praxis. Das OPG kann dabei in über 95% der Fälle einen bestimmten, röntgenologisch nachweisbaren Befund zur Darstellung bringen.

Der hohe Anteil an Nebenbefunden, gepaart mit der relativ geringen Strahlendosis, spricht für den Einsatz des OPG als Übersichtsaufnahme zur Erstuntersuchung. Weitere Einsatzgebiete bestehen in der Kieferorthopädie zur Diagnostik der Zahn-anlage und in der Chirurgie bei sanierungsbedürftigen Patienten, implantologischen Fragestellungen oder Traumata bzw. bei Verdacht auf zystisch oder entzündlich veränderte Gewebe (Weber 2016).

Auch bei der Untersuchung der Anlage und weiterführend der Lageverhältnisse vor der Entfernung der dritten Molaren ist die Panoramaschichtaufnahme die röntgenologische Methode der Wahl (Smith 2013). Verschiedene Studien befassten sich mit der Analyse von Risikoanzeichen auf dem OPG, welche für ein erhöhtes Risiko einer intraoperativen Freilegung bzw. Verletzung des NAI bei der Entfernung von Weisheitszähnen sprechen können. Diese sind: die Unterbrechung der weißen Linie, die Verdunkelung der Wurzeln, die Verbiegung der Wurzeln, eine Verengung des Kanals und die Abzweigung des Kanals (Ghaemnia et al. 2009, Rood und Shehab 1990). Tantanapornkul et al. (2007) sahen die Unterbrechung des Kanals als eindeutigstes Kriterium.

1.3.2 Digitale Volumentomographie

Seit 1998 bietet die digitale Volumentomographie (oder *Cone-Beam CT*, CBCT) als dreidimensionales bildgebendes Verfahren eine Untersuchungsmethode in der zahnärztlich-chirurgischen Röntgendiagnostik, die entwickelt wurde, um die Hartgewebe der Schädelregion abzubilden (Scarfe et al. 2006).

Im Hinblick auf das Verhältnis zwischen Informationsgewinn und Strahlenbelastung erreicht die Informationsdichte des DVT das Vielfache konventioneller Aufnahmen, was ein frühzeitiges Erkennen von Veränderungen oder Besonderheiten ermöglicht. Dies wiederum erlangt im Sinne einer präventionsorientierten Zahnheilkunde eine große Bedeutung (Weber 2016). Da das DVT die zu untersuchende Region in einem einzigen Umlauf kegelförmig erfasst, resultiert im Vergleich zu einem CT- (Computer-Tomographie) Standardprotokoll eine signifikante Dosisreduktion um ca. 75-90% ohne Qualitätsverlust. Somit ist das DVT mit einer effektiven Dosis von 36-105 μSv unter strahlenklinischen Aspekten zwischen dem OPG (5-15 μSv) und dem CT (314-1270 μSv) platziert (Mischkowski et al. 2007).

Im DVT bewegt sich eine drehbar gelagerte Röntgenröhre mit einem flächigen Bild-detektor an der Gegenseite rund um den im Zentrum befindlichen Patienten. Dabei entsteht eine große Anzahl (bis 400) an zweidimensionalen Einzelprojektionen, die von einem Rechner zu einem dreidimensionalen Datensatz umgewandelt werden. Die mittlere Scanzeit liegt bei den derzeitigen DVT-Geräten zwischen 10 und 20 Sekunden (Watzek et al. 2009). Die Größe des erfassten Volumens wird vom *Field of View* (FOV) charakterisiert und liegt zwischen 4x4 cm und 19x24 cm. Somit kann eine Aufnahme des gesamten dentalen und maxillofazialen Indikationsspektrums mit hoher Auflösung garantiert werden (Weber 2016). Indikationen für die Anfertigung einer DVT-Aufnahme bestehen in allen Fachdisziplinen der Zahnmedizin, aber auch der Hals-Nasen- und Ohrenmedizin.

Spezielle Indikationen in der Zahnmedizin sind (Mallya 2015):

- Chirurgie: Lage retinierter Zähne, Traumatologie, Ausdehnung von pathologischen Knochenläsionen
- Implantologie: Planung, Navigation, Erstellen von Bohrschablonen
- Kieferorthopädie: Möglichkeit der Rekonstruktion von OPG und FRS (Fernröntgen seitlich)
- Parodontologie: räumliche Beurteilung der parodontalen Situation
- Endodontie: Anatomie der Wurzelkanäle, periapikale Läsionen

Die Anfertigung und Befundung von DVT-Aufnahmen bedarf spezieller Fachkunde- und Strahlenschutzkurse, welche in regelmäßigen Abständen aufgefrischt werden müssen (Weber 2016).

Auch in der Literatur wird der überlegene Stellenwert des DVT im Zusammenhang mit der Entfernung von unteren Weisheitszähnen häufig beschrieben. In den Leitlinien der DGZMK wird die Anfertigung einer digitalen Volumentomographie bei einer kritischen Lagebeziehung des Weisheitszahnes zur umgebenden Struktur, besonders des NAI empfohlen (DGZMK-Leitlinie 2013).

Das DVT zeigt sich besonders bei der Analyse der Anzahl der Wurzeln, aber auch bei der Fragestellung der bukkolingualen Lagebeziehung zwischen Unterkieferkerv und Wurzeln der dritten Molaren überlegen (Suomalainen et al. 2010). Smith (2013) fordert eine weiterführende Bildgebung, wenn bei enger Verbindung der Wurzeln des dritten Molaren zum Unterkieferkanal eine Knochenentfernung oder Zahntrennung erwartet wird und damit das Risiko einer Hämorrhagie steigt.

Eine interessante Studie, welche die Planung der Operationsmethode anhand der Auswertung von Röntgenaufnahmen beschrieb, stellte fest, dass sich in 12% der Fälle die Herangehensweise des Operateurs nach Befundung der DVT-Aufnahme im Vergleich zur OPG-Analyse änderte (Matzen et al. 2013). Ähnliche Schlussfolgerungen wurden 2011 von Ghaemina aufgestellt, wonach DVT-Aufnahmen die Risikoeinschätzung bei der Entfernung von dritten Molaren minimieren, da sich diese besser eignen die Knochenverhältnisse um den Kanal und die Wurzeln darzustellen.

1.4 Navigation in der Zahnmedizin

Seit Branemark in den frühen 60er Jahren die erste dentale Implantatchirurgie durchführte, hat die ständige Weiterentwicklung der Operationstechniken zu immer vorhersagbareren Ergebnissen geführt. Vor allem mit der Einführung der geführten Implantation haben sich die Erfolgsraten sowohl der Implantation selbst, als auch der Restaurationen verbessert (Marchack und Chew 2015).

Durch die Einführung und Entwicklung des sogenannten *Backward-Planing* kann bei der Implantatchirurgie, angetrieben durch eine prothetisch-orientierte Herangehensweise, ein vorhersagbares Ergebnis erzielt werden (Miller und Bier 2006). In den letzten Jahren wurde das Interesse an minimalinvasiven Implantattherapien als Standardverfahren für nachfolgende prothetische Versorgungen immer größer. Vor allem die Kombination von optischen Scannern in Verbindung mit der dreidimensionalen Bildgebung erlaubt schon heute implantat-chirurgische Eingriffe, ohne die Bildung mukoperiostaler Lappen durchzuführen (Zel 2007). Unabdingbare Voraussetzung dafür ist eine hohe Genauigkeit des Transfers der virtuellen Planung in die Realität (Schneider et al. 2009).

1.4.1 Schablonentechnik

Mit der Verabschiedung der alten GOZ, bei der unter dem Überbegriff "individuelle Schablone" sowohl die eigentliche Röntgenschablone, aber auch die Schablone als Aufbissbehelf oder als Verbandsplatte zusammengefasst waren, folgte mit der Einführung der neuen Gebührenordnung eine explizite Differenzierung der Schablonentypen anhand ihrer Funktion.

In der klassischen Röntgenschablone (GOZ Nr. 9000) sind kalibrierte Referenzkugeln in eine Tiefziehschiene eingearbeitet. Mit dieser wird eine OPG-Aufnahme beim Patienten angefertigt, welche anschließend eine Bestimmung des vertikalen Knochenangebotes erlaubt. Die Röntgenschablone kann für die spätere Implantation nicht verwendet werden und dient somit alleine diagnostischen Zwecken, ermöglicht aber keine Aussage über die vestibulo-orale Knochensituation.

Die Orientierungs- beziehungsweise Positionierungsschablone (GOZ Nr. 9003) ist eine vom Zahntechniker angefertigte Kunststoffschiene, welche die Implantatposition nach prothetischen Gesichtspunkten auf dem Alveolarfortsatz vorgibt. In diese können entweder Schlitze für die Pilotbohrung oder definierte Bohrhülsen eingearbeitet werden. Eine Übertragung der Tiefeninformation der Knochensituation ist jedoch nicht möglich, was eine detaillierte klinische Untersuchung erforderlich macht.

Die Herstellung einer Navigationsschablone (GOZ Nr. 9004) kann auf unterschiedlichen Arbeitswegen erfolgen und benötigt in jedem Fall die vorherige Anfertigung einer dreidimensionalen Röntgenaufnahme, in den meisten Fällen eine DVT-Aufnahme. Anschließend wird über verschiedene Arbeitsschritte eine digitale Implantatplanung vorgenommen und die intraorale Situation, welche analog oder digital erfasst wurde, eingefügt.

Nach Exportierung der gesammelten Informationen kann die Navigationsschablone (Abb. 1.4) außer Haus oder zentral anfertigt werden.

Die Vorteile dieser Schablonentechnik sind die umfassende Diagnostik und Planung anhand der DVT-Aufnahme, welche eine Übertragung aller Parameter (mesio-distale und oro-vestibuläre Ausdehnung sowie Tiefenmarkierung) in das Operationsfeld ermöglicht (Neugebauer et al. 2012).



Abb. 1.4: Navigationsschablone

1.4.2 Navigierte Implantologie

Die größte Anwendung findet die Schablonentechnik heutzutage in der Implantologie. Durch die Computer-assistierte Chirurgie werden hierbei weniger invasive OP-Prozeduren und Ersparnisse in der OP-Zeit erzielt (Frisardi et al. 2011). Hultin et al. stellten 2012 fest, dass die navigierte *flapless*-OP nahezu die Hälfte der Zeit in Anspruch nahm, verglichen mit der Zeit, die bei Eingriffen mit Bildung mukoperiostaler Lappen entstand. Durch die Kombination von hochpräzisen Oberflächenscannern mit dreidimensionalen Röntgenaufnahmen wird die Herstellung von passgenauen stereolithographisch-hergestellten Schablonen ermöglicht und der *Workflow* komplett digital abgehandelt (Zel 2007).

Diverse Studien beschäftigten sich mit der Genauigkeit des Transfers der Implantatplanung in das OP-Feld. Dabei wurden anguläre Abweichungen zwischen 2,42 ° - 4 ° am apikalen Ende sowie lineare Abweichungen zwischen 0,64 - 2,4 mm festgestellt. Generell sind die Abweichungen stark von der Schablonentechnik, der Stabilität und der Passung der Schablone abhängig. Weiterhin sollte stets ein Mindestabstand von 2 mm zu kritischen anatomischen Strukturen in der Planung berücksichtigt werden (van Assche et al. 2007; Beretta et al. 2014).

Der Vergleich zwischen herkömmlich hergestellten und CAD/CAM-produzierten *Guides* zeigte außerdem deutliche Vorteile zugunsten der Computer-gefertigten Schablonen (Marchack und Chew 2015).

Unterschieden werden müssen hierbei Schablonen, welche durch ein vorheriges Matching von optischem Intraoralscan und DVT-Aufnahme von solchen, welche mit einem physischen Transferbehelf hergestellt wurden. In einer Untersuchung von Kernen et al. (2016) wurden statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) in der Präzision der Übertragung zugunsten der "gematchten" Schablonentechnik ausgemacht.

1.4.3 Navigierte Endodontie

Durch die Weiterentwicklung und erfolgreiche Umsetzung in der Fachdisziplin der Implantologie wurden in jüngster Vergangenheit Verfahrenswege entwickelt, welche nun auch in anderen Bereichen der Zahnmedizin, wie der Endodontie, Einzug finden können. So beschreiben verschiedene Arbeitsgruppen die Einführung der geführten Endodontie bzw. Präparation der Zugangskavität mit dem Ergebnis, dass die Kombination von intraoralem Scan und digitaler Volumetomographie die Konstruktion einer präzisen Schablone zur geführten Zugangskavitätenpräparation erlaubt (Buchgreitz et al. 2015, Krastl et al. 2016, Zehnder et al. 2015).

1.5 Endoskopie in der Zahnheilkunde

Ein Schlüssel in der Entwicklung minimalinvasiver Verfahren ist die Optimierung der Visualisierung, weshalb die Endoskopie in diesem Zusammenhang eine herausragende Stellung einnimmt und die Realisierung von *flapless*-Operationen erst ermöglicht werden kann (Engelke et al. 2014).

1.5.1 Allgemeines

Die Endoskopie wird definiert als die visuelle Untersuchung der Innenseite einer Körperhöhle, Struktur oder eines Organs (Suarez-Cunqueiro et al. 2003). Durch endoskopische Verfahren wird eine Verbesserung der Visualisierung des OP-Feldes mit schwierigem Zugang ermöglicht, was die Invasivität der Eingriffe verringert (Beltrán et al. 2012).

Zudem liefern alle endoskopischen Systeme eine ausreichende Bildqualität, um alle Ansprüche zu erfüllen und dem OP-Mikroskop ebenbürtig zu sein (Beltrán 2016).

Dabei kann das Endoskop an einer beliebigen Stelle der anatomischen Kavität eingebracht und intraossäre Strukturen durch kontinuierliche Spülung klarer visualisiert werden (Engelke und Beltrán 2014).

Konkrete Anwendungsbeispiele in der Oralchirurgie sind die Kontrolle der Alveolen *post-extractionem* auf Defekte, die *flapless*-Entfernung der dritten Molaren, die Beobachtung der Implantatkavitäten nach Aufbereitung oder die Kontrolle bei Freilegung der Nerven (Beltrán et al. 2012).

1.5.2 Stützendoskopie

Bei der Stützendoskopie bietet ein Stütz-Spülschaft (Abb.1.5) die Möglichkeit, die Optik des Endoskops gegenüber der knöchernen Unterlage abzustützen. Vorzugsweise handelt es sich bei den Optiken um 1,9 mm beziehungsweise 2,7 mm-HOPKINS-Optiken (Karl-Storz, Tuttlingen, Deutschland) mit Stütz-Spülschaft.

Der Schaft verfügt über eine Spülfunktion in unmittelbarer Nähe des OP-Feldes, welche eine intermittierende oder kontinuierliche Spülung des Endoskopfensters ermöglicht. Durch die objektnahe Abstützung, welche auch als Geweberetraktor benutzt werden kann, erhält der Behandler eine optimale Übersicht über das OP-Gebiet, welche sich auch bei Bewegungen des Patienten nicht verändert. In der Regel wird bei oralchirurgischen Eingriffen mit einer 30°-Vorausblick-Optik gearbeitet. Durch Adjustierung des Einstellwinkels kann das Operationsfeld betrachtet werden. In Regionen mit schwierigerem Zugang kann wahlweise eine 70°-Optik verwendet werden (Engelke und Beltrán 2014).

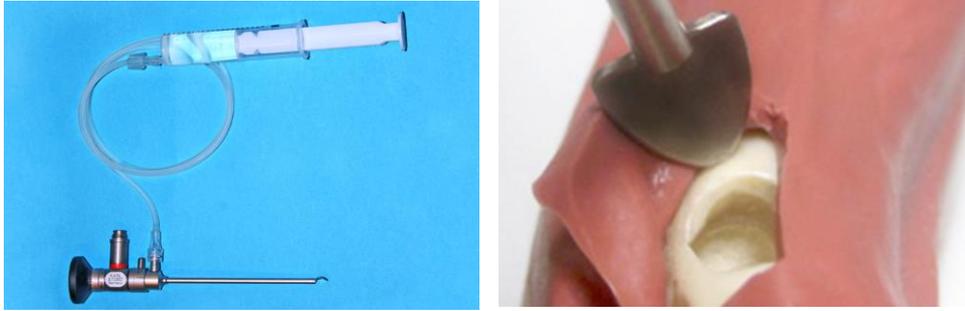


Abb. 1.5: links: Stütz-Spülschaft mit angeschlossener Spüleleitung; rechts: Einsatz der Optik als Geweberetraktor (aus: Engelke und Beltrán 2014, S.8)

1.5.3 Immersionsendoskopie

Bei der Immersionsendoskopie wird die Endoskopoptik ohne Schaft in die Kavität eingebracht und erlaubt unter kontinuierlicher Spülung mit einem separaten Spülsystem (z. B. Spritze) eine objektnahe Beobachtung der Strukturen in hoher Vergrößerung. Diese eignet sich beispielsweise zur Evaluierung und Examinierung von Alveolenwänden nach Enukektion des Zahnes (Engelke und Beltrán 2014).

1.6 Minimalinvasive Operationstechniken beim unteren Weisheitszahn

Die operative Entfernung verlagerter unterer Weisheitszähne gliedert sich in Weich- und Hartgewebspräparationen, wobei in der Literatur verschiedene Konzepte vorgestellt werden. Im Folgenden werden die routinemäßig angewandten und auf diese Dissertation bezogenen Methoden vorgestellt.

1.6.1 Präparation der Weichgewebe

Aufgabe der Weichgewebspräparation ist, eine Grundlage für die Entfernung des Weisheitszahnes zu schaffen, indem durch die gewählte Schnitfführung eine ausreichende Darstellung des Operationsgebietes gewährleistet ist. Verschiedene Anforderungen werden an die Inzisionen gestellt: spannungsfreie Adaptationsfähigkeit, Erweiterungsfähigkeit und keine Gefährdung von Gefäßen und Nerven. Auf der anderen Seite soll die Ausdehnung der Inzision nach minimalinvasiven Gesichtspunkten so gering wie möglich ausfallen, da Zusammenhänge zwischen Knochenresorption, Komplikationen und Größe der Wundfläche festgestellt wurden (Goetzke und Klammt 1991).

Miniflap-Inzision

Wie von Engelke et al. beschrieben, handelt es sich bei der Miniflap-Inzision um eine selektive okklusale Aufklappung ohne eine laterale Lappenbildung. Voraussetzung für die Anwendbarkeit eines Miniflap ist die zusätzliche endoskopische beziehungsweise mikroskopische Visualisierung, welche eine laterale Erweiterung überflüssig macht.

Der Schnitt wird distobukkal am *Ramus mandibulae* ca. 1,5 mm bis zum *Sulcus* des zweiten Molaren im lingualen Drittel des Kieferkammes gelegt, wird weiter im *Sulcus* geführt und endet mit einer vestibulären Entlastung. Es schließt sich die Ablösung der Weichgewebe mit Darstellung der okklusalen Begrenzungen an (Engelke et al. 2011).

Vorteile dieser Inzisionstechnik in Kombination mit den visuellen Hilfsmitteln sind die hervorragende Übersicht, eine gute Adaptationsfähigkeit sowie die Minimierung des Traumas (Choi 2012).

1.6.2 Präparation der Hartgewebe

Die Präparation der Hartgewebe, insbesondere der Umfang der Osteotomien, wird bei der Entfernung von teilretinierten Weisheitszähnen als das bestimmende Kriterium für die Entwicklung postoperativer Komplikationen gesehen. Insbesondere deshalb beschreibt die Literatur verschiedene Ansätze mit dem Konzept einer Reduktion des Knochenabtrags.

1.6.3 Koronektomie

Die Koronektomie wurde von Pogrel et al. (2004) als minimalinvasive Methode zur schrittweisen Entfernung der dritten Molaren vorgestellt, in Situationen, bei denen die Entfernung des ganzen Zahnes ein hohes Risiko für eine Verletzung des NAI birgt. In diesen Fällen werden die Krone sowie das obere Drittel der Wurzeln in einem 45°-Winkel unter Retraktion der lingualen Gewebe entfernt.

Ziel der partiellen Entfernung ist, den verbleibenden Wurzelrest nicht zu manipulieren, um so den Nerv zu schonen.

Eine weitere Bedingung der Vorgehensweise ist eine ausreichende Entfernung des Wurzelgewebes unterhalb der bukkalen und lingualen Knochenbegrenzung, um eine reguläre Knochenheilung über dem Wurzelrest zu erzielen. Sollte diese Heilung ausbleiben, wird eine allmähliche Wanderung des Wurzelrestes nach okklusal erwartet, welcher in einem zweiten Eingriff entfernt werden kann. In diesem Fall kann eine Nervverletzung ausgeschlossen werden.

Aufgrund der strengen Selektion des Patientenguts dieser Studie - Zähne mit vorhandenen Entzündungen, lockere Zähne und horizontal verlagerte Zähne wurden ausgeschlossen - ist diese Methode nur begrenzt auf die Komplikationsrate zu bewerten. Jedoch zeigt sie eine einfache Anwendbarkeit, wohingegen das zweizeitige Verfahren aus Patientensicht als Nachteil gesehen wird (Pogrel et al. 2004).

1.6.4 Einwärts-Fragmentierungstechnik (EFT)

Die Einwärts-Fragmentierungstechnik (*Inward-fragmentation-technique*) (Engelke et al. 2011) erlaubt in Kombination mit einem okklusalen *Mini-Flap* einen geringen traumatischen Zugang zu den dritten Molaren sowie eine genaue Visualisierung der wichtigen Strukturen und kann damit zu einem stark verringerten Knochenverlust der bukkalen Wand führen. Durch diese Technik kann die anatomische Integrität in komplizierten Fällen erhalten bleiben und damit die Häufigkeit an Komplikationen gesenkt werden.

Nach der Weichgewebspräparation muss lediglich die okklusale Knochenbedeckung des dritten Molaren entfernt werden, um einen ausreichenden Zugang zu erhalten. Anschließend wird der Zahn unter indirekter endoskopischer Sicht mit rotierenden Instrumenten trepaniert, die okklusale Kavität erweitert und die Furkation in ihrer Ausdehnung freigelegt.

Im Folgenden lassen sich die einzelnen Fragmente nach dem Prinzip der Implosionstechnik in den geschaffenen Hohlraum mobilisieren und entfernen.

Die EFT kann somit eine außerordentlich schonende Technik mit einer geringen Prävalenz an Komplikationen, vor allem in schwierigen Fällen mit enger Beziehung zu kritischen Strukturen, darstellen.

Als nachteilig muss dem gegenüber die Notwendigkeit eines intensiven Trainings mit dem Umgang des Endoskopes sowie die längere Operationsdauer erwähnt werden.

1.6.5 Wundversorgung und Nachbehandlung

Vor allem bei vorher bestehenden entzündlichen Veränderungen muss nach Entfernung des Weisheitszahnes eine sorgfältige Kürettage und Reinigung der Extraktionsalveole vorgenommen werden. Zeigt das entfernte Gewebe eine ungewöhnliche Farbe oder Konsistenz, sollte routinemäßig eine pathohistologische Untersuchung durchgeführt werden.

Anschließend müssen scharfe Knochenkanten geglättet oder mit der Luer-Zange abgetragen werden, um eine Wundheilung zu fördern.

Bei bestimmten Indikationen (Blutungsneigung) oder großen Defekten kann der Einsatz von Kollagen oder Knochenersatzmaterialien erfolgen (Wagner et al. 2009).

1.7 Zielsetzung der Arbeit

Das Ziel dieser Promotionsarbeit ist es, eine modifizierte Methode der mikrochirurgischen Entfernung von unteren Weisheitszähnen mittels okklusalen Zugangs nach der Einwärts-Fragmentierungs-Technik vorzustellen.

Durch die Anwendung der digitalen Volumetomografie für die Operationsplanung soll eine schablonengeführte Zielbohrung zur Furkation zur Unterstützung der minimal invasiven Einwärts-Fragmentierungstechnik erfolgen.

Dazu soll ein Planungskonzept zur Ausrichtung der Bohrung in Bezug auf die anatomische Lage der dritten Molaren und deren Beziehung zu kritischen Strukturen (NAI, linguale Kompakta) erarbeitet werden.

Es soll geprüft werden, ob durch dieses Verfahren eine Reduktion der Parameter Knochenverlust, Schwellung, subjektive Schmerzempfindung und Mundöffnungseinschränkung im Vergleich zu Ergebnissen in der Literatur bei konventioneller Vorgehensweise erreicht werden kann.

Weiterführend soll die Prävalenz von Komplikationen und Befunden in Abhängigkeit von der Risikobewertung nach Juodzbaly und Daugela, der Wurzelkonfiguration und der Anzahl an OP-Teilschritten untersucht werden. Nach deskriptiver Analyse der Befunddaten sollen dazu statistische Vergleiche ausgewählter Parameter erfolgen, deren Nullhypothesen unter 2.9.1 beschrieben werden.

Darauf basierend soll eine vorläufige Bewertung des Verfahrens ermöglicht werden.

2. Material und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

2.1.1 Aufnahme- und Ausschlusskriterien

Zur Teilnahme zugelassen waren gesunde, allgemeinanamnestisch unauffällige Patienten über 18 Jahren ohne regelmäßige Medikamenteneinnahme, welche eine klinische oder röntgenologische Indikation zur Entfernung eines unteren dritten Molaren mit enger Nervnähe in der Panoramaschichtaufnahme zeigten.

Von der Studie ausgeschlossen waren unkooperative, nicht-einwilligungsfähige Patienten, Frauen in der Schwangerschaft sowie Patienten mit systemischen Erkrankungen, welche die Evaluation der Operationsmethode beeinflussen könnten.

Nach eingehender klinischer Untersuchung und Inspektion wurden die Patienten über alle Einzelheiten und Teilschritte der Operation aufgeklärt, Risiken dieser Behandlungsweise erläutert und alternative, konventionelle Vorgehensweisen aufgezeigt.

Nach Einwilligung gaben sie ihre schriftliche Einverständniserklärung spätestens 24 Stunden vor dem geplanten Eingriff.

2.2 Grundlagen der Operationsplanung

2.2.1 Panoramaschichtaufnahme

Nach klinischer Untersuchung und Befunderhebung wurde bei allen Patienten eine Panoramaschichtaufnahme (Abb.2.1) mit dem *Orthophos XG 5 DS* System von Sirona (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Deutschland) angefertigt. Die Spezifikationen des Orthopantomogramms sind in Tabelle 2.1 gelistet.

Tab. 2.1 Tabellarische Darstellung der Eigenschaften des *Sirona Orthophos XG 5 DS*

Röntgenquelle	3-16 mA, 60-90 kV
Brennfleck	0,5 mm
Sensorfläche	138 x 6,48 mm
Bilddetektor	Digitaler Zeilensensor mit CCD Technik
Detailerkennbarkeit	0,027 Pixelgröße
Fokus-Sensor Abstand	497 mm
Scanzeit	14,1 s



Abb.2.1 Beispiel einer Panoramaschichtaufnahme mit *Sidexis Orthophos XG 5DS*

2.2.2 Digitale Volumentomographie

Zeigte sich in der Panoramaschichtaufnahme eine enge Beziehung zwischen NAI und den Wurzeln des dritten Molaren, wurde eine dreidimensionale Röntgenaufnahme angefertigt.

Die digitalen Volumentomographieaufnahmen erfolgten mit dem *Acteon White-Fox* System (Acteon, Bordeaux, Frankreich). Dieses Gerät erlaubt dank *Pulsed Mode Acquisition*, also der Pulsbetrieb-Erfassung eine Reduktion der Strahlendosis um den Faktor 2,3 auf 150 μ Sv im Vergleich zu anderen digitalen Volumentomographen.

Es wurde bei allen Patienten ein *Field of View* von 12x8 cm ausgewählt und die Aufnahmen mit einer Voxelgröße von 0,15 mm in der *White-Fox Control-Software* rekonstruiert. Weitere Angaben und Eigenschaften zum *Acteon White-Fox* System in Tabelle 2.2.

Tab. 2.2 Tabellarische Darstellung der Eigenschaften des Acteon White-Fox

Röntgenquelle	6-10 mA, 105 kV
Röntgenstrahl	Kegelstrahl
Brennfleck	0,5x0,5 mm
Field of View	6x6 cm bis 20x17 cm
Bilddetektor	Amorphes Silikon Flachbilddetektor
Voxelgröße	0,1-0,3 mm
Voxeltyp	Isotropisch
Scanzeit	18-27s

2.2.3 Intraoralscan

Der intraorale Oberflächenscan zur Aufnahme der Hart- und Weichgewebsstrukturen erfolgte mit dem *3Shape TRIOS* (3Shape A/S, Kopenhagen, Dänemark). Der Intraoralscanner erfasste die Oberflächen durch die Aufnahme mehrerer Einzelbilder in Echtzeit, die dann zu einer Gesamtkonstruktion zusammengefügt wurden. Anschließend wurde der Scan an die Laborschnittstelle übersendet, wo eine Nachbearbeitung und Modellherstellung des aufgenommenen Kiefersegmentes vorgenommen wurde (Abb.2.2).

Diese wurde anschließend exportiert, um sie mit der DVT-Aufnahme zu superpositionieren.



Abb.2.2: Virtuelle Modellherstellung mit dem *3Shape ModelBuilder*

2.2.4 Darstellung des Verlaufes des *Nervus alveolaris inferior*

Die angefertigten DVT-Aufnahmen wurden mithilfe der *White-Fox Imaging Software* analysiert und ausgewertet. Zunächst wurde die Lagebeziehung der impaktierten dritten Molaren zu den umgebenden anatomischen Strukturen analysiert. Anschließend wurde der NAI über das Objekttool in seinem Verlauf *im Canalis mandibularis* zur Dokumentation und Demonstration angezeichnet (Abb. 2.3).

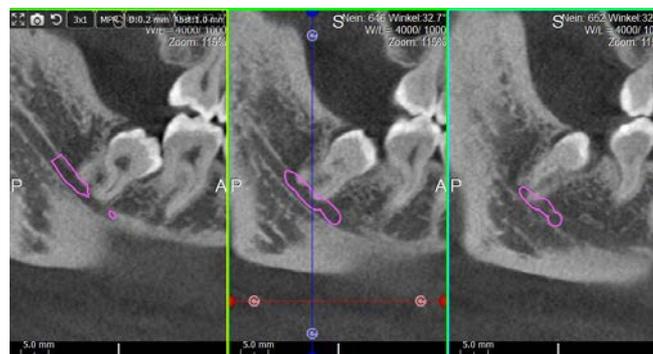


Abb.2.3: Beispiel der Darstellung des Nervenverlaufes in der *3D-Diagnosys-Software*

2.2.5 Definition der Furkationslage

Das Auffinden und die Bestimmung des tiefsten Punktes der Furkation erfolgte ebenfalls in der *3D-Diagnosys-Software*. Dazu wurde in der axialen Schichtebene (Abb.2.4) der kaudalste Punkt der Furkation des dritten Molaren unter Hinzuziehung der sagittalen und frontalen Schichten aufgesucht. Diese wurden zur exakteren Diagnostik und Verlaufsanalyse jeweils in drei Unterschichten (Abstand: 0,8 mm) unterteilt (Abb.2.5).

Die Linie S zeigt die Lage einer Sagittalschicht durch die Mitte des Unterkiefers, S' eine parallele Schicht zu S durch die Furkation des dritten Molaren. C' steht senkrecht zu S' und symbolisiert die Coronalschicht durch die Furkation. Der Schnittpunkt der beiden Schichten C' und S' wird definiert als Punkt F und markiert den tiefsten Punkt der Furkation, welcher anschließend für die Planung des Zugangs der Bohrrichtung herangezogen wurde.

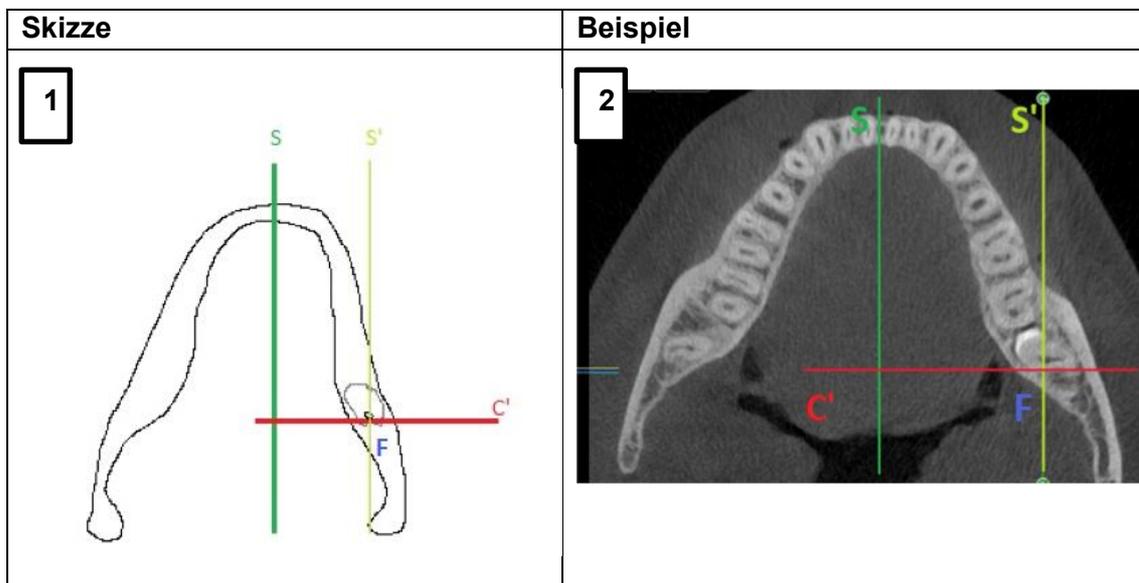


Abb. 2.4:

1: Skizze und 2: Ausschnitt aus DVT-Aufnahme: Axialschicht mit S: sagittale Schichtebene durch Mitte des Unterkiefers, S': Parallel zu S und sagittale Schichtebene durch den tiefsten Punkt der Furkation, C': coronale Schichtebene durch tiefsten Punkt der Furkation und Senkrechte auf S'; F: Schnittpunkt der Schichten S' und C' markiert den tiefsten Punkt der Furkation in den drei Schichtebenen

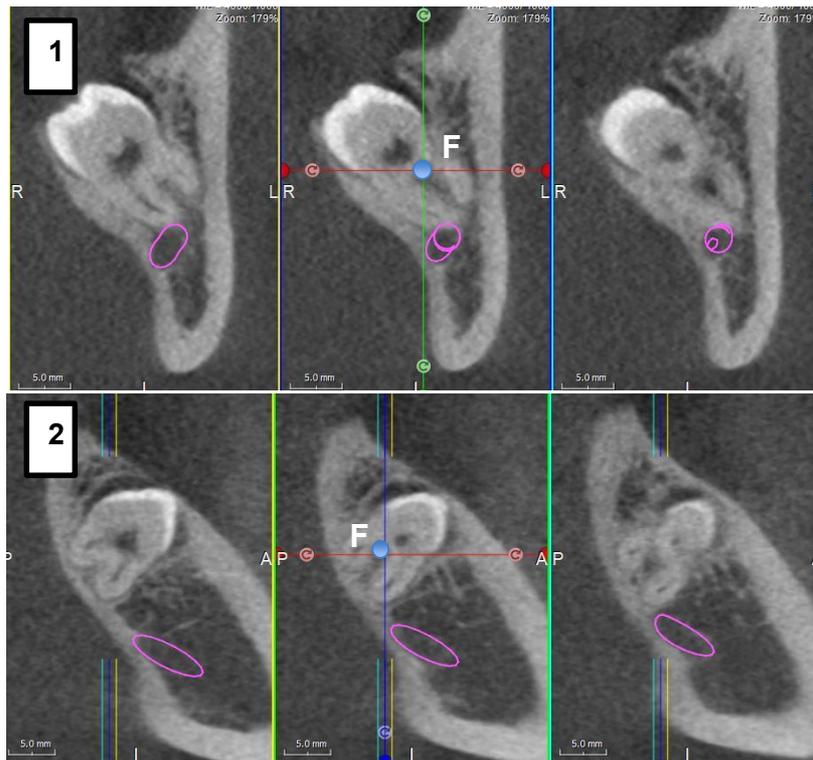


Abb.2.5: exakte Determinierung des tiefsten Punktes der Furkation
 1 und 2: Ausschnitte aus DVT-Aufnahme
 1: Unterteilung der Coronalschicht C' in drei Unterebenen (Schichtabstand 0,8mm),
 2: Unterteilung der Sagittalschicht S' in drei Unterebenen (Schichtabstand 0,8mm),
 Punkt F: tiefster Punkt der Furkation in den Unterebenen und Schnittpunkt der Unterschichten C' und S'

2.3 Ablauf der Operationsplanung

2.3.1 Zugangsplanung für die Zielbohrung einschließlich Sicherheitsabstand

Zur Planung der intraoperativen, schablonengeführten Bohrung zur Furkation, wurde ein definierter Bohrstollen (11 mm Länge, 3 mm Durchmesser) mit dem apikalen Ende in den zuvor festgelegten Punkt F platziert. Die Bohrung wurde dabei im apiko-koronalen Verlauf nach bukkal und okklusal ausgerichtet. Dabei musste bukkal darauf geachtet werden, dass der zweite Molar mit einem Sicherheitsabstand von 5 mm (spätere Ausdehnung der Hülse) geschützt und die bukkale Kompakta nur minimal verletzt wurde. Die okklusale Neigung der Bohrrichtung musste der Mundöffnung des Patienten gerecht werden und durfte 50 ° zur Okklusionsebene nicht überschreiten. Des Weiteren musste die geplante Bohrrichtung der Führung des intraoperativ verwendeten Handstückes von lateral und anterior gerecht werden. Die Ausrichtung und der Endpunkt der Bohrrichtung wurden anschließend in allen Ebenen der multiplanaren Rekonstruktion (MPR) auf die korrekte Platzierung und eine mögliche Kollision mit dem zuvor angezeichneten NAI, sowie der lingualen Kompakta untersucht.

Anschließend erlaubte die Messfunktion der *Imaging Software* eine genaue Beurteilung der Abstände zwischen der geplanten Bohrung, des NAI sowie lingualer und bukkaler Kompakta (Abb.2.6a&b). Es wurde stets ein Sicherheitsabstand von mindestens 2 mm zu den genannten Strukturen gewählt, konform zu den bekannten Sicherheitszonen in der Implantologie. Konnte dieser nicht eingehalten werden, wurde das Ende des Bohrstollens in koronaler Richtung in das Zentrum des Pulpenkavums manövriert. Konnte die exakte Positionierung bestätigt werden, wurde die Ausrichtung des Bohrstollens durch die Sperrfunktion gesichert. Dies wurde nun mit den folgenden Hülseinstellungen kombiniert: Abstand Schulter des Bohrstollens bis Hülseende: 3 mm, Höhe der Hülse: 6 mm. Somit ergab sich eine Gesamtdistanz - Oberkante Hülse bis zum apikalen Ende des Bohrstollens - von 20 mm, welches zugleich die Tiefenmarkierung darstellte. Der Durchmesser der Hülse wurde auf 10,1 mm festgelegt.

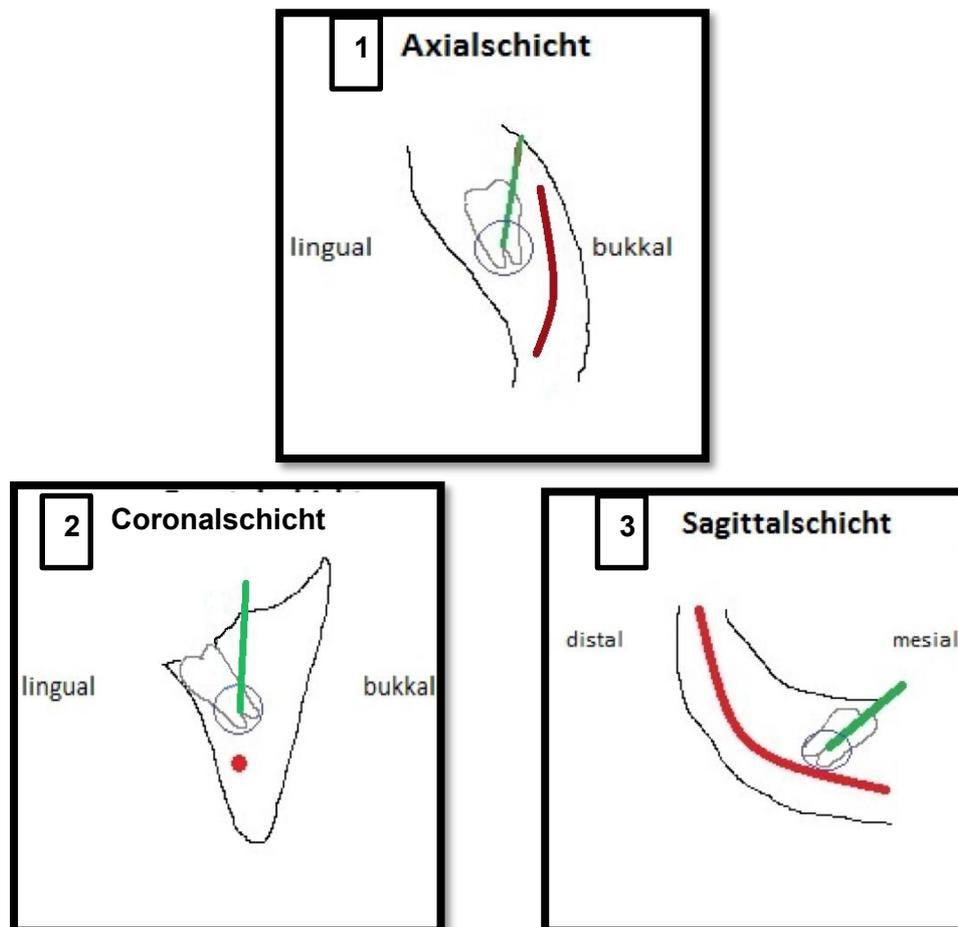


Abb.2.6a: Skizze der Ausrichtung der Bohrung in den drei Raumebenen; rot: Verlauf des NAI, blau: Radius des 2 mm Sicherheitsabstandes zu NAI und lingualer Kompakta, grün: eingeplanter Bohrstollen mit Ausrichtung nach okklusal und bukkal und apikalem Endpunkt in F; 1) Axialschicht, 2) Coronalschicht, 3) Sagittalschicht

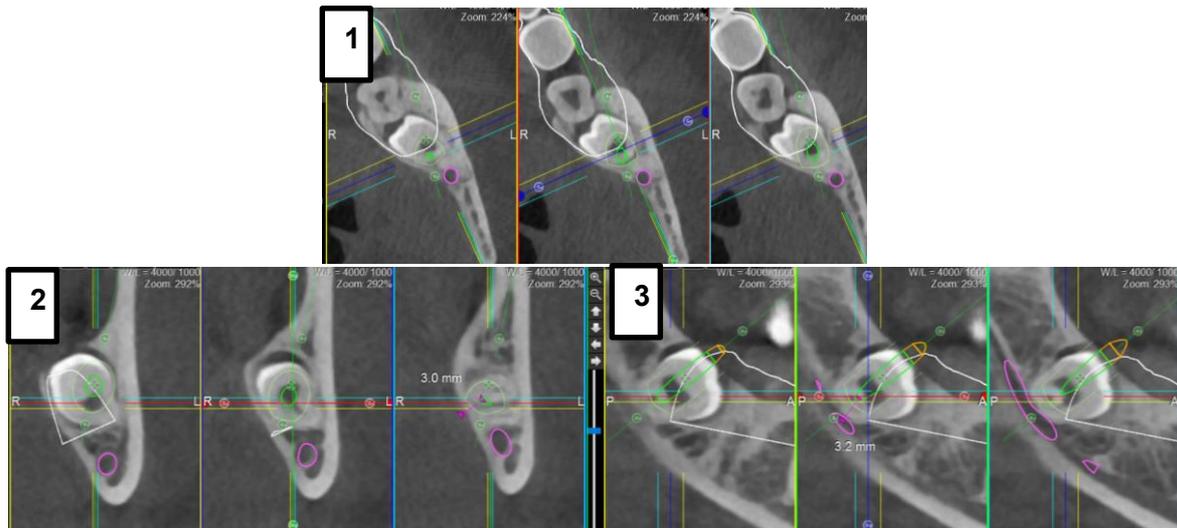


Abb.2.6b: Beispiel der Ausrichtung der Bohrung in den drei Raumebenen mit Abmessung der Abstände zu NAI, bukkaler und lingualer Kompakta; rosa: Verlauf des NAI, gelb: eingeplanter Bohrstollen mit Ausrichtung nach okklusal und bukkal und apikalem Endpunkt in F; 1) Axialschicht, 2) Coronalschicht, 3) Sagittalschicht

2.3.2 Datenüberlagerung und Datenexport

Die Überlagerung der gewonnenen intraoralen Hart- und Weichteilgewebsinformationen durch den *Trios*-Oberflächenscan mit der DVT-Aufnahme erfolgte ebenfalls in der *White-Fox Imaging Software*. Das exakte *Matching* zwischen *DICOM*-Datensatz und *STL*-Format wurde über die automatische *Best-Fit*-Anpassung erzielt, nachdem an beliebigen Punkten in beiden Formaten eine Erst-anpassung vorgenommen wurde. Die optimale Überlagerung konnte anschließend in der transversalen und sagittalen Schnittebene kontrolliert werden. Anschließend wurden die Hülsenparameter im *STL*-Dateiformat exportiert, um in der *PlastyCAD-Software* (*3Diemme*, Figino Serenza, Italien) die exakte raumgeometrische Zuordnung der Implantat- und Hülsendaten mit den anatomischen Oberflächendaten des Scans für die Schablonenkonstruktion zu erhalten.

2.4 Technische Vorbereitung der Operation

2.4.1 Schablonenherstellung

Die virtuelle Konstruktion der Navigationsschablone erfolgte in der *PlastyCAD-Software*. Nachdem die notwendigen Implantattools (Hülsen, Führungen) und das Modell importiert wurden, musste das Modell gesockelt und so ausgerichtet werden, dass Unterschnitte ausgeblockt wurden. Danach konnte über das Tool *Neue Voxelebene* die Ausdehnung der Bohrschablone am Modell angezeichnet werden. Nachdem diese mit den definierten Parametern (Dicke: 2,1 mm, Abstand: 0,12 mm) konstruiert wurde, mussten anschließend die Hülsen eingefügt und Führungen abgezogen werden. Abschließend wurde ein okklusales Fenster für die intraoperative Kontrolle der korrekten Auflage der Schablone eingefügt und störende Ränder und Kanten geglättet (Abb. 2.7).

Die Umsetzung der virtuellen Schablonenkonstruktion in das reale Objekt erfolgte über den 3D-Druck im Stereolithographieverfahren mit dem *DigitalWax 028D* der Firma *DWS* (DWS, Vicenza, Italien) (Abb. 2.8).

Mit diesem 3D-Drucker ließ sich eine Oberflächengenauigkeit von 20 µm bei einer Schichtstärke von 0,1 mm realisieren. Der Druck einer Navigationsschablone benötigte etwa 45 Minuten.

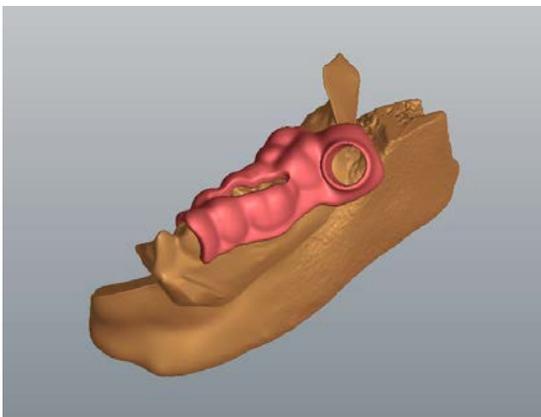


Abb.2.7: Konstruierte Bohrschablone in der *PlastyCAD-Software*



Abb.2.8: *DigitalWax 028D* - 3D Drucker (DWS)

2.4.2 Schablonenmodifikation

Um eine exakte Führung und einen definierten Tiefenstopp bei der intraoperativen Anwendung verschiedener Fräser unterschiedlichen Durchmessers realisieren zu können, wurden maschinell-gefertigte zylindrische Bohrbuchsen mit einem Innendurchmesser von 5,1 mm in die gedruckten Navigationsschablonen einpolymerisiert. Anschließend wurden mögliche Hindernisse und Störstellen an den Bohrbuchsen mit einem Metallschleifer entfernt, so dass eine Passung ohne okklusale oder krestale Behinderungen garantiert werden konnte (Abb.2.9).



Abb.2.9: Beispiel einer gedruckten Navigationsschablone mit fest eingesetzter Außenbuchse

Durch die fest integrierten Außenbuchsen konnten intraoperativ folgende Punkte sichergestellt werden:

1. Einsetzen der modifizierten Innenbuchsen zur Realisierung der Pilotbohrung mit definiertem Tiefenstopp
2. Umsetzung der Erweiterungsbohrung durch modifizierte Rosenbohrer mit definiertem Tiefenstopp

Für die Pilotbohrung wurden maschinell gefertigte Bundbohrbuchsen mit einem Außendurchmesser von 5 mm in die Außenbuchsen gesteckt. Um die intraoperative Fixation und die kontinuierliche Kontrolle des korrekten Sitzes der Innenbuchsen garantieren zu können, wurden diese mit einem 2 mm breiten, abgeknickten Haltegriff aus genormten KFO-Draht verlasert (Abb.2.10). Der Tiefenstopp der Bundbohrbuchsen wurde durch das Aufsetzen auf den Außenbuchsen sichergestellt (Abb.2.11).



Abb.2.10: modifizierte Innenbuchse mit angelasertem Haltegriff



Abb.2.11: Beispiel einer gedruckten Navigationsschablone mit eingesteckter Innenbuchse

Tab. 2.3 Tabellarische Darstellung der Bohrbuchsenparameter

Tab. 2.3: Bohrbuchsenparameter	Innenbuchse	Außenbuchse
Lage	Innen	Außen
Art	Bundbohrbuchse	Zylindrische Bohrbuchse
Aussendurchmesser	5 mm	10 mm
Innendurchmesser	2,35 mm	5,1 mm
Länge	9 mm	8 mm
DIN-Bezeichnung	172	174
Bild		

2.4.3 Instrumentarium Endoskop

Alle Operationen wurden visuell unterstützt mit einem Stützendoskop der Firma Karl-Storz (Deutschland) durchgeführt. Dieses eignet sich sehr gut als mikrochirurgisches Instrument, da es als ein vergrößerndes optisches System in Verbindung mit einer Lichtquelle und Spülmöglichkeit eine direkte Einsicht in das Operationsfeld von einer Position nahe des zu entfernenden Zahnes ermöglicht. Zudem zeigt es eine hervorragende Tiefenschärfe und erlaubt eine kontinuierlich gute Einsicht mit festem Objektstand (Engelke et al. 2011). Für die Eingriffe wurde eine Storz-Hopkins-Optik mit 2,7 mm Durchmesser und 30 ° Vorausblick und einem Stütz-Spülschaft verwendet. Es bestand zudem die Möglichkeit, die gesamte Operation oder einzelne Szenen mit einem angeschlossenen Videorekorder über die Endoskopkamera aufzuzeichnen.

Operationsbesteck

Für alle Eingriffe wurde das Standard Osteotomie-Grundbesteck verwendet. Neben der Verwendung der Standard Bein`schen Hebel kamen spezielle Heidbrink-Elevatoren (Hu-Friedy, Chicago, USA) und Mikroelevatoren zur Entfernung von Wurzel- und Kleinstfragmenten zum Einsatz.

Rotierende Instrumente

Neben den speziell modifizierten Lindemann-Fräsen und Rosenbohrern kamen folgende standardisierte rotierende Instrumente für das Handstück unter kontinuierlicher Spülung mit Kochsalzlösung zum Einsatz: Lindemann-Fräsen im Durchmesser von 1,7 mm, Rosenbohrer mit Durchmessern von 2,35 mm und 4 mm sowie diamantierte Kugelfräsen mit Durchmessern von 3 bis 5 mm.

Für die Pilot- und Erweiterungsbohrungen wurden herkömmliche Lindemann-Fräsen und Rosenbohrer modifiziert, um so eine geführte Bohrung mit Tiefenstopp im zuvor festgelegten Punkt F (tiefster Punkt der Furkation) durchzuführen.

Für die Pilotbohrung wurden dazu Bundbohrbuchsen (Durchmesser extern: 5 mm, Durchmesser intern: 2,35 mm) an den Schaft der Lindemann-Fräsen (Durchmesser: 1,7 mm) angelasert (Abb.2.12). Die Führung der Lindemann-Fräsen ließ sich durch die exakte Passung der Hülsen zu den Instrumentenschäften umsetzen (Innendurchmesser Innenbuchsen: 2,35 mm, Schaftdurchmesser Lindemann-Fräsen: 2,3 mm).

Um des Weiteren den Tiefenstopp intraoperativ umzusetzen, wurde das apikale Ende der Bundbohrbuchsen in einem Abstand von 22 mm zum Ende der Fräsen angelasert und mit Lötzinn verstärkt. Dabei mussten die Oberkanten der Bundbohrbuchsen mit einkalkuliert werden (2 mm). Damit konnte die Distanz der virtuellen Planung von 20 mm (apikales Ende der geplanten Bohrstellen - Oberkante der Buchsen) intraoperativ erreicht werden.



Abb.2.12: Genormte Lindemann-Fräse mit angelaseter Bundbohrbuchse

Für die Erweiterungsbohrungen wurden genormte Rosenbohrer (Durchmesser: 3 mm) mit Bundbohrbuchsen sowie zylindrischen Bohrbuchsen verlasert und so modifiziert (Abb.2.13). Um einen reibungsarmen Beginn der Führung zwischen den angelaserten zylindrischen Bohrbuchsen (Außendurchmesser: 5,1 mm) und den Außenhülsen der Schablonen (Innendurchmesser 5 mm) zu gewährleisten, wurden die distalen Enden der Bohrbuchsen der modifizierten Rosenbohrer nach dem Anlasern konifiziert.

Der Tiefenstopp wurde ebenfalls über die exakte Positionierung der Bundbohrbuchsen in einem Abstand von 20 mm zum Arbeitsende umgesetzt und durch Anschlagen an den Außenbuchsen der Schablonen sichergestellt.



Abb.2.13: Genormter Rosenbohrer mit angelaseter zylindrischer Bohrbuchse & Bundbohrbuchse

2.5 Chirurgischer Eingriff

2.5.1 Anästhesie

Die operativen Eingriffe wurden unter Lokalanästhesie (Ultracain-D; 2% Articain mit 1:200000 Adrenalinzusatz) mit jeweils einer Leitungsanästhesie des NAI und des *Nervus buccalis* sowie einer Terminalanästhesie in der Umschlagsfalte im Bereich des dritten Molaren durchgeführt.

2.5.2 Weichteilpräparation

Es wurde eine selektive okklusale Aufklappung (*Mini-Flap*-Inzision, Abb.2.14) ohne Lappenbildung gewählt. Diese gewährleistet bei der mikrochirurgischen Technik unter Nutzung des Endoskopes eine ausreichende Sicht auf das OP-Feld.

Nach der Entfernung der bedeckenden Weichgewebe von okklusal erfolgte die Darstellung der knöchernen Begrenzungen des Kieferkammes.

In bukkaler Richtung wurden die Weichteile mithilfe eines Langenbeck-Hakens abgehalten, wenn nötig, wurde eine linguale Weichteildistanzierung mit einem Raspatorium durchgeführt.

Wenn zystische oder narbige Weichteilveränderungen auf der okklusalen Fläche des Weisheitszahnes vorhanden waren, wurde diese mit Luer-Zange, Raspatorium oder Skalpell selektiv entfernt.

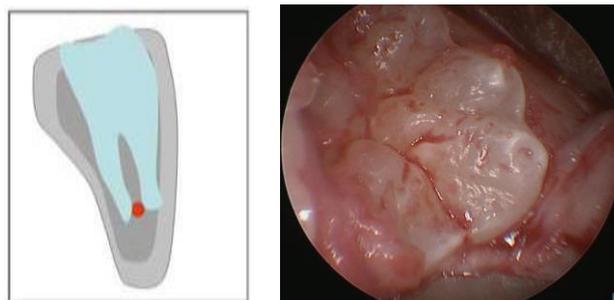


Abb.2.14: Weichteilpräparation
links: schematisch, rechts: endoskopisch

Waren die Zahn- und Knochenoberflächen vollständig dargestellt, wurde das Stützendoskop eingesetzt, welches an der distalen Begrenzung des OP-Feldes mit seinem Ende als Abhalter diente.

Das Visualisierungsschema des Operationssitus ist in Abb. 2.15 dargestellt.

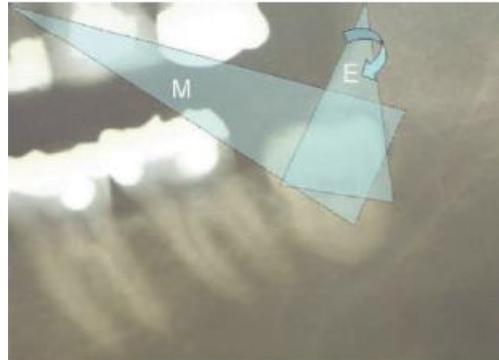


Abb.2.15: Visualisierung des OP-Feldes
M: direkte Sicht über Lupenbrille
E: indirekte Sicht über Endoskop von distal

2.5.3 Hartgewebspräparation

Die folgenden Teilschritte der Hartgewebspräparation wurden modifiziert nach der Ausführung von Beltrán zur Unterteilung der endoskopisch assistierten Eukleation (Beltrán 2016).

Die navigierten Teilschritte "Pilotbohrung" und "Erweiterungsbohrung" ersetzen den Teilschritt „Darstellung der Furkation“.

2.5.3.1 Osteotomie / Okklusale Exposition

Die Entfernung der Hartgewebe, die den okklusalen Teil der Zahnkrone bedecken, wurde mit Rosenbohrern unter Kühlung mit Kochsalzlösung vorgenommen. Es wurde stets nur so viel Knochen abgetragen, bis die Zirkumferenz des okklusalen Anteils freigelegt wurde, wobei die Lage des Zahnes keinen Einfluss hatte (Abb.2.16)

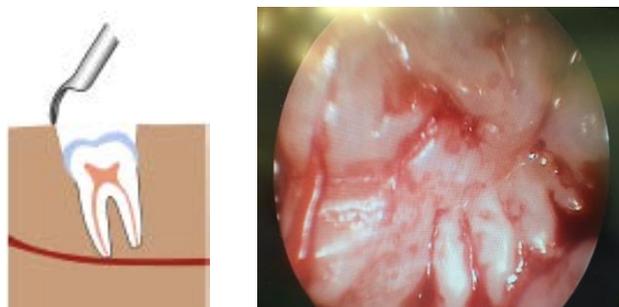


Abb.2.16: Osteotomie/Okklusale Exposition
links: schematische Darstellung
rechts: Blick auf Okklusalfäche durch Endoskop

2.5.3.2 Pilotbohrung

Nach Eingliederung der Navigationsschablone und erneuter Überprüfung der Passung erfolgte die Pilotbohrung mit einer modifizierten Lindemann-Fräse (Durchmesser des Arbeitendes: 1,6 mm) unter Kühlung mit Kochsalzlösung bis zum Erreichen des Tiefenstopps im Furkationsbereich (2 cm). Dies wurde anschließend endoskopisch kontrolliert (Abb.2.17).

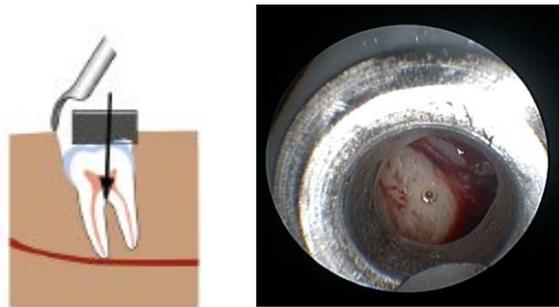


Abb.2.17: Pilotbohrung
links: schematische Darstellung
rechts: endoskopische Kontrolle der Bohrung durch Schablone

Abbildung 2.18 demonstriert extraoral die Konzeption der Umsetzung der Führung und des Tiefenstopps zwischen Lindemann-Fräsen und eingesetzten Innenbuchsen. Um die Tiefenstopps intraoperativ zu erreichen, musste beim Anlasern der Bundbohrbuchsen die Höhe der Oberkante der eingesetzten Innenbuchsen mitbeachtet werden.

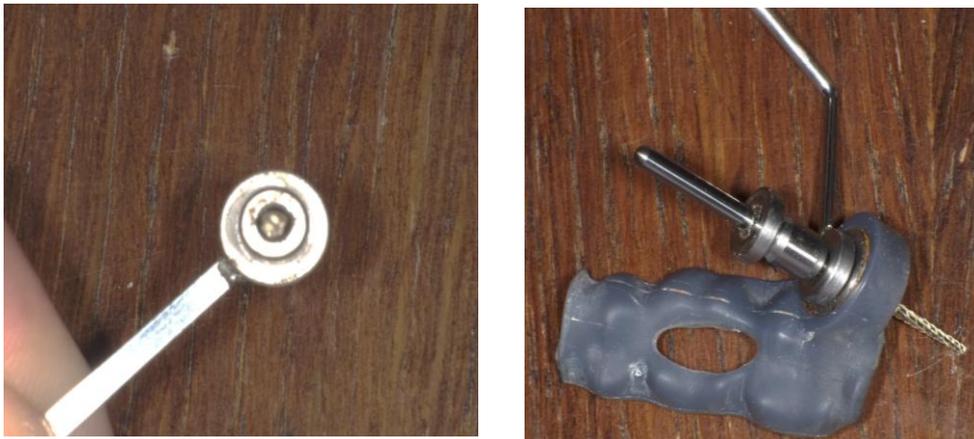


Abb.2.18: Konzeption der Umsetzung der Pilotbohrung
links: exakte Passung des Schaftes der Lindemann-Fräse durch die Innenbuchse
rechts: Tiefenstopp durch Anschlag der angelaserten Bundbohrbuchse an Innenbuchse

2.5.3.3 Erweiterungsbohrung

Zur Vorbereitung der Erweiterungsbohrung wurden die ersten 2-3 mm der Pilotbohrung mit Rosenbohrern zunächst ohne Führung durch die Schablone frei erweitert. Dies sicherte eine Minimierung der Friktion von Beginn der Bohrung an. Die Erweiterungsbohrung wurde anschließend mit modifizierten Rosenbohrern (Durchmesser: 3 mm) unter Kühlung bis zur Tiefenmarkierung durchgeführt (Abb.2.19). Auch diese Bohrung wurden anschließend mit dem Endoskop visuell kontrolliert.

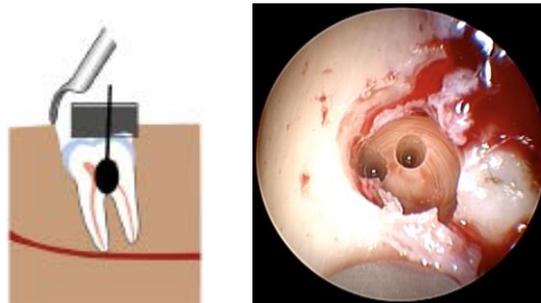


Abb.2.19: Erweiterungsbohrung
links: schematische Darstellung
rechts: Kontrolle der Bohrung durch Endoskop

Die Systematik der Erweiterungsbohrung wird in Abbildung 2.20 dargestellt. Die Führung wurde durch die exakte Passung zwischen angelaserten zylindrischen Bohr- beziehungsweise Bundbohrbuchsen an den modifizierten Rosenbohrern und den integrierten Außenbuchsen der gedruckten Navigationsschablonen sichergestellt. Auch bei der Erweiterungsbohrung wurde der Tiefenstopp durch das Anschlagen des Endes der Bundbohrbuchsen an den Außenhülsen bewerkstelligt.



Abb.2.20: Konzeption der Umsetzung der Erweiterungsbohrung
links: exakte Passung der angelaserten Buchsen des Rosenbohrers durch die Außenhülse
rechts: Tiefenstopp durch Anschlag der angelaserten Bundbohrbuchse an der Außenhülse

2.5.3.4 Zugangserweiterung zur Furkation

Ausgehend von der Erweiterungsbohrung erfolgte anschließend die Trennung des Zahnes nach bukkal und lingual. Im bukkalen und mittleren Drittel der Krone erfolgte dies mit Rosenbohrern, während im lingualen Drittel und damit im Bereich der gefährdeten Strukturen diamantierte Kugelfräser verschiedener Durchmesser zur Schonung des Knochens zum Einsatz kamen.

Das Ziel der raumschaffenden Trepanation war es, den Furkationsbereich in seiner dreidimensionalen Ausdehnung darzustellen (Abb.2.21).

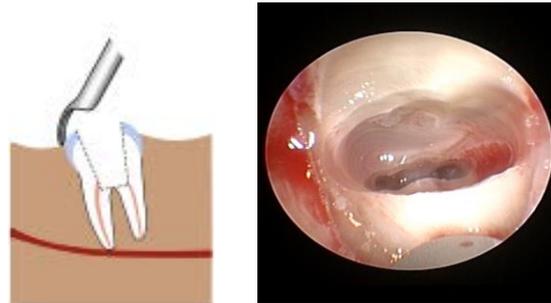


Abb.2.21: Zugangserweiterung zur Furkation
links: schematische Darstellung
rechts: endoskopische Darstellung

2.5.3.5 Interradikuläre Trennung

Die Trennung des Weisheitszahnes erfolgte daraufhin ausgehend von der Furkation. Dies geschah, vorzugsweise in bukko-lingualer Richtung, stets unter direkter endoskopischer Sicht mithilfe diamantierter Kugeln und Kühlung mit Kochsalzlösung. Ziel der Sektion war es, einen internen Raum zu schaffen, um daraufhin den Zahn in seine Einzelteile zu trennen und durch die Einwärts-Fragmentierungs-Technik (Implosionstechnik) in den geschaffenen Raum zu luxieren (Abb.2.22). Je nach Lage des retinierten Zahnes wurde entschieden, ob eine Trennung in Richtung der Furkation (bei mesioangulärer, distoangulärer oder vertikaler Lage) oder zunächst eine Trennung zwischen Krone und Wurzel (bei horizontaler Lage) vorgenommen wurde.

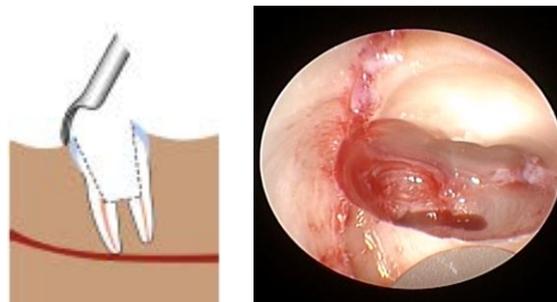


Abb.2.22: Interradikuläre Trennung
links: schematische Darstellung
rechts: endoskopische Darstellung

2.5.3.6 Mobilisierung koronoradikulärer Fragmente (EFT)

Große korono-radikuläre Fragmente ließen sich nach vollständiger Odontosektion ohne große Druckaufwendung in den erweiterten Raum nach dem Prinzip der einwärts gerichteten Mobilisierung luxieren (Abb.2.23). Dazu wurden grazile Hebel (Heidbrink-Wurzelheber) oder Spatel verwendet. Um einen optimalen Hebelansatz zu generieren, musste in gewissen Fällen eine geringe okklusale Osteotomie um den koronalen Anteil durchgeführt werden.

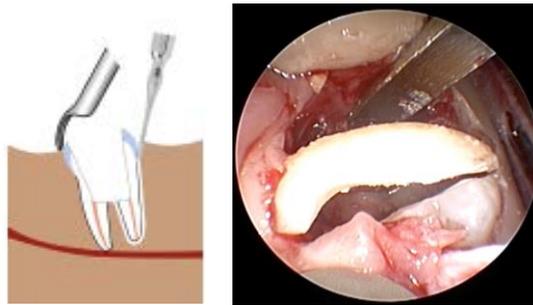


Abb.2.23: Mobilisierung koronoradikulärer Fragmente
links: schematische Darstellung
rechts: endoskopische Darstellung nach Luxation des Fragmentes

2.5.3.7 Interne Mikroosteotomie

War es bei stark gekrümmten Wurzeln nötig, diese in der Tiefe der Alveolen zu entfernen, oder kam es bei der Mobilisierung größerer koronoradikulärer Fragmente zu Wurzelfrakturen, erfolgte eine gezielte interne Mikroosteotomie zur Schaffung eines ausreichenden Hebelansatzes mithilfe graziler Rosenbohrer oder kleiner Diamantfräser unter direkter endoskopischer Sicht (Abb.2.24). Mit den gleichen Hilfsmitteln konnten so zudem interradikuläre Septen abgetragen werden.

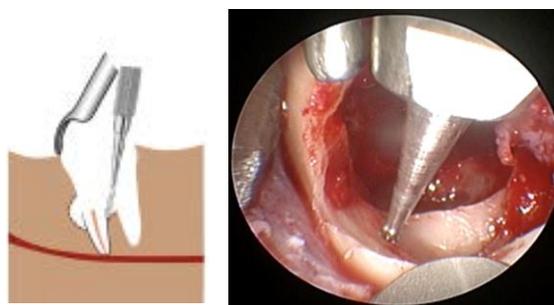


Abb.2.24: Interne Mikroosteotomie
links: schematische Darstellung
rechts: endoskopische Darstellung

2.5.3.8 Mobilisierung von Wurzelfragmenten (EFT)

Nach der Schaffung eines ausreichenden Hebelansatzes konnten nun Kleinfragmente der Wurzeln in den Alveolen oder unter dem Niveau der Furkation wieder nach dem Prinzip der Einwärtsfragmentierung entfernt werden (Abb.2.25). Dies geschah in der Regel mit graziilen Wurzelevatoren oder Wurzelhebern und stets unter endoskopischer Visualisierung.

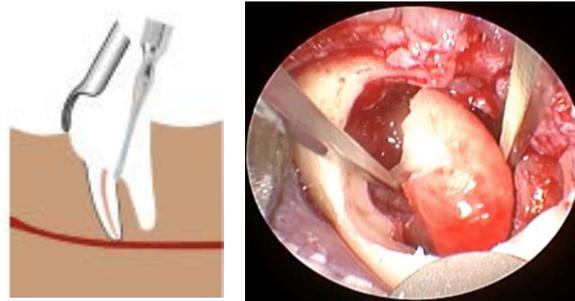


Abb.2.25: Mobilisierung von Wurzelfragmenten
links: schematische Darstellung
rechts: endoskopische Darstellung nach Luxation des Fragmentes

2.5.3.9 Intraradikuläre Separation

War die intraradikuläre Separation angezeigt, erfolgte die Trennung von verschmolzenen oder ankylosierten Wurzelanteilen in unmittelbarer Nähe zu NAI oder lingualer Kompakta unter endoskopischer Kontrolle in der Tiefe der Alveole mit feinen Lindemann-Fräsen oder diamantierten Schleifern (Abb.2.26).

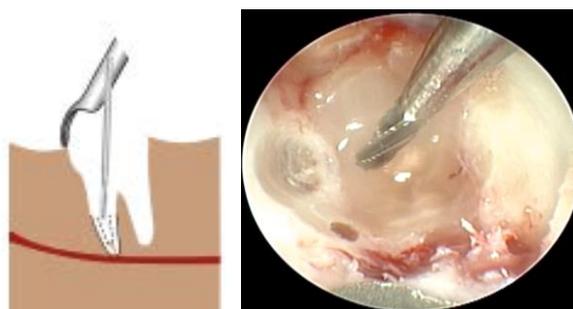


Abb.2.26: Intraradikuläre Separation
links: schematische Darstellung
rechts: endoskopische Darstellung

2.5.3.10 Mobilisation von Kleinfragmenten

Hierbei wurde die Entfernung von Minifragmenten, welche nur an einer Wand des Alveolenkomplexes angehaftet waren, durchgeführt. Dies geschah mit Mikroelevatoren unter endoskopischer Kontrolle (Abb.2.27)

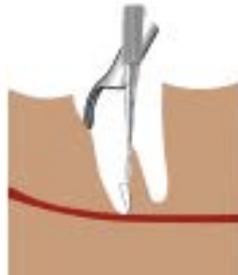


Abb.2.27: Mobilisierung von Kleinfragmenten
Schematische Darstellung

2.5.3.11 Lokalisierte Abtragung

Waren die Restfragmente tief ankylosiert, wurden diese durch Zuhilfenahme von rotierenden diamantierten Instrumenten und endoskopischer Unterstützung bis in die Tiefe gezielt abgetragen.

Dabei wurde das Stützendoskop intraalveolär in unmittelbarer Nähe des Fragmentes platziert (Abb.2.28).

Mithilfe der Stützzimmersionsendoskopie konnten anschließend die Volkmann-Kanäle der Alveolenwände sicher erkannt und als Unterscheidungskriterium zu den Strukturen der Zahnwurzel genutzt werden.

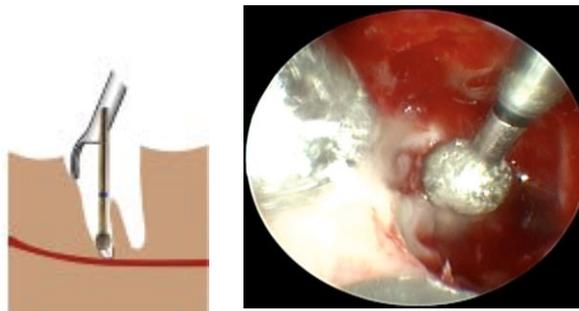


Abb.2.28: Lokalisierte Abtragung
links: schematische Darstellung
rechts: endoskopische Darstellung

2.5.3.12 Alveolenmessung

Nach Abschluss der Fragmententfernung wurde die Alveole gründlich gespült und visuell auf restliche Zahnhartsubstanzen oder zystische Gewebe kontrolliert. Zudem wurde die Intaktheit bei dünnen Knochenwänden sichergestellt und eine eventuelle Beziehung bei einer Freilegung des NAI dokumentiert.

Im Rahmen dieser Promotionsarbeit wurde abschließend die bukkale Alveolenhöhe mittels Parodontalsonden (Skalierung: 1 mm) gemessen und die postoperative Alveolenwandhöhe dokumentiert (Abb.2.29).

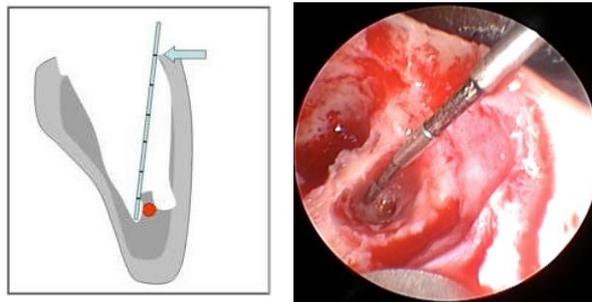


Abb.2.29: Alveolenmessung
links: schematische Darstellung
rechts: endoskopische Darstellung

2.5.4 Wundversorgung

Je nach Ausdehnung des Knochendefektes wurde die Alveole mit einem Kollagenkegel ausgefüllt und die Wundränder nachfolgend mit Einzelknopfnähten adaptiert.

2.6 Auswertung

2.6.1 Radiologische Parametererhebung

2.6.1.1 Risikoeinschätzung nach Juodzbaly und Daugela

Zur Klassifizierung der Lagebeziehung der teilretinierten dritten Molaren wurde eine von Juodzbaly und Daugela (2013) publizierte Klassifikation verwendet. Diese Klassifizierung der Impaktierung von dritten Molaren im Unterkiefer basiert auf anatomischen und dreidimensionalen radiologischen Parametern (Tab.2.4) und soll den Schwierigkeitsgrad der Operation bestimmen sowie die OP-Planung vereinfachen.

Tab.2.4: Klassifikation der Impaktierung von dritten Molaren im Unterkiefer

Lage des dritten Molaren im Unterkiefer	Risikobewertung des geplanten Eingriffes			
	konventionell (1)	einfach (2)	moderat (3)	kompliziert (4)
Mesiodistale Position in Beziehung zum zweiten Molaren (M) und zum aufsteigenden Ast (R)				
Beziehung zum zweiten Molaren (M)	Krone an/über den Äquator des zweiten Molaren gerichtet	Krone unter den Äquator bis zum koronalen Drittel der Wurzel des zweiten Molaren gerichtet	Krone/Wurzel zu mittlerem Drittel der Wurzel des zweiten Molaren gerichtet	Krone/Wurzel zu apikalem Drittel der Wurzel des zweiten Molaren gerichtet
Beziehung zum Ramus (R)	genügend Platz im Zahnbogen	teilretiniert im Ramus	vollretiniert im Ramus	vollretiniert im Ramus in distoangulärer/horizontaler Position
Apikokoronale Position in Beziehung zum Kieferkamm (A) und zum Mandibularkanal (K) – Risiko für NAI-Verletzung				
Beziehung zum nahegelegenen Kieferkamm (ausgehend vom obersten Punkt des Zahnes) (A)	Zahn komplett eruptiert	teilretiniert, größter Teil der Krone (Äquator) über Knochen	teilretiniert, größter Teil der Krone (Äquator) im Knochen	komplett umgeben von Knochen
Beziehung zum Mandibularkanal (ausgehend vom untersten Punkt des Zahnes) (K)	> 3 mm zum Mandibularkanal (MK)	in Kontakt/Penetration des MK, Wand des MK kann erkannt werden	in Kontakt/Penetration des MK, Wand des MK kann nicht erkannt werden	Wurzeln umgeben MK
Bukkolinguale Position in Beziehung zu lingualen und bukkalen Wänden der Mandibula (B) - Risiko für Nervus lingualis Verletzung				
Beziehung zu lingualen und bukkalen Wänden der Mandibula (B)	näher an bukkaler Wand	mittig zwischen lingualer und bukkaler Wand	näher an lingualer Wand	näher an lingualer Wand & teilretiniert/komplett umgeben von Knochen
Räumliche Position (P)				
Räumliche Position (P)	vertikal (90°)	mesioangulär (<60°)	distoangulär (>120°)	horizontal (0°) oder invertiert (270°)

2.6.1.2 Analyse der Wurzelseparation

Ein weiterer Parameter zur Bestimmung des zu erwartenden OP-Schwierigkeitsgrades erfolgte durch die Analyse der Separation der Wurzeln der dritten Molaren. Dazu wurde eine weitere Referenzebene rekonstruiert, die sich auf die maximale mesio-distale Ausdehnung des verlagerten Weisheitszahnes bezog.

Diese wurde durch die Ausrichtung der sagittalen Schnittebene in der Axialschicht auf die maximale mesio-distale Ausdehnung erstellt (Abb.2.30).

Anschließend wurde eine Messstrecke entlang des Wurzelbereiches angelegt, welche anhand des *Hounsfield*-Dichtevermessungstools in der *3D-Diagnosys-Software* auf dessen Dichtewerte untersucht werden konnte. Ergaben sich dabei Werte unter 700 HU (*Hounsfield-Units*), ließ dies rückschließen, dass es sich nicht um Zahngewebe handelte und eine Wurzelseparation definiert werden konnte.

Dies wurde mit den Werten „0“ (Wurzelseparation vorhanden) und „1“ (keine Wurzelseparation) protokolliert.

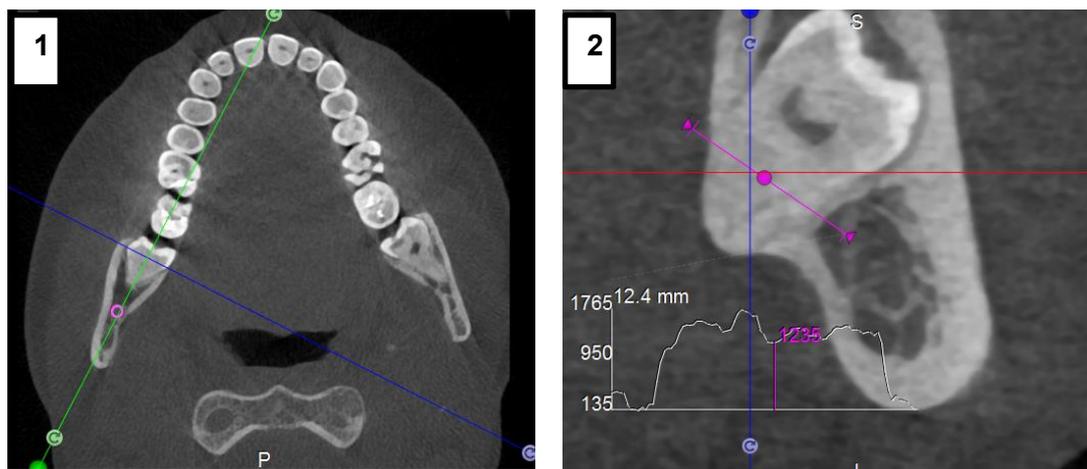


Abb.2.30: 1: Rekonstruktion der neuen Schnittebene: in der Axialschicht wird die sagittale Schnittebene (grüner Strich) auf die maximale mesiodistale Ausdehnung des dritten Molaren gelegt; 2: *Hounsfield* Dichtemessung: mithilfe des HU-Dichtemessungstools kann die Strecke des Wurzelbereiches ausgemessen werden, die Grafik zeigt hier Werte deutlich über 700, damit lässt sich eine Separation der Wurzeln nicht eindeutig definieren

2.6.1.3 Präoperative Vermessung der Alveolenhöhe in der DVT-Aufnahme

Um ein standardisiertes Verfahren zur präoperativen Vermessung des radiologischen Parameters „präoperative Alveolenhöhe“ zu erzielen, wurde jede DVT-Aufnahme analysiert und individuell, je nach Abhängigkeit des Verlagerungstypen, untersucht. Dazu wurde zu Beginn der apikalste Punkt des dritten Molaren in den drei Schichtebenen (Coronarschicht, Sagittalschicht, Axialschicht) aufgesucht (Abb.2.31). Dieser wurde markiert und als Punkt "A" (Apex) definiert.

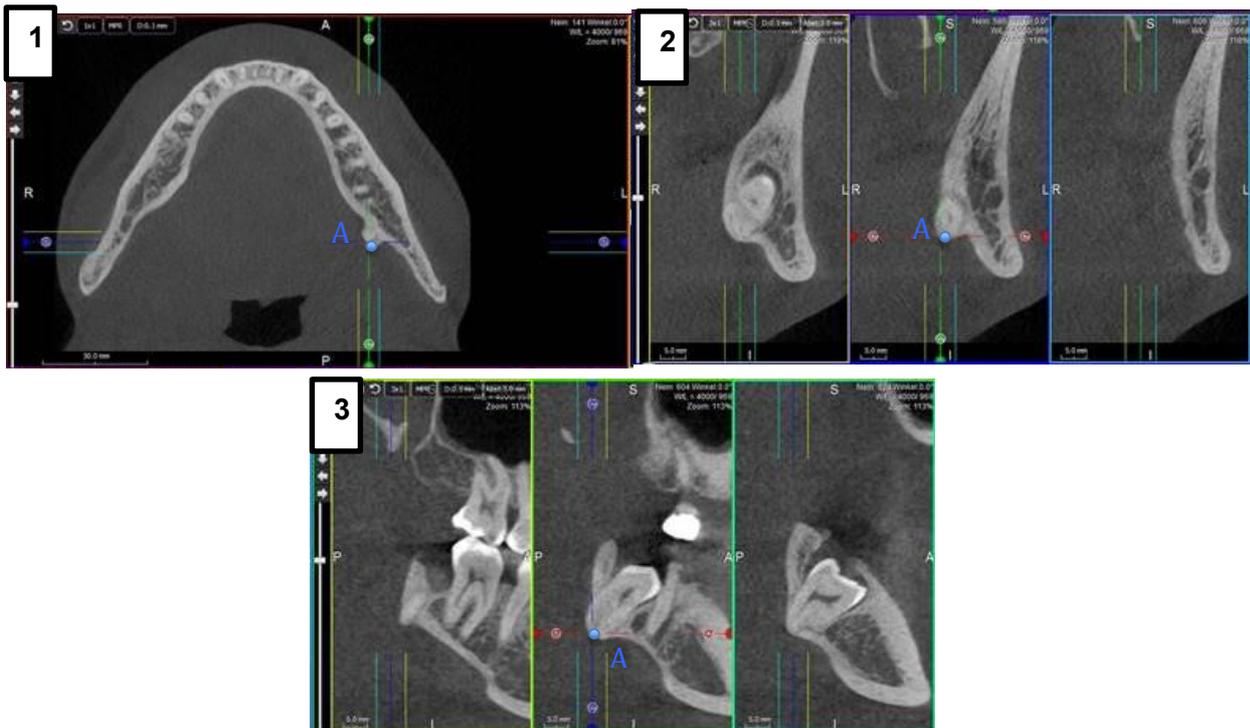


Abb.2.31: Aufsuchen des apikalsten Punktes des dritten Molaren in den drei Schichtebenen; Punkt A (blau): apikalster Punkt des dritten Molaren
1: Axialschicht; 2: Coronarschicht, 3: Sagittalschicht

Ausgehend von A wurde dann die koronare Schnittebene in der Sagittalschicht so verändert, dass sie in apiko-koronaler Längsrichtung auf die Mitte der Krone des verlagerten dritten Molaren gelegt wurde (Abb.2.32). Damit entstand eine modifizierte Schnittebene, die sich individuell auf die maximale apiko-koronale Ausdehnung des dritten Molaren bezog und der Ausrichtung der intraoperativen Alveolenhöhenmessung nach vollständiger Entfernung des dritten Molaren entsprach.



Abb.2.32: 1: Veränderung der Ausrichtung der sagittalen Schichtebene in der Coronarschicht auf die maximale apiko-koronale Längsausrichtung des dritten Molaren; 2: neue Schichtebene bezogen auf die maximale apiko-koronale Ausdehnung des dritten Molaren und Ausgangsebene für die präoperative radiologische Vermessung.

In jener rekonstruierten Schichtebene wurde nun die bukkale Alveolenhöhe vermessen. Dies erfolgte mit dem Vermessungstool der *3D-Diagnosys-Software* des White-Fox-Systems. Für die Vermessung wurden der zuvor festgelegte Punkt A und der lingualste Punkt der bukkalen Kompakta (Punkt B) gewählt. Abbildung 2.33 demonstriert ein radiologisches Beispiel zusammen mit einer Skizze der Vermessung und der dafür relevanten Punkte.

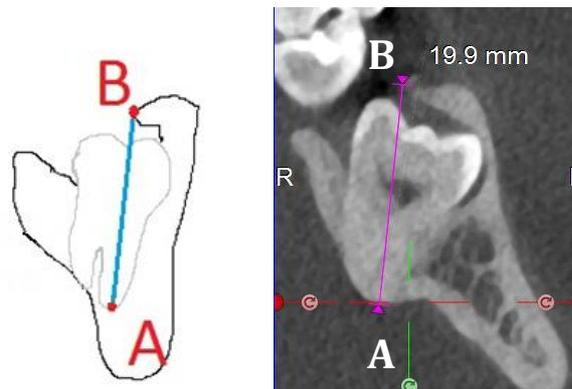


Abb.2.33: präoperative bukkale Alveolenhöhenmessung;
 B: lingualster Punkt der bukkalen Kompakta
 A: apikalster Punkt des dritten Molaren
 blaue Linie: Strecke zwischen A und B zeigt die präoperative bukkale Alveolenhöhe
 links: schematische Darstellung
 rechts: Ausschnitt aus Messung in der *3D-Diagnosys-Software*

2.7.2 Klinische Parametererhebung

2.7.2.1 Intraoperative Analyse der OP-Teilschritte

Anhand eines Operationsprotokolls (siehe Anhang 7.3) wurden die Parameter Anzahl der OP-Teilschritte, aufgetretene Komplikationen und weitere Anmerkungen dokumentiert.

Weiterführend wurde eine Klassifizierung nach dem Ampelschema, bezogen auf die Anzahl der Gesamtschritte, vorgenommen, die die Schwierigkeit der operativen Entfernung der dritten Molaren widerspiegeln sollte.

Dabei wurden unterteilt in:

- **GRÜN** (Teilschritte 1-6):
 - Okklusale Exposition
 - Pilotbohrung
 - Erweiterungsbohrung
 - Zugangserweiterung zur Furkation
 - Interradikuläre Trennung
 - Mobilisierung koronoradikulärer Fragmente (EFT)
- **GELB** (Teilschritte 1-8):
 - + Interne Mikroosteotomie
 - + Mobilisierung von Wurzelfragmenten (EFT)
- **ROT** (Teilschritte 1-11):
 - + Intraradikuläre Separation
 - + Mobilisation von Kleinfragmenten
 - + Lokalisierte Abtragung

2.7.2.2 Intraoperative Vermessung der Knochendefektsituation

Unter Zuhilfenahme des Endoskopes und genormter Parodontalsonden oder modifizierter Lindemann-Fräsen erfolgte die Vermessung der bukkalen Alveolenwandhöhe vom apikalsten Punkt der Alveole zum kranialsten Punkt der bukkalen Knochenbegrenzung.

Die Messergebnisse wurden in das OP-Protokoll eingetragen und anschließend mit den präoperativen Messungen verglichen. Aus der Differenz zwischen präoperativer Alveolenhöhenmessung und intraoraler Vermessung wurde die bukkale Knochendefektsituation errechnet und protokolliert.

2.7.2.3 Postoperative Untersuchungen

Die Patienten wurden postoperativ nach 24 Stunden und nach sieben Tagen zur Nahtentfernung untersucht und die Befunde in ein Dokumentationsprotokoll eingetragen (siehe Anhang 7.3).

Schwellung

Unterschieden wurde das Ausmaß der Schwellung in vier Stadien, welche nach 24 Stunden und einer Woche dokumentiert wurde. Zudem wurden die Schwellungen fotodokumentarisch festgehalten.

- Grad 0: keine Schwellung der Gewebe
- Grad 1: leichte Schwellung
- Grad 2: mittlere Schwellung, Unterkieferrand durchgehend tastbar
- Grad 3: starke Schwellung, Unterkieferrand nicht durchgehend tastbar

Schmerz

Die *International Association for the Study of Pain* (IASP) definiert den Schmerz als ein unangenehmes Sinnes- oder Gefühlserlebnis, das mit tatsächlicher oder potenzieller Gewebeschädigung einhergeht oder von betroffenen Personen so beschrieben wird, als wäre eine solche Gewebeschädigung die Ursache (Merskey und Bogduk 1994).

Es erfolgte die Aufnahme der subjektiven Schmerzempfindung anhand einer visuellen Analogskala (VAS) von 1 bis 10, wobei 1 die komplette Schmerzfreiheit und 10 den schlimmsten, vorstellbaren Schmerz definierte.

Mundöffnung

Die normale Mundöffnung beträgt in der Regel zwischen 31,5-45 mm bei einem Normwert von über 40 mm (Bartrow 2015). Eine eingeschränkte Mundöffnung kann aufgrund von Krämpfen der Kaumuskulatur oder durch lokale Behinderungen wie Entzündungen oder Frakturen auftreten.

Das Ausmaß der Mundöffnung wurde postoperativ mithilfe eines Lineals gemessen, wobei der Abstand der Oberkiefer- und Unterkieferschneidekanten der zentralen Inzisivi herangezogen wurde. Es wurden die Distanzen vermerkt und als normal (> 40 mm) und eingeschränkt (< 40 mm) eingestuft.

2.8 Antrag an die Ethikkommission

Der Antrag an die Ethikkommission erfolgte über die Medizinische Fakultät der Georg-August-Universität Göttingen am 30.5.2016 und erhielt die Antragsnummer 16/12/15 (siehe Anhang 7.2).

2.9 Statistische Auswertung

Die Kalkulation der Tabellen sowie sämtliche graphische Darstellungen wurden mit Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) vorgenommen.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Windows-Programm SPSS Statistics Version 24 (SPSS, Chicago, USA).

Die Analyse der Korrelationen wurde durch Anwendung des Kendall-Tau-B-Testverfahrens durchgeführt, wobei das Signifikanzniveau einheitlich auf $p < 0,05$ festgelegt wurde.

2.9.1 Statistische Vergleiche

Die Durchführung der statistischen Vergleiche mithilfe der vorgestellten Parameter erfolgte durch die Aufstellung folgender Nullhypothesen:

- 1) Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Risikobewertung nach Juodzbaly und Daugela und der Wurzelkonfiguration.
- 2) Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Risikobewertung nach Juodzbaly und Daugela und der Anzahl der OP-Teilschritte.
- 3) Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Risikobewertung nach Juodzbaly und Daugela und dem Ausmaß des Knochendefektes.
- 4) Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Risikobewertung nach Juodzbaly und Daugela und der Prävalenz der postoperativen Komplikationen.
- 5) Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Wurzelkonfiguration und der Anzahl der OP-Teilschritte.
- 6) Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Wurzelkonfiguration und dem Ausmaß des Knochendefektes.

7) Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Wurzelkonfiguration und der Prävalenz der postoperativen Komplikationen.

8) Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Anzahl der OP-Teilschritte und dem Ausmaß des Knochendefektes.

9) Es besteht kein Zusammenhang zwischen Anzahl der OP-Teilschritte und der Prävalenz der postoperativen Komplikationen.

10) Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Ausmaß des Knochendefektes und der Prävalenz der postoperativen Komplikationen.

3. Ergebnisse

3.1 Deskriptive Datenanalyse

3.1.1 Patientendaten

Bei den Patienten handelte es sich um acht Frauen und 15 Männer (Abb.3.1), die zwischen 18 und 36 Jahre alt waren (Abb.3.3). Die Seitenverteilung der unteren dritten Molaren belief sich auf elf rechte und zwölf linke Weisheitszähne (Abb.3.2).

Geschlechtsverteilung

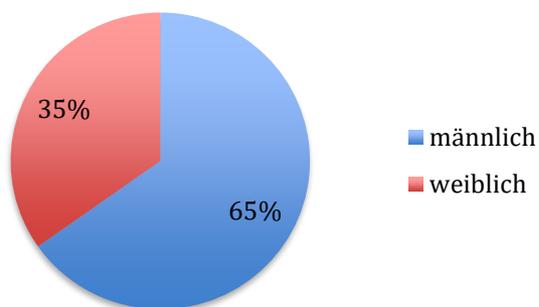


Abb.3.1: Schematische Darstellung der Geschlechterverteilung

Zahnverteilung

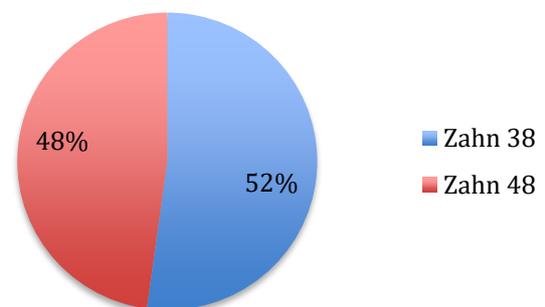


Abb.3.2: Schematische Darstellung der Zahnverteilung

Altersverteilung

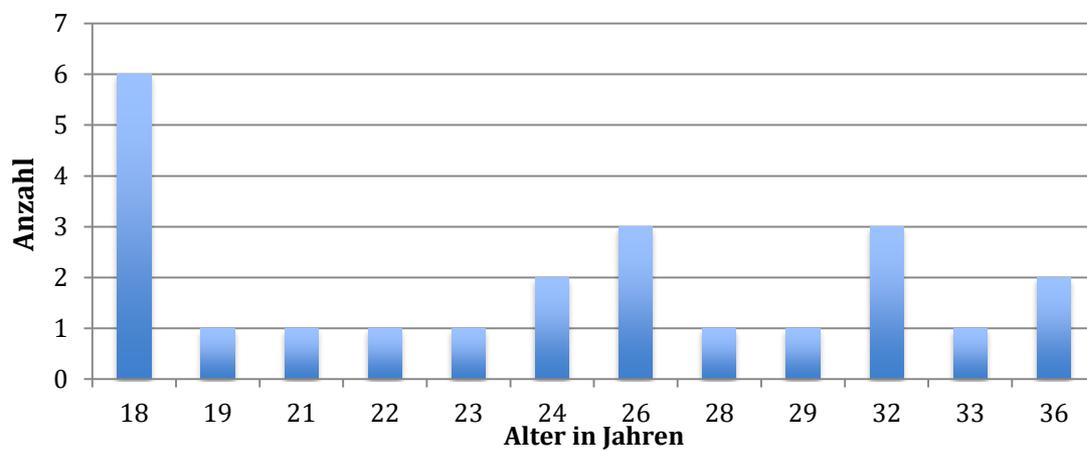


Abb.3.3: Schematische Darstellung der Altersverteilung

3.1.2 Präoperative Operationsplanung

In Abhängigkeit von der Beziehung der Wurzeln der unteren dritten Molaren zu NAI und lingualer Kompakta sowie der Möglichkeit der Differenzierung einer Separation der Wurzeln, wurde die Bohrrichtung und der Tiefenstopp der Pilot- und Erweiterungsbohrung geplant.

Bohrrichtung/Ausrichtung der Bohrung

Es wurde stets auf einen bukkalen und okklusalen Zugang geachtet, der zum einen der Mundöffnung des Patienten gerecht werden sollte und zum anderen die Erreichbarkeit mit dem Handstück garantieren musste.

Aus bukko-lingualer Sichtweise betragen die Anstellwinkel zwischen 7° und 34° (Median: 22°). Dieser Winkel wurde gemessen ausgehend von der Kronenflucht der bukkalen Flächen der Unterkieferseitenzähne und der Achse der Bohrrichtung.

Der apiko-koronale Anstellwinkel variierte zwischen 25° und 61° (Median: 43°). Hier wurde der Winkel aus den okklusalen Flächen der Prämolaren und Molaren und der Achse der Bohrrichtung gebildet.

Tabelle 3.1 zeigt die Auflistung aller Anstellwinkel bezogen auf die Patienten-ID.

Tiefenstopp/Ende der Bohrung

Unter strikter Beachtung der - aus der Implantologie gültigen - Sicherheitsabstände von 2 mm zu NAI und lingualer Kompakta wurde das Ende der Pilot- und Erweiterungsbohrung stets in das Zentrum des Furkationsbereiches des dritten Molaren geplant. Bei lingualer Verlagerung wurde die Bohrrichtung nach bukkal verändert. Wurde der Sicherheitsabstand von 2 mm unterschritten oder kritisch, wurde das Ende der Bohrung in Richtung Zentrum der Pulpa so weit verändert, bis der notwendige Abstand eingehalten werden konnte. Auch bei einer unsicheren Diagnostik der Separation der Wurzeln wurde der Tiefenstopp in Richtung Pulpenboden modifiziert.

Somit war bei 15 Fällen der zentrale Furkationsbereich das Ziel der Navigation, bei zwei Patienten wurde das Ende der Bohrung in Richtung bukkal geschoben. Bei sechs unteren dritten Molaren wurde der Pulpenboden als Tiefenmarkierung gewählt.

3.1.3 Intraoperative Umsetzung der Planung

Vor jedem Eingriff wurde die Zugangsplanung inklusive anvisiertem Tiefenstopp auf dem Operationsprotokoll festgehalten, um diese während der Pilot- und Erweiterungsbohrung mit der intraoperativen Situation abgleichen zu können.

In neun Fällen wurde die Furkation erreicht, bei 13 Patienten der Pulpenbereich. In einem Fall wurde das ausgewiesene Ziel durch ein Nichterreichen des Tiefenanschlages nicht erreicht.

Tabelle 3.1 zeigt die Korrelation von Planungsziel und Endpunkt der Pilotbohrung bzw. Erweiterungsbohrung. Bei der Erweiterungsbohrung wurde intraoperativ in sechs Fällen entschlossen, eine Modifikation der Tiefenbohrung vorzunehmen. In einem Fall wurde durch die Navigation eine bukkalere Lage des dritten Molaren angenommen. In den übrigen Patientenfällen konnte die Anatomie und Lage der Furkation durch die geführten Bohrungen komplikationsfrei analysiert und erweitert werden.

Tabelle 3.1: Operationsplanung; Auflistung der Anstellwinkel und Zusammenhang zwischen Planung, Pilotbohrung und Erweiterungsbohrung nach Patienten-ID; P = Pulpa, F = Furkation, V = verkürzt)

Patienten-ID	Winkel bukko- lingual (in °)	Winkel apiko- koronal (in °)	Planung	Pilotbohrung	Erweiterungs- bohrung
1	22	41	F	F	F
2	16	25	P	P	P
3	21	44	P	V	V
4	7	33	F	P	P
5	17	34	F	F	F
6	23	50	P	P	P
7	18	27	F	F	F
8	14	40	P	P	P
9	30	53	F	P	F
10	31	46	F	F	F
11	15	43	F	F	F
12	21	42	P	P	P
13	17	37	F	F	F
14	20	36	F	P	P
15	23	48	F	P	F
16	25	56	F	P	P
17	8	50	F	P	P
18	33	45	F	F	F
19	24	61	F	F	F
20	17	40	F	P	P
21	33	53	F	P	P
22	23	36	F	P	P
23	34	48	F	F	F

3.1.4 Radiologische Untersuchungen

Alle DVT-Aufnahmen wurden in Anlehnung an die Klassifikation nach Juodzbaly und Daugela (2013) anhand röntgenologischer Kriterien in den mesio-distalen, apiko-koronalen und bucco-lingualen Ebenen analysiert. Abschließend wurde aus der Kombination der Faktoren der Schwierigkeitsgrad der Zahnentfernung bestimmt.

3.1.4.1 Verteilungen in den Schichtebenen

Mesio-distale Ebene

In der mesio-distalen Ebene wurde die Beziehung zum zweiten Molaren und zum aufsteigenden Ast untersucht. Bei elf Zähnen war die Krone an/über den Äquator des zweiten Molaren gerichtet, elf Zähne hatten die Krone unter dem Äquator bis zum koronalen Drittel der Wurzel des zweiten Molaren gerichtet, an einem Weisheitszahn war die Krone zum mittleren Drittel der Wurzel des zweiten Molaren gerichtet und kein Zahn war zum apikalen Drittel der Wurzel lokalisiert.

Bezogen auf den aufsteigenden Ast, hatte ein dritter Molar genügend Platz im Zahnbogen, 20 Zähne waren teilretiniert und einer vollretiniert im *Ramus* gelegen. Ein Weisheitszahn war vollretiniert im *Ramus* und zeitgleich in horizontaler Position gelegen.

Des Weiteren ergab sich in der mesio-distalen Ebene eine Einteilung der Angulation der dritten Molaren.

Hierbei waren 13 Zähne mesioanguliert, drei distoanguliert, vier dritte Molaren waren vertikal und drei horizontal verlagert.

Apiko-koronale Ebene

Es wurde die Beziehung zum Kieferkamm und zum Mandibularkanal untersucht, definiert und daraus die Gefahr einer Verletzung des NAI abgeleitet.

Im Bezug zum Kieferkamm war ein Zahn komplett eruptiert, zwölf teilretiniert mit dem größten Teil der Krone über dem Knochenniveau und zehn Zähne teilretiniert mit dem größten Teil der Krone im Knochen gelegen.

Bei der anatomischen Lagebeziehung zum *Canalis mandibularis* hatte ein dritter Molar einen Abstand von mehr als 3 mm zum Kanal, fünf Zähne wiesen direkten Kontakt oder eine Penetration des Kanals mit Abgrenzung der Kanalwände auf.

16 dritte Molaren wiesen einen direkten Kontakt bzw. eine Penetration des Mandibularkanals auf, wobei hier keine eindeutige Abgrenzung der Kanalwände ausgemacht werden konnte. In 4,3 % der Fälle umgaben die Wurzeln des Weisheitszahnes den Kanal.

Bukko-linguale Ebene

Durch die Analyse der Lagebeziehung zu den bukkalen und lingualen Wänden des Unterkiefers konnte ein Risiko für die Verletzung des *Nervus lingualis* abgeschätzt werden. 15 dritte Molaren lagen näher an der bukkalen Wand, während sieben mittig positioniert waren. Bei einem Weisheitszahn konnte eine linguale Positionierung mit vollständiger Umgebung von Knochensubstanz evaluiert werden.

3.1.4.2 Risikoeinstufung nach Juodzbaly und Daugela

Durch die Kombination der verschiedenen anatomischen Lagebeziehungen und die damit verbundenen Klassifizierungen ergaben sich Risikobewertungen der geplanten Weisheitszahnentfernungen. Diese wurden aus der Addition der einzelnen Kategorien gebildet und betragen im Geringsten Fall 11 und im Maximum 22 (Median: 13,78).

Die Verteilung der Risikoeinstufungen ist in Abbildung 3.4 dargestellt.

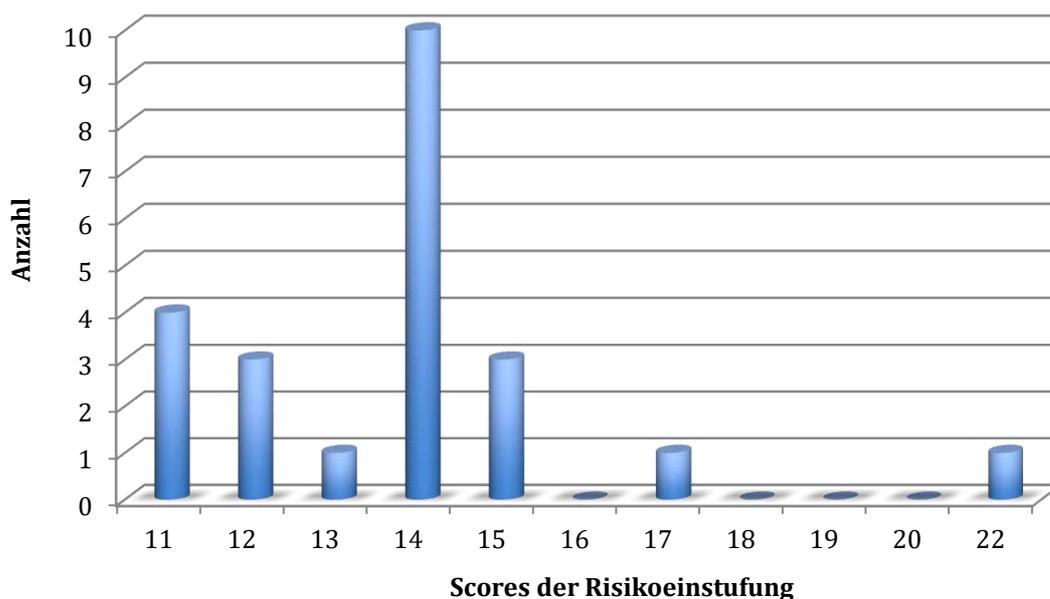


Abb.3.4: schematische Darstellung der Verteilung des Schwierigkeitsgrades

3.1.4.3 Wurzelkonfiguration

Als weitere Maßnahme zur Einstufung der zu erwartenden Komplexität der Eukleation wurde die Separation der Wurzeln durch die *Hounsfield*-Dichtemessung im interradikulären Bereich analysiert. Daraus ergab sich, dass acht dritte Molaren eine Dichte über 700 *Hounsfield-Units* (HU) aufwiesen und damit als nicht separiert eingeordnet wurden, während die übrigen 15 Dichtewerte unter 700 HU erkennen ließen. Daraus resultierte die Einstufung 0 (Separation erkennbar) und 1 (Separation nicht erkennbar).

3.1.5 Knochendefektanalyse

Zur Analyse des intraoperativen Knochenverlustes wurden die präoperativ angefertigten DVT-Aufnahmen ausgewertet und die bukkalen Alveolenhöhen bestimmt. Diese wurden mit den intraoperativ gemessenen Alveolenhöhen nach Entfernung der dritten Molaren verglichen.

Präoperativ wies die bukkale Alveolenwand eine Höhe zwischen 13,5 mm und 20,1 mm (Median: 16,5 mm) auf.

Nach der vollständigen Entfernung der retinierten Weisheitszähne zeigte sich bukkal eine Höhe zwischen 10 mm und 18 mm (Median: 14 mm).

Daraus ergab sich ein Knochendefekt bukkal im Rahmen von 0,6 mm bis 5,6 mm (Median: 2,2 mm).

Tabelle 3.2 veranschaulicht die Knochenverlustdaten der einzelnen Patienten.

Tabelle 3.2: Darstellung des Knochenverlustes nach Patienten-ID

Patienten-ID	Knochenhöhe prä (in mm)	Knochenhöhe post (in mm)	Knochenverlust (in mm)
1	15,8	14	1,8
2	15,2	13	2,2
3	13,5	10	3,5
4	15,6	15	0,6
5	15	13	2
6	18	15	3
7	15,2	12	3,2
8	16,6	11	5,6
9	18,9	15	3,9
10	14,2	13	1,2
11	17,5	16	1,5
12	18,4	15	3,4
13	15,3	13	3,2
14	17,7	17	0,7
15	16,9	16	0,9
16	20,1	18	2,1
17	16,9	16	0,9
18	18,2	16	2,2
19	17,2	16	1,2
20	14,5	13	1,5
21	16,9	15	1,9
22	15,9	14,5	1,4
23	15,9	13	2,9

3.1.6 Anzahl der OP-Teilschritte

Eine weitere Klassifizierung des Schwierigkeitsgrades der Entfernung der dritten Molaren wurde in der Anzahl der verschiedenen Operations-Teilschritte in Anlehnung an die Klassifikation nach Beltrán (2016) vorgenommen. Durch den Autor wurden die navigierten Teilschritte *Pilotbohrung* und *Erweiterungsbohrung* hinzugefügt.

So wurden bei allen 23 Eingriffen die Teilschritte 1-6 (*okklusale Exposition, Pilotbohrung, Erweiterungsbohrung, Zugangserweiterung zur Furkation, interradikuläre Trennung* und *Mobilisierung koronaradikulärer Fragmenten nach der EFT*) ausgeführt. Bei 16 Operationen genügten diese Teilschritte, um den dritten Molaren in toto zu entfernen. Diese Operationen wurden klassifiziert als grüne Schwierigkeitsstufe.

In fünf Fällen mussten die intraoperativen Teilschritte *interne Mikroosteotomie* und *Mobilisierung von Wurzelfragmenten nach der EFT* durchgeführt werden, welches die gelbe Schwierigkeitsklasse darstellte.

Bei zwei Patienten waren bei der Entfernung der Weisheitszähne zusätzlich die Teilschritte *intradikuläre Separation, Mobilisation von Kleinfragmenten* und *lokalisierte Abtragung* erforderlich, um die retinierten und zum Teil ankylosierten Wurzelreste zu entfernen (Stufe rot).

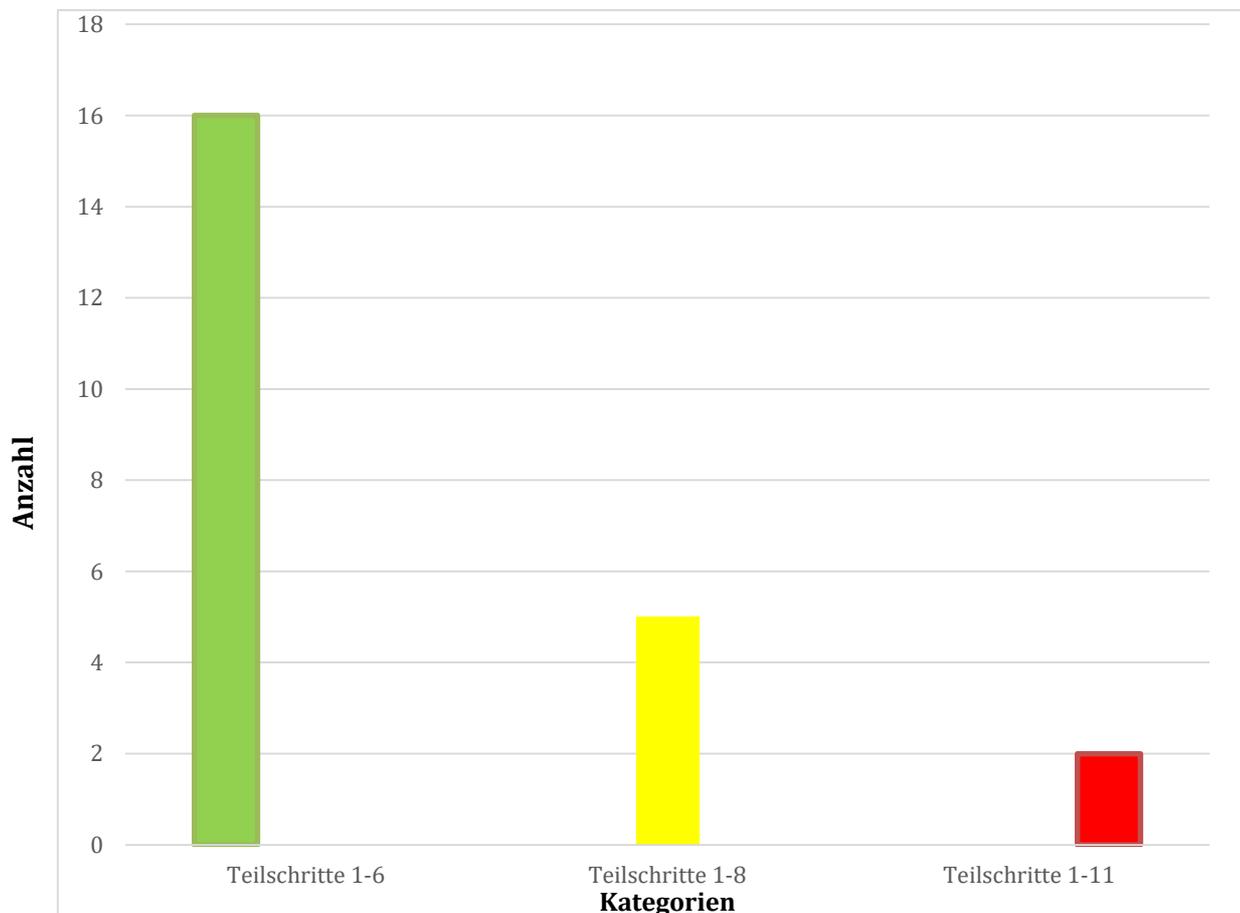


Abb. 3.5: Verteilung der OP-Teilschritte nach Anzahl und Ampelschema

3.1.7 Postoperative Befunde

Mundöffnung

Nach 24 Stunden und einer Woche postoperativ wurde die maximale Mundöffnung der Patienten durch Ermittlung des Interinzisalabstandes mithilfe eines Lineals untersucht.

Nach 24 Stunden variierte die Mundöffnung zwischen 18 mm und 55 mm (Median: 29 mm), nach sieben Tagen zeigte sich ein Abstand der Inzisivi zwischen 27 mm und 61 mm (Median: 50 mm)

Schmerzempfindung

Auch das Schmerzempfinden wurde nach einem Tag und sieben Tagen anhand einer VAS-Skala von 1-10 notiert.

Gaben die Patienten nach 24 Stunden noch Werte zwischen 1 und 8 (Median: 3,8) an, lagen diese nach einer Woche nur noch zwischen 1 und 2 (Median: 1,2).

Schwellung

Die Schwellung wurde anhand einer Klassifikation in vier Stufen eingeteilt. Nach 24 Stunden zeigte ein Patient eine Schwellung Grad 0, 17 hatten Grad 1, drei Patienten zeigten Grad 2 und einer Grad 3.

Nach einer Woche zeigte lediglich ein Patient eine Schwellung Grad 1. Die Übrigen präsentierten sich zur Nahtentfernung asymptomatisch.

Sensibilität

Eine Sensibilitätsstörung wurde notiert, wenn der Patient subjektive Missempfindungen oder Beeinträchtigungen im Innervationsgebiet des NAI angab. Diese wurden in Korrelation gesetzt mit einer präoperativ analysierten Nervnähe, welche ein hohes Risiko für eine Verletzung des NAI bedeutete (Smith 2013) und ausgewertet.

Nach Auswertung der DVT-Aufnahmen zeigten 22 Patienten einen Abstand von weniger als 2 mm zwischen den Wurzeln der dritten Molaren und dem Nervkanal. Dies wurde als enge Nervnähe und erhöhtes Risiko für eine Nervschädigung eingestuft. In 95,6 Prozent der Fälle (22) wurde ein direkter Kontakt der Wurzeln zum Unterkiefernerve notiert. Von diesen 22 Patienten zeigte keiner Sensibilitätsstörungen sowohl nach 24 Stunden als auch nach 7 Tagen.

3.2 Statistische Vergleiche

Die Untersuchung signifikanter Zusammenhänge erfolgte durch die Anwendung der Kendall-Tau-Testmethode, wobei das Signifikanzniveau einheitlich auf $p=0,05$ festgelegt wurde.

3.2.1 Nullhypothesen

Es konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Risikoanalyse nach Juodzbaly und Daugela zu den Parametern Wurzelkonfiguration (Nullhypothese 1) und Anzahl der OP-Teilschritte (Nullhypothese 2) aufgezeigt werden. Bezüglich der Korrelation zum Ausmaß des Knochendefekts konnte ein signifikanter Zusammenhang dargestellt ($p=0,012$) und die Nullhypothese 3 widerlegt werden. Abbildung 3.6 veranschaulicht das Streudiagramm zwischen Risikobewertung und Knochendefekt. In Bezug auf die Prävalenz an postoperativen Befunden ergab sich keine signifikante Korrelation, wodurch sich Nullhypothese 4 bestätigte (Tabelle 3.3).

Tabelle 3.3: Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveau bezüglich Risikoeinstufung und weiteren Parametern

Nullhypothese	Parameter 1	Parameter 2	P-Wert	Korrelationskoeffizient
1	Risikoeinstufung	Wurzelkonfiguration	0,279	0,209
2	Risikoeinstufung	OP-Teilschritte	0,447	-0,058
3	Risikoeinstufung	Knochendefekt	0,012*	0,408
4	Risikoeinstufung	Schwellung nach 24 h	0,828	-0,041
4	Risikoeinstufung	Mundöffnung nach 24 h	0,634	0,079

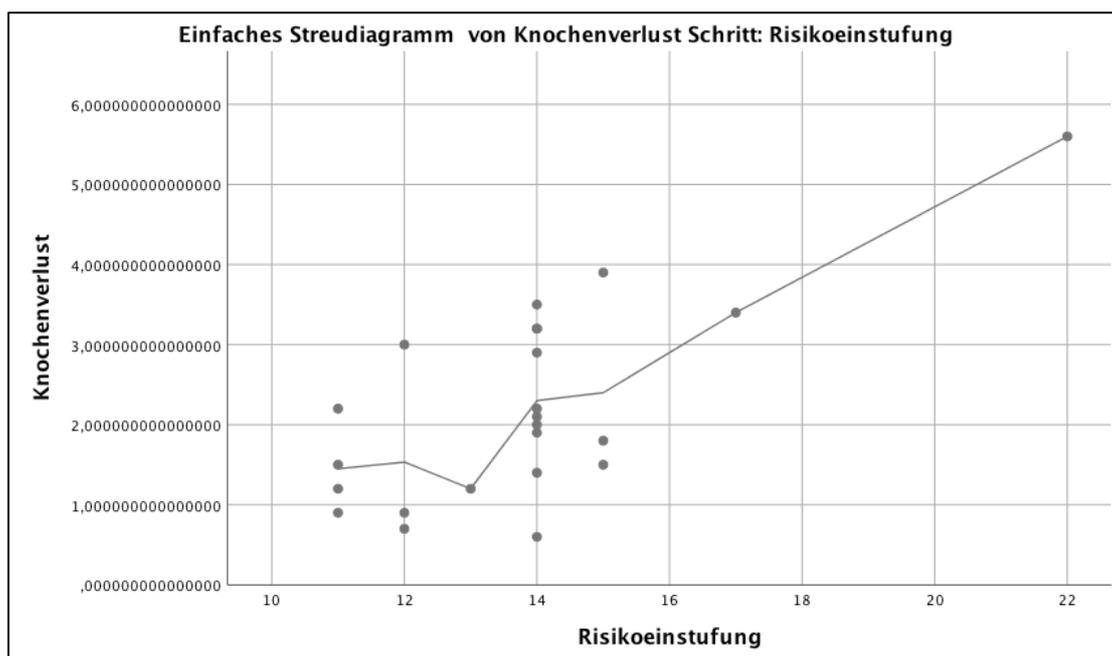


Abb. 3.6: Streudiagramm zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Knochenverlust und Risikoeinstufung

Ebenfalls konnten die Nullhypothesen 5, 6 und 7 bestätigt werden, da keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Wurzelkonfiguration und den Parametern Anzahl der OP-Teilschritte, Ausmaß des Knochenverlustes und Prävalenz der postoperativen Befunde ermittelt werden konnten, wie Tabelle 3.4 zu entnehmen ist.

Tabelle 3.4: Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveau bezüglich Wurzelkonfiguration und weiteren Parametern

Nullhypo- these	Parameter 1	Parameter 2	P-Wert	Korrelations- koeffizient
5	Wurzelkonfiguration	OP-Teilschritte	0,780	-0,058
6	Wurzelkonfiguration	Knochendefekt	0,165	0,249
7	Wurzelkonfiguration	Schwellung nach 24 h	0,644	-0,095
7	Wurzelkonfiguration	Mundöffnung nach 24 h	0,330	-0,178

Auch zwischen der Anzahl der OP-Teilschritte und den Parametern Ausmaß des Knochendefektes (Nullhypothese 8) und Prävalenz der postoperativen Befunde (Nullhypothese 9) konnten keine signifikanten Korrelationen aufgezeigt werden (Tab. 3.5).

Tabelle 3.5: Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveau bezüglich Anzahl der OP-Teilschritte und weiteren Parametern

Nullhypo- these	Parameter 1	Parameter 2	P-Wert	Korrelations- koeffizient
8	Anzahl der OP-Teilschritte	Knochendefekt	0,468	0,126
9	Anzahl der OP-Teilschritte	Schwellung nach 24 h	0,668	0,086
9	Anzahl der OP-Teilschritte	Mundöffnung nach 24 h	0,336	0,171

Zuletzt konnte auch die Nullhypothese 10 nicht widerlegt werden, da sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ausmaß des Knochendefektes und der Prävalenz der postoperativen Komplikationen feststellen ließ (Tab. 3.6)

Tabelle 3.6: Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveau bezüglich Knochendefekt und weiteren Parametern

Nullhypo- these	Parameter 1	Parameter 2	P-Wert	Korrelations- koeffizient
10	Knochendefekt	Schwellung nach 24 h	0,488	-0,121
10	Knochendefekt	Mundöffnung nach 24 h	0,240	0,182

4. Diskussion

Wie Farish und Bouloux (2007) beschrieben, haben neue chirurgische Techniken in Verbindung mit intensivem Training und ausreichender Erfahrung zu einer Evolution in der dentalen Chirurgie geführt, die die Entfernung von dritten Molaren in einer minimalinvasiven und weniger traumatisierenden Art und Weise ermöglichen kann. Beispiele dieser neuen Techniken sind die Methode der Koronektomie (Pogrel et al. 2004) oder die mikrochirurgische Entfernung über einen okklusalen Zugang mithilfe von visuellen Hilfsmitteln (Engelke et al. 2011), welche Grundlage der vorliegenden Dissertation ist. In anderen Fachdisziplinen der Zahnmedizin wie der Implantologie ist die Kombination der 3D-bildgebenden Röntgenmethoden mit intraoralen Scans und digitaler Planung bereits heute ein Standardverfahren zur Qualitätssicherung und Vereinfachung der Abläufe (Zel 2007). Auch im Bereich der Endodontie zeigen neueste klinische Studien Ansätze, die digitalen Planungen mit hoher Genauigkeit in das OP-Feld zu transferieren (Buchgreitz et al. 2015). In dieser Studie wurde das von Choi und Engelke (2011) vorgestellte Verfahren der Einwärts-Fragmentierungstechnik (EFT) um die präoperative Diagnostik und Planung mithilfe von dreidimensionalen DVT-Aufnahmen und der intraoperativen Navigation mittels stereolithographisch hergestellter Schablonen erweitert.

4.1 Technische Bewertung der Methode

4.1.1 Digitaler *Workflow*

Der digitale *Workflow* entsteht durch die Aneinanderreihung und Verknüpfung verschiedener digitaler Diagnostik-, Planungs- und Fertigungsmethoden und kann sich von der reinen digitalen intraoralen Erfassung der Oberflächenstrukturen via Intraoralscanner bis hin zur kompletten Fertigung komplexer Prothetik erstrecken. Dadurch kann eine komplikationsfreie und zeitsparende Alternative zu den konventionellen Arbeitsabläufen entstehen (Arcuri et al. 2016). Zudem vereinfacht es die Kommunikation mit den Patienten und den zahntechnischen Labors, es entstehen bessere klinische Ergebnisse und minimal-invasivere Eingriffe für die Patienten (Marsango et al. 2014).

Die Vorbereitung und Planung der in dieser Arbeit vorgestellten modifizierten okklusalen Expositionstechnik erforderte den Zugang und die Handhabung mit modernen radiologischen bildgebenden Verfahren, Erfahrungen im Umgang mit der Digitalisierung von intraoralen Strukturen beziehungsweise Intraoralscannern, die Kenntnisse der chirurgischen Komponenten der navigierten Weisheitszahnentfernung sowie der Abläufe in der digitalen Planung und anschließend der stereolithographischen Herstellung von Navigationsschablonen.

Digitalisierung der intraoralen Oberfläche

Zuerst musste also die Art und Weise der Digitalisierung der intraoralen Situation gewählt werden. In der vorliegenden Arbeit wurde die Methodik der direkten digitalen Erfassung der Hart- und Weichgewebe mit dem *Trios*-Intraoralscanner der Firma *3Shape* (Dänemark) gewählt. Dieser erzielte im Vergleich diverser Intraoralscanner die besten Ergebnisse bezogen auf Geschwindigkeit und Präzision der Erfassung ganzer Kieferbögen (Renne et al. 2017). Zudem zeigte sich dieser in puncto Patientenakzeptanz und Scangeschwindigkeit, stetiger Kontrollmöglichkeit über den Bildschirm und der Offenheit des Systems mit sofortiger Weiterverarbeitungsmöglichkeit der digitalen Daten als vorteilhaft. Als Nachteile können die hohen Anschaffungskosten und mögliche Fehlstellen im Scanprozess genannt werden.

Als Fehlerquellen müssen bei der direkten Scanmethode die fehlerhafte Erfassung untersichgehender Bereiche und stark reflektierender Strukturen (NEM- oder Goldkronen, Amalgamfüllungen) genannt werden. Zusammen mit einer potentiellen Überlagerung von Weichgewebsstrukturen, wie Zunge und Mundschleimhaut, kann dies in einem Verzug des digitalen Modells und damit in einer ungenügenden Passung der Navigationsschablone resultieren. Weitere Möglichkeiten, die intraoralen Strukturen zu digitalisieren, wären das Abscannen von Silikonabformungen bzw. Patientenmodellen über Labor-Tablescanner oder spezieller DVT-Geräte mit Dichtekalibrierung (z. B. *Acteon White-Fox* bzw. *Trium*, Frankreich).

Digitale Volumetomographie und Operationsplanung

Viele Studien belegten den enormen Mehrwert der diagnostischen Bildgebung der digitalen Volumetomographie im Vergleich zur konventionellen Panoramaschichtaufnahme in der Analyse der Lageverhältnisse der dritten Molaren zu den umgebenden Strukturen (Smith 2013, Ghaemina et al. 2011, Suomalainen et al. 2010, Shahidi et al. 2013). In der modernen Zahnheilkunde ist die digitale Volumetomographie nicht mehr wegzudenken. Durch die Entwicklung der Kombinationsgeräte, welche sowohl 2D- als auch 3D-Aufnahmen anfertigen können, ist der Zugang für Zahnarztpraxen zu dieser Technologie vereinfacht worden. Zudem können Ärzte verschiedener Disziplinen über Kooperationsmodelle die Anschaffung dieser kostenintensiveren Gerätschaften einfacher realisieren. Die Auswertung angefertigter dreidimensionaler Aufnahmen sowie die Berechtigung, diese als Grundlage einer chirurgischen Planung zu verwenden, bedarf zudem der Teilnahme spezieller Kurse zum Erlangen der DVT-Fachkunde. Durch die Einführung und Weiterentwicklung der DVT-Technologie wurde eine neue Ära an diagnostischen Möglichkeiten und Kompetenzen eröffnet, die der navigierten Chirurgie und virtuellen Implantatplanung an spezialisierten Softwareprogrammen immer größere Bedeutung zukommen ließ (Greenberg 2015).

Die Planung des optimalen chirurgischen Zugangs und der Tiefenmarkierung ergibt sich aus den individuellen anatomischen Komponenten des Patienten sowie den klinischen Erfahrungen des Chirurgen. In der täglichen Routinearbeit der chirurgisch-tätigen Zahnärzte erfolgt der Zugang zu verlagerten unteren dritten Molaren, nach entsprechender Weichgewebepräparation, von bukkal. Hier wird zunächst eine umfangreiche Osteotomie zur Freilegung des größten Kronenumfangs vorgenommen.

Je nach Verlagerungstyp des Weisheitszahnes kann diese mehr oder weniger invasiv ausfallen, was zum Teil das Risiko von Unterkieferfrakturen erhöhen kann (Wagner et al. 2009, Abu-El et al. 2010). Neben dem bukkalen Zugang durch die komplette Dicke der Kompakta wird in der Literatur auch ein linguale Zugang durch den sublingualen Raum bei entsprechender Verlagerung vorgeschlagen. Auch von einem extraoralen Zugang wird bei gegebener Indikation berichtet (Juoadzbalys und Daugela 2013).

In dieser Arbeit erfolgte die Zugangsplanung stets von bukkal und okklusal, wobei immer auf den maximalen Schutz der bukkalen Kompakta mit Hinsicht auf die okklusale Knochenbedeckung, die Krone des zweiten Molaren sowie die adäquate Erreichbarkeit mit dem Handstück inklusive Kühlung und die Mundöffnung des Patienten geachtet wurde. Hierbei ergaben sich bukko-linguale Anstellwinkel zwischen 7° und 34° (Median: 22°). Diese errechneten sich aus der Kronenflucht der unteren Molaren sowie der Verlängerung der Zugangsplanung.

In apiko-koronaler Richtung resultierten Winkel zwischen 25° und 61° (Median: 43°), welche aus den Okklusalfächern der unteren Molaren und der Zugangsplanung entstanden. Deswegen werden aus bukko-lingualer Sicht Anstellwinkel zwischen 20° und 25° empfohlen, wobei besondere Beachtung auf dem Sicherheitsabstand von mindestens 2 mm zur Krone des zweiten Molaren sowie der Ausdehnung der bukkalen Kompakta bzw. der okklusalen knöchernen Bedeckung des Weisheitszahnes liegen sollte. Der apiko-koronale Anstellwinkel sollte zwischen 35° und 45° gewählt werden, wobei auch hier der Schutz der Krone des zweiten Molaren im Vordergrund steht und die Mundöffnung des Patienten beachtet werden muss. Gerade bei horizontal verlagerten dritten Molaren sollte der Zugang so flach wie möglich gewählt werden, um die Krone des Zahnes während der Bohrung nicht zu stark in apiko-koronaler Ebene zu separieren. Gleiches gilt für die Auswahl des Zugangswinkels bei vertikal und distal verlagerten Zähnen. Hier sollte dieser nicht zu flach geplant werden, um den Zahn in mesio-distaler Ebene zu teilen.

Laut Beltrán ist die übersichtliche Darstellung der Furkation von zentraler Bedeutung für den weiteren Vorgang der Eukleation in der endoskopisch assistierten Entfernung von dritten Molaren über einen okklusalen Zugang (Beltrán 2016).

Nach Eröffnung der Furkation und kompletter interradiärer Trennung können die Wurzeln der Weisheitszähne mobilisiert und nach der Einwärtsfragmentierungstechnik in die zuvor geschaffene Kavität luxiert und in einzelnen Fragmenten entfernt werden (Engelke et al. 2013).

Bei der konventionellen Vorgehensweise der endoskopisch assistierten Entfernung von dritten Molaren über einen okklusalen Zugang kam somit der Lokalisierung und Erschließung des Furkationsbereiches ein zentraler Bestandteil zu. Um diesen Arbeitsschritt zu erleichtern, die Operationsdauer zu verkürzen und die Komplikationsrate zu senken, wurde die Methode um die präoperative Planung eines Tiefenstopps und den Transfer mittels Navigationsschablone in das Operationsfeld erweitert. Unter der strikten Wahrung der aus der Implantologie bekannten Sicherheitsabstände von 2 mm zu NAI und linguale Kompakta einerseits und der Möglichkeit der Definition des Furkationsbereiches bei tief verschmolzenen Wurzeln andererseits, wurde das apikale Ende der Pilot- und Erweiterungsbohrung im tiefsten Punkt des Zentrums der Furkation festgelegt. Wurde der Sicherheitsabstand unterschritten oder kritisch, fand eine Modifikation des apikalen Endes der Zugangsbohrung in Richtung Zentrum der Pulpa statt, bis der notwendige Abstand verifiziert werden konnte. Bei kritischer Diskriminierung des Teilungspunktes der Wurzeln wurde ebenfalls der Pulpenboden als Ziel fixiert.

So wurde in diesem Patientenkollektiv der Furkationsbereich bei 17 Patienten und der Pulpenboden bei sechs Patienten als Navigationsendpunkt festgelegt. Grundsätzlich lässt sich auch bei der Planung des Navigationsendpunktes konstatieren, dass neben der Wahrung der genannten Sicherheitsabstände gerade die anatomische Lagevariation, aber auch die eindeutige Erkennung der Wurzelseparation wichtige Faktoren sind. So sollte, vor allem in Fällen horizontaler Verlagerung und bei tief verbackenen Wurzeln, vorzugsweise der Pulpenboden anvisiert werden, um von hier aus dem Operateur unter endoskopischer Visualisierung alle Möglichkeiten und Optionen der weiterführenden Aufbereitung zu geben. Insbesondere beim Vorliegen komplexer Anatomien können mit den diamantierten Instrumenten die Zahnhartsubstanz abgetragen und gefährdete Strukturen wie Nerven oder das Periost geschützt werden.

Fertigungsprozess

Einige Studien haben die Genauigkeit in der Umsetzung der geplanten Implantate in das Operationsfeld untersucht und Vorteile gegenüber den konventionellen Techniken beschrieben (Hultin et al. 2012, Frisardi et al. 2011, Beretta et al. 2014, Van Assche et al. 2007). Im Vergleich der Herstellungsmethoden der Schablonen konnte zudem eine höhere Genauigkeit der Navigation nachgewiesen werden, wenn ein Oberflächenscan direkt mit der DVT-Aufnahme „gematcht“ und auf die Benutzung von physikalischen Transferelementen

verzichtet wurde (Kernen et al. 2016). Diese punktgenaue Überlagerung des DVT-Datensatzes mit den intraoralen Oberflächeninformationen der harten und weichen Strukturen (*Matching*) ist eine weitere Voraussetzung für die Fertigung einer individuellen, exakt passenden Navigationsschablone (Marchack und Chew 2015).

Mögliche Fehlerquellen können durch Bewegungen während der DVT-Aufnahme, falscher Positionierung des Patienten oder unzureichender Auswahl des *Field-of-Views* entstehen. Artefakte durch Streustrahlung (Amalgamfüllungen, Metall- oder Keramikkrone, ungenügende Lufteinschlüsse) verringern zudem die Abzeichnungsschärfe der Oberflächen (Ritter et al. 2012).

Sowohl die Übertragung der Informationen und Daten für die stereolithographische Herstellung der Navigationsschablone, als auch der Fertigungsprozess an sich, sind mit einem hohen Maß an Erfahrung und Kenntnissen dieser Technik verbunden (Zel 2007).

Die Einstellungen der Parameter, wie Schablonendicke oder Abstand zur Zahnoberfläche, sind Erfahrungswerte aus langjähriger klinischer Zusammenarbeit zwischen Zahntechnik und Zahnarzt und müssen gegebenenfalls individuell modifiziert werden.

Für die virtuelle Konstruktion der Navigationsschablone wurde die Freiformsoftware *PlastyCAD* (Italien) verwendet und die üblichen, aus der Implantatchirurgie etablierten, Parameter herangezogen. Mögliche negative Einflüsse auf das Ergebnis können durch eine unzureichende Ausdehnung der Schablone oder durch Missachtung der vorhandenen Zahnanatomie, insbesondere des prothetischen Äquators, entstehen. Diese können aus einer mangelhaften Schnapppassung mit daraus folgenden Dislokationsmöglichkeiten resultieren.

Für die Herstellung der Navigationsschablonen stehen mehrere digitale Verfahrenswege zur Auswahl. Neben den subtraktiven Methoden (z. B. Fräsen aus *Polymethylmethacrylat*-Blank) sind die additiven Verfahrenswege im 3D-Druckverfahren verfügbar. In dieser Arbeit wurden alle Schablonen im sogenannten Stereolithographieverfahren hergestellt. Bei diesem werden die Objekte durch punktuellen Lichthärten an einer Plattform, welche schichtweise in einen Resintank eintaucht, aufgebaut. Dabei können Genauigkeiten bis zu 10 µm und Schichtstärken bis 0,01 mm realisiert werden. Fehlerquellen im Druckverfahren können durch eine Verschmutzung des Resintanks oder ein zu kurzes Aushärten der Objekte nach Beendigung des Druckverfahrens entstehen.

Fehlerquellen im digitalen *Workflow*

An verschiedenen Schritten in der Anfertigung der radiologischen und klinischen Unterlagen einerseits sowie der virtuellen Planung und Konstruktion der Navigationsschablone andererseits gab es unterschiedliche Fehlerquellen, die einen Einfluss auf die Qualität und das *Outcome* des operativen Eingriffes haben konnten. Tabelle 4.1 zeigt Art der Teilschritte, mögliche Fehlerquellen sowie Lösungsansätze zur Vermeidung eines potentiellen Fehlers.

Tab. 4.1: Mögliche Fehlerquellen an verschiedenen Teilschritten des digitalen Workflows mit Lösungsansätzen

Maßnahme	Fehlerquelle	Lösung
DVT-Aufnahme	Bewegungen während Aufnahme	Fixierung während Aufnahme
DVT-Aufnahme	Artefakte durch Metalle/Keramik	Gewährleistung von Lufteinschlüssen
Intraoralscan	Verzerrungen durch nicht gescannte Bereiche	Aufnahme von ausreichender Anzahl von Einzelbildern
Überlagerung	Fehlerhafte Überlagerung durch Artefakte, zu wenige Punkte ausgewählt für das <i>Matching</i>	Ausreichende Auswahl an Überlagerungspunkten
Schablonen- konstruktion	Ungenügende Ausdehnung der Schablone	Sicherstellung der Ausdehnung in unterschichgehende Bereich
Schablonen- herstellung	Ziehungen in Schablone; Keine adäquate Lichtpolymerisation	Adäquate Lichtpolymerisation, ggf. präoperative Entfernung von Störstellen

4.1.2 Stellenwert des Endoskopes

Der Einsatz der Endoskopie als visuelles Hilfsmittel ist in der Oralchirurgie, aber auch in der Hals-Nasen- und Ohren- Medizin ein routinemäßiges, vielfach eingesetztes Verfahren, welches eine gute Tiefenschärfe, eine kontinuierlich gute Einsicht mit festem Objektstand und eine gute Visualisierung durch die Möglichkeit einer kontinuierlichen Spülung ermöglicht (Engelke et al. 2011, Suarez-Cunqueiro et al. 2003). Weiteren Einsatz findet es bei der Implantologie und der Sinusbodenelevation (Schleier et al. 2008). In der Literatur werden höhere Erfolgsraten bei chirurgischen Maßnahmen mit endoskopischer Unterstützung im Vergleich zu Eingriffen ohne zusätzliche Visualisierung beschrieben (Arx et al. 2003). Erst durch die Kombination mit der Stützendoskopie kann die Anwendung eines okklusalen *mini-flap*, der eine ausreichende Übersicht über das Operationsfeld bietet, realisiert werden (Engelke et al. 2013).

Ein Nachteil bei der Verwendung des Endoskopes ist, dass dieses fortlaufend mit einer Hand bedient und dabei die Fokussierung vorgenommen werden muss.

Das bedeutet, dass für die Durchführung der Operation nur eine Hand zur Verfügung steht, was die Arbeitsweise mitunter erschweren kann.

Ein weiterer Nachteil kann durch die Notwendigkeit der Spülung bei Verschmutzung der Endoskopoptik in der Alveole entstehen, was die Dauer des Eingriffes verlängern kann (Taschieri et al. 2008). Durch die Etablierung einer zweiten OP-Assistenz für die Spülung der Optik mittels externem Zugang kann dies erleichtert werden. Diese sollte, wie der Operateur, eine gute Sicht auf den Bildschirm des Endoskopes besitzen ohne den Operateur in seinem Umfeld zu stören. Zudem muss auf Bewegungen des Patienten schnell reagiert werden, um Verletzungen der benachbarten Gewebe zu vermeiden.

Die Handhabung mit den Gerätschaften, die indirekte Arbeitsweise und der Umgang mit eventuellen Fehlerquellen sollte vorab routinemäßig an Phantommodellen oder Präparaten erlernt und durchgeführt werden. Insbesondere die veränderte Sichtweise mit der Endoskopoptik, die Variation der Einstellwinkel und die manuelle Arbeitsweise in der 12 Uhr-Position erfordert ein hohes Maß an Training, Routine und Ausdauer.

4.2 Radiologische Untersuchungen

Die Panoramaschichtaufnahme gilt als Goldstandard in der Analyse der Lagebeziehung der (teil-)retinierten unteren dritten Molaren und den umliegenden anatomischen Strukturen sowie der Risikoeinschätzung bei der Entfernung der Weisheitszähne (Smith 2013).

Bei enger anatomischer Beziehung zu NAI wird die erweiterte bildgebende Untersuchung anhand dreidimensionaler Aufnahmen empfohlen, um eine genauere Aufklärung betreiben oder gar ein Operationsschema entwerfen zu können (Matzen et al. 2013). Zudem lässt sich die genaue Anzahl und Morphologie der Wurzeln anhand der bukkolingualen Schichten des DVT besser bestimmen als in der Panoramaschichtaufnahme (Guerrero et al. 2014, Peker et al. 2014).

In der vorliegenden Arbeit wurden ausschließlich Patienten eingeschlossen, die in der OPG-Aufnahme eine enge Lagebeziehung zum Unterkiefernerve und damit ein erhöhtes Risiko für die Entfernung der dritten Molaren gezeigt haben. Damit wurde zugleich die Indikation und Rechtfertigung für die Anfertigung der DVT-Aufnahme gestellt.

Analyse der zahnbezogenen Parameter

Laut Lübbers (2011) verteilen sich die Verlagerungstypen nach einer Analyse von 707 unteren Weisheitszähnen wie folgt: 40,2% mesial, 29% vertikal, 13,9% horizontal, 10,2% distal und 6,8% transversal. Zudem macht er auf die große Variation der Form der dritten Molaren aufmerksam. In 52,8% der Fälle verläuft der NAI vestibulär, in 37,3% lingual und in 9,9% interradikulär (Lübbers et al. 2011).

Auch in dieser Studie gab es ein ähnliches Verteilungsmuster mit einer hauptsächlich mesialen Angulation (13) und einer nahezu identischen Anzahl an distaler (3), vertikaler (4) und horizontaler (3) Verlagerung. Die größte Anzahl der dritten Molaren war teilretiniert (21), ein Zahn komplett eruptiert und ein Weisheitszahn komplett umgeben von Knochen. Weiterhin wiesen, mit der Ausnahme eines Zahnes, alle weiteren dritten Molaren eine enge Nervbeziehung mit teilweise direktem Nervkontakt, bzw. Umschlängelung dessen, auf. Durch die starke linguale und apikale Verlagerung des Zahnes mit entferntem Nervkontakt, wurde eine Überlagerung des Nervens im OPG angenommen. Diese musste anschließend nach Analyse der DVT Aufnahme revidiert werden. Durch die extreme Verlagerung und die gleichzeitige Verschmelzung mit dem lingualen Periost, konnte dieser dritte Molar dennoch in die hohe Risikogruppe eingeordnet werden. Des Weiteren konnte eine eindeutige Tendenz in bukkolingualer Ausrichtung zugunsten der bukkalen Verlagerung (15) erkannt werden, während sieben mittig und nur einer lingual verlagert war.

Risikoanalyse nach Juodzbaly und Daugela

Juodzbaly und Daugela formulierten ihre Risikoanalyse anhand der verschiedenen anatomischen Parameter, welche aus der DVT-Aufnahme herausgezogen werden und gaben anschließend Empfehlungen zu einer möglichen Herangehensweise der operativen Zahnentfernung. Dabei bezogen sie sich auf den jeweils höchsten "Score" der einzelnen Unterteilungen (Beziehung zum zweiten Molaren, Beziehung zum *Ramus*, Beziehung zum Kieferkamm, Beziehung zum Mandibularkanal, Beziehung zu lingualen und bukkalen Wänden und Räumliche Position) (Juodzbaly und Daugela 2013).

In der vorliegenden Arbeit wurde daran eine Modifikation vorgenommen und stattdessen die Summe der verschiedenen Parameter errechnet. Diese sollte anschließend als numerischer Wert der Risikoeinstufung ohne OP-Empfehlung dienen. Daraus resultierten Gesamtscores zwischen 11 und 22 mit einem Median von 13,78. Den höchsten Wert (22) zeigte ein horizontal und lingual, unterhalb der Krone des zweiten Molaren verlagertes Zahn 38 mit direktem Nervkontakt. Bei den zwei Fällen mit den nächsthöchsten Gesamtscores (17,15) handelte es sich jeweils um horizontal verlagerte bzw. lingual gelegene Zähne.

Wurzelkonfiguration

Durch die präoperative Analyse der DVT-Aufnahmen hinsichtlich der Möglichkeit der Bestimmung der Wurzelkonfiguration sollte ein weiterer Risikofaktor zur Einschätzung der Komplexität der operativen Entfernung aufgestellt werden. Hierbei konnte anhand der HU-Dichtevermessung bei acht Patienten eine Separation nicht nachgewiesen werden, was auf eine Verschmelzung der Wurzeln schließen ließ, während bei den übrigen 15 Patienten eine Separation der Wurzeln durch Messwerte unter 700 HU nachgewiesen werden konnte.

4.3 Klinische Umsetzung

4.3.1 Chirurgischer Eingriff

Die Entfernung der Weisheitszähne ist einer der häufigsten chirurgischen Eingriffe in der Zahnmedizin und zieht mehrfach Komplikationen nach sich (Ghaeminnia et al. 2011).

Allgemeine Zahnärzte empfehlen die Entfernung der dritten Molaren weniger, weil diese symptomatisch oder pathologisch sind, sondern vielmehr um zukünftige Probleme zu vermeiden (Cunha-Cruz et al. 2014). Die Endoskopie dient in der Oralchirurgie zur Verbesserung der Visualisierung des Operationsfeldes mit schwierigem Zugang und hilft damit die Invasivität zu verringern (Beltrán et al. 2012). Die optischen Systeme, die bei den endoskopischen Operationsverfahren zum Einsatz kommen, liefern eine genügende Bildqualität, um alle Ansprüche zu erfüllen und den Operationsmikroskopen ebenbürtig zu sein (Beltrán 2016). Für die Anwendung der Stützendoskopie wird eine 30 °-Vorausblickoptik in das Operationsfeld eingesetzt und dient, mithilfe der Möglichkeit der kontinuierlichen Spülung, der Beobachtung und Visualisierung (Engelke und Beltrán 2014).

Um die Komplexität der operativen Eingriffe zu analysieren und eine Vergleichsmöglichkeit zu erhalten, wurde die Entfernung der unteren dritten Molaren über einen okklusalen Zugang in diverse Teilschritte aufgegliedert.

Eine erste Einteilung wurde von Engelke und Kollegen 2011 durch ein kombiniert endoskopisch-mikroskopisches Operationsvorgehen definiert und enthielt die Teilschritte:

1. *Trepanation*
2. *Schaffung eines internen Raumes*
3. *Trennung der Krone*
4. *Fragmentierung und Entfernung der Krone*
5. *Entfernung der Wurzeln* (Engelke et al. 2011).

Unter Berücksichtigung der Variationen der Wurzelanatomie, welche in unterschiedlichen Ausprägungen die intraalveolären Hartschubstanzpräparationen komplexer gestalten konnten, wurde eine Differenzierung der Klassifikation in Bezug auf die Entfernung der Wurzeln vorgenommen. Diese wurde unterteilt in:

1. *Okklusale Exposition*
2. *Darstellung der Furkation*
3. *Zugangserweiterung zur Furkation*
4. *Interradikuläre Trennung*
5. *Mobilisierung koronaradikulärer Fragmente (IFT)*
6. *Interne Mikroosteotomie*
7. *Mobilisierung von Wurzelfragmenten (IFT)*
8. *Intraradikuläre Separation*
9. *Mobilisation von Kleinfragmenten*

10. *Lokalisierte Abtragung* (Beltrán 2016).

In dieser Promotionsarbeit wurden nun die navigierten Teilschritte *Pilotbohrung* und *Erweiterungsbohrung* zu Beltrán`s Ausführung ergänzt und ersetzen den zweiten Teilschritt *Darstellung der Furkation*.

Bewertung der einzelnen OP-Teilschritte

Okklusale Exposition

Für die erfolgreiche Eukleation eines unteren teilretinierten dritten Molaren über einen okklusalen Zugang ist es notwendig, die Krone des Weisheitszahnes in seiner okklusalen Ausdehnung freizulegen. Auf eine weitere Entfernung von Knochen kann weitestgehend verzichtet werden. Dies bedeutet in den meisten Fällen einen Knochenverlust äquivalent zu dem einer normalen Eruption (Engelke et al. 2011, Engelke et al. 2013).

Je nach Verlagerungstyp und Impaktionsgrad kann auch diese Osteotomie umfangreicher ausfallen, beschränkt sich jedoch hauptsächlich auf den okklusalen Anteil. Die Integrität der bukkalen und lingualen Kompakta kann hierdurch größtenteils erhalten werden (Engelke et al. 2013).

In acht von zehn Patientenfällen, in denen nach Analyse der Beziehung zum nahgelegenen Kieferkamm -Unterkategorie "A" in apikokoronaler Klassifizierung nach Juodzbals und Daugela- die Werte 3 oder 4 resultierten, wurde intraoperativ eine okklusale Osteotomie zur Freilegung der Kronenoberfläche vorgenommen.

Navigierte Pilotbohrung und Erweiterungsbohrung

Nach erfolgter Exposition des okklusalen Anteils der Krone der dritten Molaren wurden die navigierten Teilschritte mittels modifizierter Lindemannfräsen und Rosenbohrer durchgeführt. Dabei konnten alle geführten Bohrungen problemlos vollzogen werden.

In jeweils einem Patientenfall wurde die okklusale (28 °) bzw. bukkale (17 °) Ausrichtung etwas zu flach gewählt, was in einer vergrößerten Durchstoßung der bukkalen Kompakta resultierte. Nichtsdestoweniger konnten Pilot- und Erweiterungsbohrung bis zum Tiefenanschlag und zur gewünschten Position ausgeführt werden.

In einem Fall kam es durch ein zu starkes Anwinkeln in okklusaler Richtung (53 °) zu leichten Irritationen bzw. einer verstärkten Wärmeempfindung an der Oberlippe. In diesem Fall wurde intraoperativ entschlossen, die Pilotbohrung nicht bis zum Tiefenstopp auszuführen. Die Erweiterungsbohrung konnte jedoch problemlos bis in das Zielgebiet durchgeführt werden.

Im vorliegenden Patientenkollektiv zeigten sich mesioangulierte dritte Molaren mit einer engen Beziehung zum aufsteigenden Ast als besonders geeignet für die navigierte Entfernung.

In diesen Fällen ließ sich die Angulation der Weisheitszähne mit der Ausrichtung der Bohrung gut kombinieren, was die weiteren Operationsteilschritte stark vereinfachte, da daraufhin die Lage und Ausdehnung der Furkation bekannt war und die Separation des Zahnes zügig vorgenommen werden konnte. Dagegen erwies sich die horizontale und linguale Verlagerung als eher schwierig für diese Operationsmethode mit einem geringen Stellenwert für die Navigation. Jedoch ist zu bedenken, dass sich diese Art von Verlagerung als generell hohe Schwierigkeitsstufe mit erhöhter Anforderung an die Entfernung zeigt (Matzen et al. 2013, Akadiri und Obiechina 2009).

Gerade in Bezug auf die bukkale Anwinkelung muss ein geringer bukkaler Knochenabtrag durch die Tangierung der bukkalen Kompakta bei der navigierten Vorgehensweise in Kauf genommen werden. Dieser Knochenabtrag sollte jedoch geringer als der bei konventioneller Vorgehensweise liegen (Abu-El et al. 2009, Pogrel et al. 2008).

Nach erfolgter Pilotbohrung und Erweiterungsbohrung, wurden die Tiefenstopps jeweils endoskopisch kontrolliert. Hierbei wurde in neun Fällen der Furkationsbereich und in 14 Eingriffen der Pulpenbereich als Zielbereich ausgemacht. In einem Patientenfall war ein Anstoßen des Handstückes bzw. des modifizierten Instrumentes an der Schablone für das Nichterreichen des Endpunktes verantwortlich. In drei weiteren Fällen wurde intraoperativ entschlossen, die Bohrung aufgrund anatomischer Bedingungen nicht bis zum Tiefenstopp durchzuführen. Jedoch wurde in jedem der durchgeführten Eingriffe der Pulpenbereich durch die Navigation problemlos erreicht, was dem Operateur weiterführend die Aufbereitung und Freilegung der Furkation erleichterte. Gerade bei mesial-angulierten dritten Molaren erlaubte der exakte Tiefenstopp ein zügiges Weiterarbeiten, da durch die geführten Bohrungen ein Großteil der Separation des Zahnes schon vorgenommen wurde und die Lokalisation der Furkation bekannt war.

Des Weiteren muss angemerkt werden, dass bereits präoperativ eine adäquate Auswahl der eingesetzten chirurgischen Handstücke erfolgen sollte, um eine eventuelle Fassungsproblematik zu vermeiden. So konnte der Autor feststellen, dass die handelsüblichen *KaVo*-Handstücke (Deutschland) von der Fassung des Instrumentenschaftes ausreichen, während Handstücke der Firma *NSK* (Japan) nicht in der Lage waren, den durch die Hülsenmodifikation verkürzten Schaft zu fassen und sicher zu fixieren. Überlegenswert wäre in diesem Fall die Verkürzung des Tiefenanschlags in Richtung des Arbeitsendes, um mehr Fassung für die Handstücke zu generieren. Auch könnte der Versuch unternommen werden, auf chirurgische Winkelstücke zurückzugreifen, die eine Erleichterung der Zugangsplanung mit sich bringen könnten.

Es bleibt zu erwähnen, dass in jedem Fall die Kühlung während der navigierten Teilschritte fortwährend gewährleistet werden muss.

Durch die enge Führung zwischen den modifizierten Instrumenten und der Schablone und durch die Instrumentenmodifikation selbst konnte die Kühlung durch die am Handstück befindliche Spülung nicht an die Instrumentenspitze gelangen.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Kühlung durch die Applikation einer separaten Umspülung der Bohrschablone mittels aufgezogener Kochsalzspritze sichergestellt. Zudem sollte die Drehzahl der Handstücke auf ein notwendiges Minimum reduziert werden (Empfehlung: 10.000-20.000 U/min), um eine unnötige Erhöhung der Friktion zu vermeiden. Gerade in der Umsetzung der Erweiterungsbohrung spielen die genannten Faktoren eine wesentliche Rolle bei der Vermeidung von möglichen unerwünschten Nebenwirkungen wie hitzebedingten Nekrosen.

In einem Patientenfall kam es während der "ungeführten" Pilotbohrung ohne eingesetzte Innenhülse zu einer Fraktur der Lindemann-Fräse, vermutlich durch ein Verkanten am Arbeitsende. Daher wird in jedem Fall die strikte Umsetzung des "Bohrprotokolls" empfohlen, um diese Komplikation zu vermeiden.

Im Falle der Erweiterungsbohrung zeigte sich die „freie“ Erweiterung der ersten 2-3 mm der Pilotbohrung mit einem Rosenbohrer als förderlich, die Friktion in diesem Bereich zu minimieren und somit eine reibungsfreiere navigierte Bohrung zu erzielen.

Als mögliche Fehlerquellen in der Durchführung der geführten Teilschritte muss eine Dislokation der Schablone und ein Lösen der Metallhülse in Betracht gezogen werden. Vor allem in Situationen, bei denen im Prämolaren- und Molarenbereich keine ausreichenden Unterschnitte vorhanden sind, kann eine Schnapppassung der Schablone nicht gewährleistet werden. In diesen Fällen kann es, besonders bei erhöhtem Druckaufwand während der Bohrungen, zu einem Anheben der Schablone kommen.

Eine Schulung der Assistenz in Bezug auf die stetige Kontrolle des Schablonensitzes kann diese Fehlerquelle minimieren. Im Zuge einer erhöhten Friktion zwischen Instrument und Schablone kann es zudem zu einem Lösen der Klebung der Metallhülse mit der Schablone kommen. Auch dies sollte durch die Assistenz kritisch überwacht werden.

Zugangserweiterung zur Furkation und interradikuläre Trennung

Das Ziel der navigierten Bohrungen war es, die folgenden Teilschritte durch die Erleichterung der anatomischen Orientierung zu vereinfachen. Je nach Verlagerungs- und Impaktionsgrad war der Tiefenstopp dabei mindestens im Pulpenbereich gelegen. Bei mesio- und distoangulierten bzw. vertikal verlagerten dritten Molaren wurde bei der Erweiterung des Zugangs anschließend stets in distaler Richtung aufbereitet, um hier schon den Platz für die spätere Luxation zu schaffen. Bei horizontaler Verlagerung, bei der das Ende der Bohrung immer im Pulpenbereich liegen sollte, fand zunächst die komplette Separation des Kronenbereiches statt.

Der *interradikulären Trennung*, die im lingualen Bereich sowie in der Nähe der Furkation zum Schutz der umliegenden Strukturen mit diamantierten Fräsern ausgeführt wurde, kommt in der Enukektion der teilretinierten dritten Molaren die größte Bedeutung zu. Denn erst nach vollständiger Trennung lassen sich die Fragmente mit geringer Kraft in die geschaffene Kavität luxieren (Engelke et al. 2013). Dies ließ auch den Rückschluss zu, dass gerade bei komplexen anatomischen Verhältnissen mit tiefer Verschmelzung der Wurzeln die *interradikuläre Trennung* schwieriger durchzuführen war.

Durch die Möglichkeit, anhand der DVT-Aufnahmen die Separation der Wurzeln mittels der *Hounsfield*-Dichtebestimmung analysieren zu können, konnte eine annähernde Bestimmung der Schwierigkeit bereits vor dem Eingriff erfolgen.

Im vorliegenden Patientenkollektiv konnte dabei präoperativ bei acht Patienten eine Separation der Wurzeln durch die Dichtebestimmung nicht festgestellt werden (HU-Werte zwischen 700 und 1200), was intraoperativ in sechs Fällen bestätigt werden konnte.

Mobilisierung koronaradikulärer Fragmente (IFT) und Mobilisierung von Wurzelfragmenten (IFT)

Die diagnostische Überlegenheit der dreidimensionalen Röntgenmethoden lässt sich nicht nur für die Befunderhebung nutzen, sondern sollte auch für die Planung von chirurgischen Eingriffen verwendet werden. Dies führte bereits zu einer Reduktion von Nervschädigungen, wenn die exakte anatomische Lagebeziehung zwischen den Wurzeln der dritten Molaren und dem Mandibularkanal analysiert, dadurch das chirurgische Vorgehen bestimmt (Ghaeminina et al. 2011) oder sogar, im Vergleich zur vorherigen OPG-Auswertung, abgeändert wurde (Matzen et al. 2013).

Die Kenntnisse der Wurzelmorphologie spielen des Weiteren eine große Rolle für den Erfolg der Entfernung von unteren dritten Molaren, da das Risiko von Wurzelfrakturen steigt, wenn diese gebogen sind (Kim et al. 2011).

Im Falle der mikrochirurgischen Entfernung über einen okklusalen Zugang in Kombination mit der Navigation sollte vor allem das Vorgehen der Luxation der Zahnfragmente nach interrädikulärer Trennung determiniert werden.

So sollten konfluierende Wurzeln stets in Richtung der geschaffenen Kavität mobilisiert werden. Voneinander abzweigende Wurzeln erfordern für einen ausreichenden Hebelansatz eine umfangreichere okklusale Osteotomie.

Bei der Auswertung der Anzahl der Zahnfragmente nach vollständiger Enukektion entstanden in zehn Patientenfällen zwei Fragmenten (mesiales + distales Kronenwurzelfragment). Diese resultierten bei mesio- beziehungsweise distoangulierten Zähnen oder bei vertikaler Verlagerung.

In fünf Fällen entstanden drei Fragmente, wobei in drei dieser Fälle eine Pfahlwurzel neben dem distalen und mesialen Kronenfragment entfernt wurde.

Ebenso gab es bei fünf Patienten vier Zahnfragmente. Hier waren zwei dritte Molaren horizontal und einer lingual verlagert, während einer ankylosiert war.

In einem Patientenfall war es notwendig, den Weisheitszahn in sechs Fragmenten zu entfernen. Auch hierbei handelte es sich um eine horizontale Verlagerung, was eine Tendenz zu einer Erhöhung der Anzahl der Fragmente und damit der Komplexität der Eukleation bei horizontaler Verlagerung vermuten lässt.

Interne Mikroosteotomie, intraradikuläre Separation, Mobilisation von Kleinfragmenten und Lokalisierte Abtragung

Ähnlich verhielt es sich mit der Notwendigkeit der Ausführung von weiteren OP-Teilschritten, die vor allem bei dritten Molaren mit horizontaler Verlagerung vorkamen. In zwei Fällen musste eine lokalisierte Abtragung von Zahnhartsubstanzresten vorgenommen werden. In einem der Fälle handelte es sich um eine ankylosierte Wurzelspitze bei mesioangulierter Verlagerung, während der andere Weisheitszahn horizontal verlagert und die Wurzelspitze tief frakturiert war. Durch die endoskopische Visualisierung war vor allem dieser Teilschritt gut ausführbar und konnte mit einer geringen Inzidenz an Verletzungen der angrenzenden Gewebe erfolgen.

Anzahl der OP-Teilschritte

Beltrán beobachtete in seiner Ausführung eine signifikant höhere Frequenz an Teilschritten bei Vorhandensein komplexer Wurzelanatomien (Beltrán 2016).

Wie bereits erwähnt, ließ sich präoperativ bei acht Patienten eine Separation der Wurzeln durch die Dichtebestimmung feststellen. In zwei dieser Fälle war eine höhere Anzahl an Teilschritten für die komplette Eukleation des Zahnes notwendig, während einer in der roten Kategorie (neun Teilschritte) eingeordnet wurde. Bei den übrigen 15 Patienten, die eine Separation im DVT erkennen ließen, waren intraoperativ fünf Mal mehr Teilschritte erforderlich (einmal rot, vier Mal gelb).

Daher lässt sich nur eine schwache Korrelation in Bezug auf die Anzahl der Teilschritte und die Komplexität der Anatomie der Wurzeln zeigen.

Bezogen auf die Risikoanalyse zeigte sich ebenfalls kein deutlicher Zusammenhang. Bei den Patienten mit der höchsten Anzahl an OP-Teilschritten (9) errechnete sich präoperativ eine Summe von 11 (niedrigste) bzw. 14 (knapp über Median). Die beiden höchsten Scores (17 und 22) wurden in die gelbe Kategorie der OP-Teilschritte (7) eingeordnet.

Eine höhere Korrelation zeigte sich bei der Angulation und der Anzahl der Teilschritte. Trat hier ein Score mit dem Wert 3 (distoangulär <math><120^\circ</math>) oder 4 (horizontal) auf, waren in vier von sieben Fällen mehr Teilschritte notwendig. Bei der horizontalen Verlagerung konnte dies durch die vorherige Kronenseparation mit anschließender Mikroosteotomie und Luxation des Wurzelfragments erklärt werden.

Intraoperative Komplikationen

Intraoperative Komplikationen wie Blutungen, nicht entfernte Zahnfragmente, Wurzelfrakturen oder Traumatisierungen der Nachbargewebe sind unerwünschte Ereignisse während eines operativen Eingriffes, die zu postoperativen Komplikationen führen können, wobei die Inzidenz zwischen 1,7 % und 4,7 % der Fälle angegeben wird (Arrigoni und Lambrecht 2004; Azenha et al. 2014).

Jede in der Literatur beschriebene Operationsmethode geht mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit an intraoperativen Zwischenfällen einher. So zeigte sich bei der Koronektomie (Pogrel et al. 2004), dass ein Belassen des Wurzelrestes eine Infektionsquelle darstellen konnte, was einen nachfolgenden zweiten Eingriff zur Restentfernung bedeutete. Dies wurde von den Patienten als nachteilig empfunden.

In dieser Studie kam es bei keinem der 23 behandelten Patienten zu intraoperativen Komplikationen, was die minimale Invasivität, sowohl des Weich- als auch des Hartgewebsmanagements aufzuzeigen scheint und die navigierte, schablonengeführte und endoskopisch assistierte Entfernung der dritten Molaren als eine vergleichbar atraumatische Operationsmethode erscheinen lässt.

4.3.2 Postoperative Analyse

Knochendefektanalyse

Bei den konventionellen chirurgischen Verfahren zur Entfernung der unteren dritten Molaren ist die Elevation eines großflächigen mukoperiostalen Lappens bei der Weichgewebspräparation notwendig, um ein ausreichendes Sicht- und Zugangsfeld zu generieren (Abu-El et al. 2009). Dies hat aber auch zur Folge, dass die Prävalenz von postoperativen Komplikationen, wie Knochenresorption, Schmerz, Trismus und Parodontalverlust, zunimmt (Fickl et al. 2011). Des Weiteren wird bei den meisten Vorgehensweisen eine umfangreiche zirkuläre Osteotomie erforderlich, welche sich je nach Retentionsform bis unterhalb des apikalen Bereiches der Unterkieferzähne ausdehnen kann und damit eine erhöhte Frakturgefahr mit sich bringt (Abu-El et al. 2009). Somit birgt die Tiefe der Impaktion des Zahnes ein hohes Risiko für postoperative Komplikationen, wie Entzündungen, Schmerzen und Schwellung (Yuasa und Sugiura 2004) (Baqain et al. 2008).

In einem tierexperimentellen Versuch wird nach Extraktion ein höherer Verlust an bukkalem Knochenniveau im Vergleich zur lingualen Seite beschrieben (Araújo und Lindhe 2005). Mehrere Studien belegen sowohl klinisch als auch radiologisch einen höheren horizontalen als vertikalen Knochenverlust post-extractionem (Van der Weijden et al. 2009; Tan et al. 2012).

Durch die neuen Methoden und Vorgehensweisen der *socket preservation* wird versucht, diesem Knochenverlust entgegenzuwirken, wobei eine Resorption jedoch nie verhindert werden kann (Ten Heggeler et al. 2011). Eine aktuelle Publikation beschreibt das Vorgehen einer „partiellen Extraktionstherapie“. Hierbei werden Zahnfragmente in ästhetischen Bereichen in den Alveolen temporär belassen, um den Alveolarkamm in seinen Dimensionen zu erhalten und die Ausdehnung der Resorption zu minimieren (Gluckman et al. 2016).

Das Ziel moderner Techniken sollte es also sein, die knöcherne Integrität und Form des Unterkiefers zu wahren und einen Knochenverlust im Rahmen der physiologischen Eruption anzustreben (Engelke et al. 2013). Damit ergeben sich automatisch mehrere Vorteile für die Patienten, wie die Reduktion des Frakturrisikos, der Verzicht auf eine traumatisierende Lappenbildung und eine minimale Manipulation der Muskulatur (Engelke et al. 2013).

Um den Verlust der Alveolenhöhe also so gering wie möglich zu halten, muss die Art und das Vorgehen des operativen Eingriffes unter minimal-invasiven Prinzipien erfolgen. Im Gegensatz zur Koronektomie (Pogrel et al. 2008) wurde bei der hier vorgestellten Technik bewusst auf ein zweizeitiges Verfahren verzichtet, was auch von Patientenseite eine bessere Akzeptanz zeigt.

Da bereits die Weichgewebspräparation großen Einfluss auf die postoperative Knochenmodellation ausübt (Kim et al. 2011), wurde in dieser Studie auf die Anfertigung eines weitreichenden mukoperiostalen Lappens zugunsten eines okklusalen *mini-flaps* verzichtet. Somit wurde die Nutrition der Gewebe gewahrt und der Erhalt des Kieferkammes sichergestellt (Engelke et al. 2011).

Weiterhin wurde das Ausmaß der Osteotomie rein auf den okklusalen Aspekt beschränkt und auf lateralen Knochenabtrag verzichtet, wenn der Zugang aus bukkaler Richtung dies zuließ und keine Gefährdung für den zweiten Molaren bestand.

Nach Auswertung der intraoperativen Alveolenhöhenmessungen konnten in dieser Studie Knochenverluste zwischen 0,6 mm und 5,6 mm mit einem Medianwert von 2,2 mm errechnet werden.

Da durch den Autor in der Literaturrecherche keine Angaben zur metrischen Analyse der Knochenverluste aufgefunden werden konnten, lassen sich hier erstmals exakte Werte darstellen. Zum Teil musste eine okklusale bzw. zirkuläre Osteotomie zur Erlangung eines Hebelpunktes für die Luxation der getrennten Zahnfragmente durchgeführt werden, diese fiel jedoch nur minimal aus.

Statistisch konnte jedoch kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl der Teilschritte und der Höhe des Knochenverlustes festgestellt werden.

Deutlich signifikant ($p=0,012$) zur Knochenverlustrate zeigte sich jedoch die präoperative Risikoanalyse. Der hohe Wert in der Summation der einzelnen Parameter kam dabei vornehmlich durch eine horizontale, linguale und tiefe Verlagerung zustande (jeweils Wert 4). Dies ließ auch die Schlussfolgerung auf die Erhöhung des Knochenverlustes zu, der bei einer horizontalen Verlagerung nach vorheriger Trennung des Kronenanteils durch eine notwendige Osteotomie zur Schaffung eines Hebelansatzes des Wurzelanteils resultierte. Bei einer tiefen Impaktion musste zunächst der okklusale Teil der dritten Molaren freigelegt werden, um eine Kavität für die Einwärts-Fragmentierungs-Technik generieren zu können. Kein signifikanter Zusammenhang konnte dagegen zur Separation der Wurzeln aufgezeigt werden.

Postoperative Komplikationen

Viele Studien beschäftigten sich mit der Inzidenz und den Risikofaktoren für das Auftreten von postoperativen Komplikationen. Blondeau und Daniel beschrieben 2007 unerwünschte Ereignisse in 6,9 % der Fälle bezogen auf die Entwicklung einer *Alveolitis*, Infektion oder Parästhesien.

Die Faktoren, die das Auftreten von Komplikationen nach der Entfernung der unteren Weisheitszähne begünstigen, sind sowohl patienten-, behandler- als auch zahnspezifisch. Auf Patientenseite beeinflussen das Alter und das Geschlecht das Ausmaß an Ereignissen (Benediktsdóttir et al. 2004, Baqain et al. 2008). Eine höhere Anzahl an Komplikationen wurde außerdem bei unerfahrenen Chirurgen, bei einer längeren OP-Dauer und massiver lingualer Retraktion gefunden (Blondeau und Daniel 2007, Baqain et al. 2008, Santana-Santos et al. 2013). Bei bereits vorhandenen Pathologien des Weisheitszahnes, einem tieferen Level der Impaktion oder einem horizontalen Verlagerungstyp wurden zudem mehr unerwünschte Folgen beobachtet (Chuang et al. 2008, Benediktsdóttir et al. 2004).

Die gefürchtetste Komplikation, die permanente Schädigung des NAI wird mit einer relativ geringen Inzidenz zwischen 0,1 %-1,7 % angegeben (Blondeau und Daniel 2007, Benediktsdóttir et al. 2004, Smith 2013). Eine Schädigung der Unterkiefernerve hat dann eine neurosensorische Beeinträchtigung im Gebiet der unteren Lippe und des Kinns zur Folge (Ghaeminia et al. 2011).

Die Entfernung der unteren Weisheitszähne für die meisten Läsionen des NAI verantwortlich (Hillerup 2008). Das Risiko für eine permanente Nervschädigung kann jedoch reduziert werden, wenn präoperative dreidimensionale Röntgenaufnahmen die exakte Beziehung der Wurzeln zum Mandibularkanal darstellen und damit das chirurgische Vorgehen beeinflussen (Ghaeminia et al. 2011).

In der vorliegenden Studie wurden die präoperativen DVT-Aufnahmen nicht nur zur Analyse und Evaluation der Lagebeziehung, sondern auch zum Transfer des optimalen Zugangs in das Operationsfeld genutzt. Dies stellte eine Qualitätssicherung im Sinne einer maximalen Schonung der wichtigen Strukturen dar.

Die präoperative Planung in Kombination mit der minimal-invasiven Vorgehensweise sollte dazu führen, die postoperative Komplikationsrate so gering wie möglich zu halten. Im Vergleich zu den konventionellen Methoden konnte in dieser Studie auf die Verwendung von lingualen Retraktoren durch den Einsatz des Stützendoskopes komplett verzichtet werden, was zu einer zusätzlichen Schonung des *Nervus lingualis* führte. Die gezielte Anwendung der rotierenden diamantierten Instrumente unter ständiger endoskopischer visueller Kontrolle erlaubte es, die Hartsubstanzen hochselektiv zu entfernen.

Die Prävalenz an postoperativen Komplikationen erwies sich am vorliegenden Patientengut als äußerst gering. Keiner der Patienten zeigte Anzeichen von Hyposensibilitäten, es entwickelten sich keine Alveolitiden. Die Mundöffnungseinschränkungen (Median: 29 mm, Mundöffnung nach 24 Stunden), sowie das Ausmaß an Schwellungen (Median: 1,2 nach 24 Stunden) zeigten sich ebenfalls im unteren Normbereich. Lediglich eine Patientin präsentierte sich zur Nahtentfernung nach 7 Tagen mit einer persistierenden Schwellung Grad 1.

Aus statistischer Sichtweise konnten keine relevanten Zusammenhänge zwischen der Anzahl der OP-Teilschritte, des Knochenverlustes oder Wurzelseparation und dem Auftreten von postoperativen Schwellungen gefunden werden. Eine schwache Korrelation konnte lediglich zwischen der Mundöffnung nach 24 Stunden und dem Knochenverlust aufgezeigt werden.

Damit lässt sich festhalten, dass die hier vorgestellte Methode der operativen Entfernung der unteren dritten Molaren eine schonende Alternative zur konventionellen Vorgehensweise sein kann und gerade in kritischen Fällen mit enger Nervbeziehung oder linguale Impaktion ihre Anwendung finden kann.

4.4 Schlussfolgerung

Die navigierte, schablonengeführte und endoskopisch assistierte Entfernung der unteren dritten Molaren über einen okklusalen Zugang stellt als Modifikation der Einwärts-Fragmentierungstechnik eine Qualitätssicherung der Operationsmethode durch die präoperative Diagnostik mittels DVT-Aufnahme und den Transfer der Zugangsplanung in das chirurgische Feld mithilfe der Navigationsschablone dar.

Neben der geringen Inzidenz an intra- und postoperativen Komplikationen ließ sich zudem der Verlust der knöchernen Strukturen im Vergleich zu konventionellen Methoden stark minimieren.

Als Nachteile müssen jedoch der erhöhte Zeitaufwand sowie der Zugang und das umfangreiche Training mit den notwendigen Instrumenten und Gerätschaften genannt werden.

5. Zusammenfassung

Hintergrund: Die operative Entfernung von unteren Weisheitszähnen ist einer der am häufigsten durchgeführten Eingriffe in der zahnärztlichen Chirurgie. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung der bildgebenden radiologischen Verfahren in Kombination mit der prächirurgischen Operationsplanung hat die Navigation vor allem in der Implantatchirurgie zur Etablierung minimal-invasiver Vorgehensweisen geführt.

Zielsetzung: Es soll eine navigierte Operationstechnik vorgestellt werden, die durch die präoperative Planung und die intraoperative Navigation die Methodik der Einwärts-Fragmentierungstechnik (EFT) unterstützen soll.

Material und Methoden: Bei 23 Patienten (15 Männer und acht Frauen) im Alter zwischen 18 und 36 Jahren (Median: 25,1) wurden 23 untere verlagerte dritte Molaren unilateral mittels navigierter und endoskopisch-assistierter Technik entfernt. Bei enger Lagebeziehung der Wurzeln der dritten Molaren zum NAI wurde die Indikation zur Anfertigung einer DVT-Aufnahme gestellt. In dieser wurde anschließend die Lagebeziehung des dritten Molaren in Bezug auf NAI, linguale Kompakta und Nachbarzähnen analysiert und ein Zugang aus okklusal-bukkaler Richtung gewählt, welcher mit definiertem Tiefenstopp in der Furkation des Weisheitszahnes endet. Dabei wurde ein Mindestabstand von 2 mm zu den kritischen Strukturen eingehalten, um diese intraoperativ nicht zu gefährden.

Dieser Zugang wurde in eine navigierte, zahngetragene Schablone überführt und intraoperativ durch Bohrungen verschiedener Durchmesser realisiert. Jede Bohrung wurde durch endoskopische Kontrolle qualitätsgesichert. Ausgehend von diesen Bohrungen erfolgte die Teilung und Erweiterung des Zahnes mittels der Einwärts-Fragmentierungstechnik. Alle Operationsschritte wurden mit dem Endoskop videodokumentiert und ausgewertet.

Präoperativ wurde anhand der DVT-Aufnahmen die bukkale Alveolenhöhe analysiert und die Wurzeln der dritten Molaren per Dichtemessung auf eine Separation untersucht. Zudem wurde durch die Summe der Risikoeinstufung nach Juodzbalys und Daugela (2013) eine Kategorisierung der OP-Schwierigkeit vorgenommen. Intraoperativ wurde die Alveolenwand nach vollständiger E nukleation mithilfe endoskopischer Kontrolle durch Sondieren gemessen und der Knochenverlust errechnet. Zudem wurde die Anzahl der notwendigen OP-Teilschritte dokumentiert.

Postoperativ fand nach 24 Stunden und sieben Tagen eine Nachkontrolle statt, wobei eine Erhebung der Parameter Parästhesie, Mundöffnung, subjektives Schmerzempfinden und Schwellung dokumentiert wurde.

Ergebnisse: Präoperativ ließen sich Risikoeinstufungen mit Werten zwischen 11 und 22 errechnen (Median: 13,78). Bei acht von 23 dritten Molaren waren die Wurzeln anhand der HU-Dichtebestimmung verschmolzen. Bei 16 Molaren waren fünf Teilschritte zur kompletten Eukleation notwendig, fünf Molaren erforderten sieben und zwei Weisheitszähne neun Teilschritte.

Die Knochendefektanalyse ergab, dass zwischen 0,6 mm und 5,6 mm (Median: 2,2 mm) an bukkaler Alveolarhöhe verloren gingen und eine signifikante Korrelation ($p=0,012$) zur vorgenommenen Risikoeinstufung bestand. Keiner der Patienten entwickelte eine postoperative Hypästhesie oder Alveolitis. Zudem zeigte sich eine niedrige Prävalenz an Schwellungen und Mundöffnungseinschränkungen.

Schlussfolgerung: Durch die präoperative Diagnostik der digitalen Volumentomographieaufnahmen konnte das Risiko für eine Verletzung der umliegenden Strukturen und die Schwierigkeit der Weisheitszahnentfernung eingeschätzt und der optimale Zugang zum Erreichen der Furkation des verlagerten dritten Molaren geplant werden. Durch den Transfer der Planung mittels Navigationsschablone in das Operationsfeld ließ sich in Kombination mit der minimal-invasiven Vorgehensweise der Einwärts-Fragmentierungstechnik eine schonende und wenig traumatisierende Entfernung der Weisheitszähne realisieren. Durch den Verzicht auf eine großflächige Lappenbildung und die Anwendung von okklusalen *mini-flaps* führte dies mit der Benutzung der visuellen Hilfsmittel der Endoskopie zu weniger postoperativen Komplikationen und Nervschädigungen, auch in Fällen mit direktem Nervkontakt.

Wegen des reduzierten Knochenverlustes und der geringen Gewebstraumata sollte der Anwendung dieser Methodik auch in anderen Kieferregionen bei der Zahnentfernung mit nachfolgender Implantatversorgung zusätzliche Bedeutung geschenkt werden.

Als Nachteil müssen der Planungsaufwand sowie die erforderliche Spezialausbildung des Chirurgen in endoskopischer Technik angemerkt werden.

6. Literaturverzeichnis

Abu-El N, Braun R, Leiser Y, Peled M (2010):

Surgical Approach to Impacted Mandibular Third Molars - Operative Classification.
J Oral Maxillofac Surg 68(3), 628-33

Akadiri OA, Obiechina AE (2009):

Assessment of Difficulty in Third Molar Surgery - A Systematic Review.
J Oral Maxillofac Surg 67(4), 771-74

Alling CC (1986):

Dysesthesia of the Lingual and Inferior Alveolar Nerves Following Third Molar Surgery.
J Oral Maxillofac Surg 44(6), 454-57

Alling CC, Catone GA (1993):

Management of Impacted Teeth.
J Oral Maxillofac Surg 51(1), 3-6

Arakeri G, Arali V (2010):

Tooth Section Technique and Pain upon Elevation in Third Molar Removal.
Int J Oral Maxillofac Surg 39(1), 98-99

Araújo MG, Lindhe J (2005):

Dimensional Ridge Alterations Following Tooth Extraction. An Experimental Study in the Dog.
J Clin Periodontol 32(2), 212-18

Arcuri L, Lorenzi C, Cecchetti F, Germano F, Spuntarelli M, Barlattani A (2016):

Full Digital Workflow for Implant-Prosthetic Rehabilitations: A Case Report.
Oral Implantol (Rome) 23:8(4), 114-21

Arrigoni J, Lambrecht JT (2004):

Complications During and After Third Molar Extraction.
Schweiz Monatsschr Zahnmed 114(12), 1271-86.

Arx T von, Frei C, Bornstein MM (2003):

Periradicular Surgery with and without Endoscopy: A Prospective Clinical Comparative Study.
Schweiz Monatsschr Zahnmed 113(8), 860-65

Azenha MR, Kato RB, Bueno RB, Neto PJ, Ribeiro MC (2014):

Accidents and Complications Associated to Third Molar Surgeries Performed by Dentistry Students.
Oral Maxillofac Surg 18(4), 459-64

Baqain Z, Karaky A, Sawair F, Khraisat A, Duaibis R, Rajab L (2008):
Frequency Estimates and Risk Factors for Postoperative Morbidity After Third Molar Removal: A Prospective Cohort Study.
J Oral Maxillofac Surg 66(11), 2276-83

Barone A, Marconcini S, Giacomelli L, Rispoli L, Calvo JL, Covani U (2010):
A Randomized Clinical Evaluation of Ultrasound Bone Surgery Versus Traditional Rotary Instruments in Lower Third Molar Extraction.
J Oral Maxillofac Surg 68(2), 330-36

Bartrow, K:
Untersuchen und Befunden in der Physiotherapie.
Springer, Berlin Heidelberg 2015

Beltrán V:
Bewertung endoskopischer Verfahren in der Oralchirurgie nach 15 Jahren Anwendung.
Med. Diss. Göttingen 2016

Beltrán V, Fuentes R, Engelke W (2012):
Endoscopic Visualization of Anatomic Structures as a Support Tool in Oral Surgery and Implantology.
J Oral Maxillofac Surgery 70(1), e1-6

Beltrán V, Cantin M, Borie E, Fuentes R, Engelke W (2014):
Endoscopic Removal of a Supernumerary Premolar in the Mandible during a Dental Implant Placement.
Case Rep Dent 2014, 975470

Benediktsdóttir I, Wenzel A, Petersen J, Hintze H (2004):
Mandibular Third Molar Removal: Risk Indicators for Extended Operation Time, Postoperative Pain and Complications.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 97(4), 438-46

Beretta M, Poli PP, Maiorana C (2014):
Accuracy of Computer-Aided Template-Guided Oral Implant Placement: A Prospective Clinical Study.
J Periodontal Implant Sci 44(4), 184-93

Bishara SE, Andreasen G (1983):
Third Molars: A Review.
Am J Orthod 83(2), 131-37

Björk A, Skieller V (1972):
Facial Development and Tooth Eruption. An Implant Study at the Age of Puberty.
Am J Orthod 62(4), 339-83

Blakey GH, Gelesko S, Marciani RD, Haug RH, Offenbacher S, Phillips C, White RP (2010):

Third Molars and Periodontal Pathology in American Adolescents and Young Adults: A Prevalence Study.

J Oral Maxillofac Surg 68(2), 325-29

Blondeau F, Daniel GN (2007):

Extraction of Impacted Mandibular Third Molars: Postoperative Complications and Their Risk Factors.

J Can Dent Assoc 73(4), 325

Buchgreitz J, Buchgreitz M, Mortensen D, Bjornal L (2015):

Guided Access Cavity Preparation Using Cone-Beam Computed Tomography and Optical Surface Scans - An ex Vivo Study.

Int Endodont J 49(8), 790-95

Caplanis N, Lozada JL, Kan JYK (2005):

Extraction Defect Assessment, Classification and Management.

Calif Dent Assoc J 33(11), 853-63

Carmichael FA, McGowan DA (1992):

Incidence of Nerve Damage Following Third Molar Removal: A West of Scotland Oral Surgery Research Group Study.

Br J Oral Maxillofac Surg 30(2), 78-82

Choi B, Engelke W (2009):

Flapless implantology - Möglichkeiten und Grenzen.

Implantologie 17, 139-52

Choi EJ:

Untersuchung zur mikrochirurgischen Entfernung unterer Weisheitszähne mittels okklusalen Zugangs.

Med. Diss. Göttingen 2012

Chuang SK, Perrott D, Susarla SM, Dodson T (2008):

Risk Factors for Inflammatory Complications Following Third Molar Surgery in Adults.

J Oral Maxillofac Surg 66(11), 2213-18

Cunha-Cruz J, Rothen M, Spiekerman C, Dranksholt M, McClellan L, Huang GJ (2014):

Recommendations for Third Molar Removal: A Practice-Based Cohort Study.

Am J Public Health 104(4), 735-43

DGZMK 2013: Operativen Entfernung von Weisheitszähnen. S2k-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Zahn-Mund- und Kieferheilkunde, Kunkel o.O. 2013

Enciso R, Danforth RA, Alexandroni ES, Memon A, Mah J (2005):

Third-Molar Impaction Diagnostic with Cone-Beam Computerized Tomography.
International Congress Series 1281, 1196-99

Engelke W, Beltrán V:

Endoskopische Verfahren in der minimal invasiven Oralchirurgie.
Endo:Press, Tuttlingen 2014

Engelke W, Bierbaum J, Choi EJ (2011):

Die mikrochirurgische Entfernung unterer dritter Molaren über einen okklusalen Zugang.

Dtsch Zahnärztl Z 66, 415-23

Engelke W, Beltrán V, Fuentes R, Decco O (2012):

Endoscopically Assisted Root Splitting (EARS): Method and First Results.

Int J Odontostomat 6(3), 313-16

Engelke W, Beltrán V, Fuentes R (2013):

Endoscopically Assisted Removal of a Lingually Displaced Third Molar Adjacent to the Inferior Alveolar Nerve.

J Craniofac Surg 24(6), 2171-74

Engelke W, Beltrán V, Cantin M, Choi EJ, Navarro P, Fuentes R (2014):

Removal of Impacted Mandibular Third Molars Using an Inward Fragmentation Technique (IFT) - Method and First Results.

J Craniomaxillofac Surg 42(3), 213-19.

Engelke W, Beltrán V, Fuentes R, Decco O, Valdivia-Gandur I, Navarro P (2015):

Changes in Morphology of Alveolar Buccal Walls Following Atraumatic Internal Root Fragmentation.

Int J Morphol 33(2), 491-96

Farish SE, Bouloux GF (2007):

General Technique of Third Molar Removal.

Oral Maxillofac Surg Clin North Am 19(1), 23-43

Fickl S, Kebschull M, Schupbach P, Zuhr O, Schlagenhaut U, Hürzeler MB (2011):

Bone Loss after Full-Thickness and Partial-Thickness Flap Elevation.

J Clin Periodontol 38(2), 157-62

Frisardi G, Chessa G, Barone S, Paoli A, Razionale A, Frisardi F (2011):

Integration of 3D Anatomical Data Obtained by CT Imaging and 3D Optical Scanning for Computer Aided Implant Surgery.

BMC Med Imaging 11(1), 5

Genú PR, Vasconcelos BCE (2008):

Influence of the Tooth Section Technique in Alveolar Nerve Damage After Surgery of Impacted Lower Third Molars.

Int J Oral Maxillofac Surg 37(10), 923-28

Ghaeminia H, Meijer GJ, Soehardi A, Borstlap WA, Mulder J, Berge SJ (2009):

Position of the Impacted Third Molar in Relation to the Mandibular Canal. Diagnostic Accuracy of Cone Beam Computed Tomography Compared with Panoramic Radiography.

Int J Oral Maxillofac Surg 38(9), 964-71

Ghaeminia H, Meijer GJ, Soehardi A, Borstlap WA, Mulder J, Vlijmen OJC, Berge SJ, Maal TJJ (2011):

The Use of Cone Beam CT for the Removal of Wisdom Teeth Changes the Surgical Approach Compared with Panoramic Radiography: A Pilot Study.

Int J Oral Maxillofac Surg 40(8), 834-39

Gluckman H, Slama M, Du Toit J (2016):

Partial Extraction Therapies (PET) Part 1: Maintaining Alveolar Ridge Contour at Pontic and Immediate Implant Sites.

Int J Periodontics Restorative Dent 36(5), 681-87

Goetzke HG, Klammt J (1991):

Die Größe der Wundfläche und die Häufigkeit der Alveolitis nach Zahnextraktion.

Dtsch Z Mund Kiefer Gesichtschir 15, 306-10

Greenberg AM (2015):

Digital Technologies for Dental Implant Treatment Planning and Guided Surgery.

Oral Maxillofac Surg Clin North Am 27(2), 319-40

Grover PS, Lorton L (1985):

The Incidence of Unerupted Permanent Teeth and Related Clinical Cases.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 59(4), 420-25

Guerrero ME, Botetano R, Beltran J, Horner K, Jacobs R (2014):

Can Preoperative Imaging Help to Predict Postoperative Outcome After Wisdom Tooth Removal? A Randomized Controlled Trial Using Panoramic Radiograph Versus Cone-Beam CT.

Clin Oral Investig 18(1), 335-42

Hillerup S (2008):

Iatrogenic Injury to the Inferior Alveolar Nerve: Etiology, Signs and Symptoms, and Observations on Recovery.

Int J Oral Maxillofac Surg 37(8), 704-9

Hultin M, Svensson KG, Trulsson M (2012):

Clinical Advantages of Computer-Guided Implant Placement: A Systematic Review.

Clin Oral Implants Res 23(6), 124-35

Jansma J, Schoen PJ, Raghoobar GM, Vissink A (2004):

Dentoalveolar Surgery for the Dentist: Removal of Third Molar.
Ned Tijdschr Tandheelkd 111(4), 133-40

Juodzbaly G, Daugela P (2013):

Mandibular Third Molar Impaction: Review of Literature and a Proposal of a Classification.
J Oral Maxillofac Res 4(2), 1-12

Kernen F, Benic GI, Payer M, Schär A, Müller-Gerbl M, Filippi A, Kühl S (2016):

Accuracy of Three-Dimensional Printed Templates for Guided Implant Placement Based on Matching a Surface Scan with CBCT.
Clin Impl Dent Rel Res 18(4), 762-68

Kiesselbach JE, Chamberlain JG (1984):

Clinical and Anatomic Observation on the Relationship of the Lingual Nerve to the Mandibular Third Molar Region.
J Oral Maxillofac Surg 42(9), 565-67

Kim HR, Choi BH, Engelke W, Serrano D, Xuan F, Mo DY (2011):

A Comparative Study on the Extractions of Partially Impacted Mandibular Third Molars with or without a Buccal Flap: A Prospective Study.
J Oral Maxillofac Surg 69(4), 966-70

Krastl G, Zehnder MS, Connert T, Weiger R, Kühl S (2016):

Guided Endodontics: A Novel Treatment Approach for Teeth with Pulp Canal Calcification and Apical Pathology.
Dent Traumatol 32(3), 240-46

Leitlinie zur Operativen Entfernung von Weisheitszähnen s. DGZMK

Lübbers HT, Matthews F, Damerau G, Kruse AL, Obwegeser JA, Grätz KW, Eyrich GK (2010):

Anatomy of Impacted Lower Third Molars Evaluated by Computerized Tomography: Is There an Indication for 3-Dimensional Imaging?
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Pral Radiol Endod 111(5), 547-50

Lüllmann-Rauch R:

Taschenlehrbuch Histologie.
5., vollständig überarb. Auflage; Thieme, Stuttgart 2015

Mallya SM (2015):

Evidence and Professional Guidelines for Appropriate Use of Cone Beam Computed Tomography.
J Calif Dent Assoc 43(9), 512-20

Marchack CB, Chew LK (2015):

The 10-Year Evolution of Guided Surgery.
J Calif Dent Assoc 43(3), 131-34

Marsango V, Bollero R, D`Ovidio N, Miranda M, Bollero P, Barlattani A (2014):

Digital Work-Flow.
Oral Implantol 7(1), 20-24

Matzen LH, Christensen J, Hintze H, Schou S, Wenzel A (2013):

Influence of Cone Beam CT on Treatment Plan Before Surgical Intervention of Mandibular Third Molars and Impact of Radiographic Factors on Deciding in Coronectomy vs Surgical Removal.
Dentomaxillofac Radiol 42(1), 98870341

Merskey H, Bogduk N:

Classification of Chronic Pain, Second Edition. Part III: Pain Terms, A Current List with Definitions and Notes on Usage
IASP Press, Seattle 1994

Miller RJ, Bier J (2006):

Surgical Navigation in Oral Implantology.
Implant Dent 15(1), 41-47

Mischkowski RA, Ritter L, Neugebauer J (2007):

Diagnostic Quality of Panoramic Views Obtained by a Newly Developed Digital Volume Tomography Device for Maxillofacial Imaging.
Quintessence Int 38(9), 763-72

Neugebauer J, Kistler F, Kistler S, Ritter L, Dreiseidler T, Zöller JE (2012):

Implantatschablonen.
BZB Wissenschaft und Fortbildung 09, 58-62

Neumann F:

Der Einfluss des chirurgischen Vorgehens zum Schutz des Nervus lingualis bei der Entfernung unterer Weisheitszähne - Eine prospektive Studie.
Med. Diss. Greifswald 2003

Peker I, Sarikir C, Alkurt MT, Zor ZF (2014):

Panoramic Radiography and Cone-Beam Computed Tomography Findings in Preoperative Examination of Impacted Mandibular Third Molars.
BMC Oral Health 14, 71

Pell GJ, Gregory BT (1933):

Impacted Mandibular Third Molars: Classification and Modified Techniques for Removal.
Dent Digest 39, 330-338

Pogrel MA, Lee JS, Muff DF (2004):

Coronectomy: A Technique to Protect the Inferior Alveolar Nerve.
J Oral Maxillofac Surg 62(12), 1447-52

Renne W, Ludlow M, Fryml J, Schurch Z, Mennito A, Kessler R, Lauer A (2017):

Evaluation of the Accuracy of 7 Digital Scanners: An in Vitro Analysis Based on 3-Dimensional Comparisons.
J Prosthet Dent 118(1), 36-42

Renton T, Smeeton N, McGurk M (2001):

Factors Predictive of Difficulty of Mandibular Third Molar Surgery.
Br Dent J 190(11), 607-10

Rood JP, Shehab BA (1990):

The Radiological Prediction of Inferior Alveolar Nerve Injury During Third Molar Surgery.
Br J Oral Maxillofac Surg 28(1), 20-25

Ritter L, Reiz SD, Rothamel D, Dreiseidler T, Karapetian V, Scheer M, Zoller JE (2012):

Registration Accuracy of Three-Dimensional Surface and Cone Beam Computed Tomography Data for Virtual Planning.
Clin Oral Impl Res 23, 447-452

Sands T, Pynn BR, Nenniger S (1993):

Third Molar Surgery: Current Concepts and Controversies. Part 1.
Oral Health 83(5), 11-14, 17

Santana-Santos T de, de Souza-Santos J, Martins-Filho P (2013):

Prediction of Postoperative Facial Swelling, Pain and Trismus Following Third Molar Surgery Based on Preoperative Variables.
Med Oral Patol Pral Cir Bucal 18(1), e65-70

Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P (2006):

Clinical Applications of Cone-Beam Computed Tomography in Dental Practice.
J Can Dent Assoc 72(1), 75-80

Schleier P, Bierfreund G, Schultze-Mosgau S, Moldenhauer F, Küpper H, Freilich M (2008):

Simultaneous Dental Implant Placement and Endoscope-Guided Internal Sinus Floor Elevation: 2-Year Post-Loading Outcomes.
Clin Oral Impl Res 19(11), 1163-70

Schneider D, Marquardt P, Zwahlen M, Jung RE (2009):

A Systematic Review on the Accuracy and the Clinical Outcome of Computer-Guided Template-Based Implant Dentistry.
Oral Impl Res; 20(4), 73-86

Sedaghatfar M, August M, Dodson T (2005):

Panoramic Radiographic Findings as Predictors of Inferior Alveolar Nerve Exposure Following Third Molar Extraction.

J Oral Maxillofac Surg 63, 3-7

Shahidi S, Zamiri B, Bronoosh P (2013):

Comparison of Panoramic Radiography with Cone Beam CT in Predicting the Relationship of the Mandibular Third Molar Roots to the Alveolar Canal.

Imaging Sci Dent 43(2), 105-9

Sivolella S, Berengo M, Bressan E, Di Fiore A, Stellini E (2011):

Osteotomy for Lower Third Molar Germectomy: Randomized Prospective Crossover Clinical Study Comparing Piezosurgery and Conventional Rotatory Osteotomy.

J Oral Maxillofac Surg 69(6), e15-e23

Smith WP (2013):

The Relative Risk of Neurosensory Deficit Following Removal of Mandibular Third Molar Teeth: The Influence of Radiography and Surgical Technique.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol 115(1), 18-24

Suarez-Cunqueiro MM, Schoen R, Schramm A, Gellrich NC, Schmelzeisen R (2003):

Endoscopic Approach to Removal of an Ectopic Mandibular Third Molar.

Br J Oral Maxillofac Surg 41(5), 340-42

Suomalainen A, Ventä I, Mattila M, Turtola L, Vehmas T, Peltola JS (2010):

Reliability of CBCT and Other Radiographic Methods in Preoperative Evaluation of Lower Third Molars.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 109(2), 276-84

Tan WL, Wong TL, Wong MC, Lang NP (2012):

A Systematic Review of Post-Extraction Alveolar Hard and Soft Tissue Dimensional Changes in Humans.

Clin Oral Implants Res 23(5), 1-21

Tantanapornkul W, Okouchi K, Fujiwara Y, Yamashiro M, Maruoka Y, Ohbayashi N, Kurabayashi T (2007):

A Comparative Study of Cone-Beam-Computed Tomography and Conventional Panoramic Radiography in Assessing the Topographic Relationship Between the Mandibular Canal and Impacted Third Molars.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 103(2), 253-59

Taschieri S, Del Fabbro M, Testori T, Weinstein R (2008):

Microscope versus Endoscope in Root-End Management: A Randomized Controlled Study.

Int J Oral Maxillofac Surg 37(11), 1022-26

Ten Heggeler JM, Slot DE, Van der Weijden GA (2011):

Effect of Socket Preservation Therapies Following Tooth Extraction in Non-Molar Regions in Humans: A Systematic Review.
Clin Oral Implants Res 22(8), 779-88

Van Assche N, van Steenberghe D, Guerrero ME, Hirsch E, Schutyser F, Quirynen M, Jacobs R (2007):

Accuracy of Implant Placement Based on Pre-Surgical Planning of Three-Dimensional Cone-Beam-Images: A Pilot Study.
J Clin Periodontol 34(9), 816-21

Van der Weijden F, Dell'Acqua F, Slot DE (2009):

Alveolar Bone Dimensional Changes of Post-Extraction Sockets in Humans: A Systematic Review.
J Clin Periodontol 36(12), 1048-58

Varrela J (1990):

Occurrence of Malocclusion in Attritive Environment: A Study of a Skull Sample from Southwest Finland.
Scand J Dent Res 98(3), 242-47

Wagner W, Kunkel M, Koch P:

Zahnentfernung.

In: Schwenzler N, Ehrenfeld M (Hrsg.): Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde: Zahnärztliche Chirurgie.

4. Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2009, 2-37

Waldeyer A, Mayet A:

Anatomie des Menschen, Teil 2: Kopf und Hals, Auge, Ohr, Gehirn, Arm, Brust.

14. Auflage; de Gruyter, Berlin New York, 1979

Watzek G, Fürhauser R, Mailath-Pokorny G:

Zahnärztliche Implantate.

In: Schwenzler N, Ehrenfeld M (Hrsg.): Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde: Zahnärztliche Chirurgie.

4. Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2009, 227-274

Weber T:

Memorix Zahnmedizin.

4. Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2016

Winter GB:

Impacted Mandibular Third Molar.

American Medical Book Co., St Louis, 1926

Yuasa H, Sugiura M (2004):

Clinical Postoperative Findings after Removal of Impacted Mandibular Third Molars: Prediction of Postoperative Facial Swelling and Pain Based on Preoperative Variables.

Br J Oral Maxillofac Surg 42(3), 209-214

Zehnder MS, Connert T, Weiger R, Krastl G, Kühl S (2015):

Guided Endodontics: Accuracy of a Novel Method for Guided Access Cavity Preparation and Root Canal Location.

Int Endodont J 49(10), 966-72

Zel JM van der (2007):

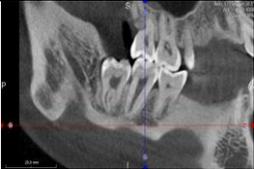
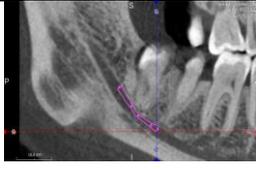
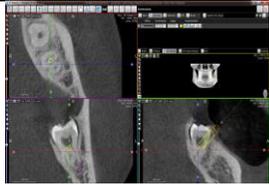
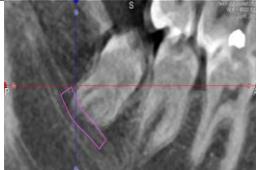
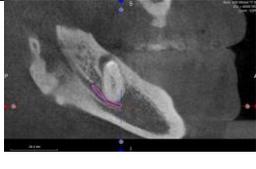
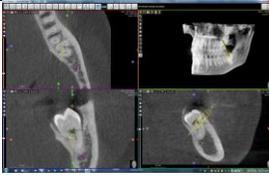
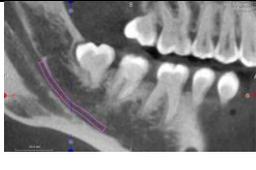
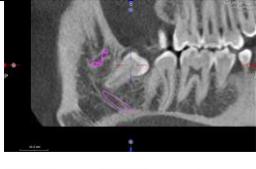
Implant Planning and Placement Using Optical Scanning and Cone Beam CT Technology.

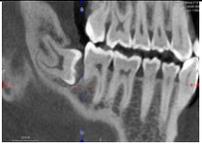
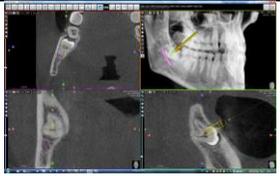
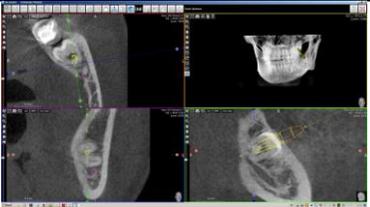
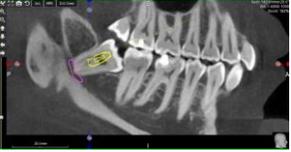
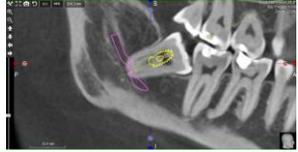
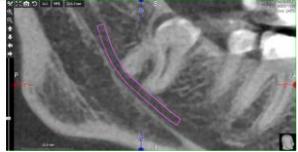
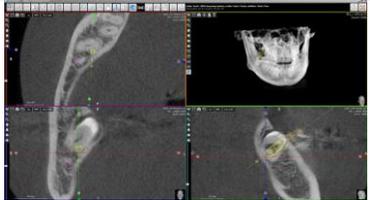
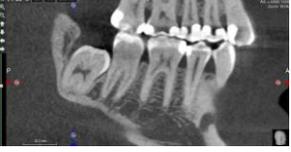
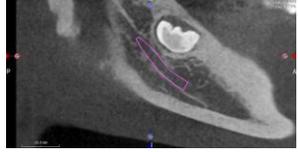
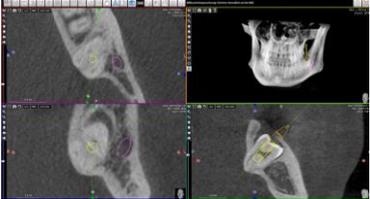
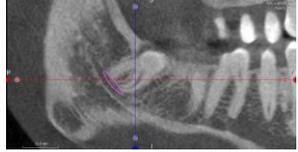
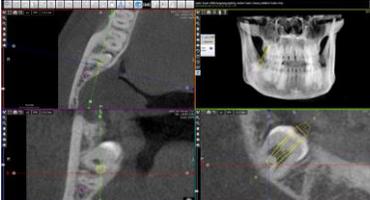
J Prosthodont 17(6), 476-81

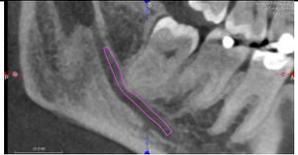
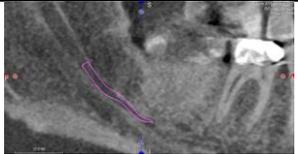
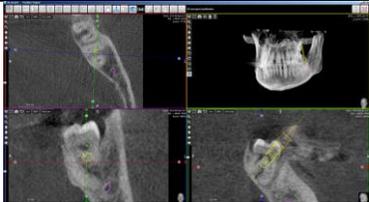
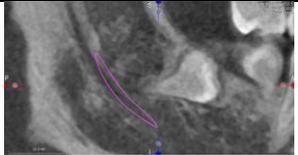
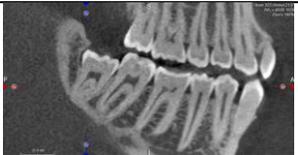
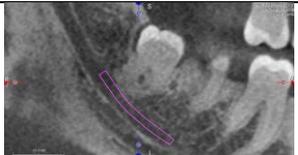
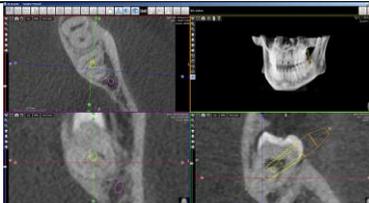
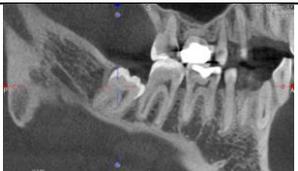
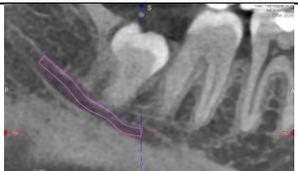
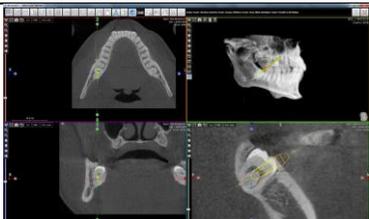
7. Anhang

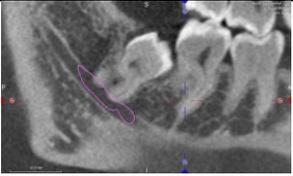
7.1 Patientendokumentation

Nummer	Zahn	Alter/ Geschlecht	Angulation	Nervbeziehung	Planung	Alveolenhöhe Prä-OP (B)	Alveolenhöhe Post-OP (B)	Schwellung 24h/7d	Schmerz 24h/7d	MÖ(mm) 24h/7d
1	38	32/m				15,8	14	1/0	5/1	25/61
2	48	18/m				15,2	13	0/0	2/1	55/58
3	48	18/m				13,5	10	1/0	1/1	35/54
4	38	21/w				15,6	15	1/0	6/1	25/49
5	48	18/w				15	13	1/0	1/1	31/51

6	38	24/w				18	15	1/0	1/1	26/54
7	38	18/w				15,2	12	1/0	5/1	36/48
8	38	36/m				16,6	11	1/0	5/1	35/51
9	38	33/m				18,9	15	1/0	2/1	29/58
10	48	23/w				14,2	13	1/0	5/1	22/54
11	38	18/m		 		17,5	16	1/0	6/1	25/49

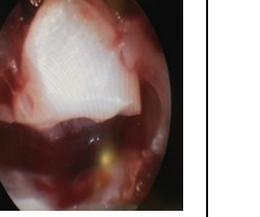
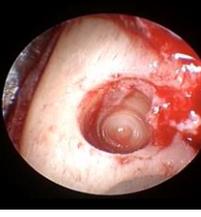
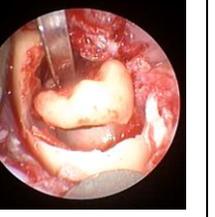
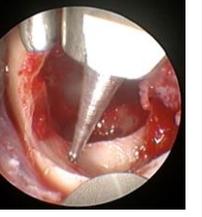
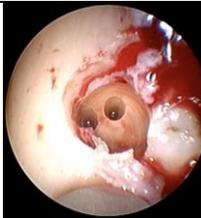
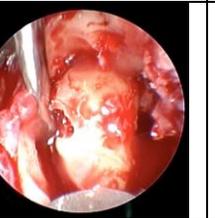
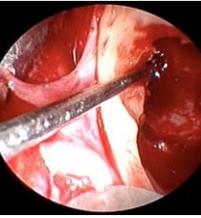
12	48	22/m				18,4	15	2/0	7/1	29/61
13	38	28/w				15,3	13	3/1	6/2	18/27
14	48	26/w				17,7	17	2/0	5/1	27/51
15	48	26/m				16,9	16	2/0	8/2	31/45
16	48	29/m				20,1	18	1/0	4/1	23/31
17	48	19/m				16,9	16	1/0	3/2	32/61

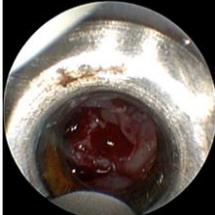
18	48	32/w				18,2	16	1/0	3/2	25/27
19	38	36/m				17,2	16	1/0	2/1	32/50
20	38	18/m				14,5	13	1/0	1/1	25/53
21	38	26/m				16,9	15	1/0	3/1	28/51
22	48	32/m				15,9	14	2/0	4/1	27/58

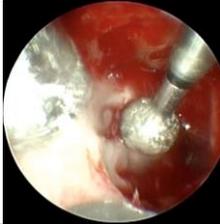
23	38	24/m				15,9	13	1/0	3/0	29/55
----	----	------	--	---	--	------	----	-----	-----	-------

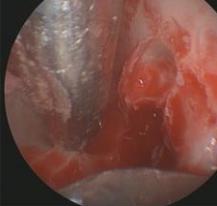
RÖNTGENKLASSIFIKATION

Nummer	Zahn	M (2. Molar)	R (Ramus)	A (Kieferkamm)	K (Kanal)	B (Bukkolingual)	P (Angulation)	Risiko- bewertung
1	38	2	2	3	3	3	2	15
2	48	1	2	3	3	3	2	14
3	48	1	2	2	3	3	3	14
4	38	2	2	3	3	2	2	14
5	48	2	2	3	3	2	2	14
6	38	1	1	2	3	3	2	12
7	38	2	2	2	4	3	1	14
8	38	3	4	4	3	4	4	22
9	38	1	2	3	3	3	3	15
10	48	1	2	2	2	3	3	13
11	38	1	2	2	2	2	2	11
12	48	2	2	3	3	3	4	17
13	38	2	2	2	3	3	2	14
14	48	1	2	2	3	2	2	12
15	48	1	2	2	3	2	1	11
16	38	2	3	3	2	3	1	14
17	48	1	2	2	3	2	2	12
18	48	1	2	2	3	2	1	11
19	38	1	2	2	1	3	2	11
20	38	2	2	2	2	3	4	15
21	38	2	2	2	2	3	3	14
22	48	2	2	3	3	3	2	14
23	38	2	2	3	3	3	2	14

Nummer	Pilotbohrung	Erweiterungsbohrung	Zugangserweiterung zur Furkation	Interradikuläre Trennung	Mobilisierung koronaradikulärer Fragmente (IFT)	interne Mikroosteotomie	Mobilisierung von Wurzelfragmenten	Alveolenmessung
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-					-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-
7						-	-	-
8								
9						-	-	

10	-							
11						-	-	-
12								
13						-	-	-
14						-	-	-
15								-

16						-	-	-
17	-					-	-	
18								-
Interradikuläre Separation					Lokalisierte Abtragung			
								
19								-

20						-	-	-
21						-	-	
22								
23	-	-	-	-	-	-	-	-

7.2 Unterlagen zur ethischen Begutachtung

Ethik-Kommission der Universitätsmedizin Göttingen, Von-Siebold-Straße 3, 37075 Göttingen

Herrn
Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Wilfried Engelke
Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
Robert-Koch-Straße 40

Ethik-Kommission der
Universitätsmedizin Göttingen
Vorsitzender: Prof. Dr. Jürgen Brockmüller
Referentin
Regierungsrätin Doris Wettschereck
0551 / 39-8644 Telefon

Von-Siebold-Straße 3, 37075 Göttingen
Adresse

0551 / 39-66629 Telefon

0551 / 39-9536 Fax

ethik@med.uni-goettingen.de E-Mail

www.ethikkommission.med.uni-goettingen.de

30.05.2016 br – fr – gö Datum

vorab per E-Mail: wengelke@med.uni-goettingen.de

Nachrichtlich an: Herrn David Streit, E-Mail: dastreit@web.de

Antragsnummer: 16/12/15 (bitte stets angeben)

Studientitel: Die 3D-navigierte, schablonenunterstützte Entfernung von teileretinierten unteren Weisheitszähnen unter endoskopischer Visualisierung

Antragsteller: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Wilfried Engelke, Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, UMG

Doktorand: David Streit

Folgende Unterlagen wurden zur Bewertung nachgereicht:

- Anschreiben mit Stellungnahmen vom 29.04.2016
- Überarbeitete Patienteninformationsschrift
- Überarbeitete Einverständniserklärung
- Überarbeitetes Kurzprotokoll
- Nachuntersuchungsbogen

Sehr geehrter Herr Prof. Dr. Engelke, sehr geehrte Damen und Herren,

nach Ergänzung der o.g. Dokumente und Beantwortung der im vorläufigen Votum aufgeführten Fragen in ihrem Schreiben vom 29.04.2016 bestehen nunmehr keine ethischen und rechtlichen Bedenken gegen die Durchführung des oben genannten Forschungsvorhabens.

Bitte beachten Sie noch folgende Hinweise:

1. Bitte reichen Sie die Genehmigung zur Durchführung der Studie des Klinikdirektors der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Herrn Prof. Dr. Dr. Schliephake, nach.
2. Um eine Pseudonymisierung der wissenschaftlichen Daten durchführen zu können, sollte auf dem Nachuntersuchungsbogen nicht der Klurname sondern nur das Pseudonym des Patienten erfasst werden.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei der Durchführung Ihres Projektes.

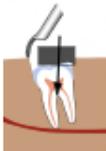
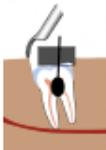
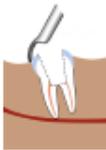
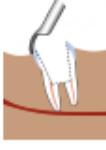
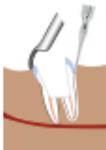
Unabhängig vom Beratungsergebnis macht die Ethik-Kommission darauf aufmerksam, dass die ethische und rechtliche Verantwortung für die Durchführung einer wissenschaftlichen Studie beim verantwortlichen Studienarzt und aller an der Studie beteiligten Ärzte liegt.

Alle Änderungen im Studienprotokoll müssen der Ethik-Kommission vorgelegt werden und dürfen erst nach deren Beratung und Bewertung umgesetzt werden.

Über alle schwerwiegenden unerwarteten unerwünschten Ereignisse, die während der Studie auftreten und die Sicherheit der Studienteilnehmer oder die Durchführung der Studie beeinträchtigen könnten, muss die Ethik-Kommission unterrichtet werden.

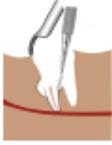
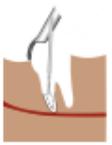
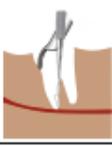
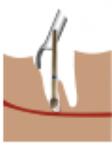
Der Abschluss/Abbruch der Studie ist mitzuteilen und ein Abschlussbericht vorzulegen.

7.3 Protokolle

Patienten-ID: _____	
OP-PROTOKOLL (1/2)	
OP-Teilschritt	Bemerkungen
<p>1. Okklusale Exposition</p> 	<p>Komplikationen:</p> <p>Anmerkungen:</p>
<p>2. Pilotbohrung</p> 	<p>Komplikationen:</p> <p>Anmerkungen:</p>
<p>3. Erweiterungsbohrung</p> 	<p>Komplikationen:</p> <p>Anmerkungen:</p>
<p>4. Zugangserweiterung zur Furkation</p> 	<p>Komplikationen:</p> <p>Anmerkungen:</p>
<p>5. Interradikuläre Trennung</p> 	<p>Komplikationen:</p> <p>Anmerkungen:</p>
<p>6. Mobilisierung koronoradikulärer Fragmente (IFT)</p> 	<p>Komplikationen:</p> <p>Anmerkungen:</p>

Patienten-ID: _____

OP-PROTOKOLL (2/2)

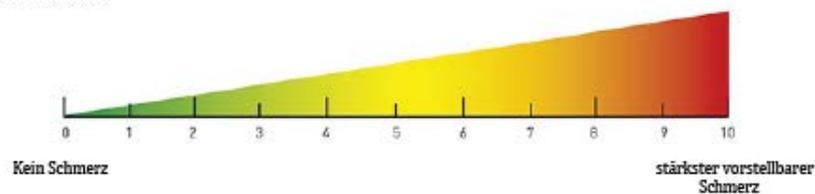
OP-Teilschritt	Bemerkungen
<p>7. Interne Mikroosteotomie</p>  A cross-sectional diagram of a tooth in the jawbone. A surgical handpiece is shown performing a microosteotomy on the internal root surface. A red line indicates the level of the gingiva.	<p>Komplikationen:</p> <p>Anmerkungen:</p>
<p>8. Mobilisierung von Wurzelfragmenten (IFT)</p>  A cross-sectional diagram of a tooth in the jawbone. A surgical handpiece is shown mobilizing a root fragment. A red line indicates the level of the gingiva.	<p>Komplikationen:</p> <p>Anmerkungen:</p>
<p>9. Intraradikuläre Separation</p>  A cross-sectional diagram of a tooth in the jawbone. A surgical handpiece is shown performing an intraradicular separation. A red line indicates the level of the gingiva.	<p>Komplikationen:</p> <p>Anmerkungen:</p>
<p>10. Mobilisation von Kleinfragmenten</p>  A cross-sectional diagram of a tooth in the jawbone. A surgical handpiece is shown mobilizing small fragments. A red line indicates the level of the gingiva.	<p>Komplikationen:</p> <p>Anmerkungen:</p>
<p>11. Lokalisierte Abtragung</p>  A cross-sectional diagram of a tooth in the jawbone. A surgical handpiece is shown performing a localized ablation. A red line indicates the level of the gingiva.	<p>Komplikationen:</p> <p>Anmerkungen:</p>
<p>12. Alveolenmessung</p>  A diagram showing a dental handpiece with a probe measuring the depth of an alveolar socket. A red dot indicates the measurement point.	<p>Komplikationen:</p> <p>Anmerkungen:</p>

NACHUNTERSUCHUNGSBOGEN

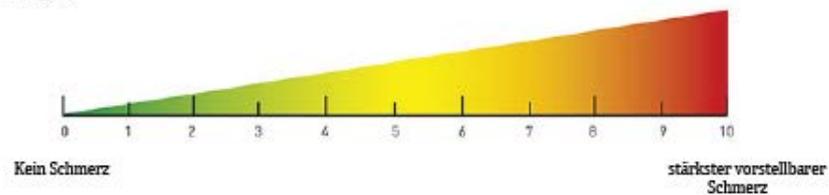
Name: _____ Datum 1./2. Untersuchung: _____ / _____

1. SCHMERZEN

a) Nach 24 Stunden



b) Nach 7 Tagen



2. SCHWELLUNG

Grad 0

Grad 1

Grad 2

Grad 3

a) Nach 24 Stunden

b) Nach 7 Tagen

3. MUNDÖFFNUNG (mm)

normal

eingeschränkt

a) Nach 24 Stunden

b) Nach 7 Tagen

4. DEHISZENZ/ENTZÜNDUNG

ja

nein

a) Nach 24 Stunden

b) Nach 7 Tagen

5. SENSIBILITÄT

normästhesie

hypästhesie

anästhesie

a) Nach 24 Stunden

b) Nach 7 Tagen

6. KNOCHENDEFEKTTANALYSE (mm)

präoperativ

intraoperativ

Messwert

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei Prof. Dr. Dr. W. Engelke für die freundliche Überlassung des Themas und die hilfreiche Unterstützung bedanken.

Ebenfalls danke ich DDS Msc Victor Beltran für die permanente Unterstützung und Hilfestellung sowie Zahntechniker André Hellmuth für die Unterstützung der (zahn-)technischen Arbeitsschritte.

Mein Dank geht auch an die Initiatoren dieser Promotionsarbeit, meinen Vater Dr. Harald Streit und Dipl. Inform. Frank Hornung.