

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

des Klinikums rechts der Isar

(Direktor: Prof. Dr. Dr. Klaus-Dietrich Wolff)

**Zur topographischen Lagebeziehung der unteren
Weisheitszähne in Panoramaschicht- und DVT-Aufnahmen**

Jana Maren Kleinschmidt

München 2019

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

des Klinikums rechts der Isar

(Direktor: Prof. Dr. Dr. Klaus-Dietrich Wolff)

Zur topographischen Lagebeziehung der unteren Weisheitszähne in Panoramaschicht- und DVT-Aufnahmen

Jana Maren Kleinschmidt

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Zahnheilkunde

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. Jürgen Schlegel

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr. Herbert Deppe
2. Priv.-Doz. Dr. Dr. Florian Bauer

Die Dissertation wurde am 25.06.2019 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 05.11.2019 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 Ziel der Arbeit	3
1.2 Aktueller Überblick über die maxillofaziale Bildgebung	4
1.2.1 Orthopantomographie.....	4
1.2.2 Digitale dentale Volumentomografie.....	7
1.3 Strahlenexposition	8
2 Material und Methode	11
2.1 Patienten.....	11
2.2 Geräte und Software.....	11
2.3 Datenerfassung und statistische Analyse.....	14
2.3.1 Verlagerungsgrad der Weisheitszähne in Panoramaschichtaufnahmen.....	14
2.3.2 Topografische Lage der Weisheitszähne im Unterkiefer–Level der Impaktion	16
2.3.3 Topographische Lagebeziehung zwischen Zahnwurzeln und Mandibularkanal – Anlagerung von Wurzelspitzen und Nervkanal in PSA und DVT-Aufnahmen	18
2.3.4 Topographische Lagebeziehung zwischen Zahnwurzeln und Mandibularkanal – Anatomischer Verlauf des Nervs in DVT-Aufnahmen	19
2.3.5 Analyse der Überlagerung von Zahnwurzeln und Mandibular-kanal in PSA in Bezug zum anatomischen Nervverlauf in DVT-Aufnahmen	20
2.3.6 Analyse der radiologischen Zeichen in Panoramaschicht-aufnahmen.....	20
2.3.7 Analyse der anatomischen Form der Mandibula	23
3 Ergebnisse	24
3.1 Patientenkollektiv	24
3.2 Befunde	26
3.2.1 Verlagerungsgrad der Weisheitszähne in Panoramaschichtaufnahmen.....	26
3.2.2 Topografische Lage der Weisheitszähne im Unterkiefer–Level der Impaktion	28

3.2.3	Topographische Lagebeziehung zwischen Zahnwurzeln und Mandibularkanal – Anlagerung von Wurzelspitzen und Nervkanal in PSA- und DVT-Aufnahmen	30
3.2.4	Topographische Lagebeziehung zwischen Zahnwurzeln und Mandibularkanal – anatomischer Verlauf des Nervs in DVT-Aufnahmen	31
3.2.5	Analyse der Überlagerung von Zahnwurzeln und Mandibularkanal in PSA in Bezug zum anatomischen Nervverlauf in DVT-Aufnahmen	32
3.2.6	Analyse der radiologischen Zeichen in Panoramaschichtaufnahmen	33
3.2.7	Analyse der anatomischen Form der Mandibula	34
3.3	Fallbeispiele	35
3.3.1	Fallbeispiel High Risk	35
3.3.2	Fallbeispiel Moderate Risk	38
3.3.3	Fallbeispiel Low Risk	39
3.3.4	Sonderfall Low Risk	42
4	Diskussion	44
4.1	Verlagerungsgrad der Weisheitszähne in Panoramaschichtaufnahmen	44
4.2	Topografische Lage der Weisheitszähne im Unterkiefer – Level der Impaktion	45
4.3	Topographische Lagebeziehung zwischen Zahnwurzeln und Mandibularkanal - Überlagerung auf Panoramaschichtaufnahmen	45
4.4	Topographische Lagebeziehung zwischen Zahnwurzeln und Mandibularkanal – Anatomischer Verlauf des Nervs in DVT-Aufnahmen	46
4.5	Analyse der Überlagerung von Zahnwurzeln und Mandibularkanal in PSA in Bezug zum anatomischen Nervverlauf in DVT-Aufnahmen	47
4.6	Analyse der radiologischen Zeichen in Panoramaschichtaufnahmen	49
4.7	Analyse der anatomischen Form der Mandibula	51
5	Synoptische Bewertung	52
5.1	Ausblick	56
6	Zusammenfassung	58
7	Literaturverzeichnis	62
8	Danksagung	68

Abkürzungsverzeichnis

3D	Dreidimensional
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
CBCT	Cone-Beam-Computed-Tomographie
CT	Computertomographie
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
DIMITRA	Dentomaxillofacial paediatric imaging: an investigation towards low-dose radiation induced risks
DVT	Digitale Volumetomographie
FoV	Field of View
FRS	Fern-Röntgen-Seiten-Bild
kV	Kilovolt
mA	Milliampere
MK	Mandibularkanal
MKG	Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
µSV	Mikro-Sievert
MW	Mittelwert
N.alv.inf.	Nervus alveolaris inferior
N.ling.	Nervus lingualis
OPT	Orthopantomogramm
PSA	Panoramaschichtaufnahme(n)
RöV	Röntgenverordnung
STABWN	Standardabweichung
SPSS	Statistical Package for Social Science
WHZ	Weisheitszahn

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Bewegungsablauf einer Panoramaschichtaufnahme	6
Abbildung 2 Röntgenanatomie – Ausschnitt Gesichtsareal links	6
Abbildung 3 Schema Spiral-CT (A) versus Kegelstrahl des DVT (B)	7
Abbildung 4 Häufigkeitsanteile radiologischer Untersuchungen in Deutschland	9
Abbildung 5 Darstellungsansichten des DVT 1	13
Abbildung 6 Darstellungsansichten des DVT 2	13
Abbildung 7 Winkelbestimmung auf Panoramaschichtaufnahme nach Winter	14
Abbildung 8 Verlagerungstypen A, B und C im dreidimensionalen Bild nach Momin	15
Abbildung 9 Level der Impaktion Klasse 1 nach Pell und Gregory	16
Abbildung 10 Level der Impaktion Klasse 2 nach Pell und Gregory	17
Abbildung 11 Level der Impaktion Klasse 3 nach Pell und Gregory	17
Abbildung 12 Einteilungen der Risikoklassen in PSA nach Hasegawa und Modifikationen dieser Studie	18
Abbildung 13 Einteilung der Risikoklassen in DVT–Aufnahmen nach Hasegawa	18
Abbildung 14 Radiologische Zeichen in Panoramaschichtaufnahmen	21
Abbildung 15 Juxta-apical radiolucent area (JAR)	22
Abbildung 16 Einteilung der Morphologie der Form der Mandibula nach Momin.....	23
Abbildung 17 Altersverteilung der untersuchten Patientenfälle	24
Abbildung 18 Geschlechterverteilung der untersuchten Patientenfälle	24
Abbildung 19 Unterbrechung der kortikalen Lamelle des Mandibularkanals	27
Abbildung 20 Panoramaschichtaufnahme High Risk	35
Abbildung 21 Risikoklasse A Panoramaansicht mit Untersuchungsfenster regio 38	36
Abbildung 22 Risikoklasse A - longitudinale Ansicht Zahn 38.....	37
Abbildung 23 Risikoklasse A - transversale Ansicht 38	37
Abbildung 24 Risikoklasse A - axiale Ansicht 38.....	37
Abbildung 25 Panoramaschichtaufnahme Moderate Risk	38
Abbildung 26 Risikoklasse B Panoramaansicht mit Untersuchungsfenster regio 38	39

Abbildung 27 Risikoklasse B - longitudinale Ansicht 38	39
Abbildung 28 Risikoklasse B - transversale Ansicht 38	39
Abbildung 29 Risikoklasse B - axiale Ansicht 38.....	39
Abbildung 30 Panoramaschichtaufnahme Low Risk	40
Abbildung 31 Risikoklasse C Panoramaansicht mit Untersuchungsfenster regio 48.....	41
Abbildung 32 Risikoklasse C - longitudinale Ansicht 48.....	41
Abbildung 33 Risikoklasse C - transversale Ansicht 48	41
Abbildung 34 Risikoklasse C - axiale Ansicht 48	41
Abbildung 35 Sonderfall Risikoklasse C Panoramaschichtaufnahme Low Risk	42
Abbildung 36 Sonderfall Risikoklasse C Panoramaansicht mit Untersuchungsfenster regio 38	43
Abbildung 37 Sonderfall Risikoklasse C - longitudinale Ansicht 38	43
Abbildung 38 Sonderfall Risikoklasse C - transversale Ansicht 38	43
Abbildung 39 Sonderfall Risikoklasse C - axiale Ansicht 38	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Strahlenbelastung der verschiedenen Röntgentechniken	10
Tabelle 2 Klassifikation der Verlagerungsgrade der Molaren in PSA nach Winter ...	15
Tabelle 3 Häufigkeiten der Indikationsklassen und mittleres Alter der Patienten	25
Tabelle 4 Häufigkeiten der Verlagerungsgrade der Zähne	26
Tabelle 5 Korrelation der Verlagerungsgrade zur Lagebeziehung von Zahn und Nervkanaldach	27
Tabelle 6 Häufigkeitsverteilung der Impaktionslevel	29
Tabelle 7 Häufigkeiten der topografischen Einteilung der Zähne in PSA und DVT- Aufnahmen	30
Tabelle 8 Verlauf des Mandibularkanals in den DVT-Aufnahmen - Untersuchung der Unterbrechung des kortikalen Dachs durch die Zahnwurzeln	31
Tabelle 9 Korrelation der Überlagerung von Wurzeln und Mandibularkanal in PSA im Bezug zum anatomischen Nervverlauf in DVT-Aufnahmen.....	32
Tabelle 10 Häufigkeiten der radiologischen Zeichen und ihr Bezug zum Nervkontakt	33
Tabelle 11 Häufigkeiten der Unterkieferformen im Bezug zum Nervverlauf	34

Veröffentlichung

Teile der vorliegenden Arbeit wurden mit dem im Folgenden genannten Titel im Journal Quintessence International zur Veröffentlichung angenommen.

Contiguity between the mandibular canal and the lower third molar in panoramic tomograms compared with Cone-Beam CT: A topographic analysis

Deppe, H., Ritschl, L. M., Kleinschmidt, J., Wagenpfeil, S., Sculean, A.

Quintessence Int. 2019; 50: 2–9; doi: 10.3290/j.qi.a42485

1 Einleitung

Die bildgebende Diagnostik ist für den Informationsgewinn über die räumliche Lage von Zähnen, Nerven, Gefäßen und Knochen in der modernen Zahnmedizin von grundlegender Bedeutung. Die Operationsplanung und der Operationsverlauf erfordern heute eine präzise präoperative Untersuchung. Generell sind die Anforderungen an diese mit der Nachfrage nach minimalinvasiven operativen Eingriffen im gesamten Gebiet der Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie (MKG) und Oralchirurgie gestiegen. Die Durchführung der Operationen muss risiko- und komplikationsarm gestaltet werden. Eine optimale Vorbereitung des Operateurs auf die individuellen anatomischen Gegebenheiten mittels bildgebender Diagnostik ist dafür unerlässlich. Zudem muss auch dem Anspruch der Patienten nach ausführlicher präoperativer Aufklärung und Einschätzung des persönlichen Risikos, unter Vermeidung von unnötiger Belastung durch Röntgenstrahlung Rechnung getragen werden.

Die operative Entfernung der unteren Weisheitszähne ist einer der häufigsten elektiven Eingriffe in der Mundhöhle und ist die Hauptursache einer Schädigung des Nervus alveolaris inferior (N.alv.inf.) (Reichart, 1983). Wird der Nerv intraoperativ verletzt oder gar durchtrennt, kann eine temporäre oder permanente postoperative Hypästhesie, Parästhesie oder die vollständige Anästhesie im Bereich der ipsilateralen Seite der Unterlippe sowie der umgebenden Weichteile resultieren.

Bis heute gilt die Panoramaschichtaufnahme (PSA) für die Diagnostik der Weisheitszähne als Goldstandard (Bell, 2004, Flygare und Ohman, 2008, Guerrero et al., 2011). Sie ist die einzige radiologische Untersuchungsmethode, bei der nicht nur die Zähne, sondern auch benachbarte knöcherne Strukturen des Schädels durch eine extraorale Aufnahme übersichtlich dargestellt werden können (Pasler, 2008, S. 183). Das zweidimensionale Verfahren bietet einen ersten Überblick der Zähne und ihrer Umgebung und lässt eine Beurteilung im Seitenvergleich zu (Spitzer und Rücker, 2000, S. 70). Die Aussagekraft einer zweidimensionalen Abbildung von dreidimensionalen anatomischen Strukturen ist jedoch limitiert. Durch Überlagerungen im Projektionsbild können die Bilder unterschiedlich bewertet werden oder Informationen gänzlich verloren gehen.

Die Darstellung der Strukturen ohne Dimensionsverlust ist im dentalen Bereich seit der Einführung der digitalen Volumentomographie (DVT) auch in Zahnarztpraxen einfach und mit wenig Zeitaufwand durchzuführen. Der routinemäßige Einsatz der dreidimensionalen digitalen Volumentomographie zur Beurteilung der topographischen Lagebeziehung zwischen Wurzelspitze und umgebenden Strukturen wird bisher nicht empfohlen. Laut S2k-Leitlinie zur operativen Entfernung von Weisheitszähnen ist „eine dreidimensionale Bildgebung vor einer Weisheitszahnentfernung nicht erforderlich, wenn nativ radiologisch keine Hinweise auf eine besondere Risikosituation vorliegen“. Indiziert sei diese aber, „wenn in der Röntgenuntersuchung Hinweise auf eine unmittelbare Lagebeziehung zu Risikostrukturen vorhanden sind und gleichzeitig aus Sicht des Behandlers weitere räumliche Informationen entweder für die Risikoaufklärung des Patienten, die Eingriffsplanung oder auch für die intraoperative Orientierung erforderlich sind“ (Kunkel, 2013, S. 6).

In der Literatur haben sich bestimmte Marker etabliert, um die Risikoeinschätzung von Fall zu Fall auf Panoramaschichtaufnahmen beurteilen zu können. Rood und Shehab gaben hierzu bereits 1990 eine Zusammenfassung. Sie beschrieben sieben radiologische Zeichen, die auf eine enge Lagebeziehung zwischen Nervus alveolaris inferior und Zahnapex hinweisen. Vor allem drei der Zeichen (Diversion of the canal, Interruption of the white line und Darkening of the root) stehen laut Autoren in signifikantem Zusammenhang mit einer Nervschädigung (Rood und Shehab, 1990). Bereits 1933 untersuchten Pell und Gregory das Platzangebot der Weisheitszähne zwischen dem zweiten Molar, dem aufsteigenden Unterkieferast und dem Impaktionsgrad in der vertikalen Verlagerung (Pell und Gregory, 1933). Die Projektion von Zahnwurzeln und Mandibularkanal (MK) wurde von Hasegawa und Kollegen analysiert (Hasegawa et al., 2013). Sie untersuchten den Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Überlagerung zum potentiellen Risiko einer möglichen Nervschädigung in Panoramaschichtaufnahmen und mittels Computertomographie (CT). Die Panoramaschichtaufnahme ist laut Autoren als präoperative Bildgebung zur Vermeidung einer möglichen Nervschädigung nicht ausreichend. Die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) empfiehlt bei Vorliegen von Überlagerungen die Prüfung der Indikation einer weiterführenden dreidimensionalen röntgenologischen Untersuchung (Kunkel, 2013, S. 6-7).

Insgesamt ist das Risiko einer permanenten Schädigung des Nervus alveolaris inferior oder des Nervus lingualis bei der operativen Entfernung von Weisheitszähnen mit knapp 1% als gering einzustufen (Korkmaz et al., 2017, Nakamori et al., 2008, Sanmarti-Garcia et al., 2012, Ueda et al., 2012).

In der Literatur liegt die Inzidenz einer Nervverletzung zwischen 0,4 % und 22 % (Blondeau und Daniel, 2007, Lopes et al., 1995, Rizzo et al., 2009). Dennoch ist eine Schädigung des sensiblen Trigeminasastes bei den meist jungen Patienten als gravierende Komplikation zu betrachten, die mit einer erheblichen Einschränkung der Lebensqualität durch Störungen des Sprechens, des Kauens und der sozialen Interaktion einhergeht (Su et al., 2017).

Ziel dieser Studie war es, die Diagnosemöglichkeiten der Panoramaschichtaufnahme und der digitalen Volumentomographie bei der Untersuchung der topographischen Lagebeziehung zwischen Zahnwurzelspitze und Mandibularkanal vergleichend zu untersuchen. In zahlreichen Studien wurde der Einsatz der dreidimensionalen Röntgentechniken bereits beschrieben und die Diagnostik mittels digitaler Volumentomografie ist mittlerweile in vielen Kliniken und Praxen Standard. Dennoch gibt es keine abschließende Beurteilung über die Sinnhaftigkeit und den Patientennutzen der dreidimensionalen Aufnahmen, welche die damit einhergehende höhere Strahlendosis rechtfertigt.

1.1 Ziel der Arbeit

In der vorliegenden Studie wurden die topographischen Lagebeziehungen zwischen Nervus alveolaris inferior und den unteren Weisheitszähnen in Panoramaschicht- und DVT-Aufnahmen vergleichend evaluiert. Ziel war es zu untersuchen, ob die konventionelle Panoramaschichtaufnahme eine direkte Anlagerung von Wurzel und Nerv und somit das individuelle Risiko einer möglichen intraoperativen Nervschädigung bei der Entfernung der unteren Weisheitszähne ausreichend einzuschätzen vermag.

Dabei wurden zunächst die bereits genannten Ausprägungsmerkmale auf den Panoramaschichtaufnahmen analysiert, die auf eine topographisch enge Nachbarschaftsbeziehung von Nerv und Wurzelspitze schließen lassen. Anschließend wurden die Befunde mit denen der dreidimensionalen DVT-Bilder verglichen. Der Zusammenhang zwischen den Befunden der Panoramaschichtaufnahmen und einem risikoreichen Nervverlauf wurde überprüft.

Daraus wurden Kriterien zur Entscheidungshilfe über eine weiterführende dimensionale Diagnostik sowie zur individuellen Schwierigkeits- und Risikobeurteilung abgeleitet.

1.2 Aktueller Überblick über die maxillofaziale Bildgebung

Bildgebendes Verfahren ist der „Oberbegriff für verschiedene Diagnostikmethoden, die Aufnahmen aus dem Körperinneren liefern“ (Reiche, 2003). Zu diesen gehören die konventionelle Röntgendiagnostik wie intraorale Zahnfilme, die Panoramaschichtaufnahme und das Fern-Röntgen-Seiten-Bild (FRS) sowie auch die Ultraschall-Untersuchung und alle modernen, computergestützten Verfahren, wie beispielsweise die Computertomografie, die dentale, digitale Volumentomographie, die Kernspintomographie oder die Szintigrafie.

1.2.1 Orthopantomographie

Die auch Schnitt- oder Schichtbildverfahren genannte Orthopantomographie (OPT) hatte ihre Anfänge bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Johann Radon, ein österreichischer Mathematiker, entwickelte die sogenannte Radon-Transformation, die Grundlage der Verfahrenstechnik. Die ersten damals noch intraoral durchgeführten Panoramaschichtaufnahmen gehen auf den Japaner Numata zurück. Durch technische Weiterentwicklungen gelang es schließlich dem Finnen Paatero 1959 ein Gerät zu präsentieren, welches sich extraoral um den Patienten bewegte (Pasler, 2008, S. 182). Durch die Weiterentwicklung dieser Technik wurde die Zahnmedizin in den folgenden Jahren bereichert. Das konventionelle Röntgenbild wird zur Erlangung einer ersten Übersicht von Kiefer und Zähnen angefertigt. Durch die Entwicklung von digitalen Bildverarbeitungsprogrammen ist es gelungen, die Abbildungen der anatomischen Strukturen detaillierter darzustellen und gleichzeitig die Strahlenbelastung, vor allem durch eine kürzere Belichtungszeit deutlich zu minimieren. Das große Aufnahmeareal ermöglicht den Behandlern daher eine schnelle Übersicht über die obere und untere Dentition und die benachbarten Strukturen des Gesichtsschädels. Gleichzeitig ist die extraoral angefertigte Aufnahme einfach durchführbar, für den Patienten komfortabel und mit geringer Strahlenbelastung verbunden. Auch können die Kieferhöhlen, Kiefergelenke sowie die Knochenstruktur im Seitenvergleich betrachtet werden. Bei manchen

Fragestellungen genügt die Panoramaschichtaufnahme den diagnostischen Ansprüchen nicht, da die zweidimensionale Abbildung gegenüber der dreidimensionalen Rekonstruktion der anatomischen Strukturen einen Verlust an Information bedeutet. Die bucco-linguale Nachbarschaft von Zahnwurzel und Nervkanal kann nicht mit Hilfe dieser Aufnahme untersucht werden. Durch Überlagerungen der verschiedenen anatomischen Schichten sind sogenannte Summationseffekte, zu unterteilen in Additions- und Subtraktionseffekte, nicht vermeidbar und mindern die Möglichkeit der Diagnostik oft erheblich (Zöller und Neugebauer, 2007). Als Additionseffekt bezeichnet man die Überlagerung von Weichteilen und Knochen. Im Röntgennegativ zeigt sich eine höhere Opazität, da Strahlung durch die überlagerte Gewebedichte abgeschwächt wird. Der Subtraktionseffekt ist die Überlagerung von strahlendurchlässigeren Schichten auf die zu betrachtende Struktur und zeigt im Bild eine stärkere Radioluzenz (Schwenzer und Ehrenfeld, 2008, S.104). Zudem bedingt die geringe räumliche Auflösung der Panoramaschichtaufnahme im Vergleich zum konventionellen Zahnfilm eine schwächere Detailgenauigkeit. Diese Eigenschaften sowie eine ungünstige Einstellung der Schichtlage durch eine falsche Patientenpositionierung können zur Notwendigkeit weiterer radiologischer Diagnostik führen. Hier ist die Technik mit dem größten Informationswert zu bevorzugen, auch wenn die Belastung durch Röntgenstrahlen entsprechend größer ist. Es bieten sich intraorale Einzelfilmaufnahmen, die digitale Volumentomographie oder die Computertomographie an, wobei die Durchführung einer Zahnfilmaufnahme durch die Gegebenheiten der Anatomie im Bereich der Weisheitszähne oft nicht möglich ist und eine CT-Aufnahme aufgrund der hohen Strahlenbelastung vermieden werden sollte (Sitzmann, 2000).

Abbildung 1 zeigt das Funktionsprinzip der Panoramaschichtaufnahme. Die Bildröhre sowie der Sensorträger bewegen sich in gleichmäßiger Rotation um den Gesichtsschädel. Innerhalb des Zahnbogens laufen die Rotationszentren dann während der Strahlungsexposition gleitend und verschoben. Der Röntgenstrahl passiert nach dem Austritt aus der primären Schlitzblende (2) den Drehpunkt A und trifft dann auf die vertikale Schlitzblende (3) des Bildempfängers. Röntgenröhre und Kassettenträger laufen im Uhrzeigersinn um den Kopf des Patienten über die Drehpunkte B und C. Der Sensor (5) läuft in Gegenrichtung.

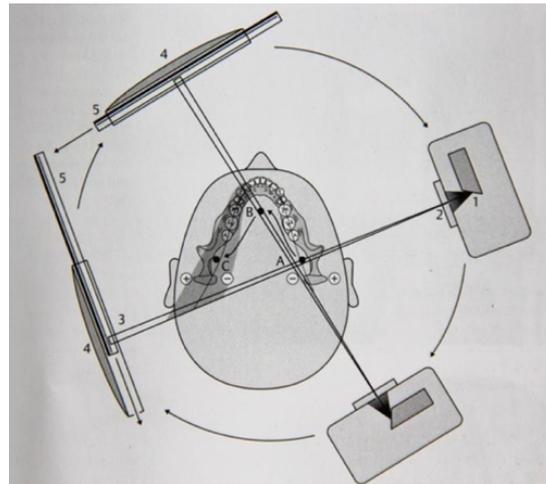


Abbildung 1 Bewegungsablauf einer Panoramaschichtaufnahme (1) Röntgenfokus, (2) primäre Schlitzeblende, (3) vertikale Schlitzeblende, (4) Halterung, (5) Bildempfängersystem, Drehpunkt A, B, C (Pasler, 2008 S.184)

Die genaue Kenntnis der Röntgenanatomie ist Voraussetzung für eine aussagekräftige Beurteilung und Interpretation der Aufnahme. Abbildung 2 zeigt den in dieser Studie vorwiegend analysierten Kieferabschnitt.

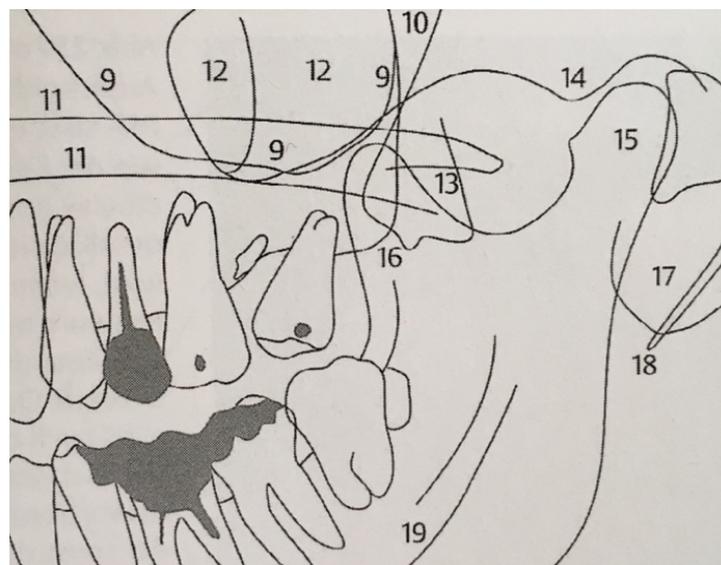


Abbildung 2 Röntgenanatomie – Ausschnitt Gesichtsareal links (Pasler, 2008 S. 197)

- | | | | |
|----|---|----|----------------------------------|
| 9 | Sinus maxillaris mit Grenzen | 15 | Processus articularis mandibulae |
| 10 | Fossa pterygopalatina | 16 | Processus muscularis mandibulae |
| 11 | Gaumendach und Boden der Nasenhöhle | 17 | Ohrläppchen |
| 12 | Os zygomaticum mit Recessus zygomaticus des Sinus maxillaris mit Linea innominata | 18 | Processus styloideus |
| 13 | Processus pterygoideus ossis sphenoidalis | 19 | Canalis mandibulae |
| 14 | Eminentia articularis | | |

1.2.2 Digitale dentale Volumentomografie

Die digitale Volumentomographie, im englischen Sprachraum auch Cone-Beam-Computed-Tomography (CBCT) genannt, entwickelte sich aus der klassischen Fluoroskopie (Miracle und Mukherji, 2009). Seit den späten Neunziger Jahren kommt sie in der Zahnmedizin zur Anwendung und hat andere dreidimensionale Verfahren wie die konventionelle Computertomographie in ihrer Bedeutung relativiert. Wie in Abbildung 3 dargestellt, wird bei einer CT-Aufnahme ein fächerförmiges Strahlenbündel genutzt. Einzelne Schichtbilder werden bei jeder Umdrehung des Patienten aufgenommen, die später zu einem dreidimensionalen Bild zusammengesetzt werden. Das DVT-Gerät besitzt ein konusförmiges Strahlenbündel, das mittels zweidimensionalen Detektors in nur einer Umdrehung um den Kopf des Patienten läuft und direkt durch mathematische Algorithmen dreidimensionale Datensätze generieren kann (Schulze et al., 2009, Zöller und Neugebauer, 2007). Die Rekonstruktionen sind aus Voxel mit der Größe von 0,5 - 0,625 mm zusammengesetzt (Boeddinghaus und White, 2018). Diese Baueinheiten sind isotrop. Sie bestehen aus einem Würfel mit gleichen Kantenlängen. Das Volumen kann für den Anwender verschieden dargestellt werden. Die klassischen Ansichten axial, sagittal und koronar entstehen durch weitere Rechenprozesse und durch senkrecht zueinander stehende zerlegte Ebenen (Rottke, 2012).

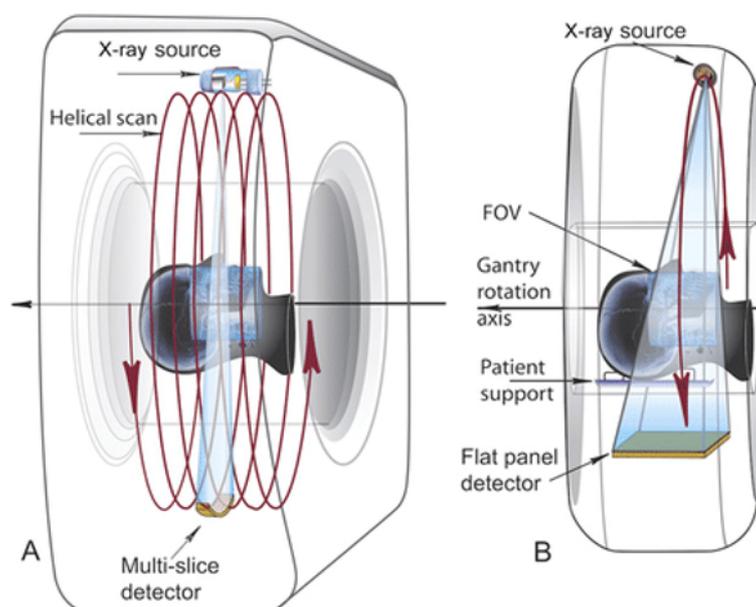


Abbildung 3 Schema Spiral-CT (A) versus Kegelstrahl des DVT (B) (Koivisto et al., 2017)

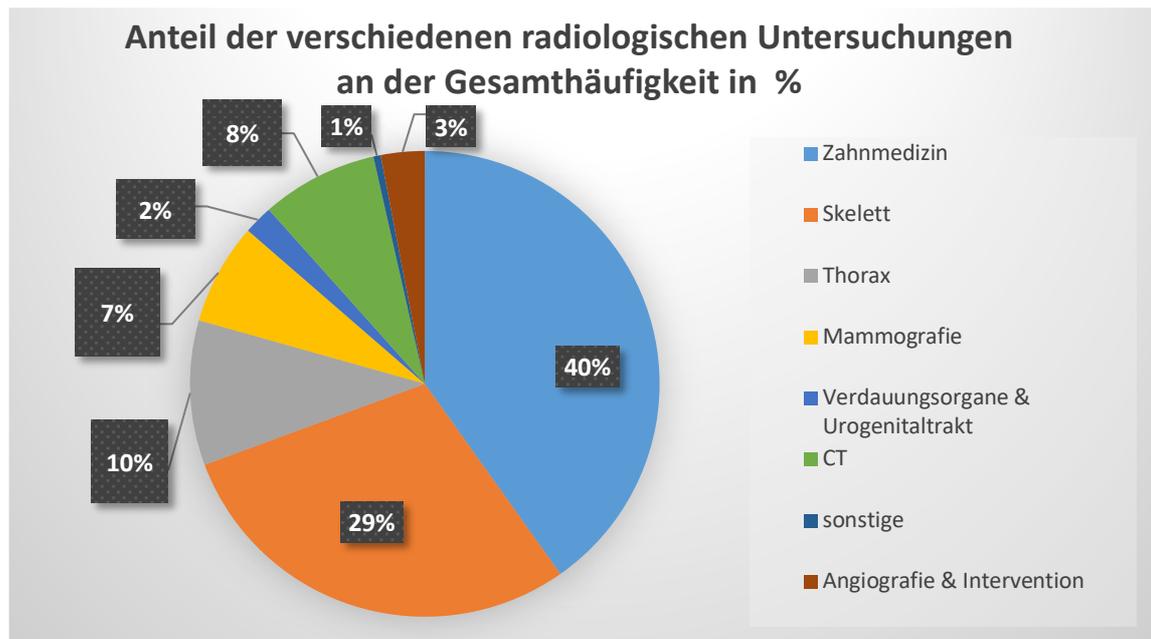
Der Hauptvorteil der digitalen Volumentomographie ist die sehr hohe räumliche Auflösung von Hartgewebe, wie Knochen und Zähne, die mit einer recht geringen Strahlendosis im Vergleich zur Computertomographie einhergeht (Kamrun et al., 2013). Diese kann durch einen gepulsten Röntgenstrahl sowie durch die Einstellung des Fokus auf das zu untersuchende Gebiet weiter reduziert werden. Die Weichgewebsdarstellung ist als schwach einzustufen. Für die Untersuchung von Befunden mit Beteiligung des Weichgewebes, wie Tumore, dentogene Infekte und große odontogene Zysten, ist immer die konventionelle CT-Aufnahme zu bevorzugen (Boeddinghaus und White, 2018).

Die klinischen Indikationen des DVT-Einsatzes in den verschiedenen Gebieten der Zahnmedizin wurde von der DGZMK in einer S1-Empfehlung von 2009 veröffentlicht (Schulze et al., 2009). Die wichtigsten chirurgischen Indikationen sind neben der Traumatologie, intraossäre pathologische Veränderungen, Lageanomalien von Zähnen, Entfernung retinierter Weisheitszähne und die Implantologie.

1.3 Strahlenexposition

Die sogenannte künstliche oder zivilisatorische Strahlung, welcher der Mensch durch medizinische Anwendungen, kerntechnische Anlagen oder z.B. durch den Bergbau ausgesetzt ist, beläuft sich pro Jahr und Einwohner auf ca. 1,6 mSv. Zudem wirkt auch eine natürliche Strahlung mit einer effektiven Dosis von 2,1 mSv. Diese setzt sich aus kosmischer, terrestrischer und innerer Strahlung zusammen, die die Menschen durch Höhenstrahlung im Flugverkehr, durch Radionuklide in Böden und über die Nahrung aufnehmen (Bundesamt für Strahlenschutz, 2014).

Die effektive Dosis berücksichtigt die unterschiedliche Empfindlichkeit der Organe und Gewebe bezüglich stochastischer Strahlenwirkungen. Somit kann das Risiko der Röntgenstrahlenbelastung besser eingeschätzt und verglichen werden. Insgesamt belief sich die Anzahl an medizinischen Röntgenanwendungen im Jahr 2014 auf 140 Millionen Aufnahmen in Deutschland (Bundesamt für Strahlenschutz, 2014). Davon sind knapp 40% zahnmedizinische Anwendungen (Abbildung 4). Pro Einwohner waren dies 0,7 zahnmedizinische Röntgenbilder pro Jahr. Dieser Anteil beträgt jedoch an der kollektiven effektiven Dosis nur knapp 0,4%. Strahlenintensive Aufnahmen wie CT-Bilder und Angiographien betragen im Vergleich einen Anteil von knapp 80% der kollektiven effektiven Dosis, obwohl sie nur ca. 10% der Gesamtheit aller Aufnahmen ausmachen (Bundesamt für Strahlenschutz, 2014).



*Abbildung 4 Häufigkeitsanteile radiologischer Untersuchungen in Deutschland in %
(Bundesamt für Strahlenschutz, 2014)*

Durch die häufige Nutzung von Röntgenstrahlen müssen Maßnahmen zur Minimierung des Strahlenrisikos getroffen und eingehalten werden. Besonders hervorzuheben ist die rechtfertigende Indikation nach Paragraph 2a der Röntgenverordnung (RöV). Es gilt, den hinreichenden Nutzen der Aufnahmen gegenüber einem möglichen, durch die Strahlung verursachten Schaden abzuwägen. Zudem muss auf die Dosisbegrenzung geachtet werden. Hier gelten laut Strahlenschutz unterschiedliche Richtwerte für beruflich strahlenexponierte Personen und die Allgemeinheit. Das Leitprinzip nach dem jedes Röntgenbild durchgeführt werden sollte, ist das ALARA-Prinzip („As Low As Reasonably Achievable“). Hier soll „die Wahrscheinlichkeit einer Exposition, die Anzahl der exponierten Personen und die individuelle Dosis so gering gehalten werden, wie vernünftigerweise erreichbar ist“ (Bundesamt für Strahlenschutz, 2014). Pasler empfiehlt zur Minimierung des Strahlenrisikos die Verwendung digitaler Systeme oder den Einsatz hochempfindlicher intraoraler Filme und extraoraler Film-Folienkombinationen (Pasler, 2008). Die Belichtungsparameter sollten in Abhängigkeit von der Fragestellung individuell angepasst werden. Zudem trägt bei DVT-Aufnahmen die Einstellung des Volumens zur Dosisreduzierung entscheidend bei (Tsapaki, 2017). Außerdem sollen unnötige Röntgenbilder durch Aufnahmefehler oder eine unüberlegte Abfolge der Bilder vermieden werden (Pasler, 2008). Durch eine adäquate Patientenpositionierung und Immobilisierung dieser, sollen Bewegungsartefakte vermieden werden.

Zudem ist die Nutzung der Röntgenschürze, sowie des Schilddrüsenschildes zum Schutz der radiosensitiven Organe obligatorisch. Auf die korrekte Positionierung ist zu achten um Artefakte auf den Röntgenbildern zu vermeiden (European Commission, 2004).

Strahlenbelastung der verschiedenen Aufnahmetechniken	effektive Dosis E in μSv
Zahnfilm	2,9 - 132
PSA	55 - 238
DVT	13 - 769

*Tabelle 1 Strahlenbelastung der verschiedenen Röntgentechniken
(Kiefer et al 2004, Ludlow et al 2015, Tsapaki 2017)*

Tabelle 1 zeigt die durchschnittliche Strahlenbelastung von gebräuchlichen Röntgenverfahren in der Zahnheilkunde. Die Werte variieren beträchtlich in den verschiedenen Studien, da die Strahlenbelastung der verschiedenen Geräte nach Angabe der Anbieter sehr unterschiedlich ist. Zudem ist die effektive Dosis auch abhängig von der Größe des eingestellten Sichtfelds (Ludlow et al., 2015). Digitale Aufnahmen zeigen insgesamt eine geringere Belastung als analog angefertigte Aufnahmen (Kiefer et al., 2004, Schulze et al., 2009).

2 Material und Methode

2.1 Patienten

Aus der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Klinikums rechts der Isar der Technischen Universität München wurden insgesamt 172 Patientendokumentationen gesichtet. Die Datenrekrutierung fand im Zeitraum von September 2014 bis Juli 2016 statt. Von den gesichteten Patientendokumentationen konnten 32 Patientenfälle mit insgesamt 56 Weisheitszähnen in die vorliegende Studie eingeschlossen werden.

Folgende Kriterien mussten erfüllt werden:

Gesucht wurde nach Patienten mit teilretinierten, vollständig retinierten und verlagerten Weisheitszähnen. Zudem musste der 12-Jahres-Molar in situ stehen. Diese Zahnsituation musste auf einer Panoramaschichtaufnahme sowie auf einer zugehörigen DVT-Aufnahme dokumentiert sein. Die Weisheitszähne aller Patienten wurden auf der Panoramaschichtaufnahme sowie im zugehörigen DVT nach einem erstellten Kriterienkatalog untersucht und analysiert.

Die Studie erfolgte nach den ethischen Standards der aktuellen Deklaration von Helsinki und wurde von der Ethikkommission der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München, Klinikum rechts der Isar überprüft und genehmigt (Genehmigungsnummer 232/16S).

2.2 Geräte und Software

Die Panoramaschichtaufnahmen wurden mit dem Orthoralix 8500 der Firma Soredex (Soredex, Helsinki, Finnland) angefertigt. Die Strahlenbelastung wurde individuell an die Patienten angepasst und variierte zwischen 60–80 kV und 4–10 mA. Die Umlaufzeit des Geräts beträgt 12 Sekunden. Die Filmkassette misst eine Größe von 15 x 30 cm. Es wurden Filme der Firma Kodak (Kodak, Rochester, USA) verwendet. Der Kopf des Patienten orientiert sich an der Frankfurter Horizontale sowie an der Mediansagittalebene. Bildempfänger und Strahler rotieren mittels Drehachsen parabelförmig zur optimalen Kieferdarstellung um den Patienten (Pasler, 2008, S.52)

Alle DVT Aufnahmen wurden mit dem Galileos Gerät von Sirona (Sirona Dental Systems Inc., Bensheim, Hessen, Deutschland) durchgeführt. Der Kopf des Patienten wird dabei Bewegungsstabil durch eine Kinnstütze, eine Aufbiss-Vorrichtung sowie eine Stirnstütze fixiert. In einem Bogen von 204° rotiert die Strahler-Detektoreinheit in einer einzigen Bahn um den Patientenkopf. Dabei wird die Information des kegelförmigen Strahls über einen mathematischen Algorithmus rekonstruiert und ein dreidimensionaler Bilddatensatz generiert. Das genutzte Sichtfeld kann ein Volumen von $15 \times 15 \times 15$ cm aufzeichnen. Die Röhrenspannung liegt bei 85kV und die Anodenstärke bei 7mA. Die Expositionszeit beträgt zwischen 2-6 Sekunden und ist von der eingestellten mA-Zahl abhängig, die zwischen 10 und 42 mA variieren kann. Die Umlaufzeit des Geräts bleibt mit 14 Sekunden gleich. Die effektive Dosis liegt beim genutzten Gerät bei 70 bzw. 83 μSv für Personen mit einem Körpergewicht von 70kg. Der Datensatz bildet sich aus einer 1.024×1.024 Pixel-Matrix und wird durch eine 12-bit-Grauskala definiert. Das dreidimensionale (3D) Volumen setzt sich aus einer Matrix aus $512 \times 512 \times 512$ isotropen Voxel zusammen. Über ein Untersuchungsfenster können bestimmte Bereiche hochauflösend dargestellt werden. Die Darstellung in der Software kann in verschiedenen Ansichten erfolgen, wie Abbildung 5 zeigt. Nach dem Öffnen des Programms erhält man eine rekonstruierte Panoramaansicht (A), eine 3D-Ansicht B), eine Longitudinale Ansicht (C), Transversale Schnitte (D) und die axiale Ansicht (E) zur übersichtlichen Darstellung.

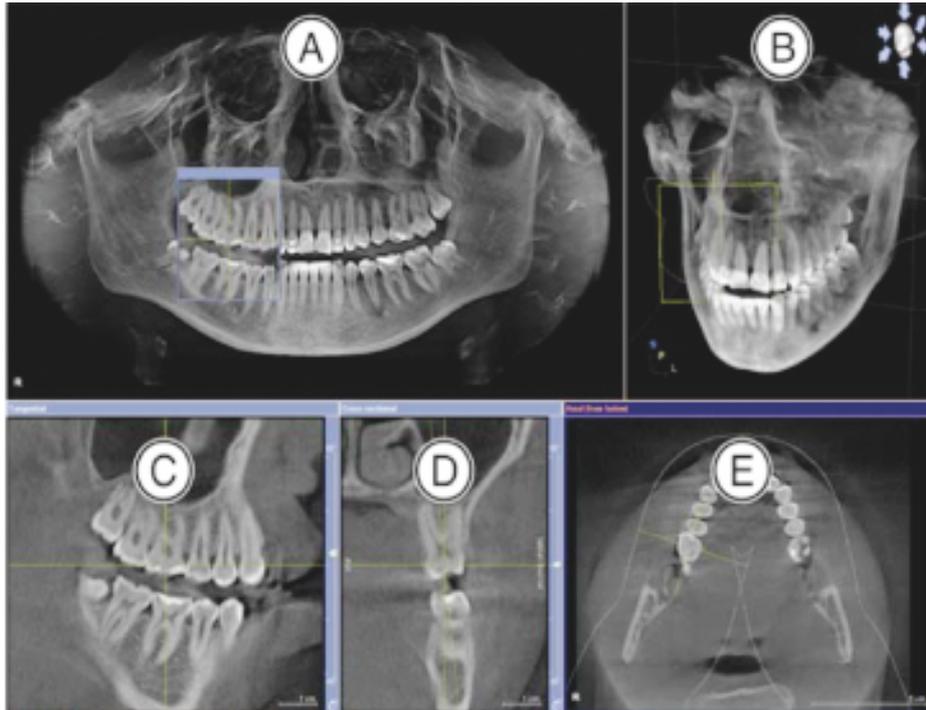


Abbildung 5 Darstellungsansichten des DVT 1: rekonstruierte Panoramaansicht (A), 3D-Ansicht (B), longitudinale Ansicht (C), transversale Schnitte (D), axiale Ansicht (E) (Sirona 2011)

Abbildung 6 zeigt den Arbeitsbereich „Radiologie“, der zusätzlich zur Diagnostik genutzt werden kann. Er zeigt eine vereinfachte anatomische Orientierung mit den klassischen dreidimensionalen Ebenen axial (A), koronar (C) und sagittal (D) sowie ebenfalls eine 3D-Ansicht (B).

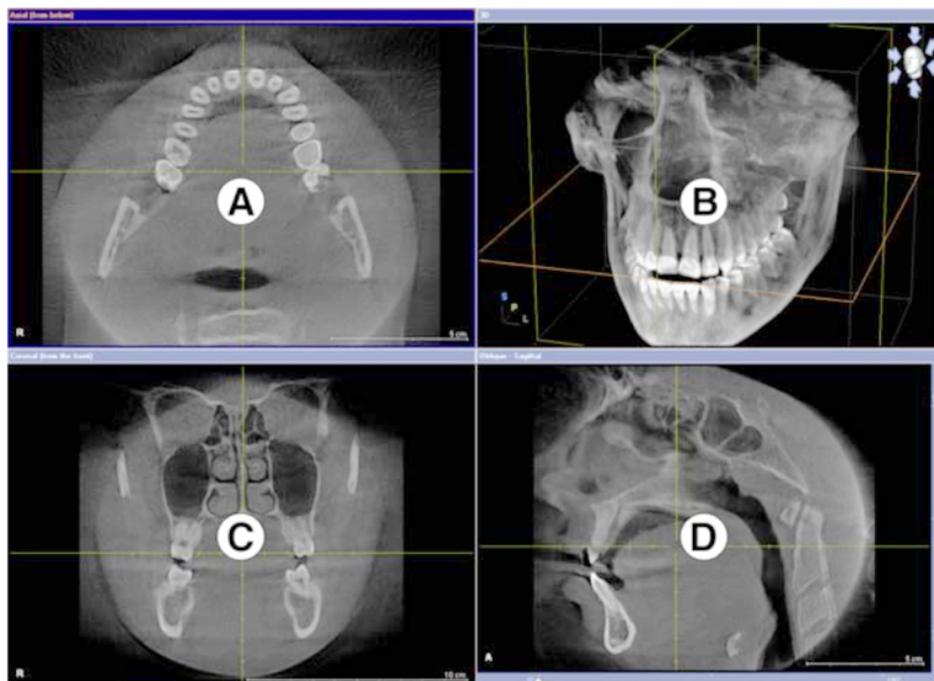


Abbildung 6 Darstellungsansichten des DVT 2: axial (A), 3D-Ansicht (B), koronar (C) und sagittal (D) (Sirona 2011)

2.3 Datenerfassung und statistische Analyse

Die Panoramaschichtaufnahmen sowie die zugehörigen DVT-Aufnahmen wurden systematisch nach im Folgenden beschriebenen Kriterien im erstellten Auswertungskatalog untersucht. Die Aufnahmen wurden alle unter gleichen Bedingungen ausgewertet. Nach der korrekten Seitenpositionierung der Bilder wurden die Regionen schematisch untersucht, um eine exakte Bildanalyse zu gewährleisten. Die Befunde der Unterkieferweisheitszähne und ihrer umgebenden Strukturen wurden anschließend tabellarisch in das Programm Microsoft Office Excel (Version 15.33, Microsoft Corporation, Redmond, USA) eingespeist. Komplexere statistische Berechnungen wurden mit Hilfe der Software SPSS (Statistical Package for Social Sciences) für MAC (Version 24, SPSS Inc. Chicago, Illinois USA) ausgewertet. Mit dem exakten Test nach Fisher, mittels Chi-Quadrat-Test sowie durch einfaktorielle Varianzanalysen wurden die Befunde auf Signifikanz geprüft.

2.3.1 Verlagerungsgrad der Weisheitszähne in Panoramaschichtaufnahmen

Der Grad der Verlagerung der unteren Weisheitszähne wurde durch Winkelbestimmung der Longitudinalachsen zwischen 12-Jahres-Molar und Weisheitszahn in insgesamt fünf Klassen kategorisiert. Auf den analogen Panoramaschichtaufnahmen wurden die Longitudinalachsen mit einem Geodreieck direkt auf den Negativ-Folien eingezeichnet und die Winkel anschließend abgelesen (Abbildung 7).

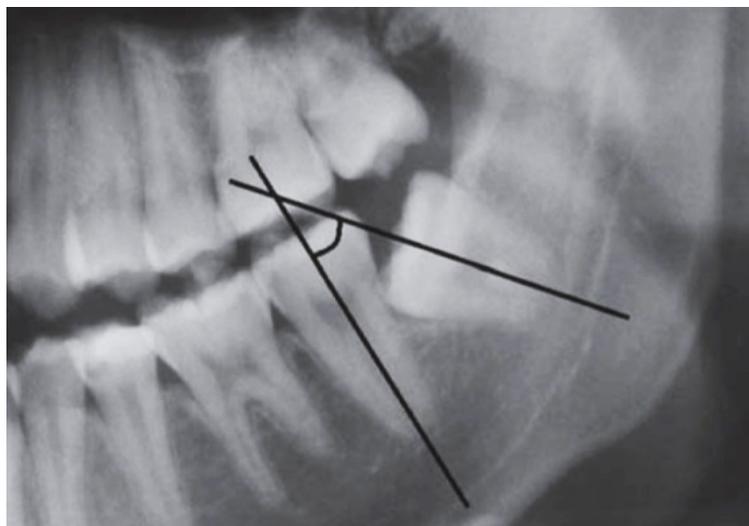


Abbildung 7 Winkelbestimmung auf Panoramaschichtaufnahme nach Winter (Quek SL, 2003)

Tabelle 2 zeigt die Klassifikation von Winter. Er teilte die Neigung der Zähne im Kreis in vertikale, mesioanguläre, horizontale und distoanguläre Verlagerungsgrade ein (Quek et al., 2003, Winter 1926).

Neigung der unteren Weisheitszähne	Angulation
vertikal	10° bis -10°
mesioangulär	11° bis 79°
horizontal	80° bis 100°
distoangulär	-11° bis -79°
andere	111° bis -80°

Tabelle 2 Klassifikation der Verlagerungsgrade der Molaren in PSA nach Winter (Winter, 1926)

Wie auch im zweidimensionalen Bild wurde im DVT der Verlagerungsgrad der Zähne evaluiert. Abbildung 8 zeigt die Verlagerungsgrade nach Momin. Sie bildeten drei Typen der Verlagerungsgrade A, B und C (Momin et al., 2013). In der vorliegenden Studie wurde diese Einteilung modifiziert.

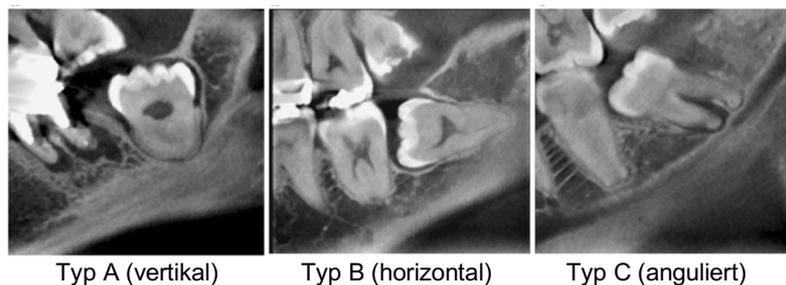


Abbildung 8 Verlagerungstypen A, B und C im dreidimensionalen Bild nach Momin (Momin et al. 2013)

Es wurden vier Klassen gebildet, um eine bessere Vergleichsmöglichkeit zur Winterklassifikation im zweidimensionalen Bild zu haben. Typ C nach Momin wurde also in zwei Klassen, nach mesial- und distalanguliert, unterteilt:

Klasse A vertikal: im 90° Winkel zur Mandibula stehender impaktierter Zahn

Klasse B horizontal: impaktierter, parallel zur Mandibula stehender Zahn

Klasse C Neigung nach mesial: Zähne stehen im Winkel 0°-89° zur Mandibula

Klasse D Neigung nach distal: Zähne im Winkel 91°-180° zur Mandibula

Anschließend wurde in den dreidimensionalen DVT-Aufnahmen überprüft, ob die Zahnwurzeln direkten Kontakt zum Nervus alveolaris inferior zeigten und ob Zusammenhänge zwischen dem Verlagerungsgrad der Zähne und dem Kontakt zum Unterkiefernerve vorlagen.

2.3.2 Topografische Lage der Weisheitszähne im Unterkiefer – Level der Impaktion

Die Analyse der anatomischen Platzverhältnisse im Unterkiefer erfolgte in drei Klassen nach Pell und Gregory (Pell und Gregory, 1933). Die Klassen 1-3 gliedern das Platzangebot in der horizontalen Ebene zwischen dem distalen Rand des 12-Jahres-Molar und dem aufsteigenden Unterkieferast. Zudem wurden die Zähne nach dem Grad der vertikalen Impaktion in drei Positionen A, B und C eingeteilt. Diese orientieren sich an der okklusalen Fläche des zweiten Molaren (Abbildung 9,10,11). In dieser Studie wurde diese Klassifikation modifiziert:

Klasse 1 „High impacted“:

Die Zähne haben ein suffizientes Platzangebot in der mesio-distalen Breite und können in Position A oder B verlagert sein.

Position A: Die Okklusionsebene des zweiten und dritten Molars befindet sich auf einer Ebene

Position B: Die Zahnkrone liegt zwischen der Okklusalebene und der Schmelz-Zement Grenze

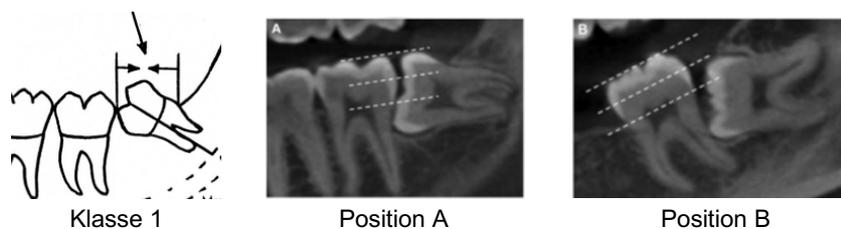


Abbildung 9 Level der Impaktion Klasse 1 nach Pell und Gregory - Suffizientes Platzangebot des mesio-distalen Durchmessers der Zahnkrone (Pell und Gregory, 1933)

Klasse 2 „Moderate impacted“:

Die Zähne haben ein eingeschränktes Platzangebot zwischen dem distalen Rand des zweiten Molaren und dem aufsteigenden Unterkieferast und können in Position A, B oder C verlagert sein.

Position A: Die Okklusionsebene des zweiten und dritten Molars befindet sich auf einer Ebene

Position B: Die Zahnkrone liegt zwischen der Okklusalebene und der Schmelz-Zement Grenze

Position C: Der dritte Molar liegt unterhalb der Schmelz-Zementgrenze des zweiten Molars

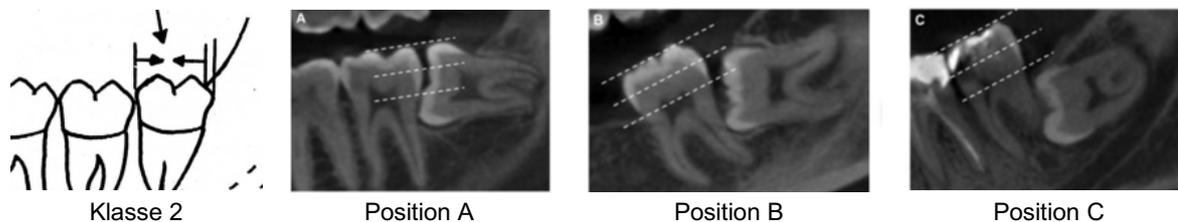


Abbildung 10 Level der Impaktion Klasse 2 nach Pell und Gregory - Eingeschränktes Platzangebot zwischen dem distalen Rand des zweiten Molaren und dem aufsteigenden Unterkieferast (Pell und Gregory, 1933)

Klasse 3 „Low impacted“:

Der dritte Molar ist aufgrund der engen Platzverhältnisse fast vollständig in den aufsteigenden Unterkieferast verlagert.

Position B: Die Zahnkrone liegt zwischen der Okklusalebene und der Schmelz-Zement Grenze

Position C: Der dritte Molar liegt unterhalb der Schmelz-Zementgrenze des zweiten Molars

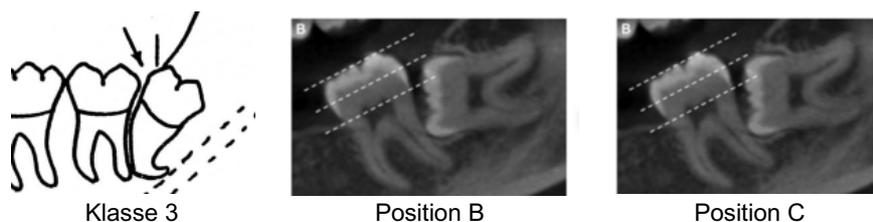


Abbildung 11 Level der Impaktion Klasse 3 nach Pell und Gregory - Vollständige Verlagerung des Zahns in den aufsteigenden Unterkieferast durch Platzmangel in der mesio-distalen Länge (Pell und Gregory, 1933)

2.3.3 Topographische Lagebeziehung zwischen Zahnwurzeln und Mandibularkanal – Anlagerung von Wurzelspitzen und Nervkanal in PSA und DVT-Aufnahmen

Die Überlagerung der Zahnwurzeln mit dem Mandibularkanal wurde in Anlehnung an Hasegawa et al. auf den PSA untersucht (Hasegawa et al., 2013). Die bekannten Risikoklassen wurden modifiziert und zu drei Klassen zusammengefasst (Abbildung 12).

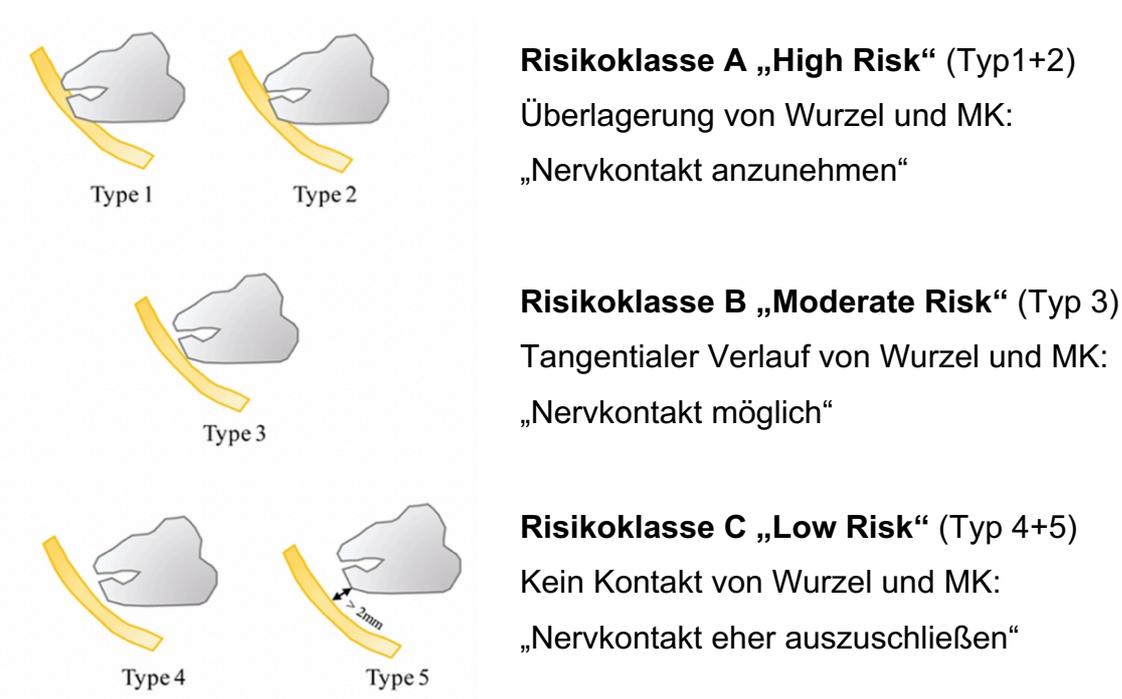


Abbildung 12 Einteilungen der Risikoklassen in Panoramiaschichtaufnahmen nach Hasegawa (Hasegawa et al., 2013) und Modifikationen dieser Studie

Vergleichend wurde die topographische Lage von Zahnschneidspitze und Nervkanal in den zugehörigen DVT-Aufnahmen dreidimensional analysiert. Hasegawa klassifizierte die topographische Lage von Nerv und Zahnapex in CT-Aufnahmen. Dies wurde in der vorliegenden Studie auf die DVT-Aufnahmen übertragen (Abbildung 13).

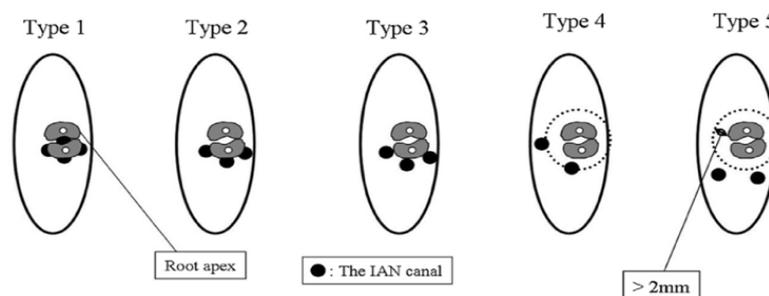


Abbildung 13 Einteilung der Risikoklassen in DVT – Aufnahmen nach Hasegawa (Hasegawa et al., 2013)

2.3.4 Topographische Lagebeziehung zwischen Zahnwurzeln und Mandibularkanal – Anatomischer Verlauf des Nervs in DVT-Aufnahmen

Der Verlauf des Nervus alveolaris wurde im DVT vom Austrittspunkt am Foramen mentale in Richtung Foramen mandibulae durch die Navigation der einzelnen Projektionsschichten verfolgt. Am Punkt der Anlagerung von Nerv und Wurzelspitze wurde die Position des Nervs in vier Klassen eingeteilt:

- 1. Lingual**
- 2. Apikal**
- 3. Bukkal**
- 4. Interradikulär**

Anschließend wurde überprüft, ob die Einteilung der topographischen Lage von Wurzelspitze und Mandibularkanal in Panoramaschichtaufnahmen Rückschlüsse auf den tatsächlichen Nervverlauf zulassen. Zudem wurde im DVT in einer Ja-/Nein-Entscheidung analysiert, ob eine tatsächliche Anlagerung von Wurzelspitze und Nervus alveolaris inferior vorlag. Die Unterbrechung der kortikalen Knochenlamelle am Berührungspunkt von Zahns Spitze und Nervkanal wurde als Referenz genutzt.

Nervanlagerung zwischen Wurzelapex und Nervus alveolaris inferior:

Ja = Knochenlamelle des Kanals unterbrochen

Nein = Knochenlamelle des Kanals intakt

2.3.5 Analyse der Überlagerung von Zahnwurzeln und Mandibularkanal in Panoramaschichtaufnahmen in Bezug zum anatomischen Nervverlauf in DVT-Aufnahmen

Die Ergebnisse der dreidimensionalen Untersuchung des Verlaufs des Canalis mandibularis im DVT, wie unter 2.3.4 dargestellt, wurden schließlich in Bezug zur unter 2.3.3 dargestellten modifizierten Risikoklassifikation der Panoramaschichtaufnahmen gesetzt. Es wurde untersucht, wie der Nervkanal tatsächlich verläuft, wenn sich in der Panoramaschichtaufnahme eine Überlagerung von Zahnwurzeln und Nervkanal zeigt. Zudem wurde überprüft, ob tatsächlich ein direkter Kontakt von Wurzelspitze und Nervus alveolaris inferior vorlag, wie durch die Panoramaschichtaufnahme angenommen wurde.

2.3.6 Analyse der radiologischen Zeichen in Panoramaschichtaufnahmen

In der Literatur sind sieben radiologische Zeichen beschrieben, die den topographischen Bezug zwischen Nervus alveolaris inferior und Wurzelspitze charakterisieren (Rood und Shehab, 1990).

Alle Panoramaschichtaufnahmen wurden systematisch nach dem Vorkommen dieser Zeichen untersucht, von denen sich vier auf die Konfiguration der Wurzel und drei auf den Verlauf des Mandibularkanals beziehen (Abbildung 14).

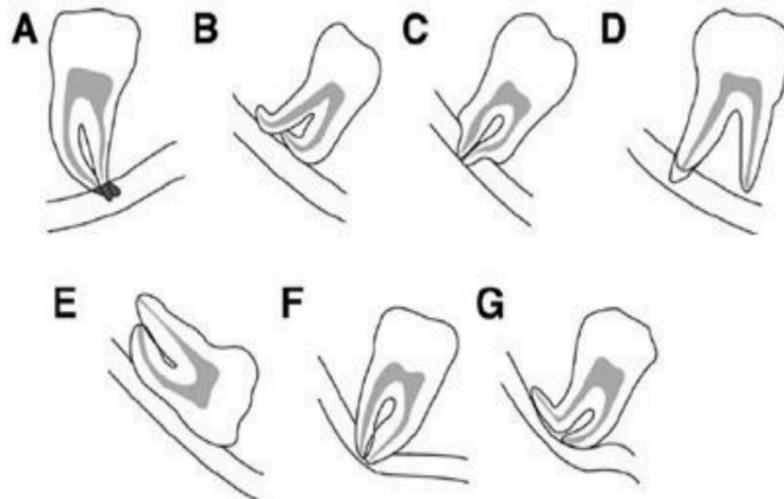


Abbildung 14 Radiologische Zeichen in Panoramaschichtaufnahmen (Kim et al, 2012)

A Darkening of the root	increased radiolucency due to impingement of canal on molar roots
B Deflection of the root	abrupt deviation of molar roots (buccal, lingual, bothsides, around)
C Narrowing of the root	deep grooving or perforation of molar root where canal crosses it
D Dark and bifid root apex	double shadow of periodontal membrane where canal crosses apex
E Interruption of the white line	deep grooving or perforation of molar roots
F Diversion of the MC	upward displacement of MC as it crosses third Molar
G Narrowing of the MC	reduction of diameter of MC as molar roots pass partially or completely around it

Abbildung 15 zeigt ein neues, achtes radiologisches Zeichen, welches ebenfalls auf die enge Lagebeziehung von Wurzelspitze und Nervkanal hinweisen soll. Kapila et al. beschrieben 2014 eine kreisförmige Radioluzenz im Bereich der Wurzelspitze des Molaren als Juxta-apical radiolucent area (JAR) (Kapila et al, 2014a).

In der zugehörigen DVT-Aufnahme wurde anschließend überprüft, ob eine Korrelation zwischen dem Vorkommen der radiologischen Zeichen und der Anlagerung von Wurzelspitze und Nerv vorlag.



Abbildung 15 Juxta-apical radiolucent area (JAR) = kreisförmige Radioluzenz im Bereich der Wurzelspitze (Nascimento et al., 2017)

2.3.7 Analyse der anatomischen Form der Mandibula

Die anatomische Form des Unterkiefers wurde in der koronaren Ansicht der DVT-Aufnahme untersucht, um einen möglichen Zusammenhang der Knochenanatomie mit dem Nervverlauf aufzudecken (Abbildung 16):

Klasse 1 „rund“: bukkal und lingual abgerundete Mandibula

Klasse 2 „lingual extendiert“: knöcherner Extension der Mandibula lingual, bukkal eher flach abfallender Verlauf

Klasse 3 „lingual konkav“: konkave Einziehung lingual, bukkal eher abgerundet

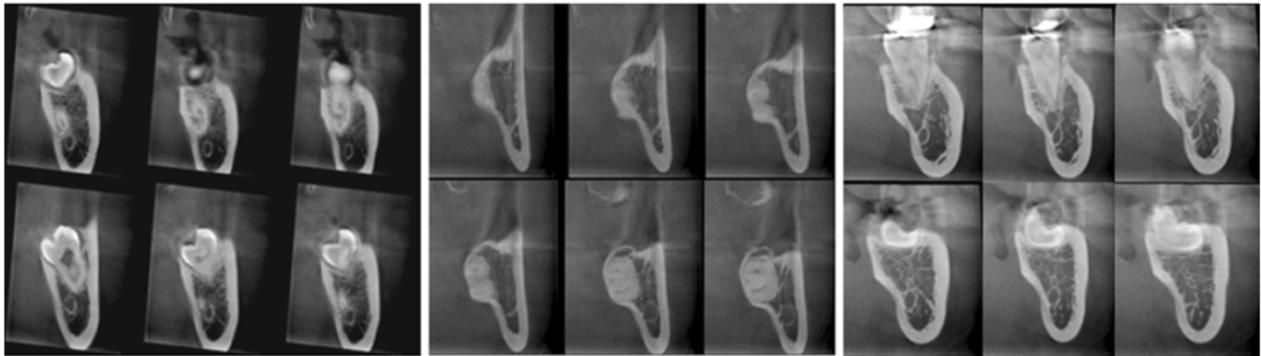


Abbildung 16 Einteilung der Morphologie der Form der Mandibula nach Momin - Klassen 1, 2, 3 von links nach rechts (Momin et al. 2013)

3 Ergebnisse

3.1 Patientenkollektiv

Die mit beiden Röntgenverfahren untersuchten Patienten (n=32) wiesen ein Durchschnittsalter von 38,1 Jahren auf (Mittelwert, MW). Die Standardabweichung (STABWN) betrug 17,05 Jahre. Der Median lag bei 33,0 Jahren und die Altersspanne insgesamt zwischen 15 und 80 Jahren. Abbildung 17 zeigt die Altersverteilung. Die Patienten wurden in Altersgruppen eingeteilt, um ihre Altersstruktur in der alltäglichen zahnärztlichen Chirurgie darzustellen.

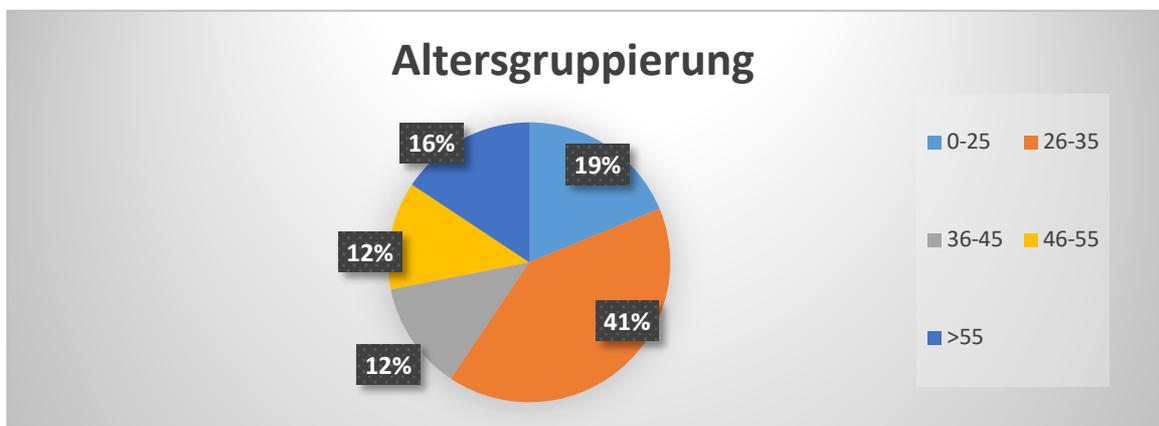


Abbildung 17 Altersverteilung der untersuchten Patientenfälle

Abbildung 18 zeigt die Geschlechterverteilung. Es befanden sich 15 Frauen (47%) und 17 Männer (53%) und in der Untersuchungsgruppe.

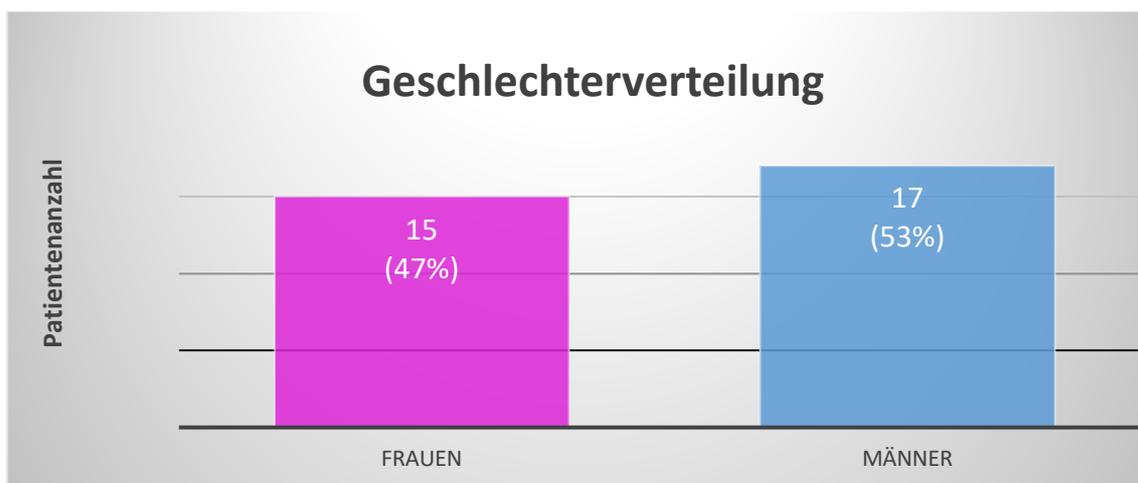


Abbildung 18 Geschlechterverteilung der untersuchten Patientenfälle

Ein breites Altersspektrum sowie eine ausgewogene Verteilung von männlichen und weiblichen Patienten waren gewährleistet. Mit dem t-Test für unabhängige Stichproben wurde überprüft, dass sich die Geschlechter bezüglich ihrer Altersstruktur nicht unterscheiden ($p=0,631$).

Insgesamt wurden 56 retinierte Weisheitszähne (WHZ) in der Studie untersucht. Davon waren 28 Weisheitszähne im Unterkiefer links (Zahn 38) und 28 Weisheitszähne im Unterkiefer rechts (Zahn 48) lokalisiert. Die Gesamtheit der Zähne wurde zusammengefasst und nicht nach rechten und linken Zähnen aufgeteilt und unterschieden.

Die Patienten hatten unterschiedliche Indikationen für die Anfertigung der präoperativen Aufnahmen im kieferchirurgischen Bereich. Es wurden sieben verschiedene Indikationsklassen gebildet, die in der folgenden Tabelle 3 dargestellt sind:

Indikation	Patientenfälle n (%)	Mittleres Alter der Patienten (MW)
Diagnostik vor WHZ-Entfernung	18 (56,3)	29
Planung vor Implantation	5 (15,6)	59
Diagnostik odontogener Tumoren	3 (9,4)	53
Traumatologie	2 (6,3)	25
Zysten	2 (6,3)	40
Diagnostik der Kieferhöhlen	1 (3,1)	59
Andere	1 (3,1)	50
Σ	32 (100)	45

Tabelle 3 Häufigkeiten der Indikationsklassen und mittleres Alter der Patienten

Der Anteil der Patienten, bei denen aufgrund der elektiven operativen Entfernung der Weisheitszähne die Panoramaschicht- und DVT-Aufnahme durchgeführt wurde, war mit 18 Patienten (56,3%) am Höchsten, gefolgt von Implantatinsertionen mit 5 Patienten (15,6%), Diagnoseaufnahmen aufgrund odontogener Tumoren (3 Fälle, 9,4%), Diagnostik von Frakturen (2 Fälle, 6,3%) sowie der Diagnostik von pathologischen Veränderungen im Kieferknochen (2 Fälle, 6,3%). Die weiteren Indikationsklassen sind in Tabelle 3 dargestellt. Ein Zusammenhang von Alter und Indikation konnte mittels einfaktorieller Varianzanalyse bestätigt werden ($p < 0,001$). Während das mittlere Alter bei Aufnahmen vor operativer Entfernung der Zähne bei 29 Jahren lag, betrug das mittlere Alter bei der Indikation „Planung vor Implantation“ 59 Jahre.

3.2 Befunde

3.2.1 Verlagerungsgrad der Weisheitszähne in Panoramaschichtaufnahmen

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse dieser Studie bei der Einteilung der Verlagerungsgrade nach Winter (Winter, 1926). In dieser Studie waren insgesamt 30 Zähne (53,6%) nach mesioangulär verlagert. 16 Zähne (28,5%) waren nach distal anguliert und 9 Zähne (16,1%) standen vertikal im Knochen. Ein Zahn zeigte sich horizontal liegend im Unterkiefer (1,8%).

Verlagerungsgrad der Zähne	n (%)
mesioangulär	30 (53,6)
distoangulär	16 (28,5)
vertikal	9 (16,1)
horizontal	1 (1,8)
Σ	56 (100)

Tabelle 4 Häufigkeiten der Verlagerungsgrade der Zähne

In der dreidimensionalen DVT-Aufnahme wurde überprüft, ob die Zahnwurzeln direkten Kontakt zum Nervus alveolaris inferior zeigten. Es wurde überprüft, ob das kortikale Dach des Mandibularkanals intakt oder durchbrochen war. Bei insgesamt 42 von 56 Zähnen konnte eine Unterbrechung der Kortikalis bestätigt werden (75%) und somit ein direkter Kontakt von Zahnwurzeln und Nervus alveolaris inferior angenommen werden, wie in Tabelle 5 dargestellt ist. Es zeigte sich die Tendenz, dass die nach mesial- und distal- angulierten Zähne häufiger die Kortikalis des Canalis mandibularis durchbrechen als vertikal stehende Zähne, wie in Abbildung 19 dargestellt. Der exakte Test nach Fisher zeigte jedoch, dass es statistisch keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Verlagerungsgrad der Zähne und der Unterbrechung des kortikalen Dachs gibt ($p=0,281$).

Verlagerungsgrad der Zähne		mesial anguliert n (%)	distal anguliert n (%)	vertikal n (%)	horizontal n (%)	Σ
Kortikales Dach des Mandibularkanals unterbrochen ?	Ja	25 (83,3)	11 (68,8)	5 (55,6)	1 (100)	42 (75)
	Nein	5 (16,7)	5 (31,2)	4 (44,4)	0 (0)	14 (25)
Σ		30 (100)	16 (100)	9 (100)	1 (100)	56 (100)

Tabelle 5 Korrelation der Verlagerungsgrade zur Lagebeziehung von Zahn und Nervkanaldach



Abbildung 19 Unterbrechung der kortikalen Lamelle des Mandibularkanals - linguale Verlauf des Nervens in der koronaren Schicht eines Molaren im Unterkiefer links (Jung et al., 2012)

3.2.2 Topografische Lage der Weisheitszähne im Unterkiefer – Level der Impaktion

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse dieser Studie bei der Analyse der anatomischen Platzverhältnisse im Unterkiefer nach Pell und Gregory (Pell, 1933). Begrenzt nach mesial durch den zweiten Molar und nach distal durch den aufsteigenden Ast des Unterkiefers zeigten die meisten Zähne dieser Studie in der Panoramaschichtaufnahme ein eingeschränktes Platzangebot auf dem Alveolarkamm (Moderate impacted, 30 Zähne, 53,6%). Nur 3 Fälle (5,3%) zeigten ein suffizientes Platzangebot für eine mögliche Einstellung der Zahnkrone in der mesio-distalen Dimension des Alveolarkamms (High impacted). 23 Zähne (41,1%) waren fast vollständig in den aufsteigenden Ast der Mandibula verlagert (Low impacted). Die Zähne wurden zudem in ihrer vertikalen Position betrachtet. Am häufigsten waren die Zähne zwischen der Okklusalfäche und der Schmelz-Zement-Grenze des zweiten Molaren lokalisiert (Position B, 40 Zähne, 71,4%).

Durch die Analyse der DVT-Aufnahmen wurde mit dem exakten Test nach Fisher überprüft, ob sich ein Zusammenhang zwischen Impaktionslevel und der kortikalen Unterbrechung des Mandibularkanals besteht. Es bestätigte sich signifikant, dass der Grad der Impaktion mit einer Anlagerung von Zahnwurzel und Nerv in Zusammenhang steht ($p=0,013$). Die detaillierten Ergebnisse in Tabelle 6 zeigen, je tiefer ein Zahn impaktiert war, desto höher war auch die Anzahl der Fälle, bei denen sich ein direkter Kontakt mit dem Nervus alveolaris inferior bestätigte.

Topografie		Kontakt Zahnapex/Nerv		n (%)
		Ja	Nein	
suffizientes Platzangebot „High impacted“	Position A Krone auf Okklusalebene 7er	0	2	3 (5,3)
	Position B Krone zwischen Okklusalebene und Schmelz- Zement-Grenze	1	0	
eingeschränktes Platzangebot „Moderate impacted“	Position A Krone auf Okklusalebene 7er	6	1	30 (53,6)
	Position B Krone zwischen Okklusalebene und Schmelz- Zement-Grenze	18	4	
	Position C Krone unterhalb Schmelz- Zement-Grenze 7er	1	0	
insuffizientes Platzangebot „Low impacted“	Position B Krone zwischen Okklusalebene und Schmelz- Zement-Grenze	13	4	23 (41,1)
	Position C Krone unterhalb Schmelz- Zement-Grenze 7er	6	0	
Σ		45	11	56 (100)

Tabelle 6 Häufigkeitsverteilung der Impaktionslevel

3.2.3 Topographische Lagebeziehung zwischen Zahnwurzeln und Mandibularkanal – Anlagerung von Wurzelspitzen und Nervkanal in PSA- und DVT-Aufnahmen

Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse der unter 2.3.3 dargestellten Einteilung der Zähne in drei Risikoklassen in den Panoramaschicht- und DVT-Aufnahmen. In den Panoramaschichtaufnahmen muss bei 36 der 56 Zähne (64,3%) ein Kontakt von Zahnwurzeln und Nervkanal angenommen werden (High Risk-Gruppe). In 13 Fällen (23,2%) war ein Nervkontakt möglich (Moderate Risk-Gruppe) und in lediglich 7 Fällen (12,5%) konnte die Anlagerung von Wurzelspitze und Nerv eher ausgeschlossen werden (Low Risk-Gruppe).

Topografie	PSA n (%)	DVT n (%)	Diskordanz	p
High Risk Nervkontakt anzunehmen	36 (64,3)	42 (75)	6/36	0,22
Moderate Risk Nervkontakt möglich	13 (23,2)	5 (8,9)	8/13	0,039
Low Risk Nervkontakt eher auszuschließen	7 (12,5)	9 (16,1)	2/7	0,59
Σ	56 (100)	56 (100)	16/56	

Tabelle 7 Häufigkeiten der topografischen Einteilung der Zähne in PSA und DVT-Aufnahmen

In der dreidimensionalen Analyse der DVT-Aufnahmen bestätigte sich in insgesamt 42 Fällen (75%) der direkte Kontakt von Zahnwurzel und Nervkanal mit deutlicher Unterbrechung der kortikalen Begrenzung des Dachs des Mandibularkanals. In 5 Fällen (8,9%) gab es lediglich einen Berührungspunkt der Wurzelspitzen an das intakte Kanaldach, in 9 Fällen (16,1%) fand sich kein Hinweis auf eine Anlagerung.

Beide Untersuchungstechniken zeigten eine gute Übereinstimmung in der Untersuchung der Lagebeziehung von Nerv und Zahnwurzeln. Sowohl in der High Risk-Gruppe als auch in der Low Risk-Gruppe konnten bei beiden Untersuchungsarten ähnliche Ergebnisse festgestellt werden. Die beiden Ergebnisse waren statistisch nicht signifikant ($p=0,22$) und ($p=0,59$). In der Gruppe Moderate Risk konnte man im DVT signifikant häufiger den direkten Nervkontakt von Wurzelspitze und Mandibularkanaldach nachweisen, als sich in der Panoramaschichtaufnahme vermutet ließ ($p=0,039$). In sechs Fällen wurde der

direkte Kontakt mit einer Unterbrechung des Mandibularkanaldachs im DVT bestätigt. Daher wurden diese Fälle in die High Risk-Gruppe hochgestuft. In zwei Fällen zeigte das DVT sogar einen größeren Abstand zwischen Zahnwurzel und Nervkanaldach als die Panoramaschichtaufnahmen suggerierten. Diese wurden daher in die Low Risk-Gruppe abgestuft. In insgesamt 16 von 56 Fällen konnte eine Abweichung bei der Risikoanalyse des Nervverlaufs zwischen PSA und DVT-Aufnahmen aufgezeigt werden. Mit 8 von 13 Fällen war diese in der Moderate-Risk-Gruppe am höchsten.

3.2.4 Topographische Lagebeziehung zwischen Zahnwurzeln und Mandibularkanal – anatomischer Verlauf des Nervs in DVT-Aufnahmen

Die Untersuchungen der DVT-Aufnahmen ergaben, dass der Nervus alveolaris inferior in 25 Fällen lingual des Weisheitszahns verlief (44,6%). Bei dieser Gruppe zeigte sich in 24 Fällen eine Unterbrechung des kortikalen Dachs des Kanals (96%). In 17 Fällen verlief der Nerv apikal des Zahns (30,4%). Bei dieser Gruppe zeigte sich die Unterbrechung des Mandibularkanals in 14 Fällen (82,4%). In 12 Fällen verlief der Nervus alveolaris inferior bukkal des Weisheitszahns (21,4%). 9 Zähne dieser Gruppe (75%) zeigten zudem eine Unterbrechung des kortikalen Dachs des Mandibularkanals. In 2 Fällen verlief der Nerv interradiikulär (3,6%). Beide Fälle zeigten ebenfalls die Unterbrechung der Kortikalis des Nervkanals. Insgesamt zeigten 49 der 56 Zähne dieser Studie (87,5%) eine Unterbrechung der Kortikalis und ließen auf eine direkte Anlagerung von Wurzelspitzen und Nerv schließen (Tabelle 8).

Verlauf des Mandibularkanals	Kortikales Dach des MK unterbrochen?		Σ
	Ja n (%)	Nein n (%)	
lingual	24 (48,9)	1 (14,3)	25 (44,6)
apikal	14 (28,6)	3 (42,9)	17 (30,4)
bukkal	9 (18,4)	3 (42,9)	12 (21,4)
interradiikulär	2 (4,1)	0 (0)	2 (3,6)
Σ	49 (87,5)	7 (12,5)	56 (100)

Tabelle 8 Verlauf des Mandibularkanals in den DVT-Aufnahmen - Untersuchung der Unterbrechung des kortikalen Dachs durch die Zahnwurzeln

3.2.5 Analyse der Überlagerung von Zahnwurzeln und Mandibularkanal in Panoramaschichtaufnahmen in Bezug zum anatomischen Nervverlauf in DVT-Aufnahmen

Die folgende Tabelle 9 zeigt den Verlauf des Nervkanals in den DVT-Aufnahmen im Bezug zu den drei Risikoklassifikationen der zweidimensionalen Aufnahmen.

Verlauf MK DVT	Kortikales Dach des MK unterbrochen	PSA High Risk n (%)	PSA Moderate Risk n (%)	PSA Low Risk n (%)	Σ
lingual	ja	15 (41,7)	5 (38,5)	4 (57,1)	24 (42,9)
	nein	0 (0)	0 (0)	1 (14,3)	1 (1,8)
apikal	ja	10 (27,8)	4 (30,8)	0 (0)	14 (25)
	nein	1 (2,8)	0 (0)	2 (28,6)	3 (5,4)
bukkal	ja	6 (16,7)	3 (23,1)	0 (0)	9 (16,1)
	nein	2 (5,6)	1 (7,7)	0 (0)	3 (5,4)
interradikulär	ja	2 (5,6)	0 (0)	0 (0)	2 (3,6)
	nein	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Σ		36 (64,3)	13 (23,2)	7 (12,5)	56 (100)

Tabelle 9 Korrelation der Überlagerung von Wurzeln und Mandibularkanal in PSA im Bezug zum anatomischen Nervverlauf in DVT-Aufnahmen

In 15 Fällen der 36 High Risk-Fälle, bei der die Wurzeln des Zahns in der Panoramaschichtaufnahme auf das Mandibularkanaldach projiziert sind, verlief der Nervus alveolaris inferior lingual (41,7%), in 11 Fällen apikal (30,6%), in acht Fällen bukkal (22,3%) und in zwei Fällen zeigte sich der Nerv interradikulär (5,6%). 33 der 36 Fälle (91,7%) dieser Gruppe zeigten im DVT die Unterbrechung der oberen kortikalen Grenze des Mandibularkanals sowie ein geringerer Durchmesser des Mandibularkanals.

In fünf der 13 Moderate Risk-Fälle, bei der die Zahnwurzeln in der Panoramaschichtaufnahme das Mandibularkanaldach touchiert, verlief der Nervus alveolaris inferior lingual (38,5%). In je vier Fällen apikal (30,8%) und bukkal (30,8%). In 12 der 13 Fälle (92,3%) der Moderate Risk-Gruppe zeigte die DVT-Aufnahme die

Unterbrechung der oberen kortikalen Grenze des Mandibularkanals sowie einen geringeren Durchmesser des Mandibularkanals.

In fünf der sieben Fälle der Low Risk-Gruppe, bei der sich kein Kontakt von Wurzelspitzen und Nervkanal in der Panoramaschichtaufnahme zeigte, verlief der Nervus alveolaris inferior lingual (71,4%), in zwei Fällen apikal (28,6%). Trotz deutlichem Abstand zwischen Mandibularkanaldach und Wurzelspitze in der Panoramaschichtaufnahme zeigte sich auch hier bei vier der sieben Fälle (57,1%) der Low Risk-Gruppe im DVT eine Unterbrechung der oberen kortikalen Grenze des Mandibularkanals.

3.2.6 Analyse der radiologischen Zeichen in Panoramaschichtaufnahmen

Insgesamt waren bei 31 von 56 Zähnen (55,4%) radiologische Zeichen zu beobachten. Da das Vorkommen von mehr als einem Zeichen pro Fall möglich war, sind Mehrfachnennungen aufgeführt. Eine nicht intakte kortikale Lamelle (interruption of the white line) des Mandibularkanals war mit 29 Fällen das häufigste Hinweiszeichen auf den Panoramaschichtaufnahmen. Die weiteren Zeichen konnten nur auf wenigen Aufnahmen beobachtet werden.

radiologisches Zeichen	Kontakt Nerv / Zahn		Σ
	Ja	Nein	
interruption of the white line	27	2	29
darkening of the root	3	0	3
diversion of the MC	2	0	2
narrowing of the MC	2	1	3
deflection of the root	1	0	1
narrowing of the root	1	0	1
dark and bifid root apex	1	0	1
juxta-apical radiolucent area	0	0	0
Σ	37	3	40

Tabelle 10 Häufigkeiten der radiologischen Zeichen und ihr Bezug zum Nervkontakt

Der Zusammenhang der radiologischen Zeichen mit dem Kontakt von Nerv und Zahnwurzeln ist in Tabelle 10 zusammengefasst. Durch die Analyse der DVT-Aufnahmen wurde mit dem exakten Test nach Fisher überprüft, ob sich ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von radiologischen Zeichen in Panoramaschichtaufnahmen und dem tatsächlichen Kontakt von Zahnwurzel und Nerv in den DVT-Aufnahmen zeigen lässt. Es bestätigte sich signifikant, dass die Unterbrechung des kortikalen Dachs (Interruption of the white line) mit einer Anlagerung von Zahnwurzel und Nerv in Zusammenhang steht ($p=0,002$). Für die anderen untersuchten radiologischen Zeichen konnte der Zusammenhang rechnerisch nicht bestätigt werden.

3.2.7 Analyse der anatomischen Form der Mandibula

Verlauf Nerv	Form des Unterkiefers			Σ
	rund n (%)	lingual extendiert n (%)	lingual konkav n (%)	
bukkal	2 (8,3)	0 (0)	10 (32,3)	12 (21,4)
lingual	7 (29,2)	0 (0)	16 (51,6)	23 (41)
interradikulär	1 (4,2)	0 (0)	1 (3,2)	2 (3,5)
apikal	14 (58,3)	1 (1,8)	4 (12,9)	19 (33,9)
Σ	24 (42,9)	1 (1,8)	31 (55,4)	56 (100)

Tabelle 11 Häufigkeiten der Unterkieferformen im Bezug zum Nervverlauf

Tabelle 11 zeigt den Zusammenhang zwischen der Form des Unterkiefers und dem Verlauf des Nervus alveolaris inferior. Eine rundliche Form des Unterkiefers stellte sich in der koronaren Schicht der dreidimensionalen Aufnahme in 42,9% der untersuchten Fälle dar. Die nach lingual konkave Form in 55,4% der Fälle. Lediglich ein Fall (1,8%) zeigte die Mandibula nach lingual extendiert (Tabelle 11).

Mit dem exakten Test nach Fisher konnte signifikant bestätigt werden, dass der Verlauf des Nervs von der Form der Mandibula abhängig ist ($p=0,002$). Zeigte sich der Unterkiefer in der koronaren Schicht eher rundlich, so verlief der Nervus alveolaris inferior in 14 Fällen (58,3%) apikal der Zahnwurzeln. Zeigte sich die Mandibula lingual konkav, so verlief in 16 Fällen (51,6%) auch der Nervus alveolaris inferior lingual.

3.3 Fallbeispiele

Die einzelnen Risikoklassifikationen aus 2.3.3 werden anhand von Fallbeispielen auf Panoramaschicht- und DVT- Aufnahmen vergleichend beschrieben.

3.3.1 Fallbeispiel High Risk

- Patient A.A., 27 Jahre, Zahn 38,
- Aufnahmeindikation: Diagnostik vor WHZ-Entfernung

Die Panoramaschichtaufnahme zeigt einen teilretinierten und verlagerten Zahn 38 (Abbildung 20). Nach der Klassifikation von Winter entsprach dies einer distoangulären Verlagerung. Zudem wurde er nach der Klassifikation von Pell und Gregory als „moderate impacted“ eingestuft. Die Krone des Zahns lag zwischen der Okklusalebene und der Schmelz-Zement Grenze des 12-Jahres-Molaren. Der Apex konnte in der Aufnahme nicht klar und deutlich dargestellt werden, zwei Zahnwurzeln konnten aber identifiziert werden. Der Überlagerungsgrad von Zahnwurzeln und Nervkanal wurde in die High Risk-Gruppe eingestuft, da die Zahnwurzeln den Mandibularkanal um mehr als die Hälfte überlagerten. Der direkte Kontakt von Wurzeln und Mandibularkanal war anzunehmen.



Abbildung 20 Panoramaschichtaufnahme High Risk – Überlagerung von Zahn 38 mit dem Mandibularkanal

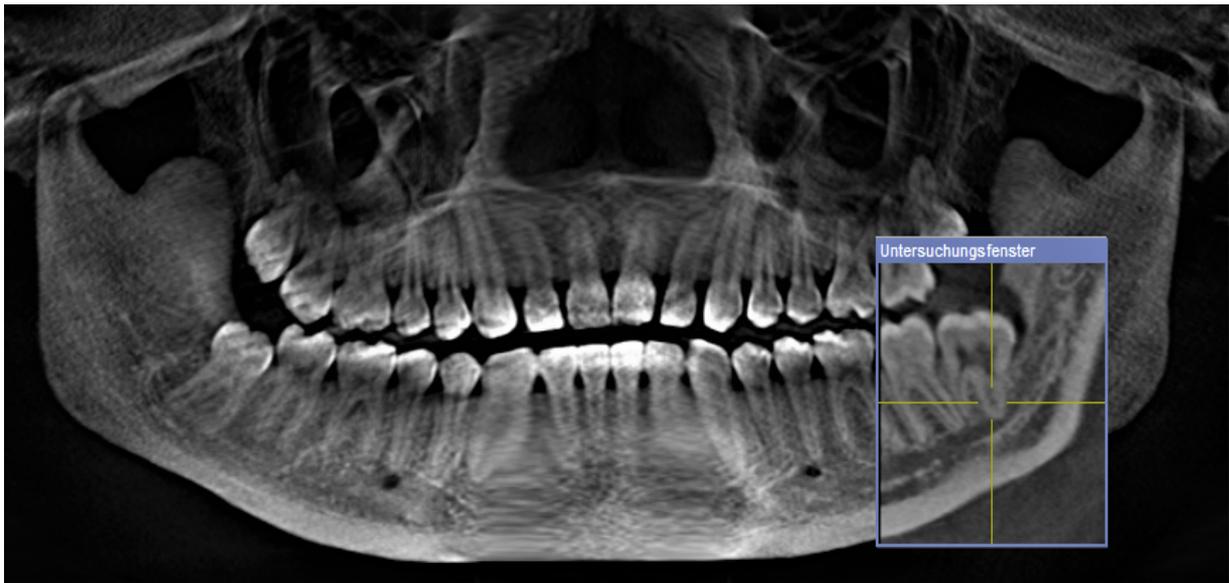


Abbildung 21 Risikoklasse A Panoramaansicht mit Untersuchungsfenster regio 38 – klare Darstellung der Apices, Wurzelanzahl deutlich

In der zugehörigen DVT-Aufnahme zeigte sich in der dreidimensionalen Analyse der Apex klar und deutlich (Abbildung 21). Das Vorhandensein von zwei Wurzeln wurde bestätigt. Der Nervus alveolaris inferior verlief lingual, zudem zeigte sich die kortikale Lamelle unterbrochen (Abbildungen 22, 23). Die dreidimensionale Aufnahme bestätigte somit die Annahme der Panoramiaschichtaufnahme, dass eine direkte Anlagerung von Nerv und Zahn apex vorlag (Abbildungen 23, 24). Die Mandibula war bukkal und lingual deutlich abgerundet. Dies entsprach der Klasse I (Abbildung 23).

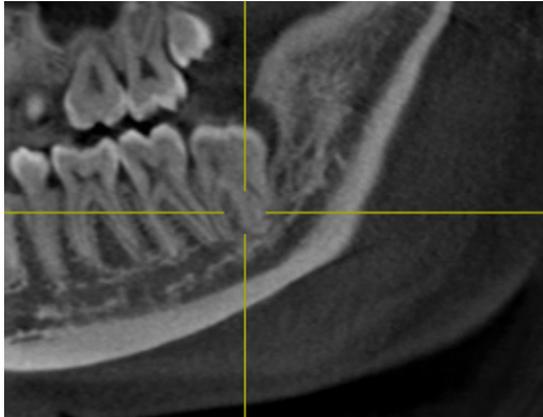


Abbildung 22 Risikoklasse A - longitudinale Ansicht
Zahn 38, Nervverlauf lingual, kortikale Kanallamelle
nicht intakt



Abbildung 23 Risikoklasse A - transversale Ansicht
Zahn 38, Nervverlauf lingual, kortikale Kanallamelle
nicht intakt, Mandibula-Klasse I

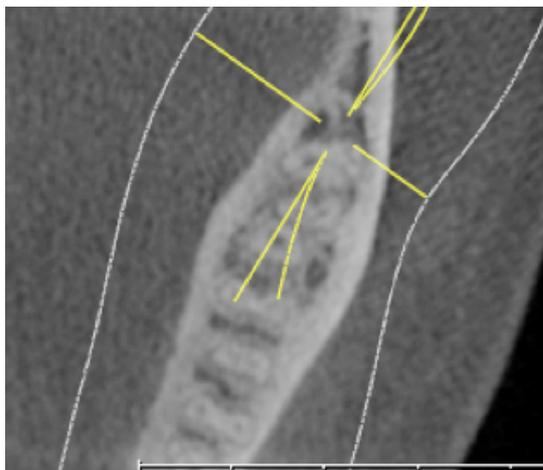


Abbildung 24 Risikoklasse A - axiale Ansicht
Zahn 38, kortikale Lamelle nicht intakt

3.3.2 Fallbeispiel Moderate Risk

- Patient A.D., 23 Jahre, Zahn 38
- Aufnahmeindikation: Traumatologie

Die Panoramaschichtaufnahme zeigt einen teilretinierten und verlagerten Zahn 38 (Abbildung 25). Nach der Klassifikation von Winter entsprach dies einer mesioangulären Verlagerung. Zudem wurde er nach der Klassifikation von Pell und Gregory als „moderate impacted“ eingestuft. Die Krone des Zahns lag auf Höhe der Okklusalebene des 12-Jahres-Molaren. Der Apex konnte in der Aufnahme klar und deutlich dargestellt werden, zwei Zahnwurzeln konnten identifiziert werden. Der Überlagerungsgrad von Zahnwurzeln und Nervkanal wurde in die Moderate Risk-Gruppe eingestuft, da der Mandibularkanal einen tangentialen Verlauf zu den Zahnwurzeln zeigte. Der direkte Kontakt von Wurzeln und Mandibularkanal war als „möglich“ einzustufen.

In der zugehörigen DVT-Aufnahme zeigte sich in der dreidimensionalen Analyse der Apex klar und deutlich (Abbildung 26). Das Vorhandensein von zwei Wurzeln wurde bestätigt. Der Nervus alveolaris inferior verlief lingual, zudem zeigte sich die kortikale Lamelle unterbrochen (Abbildungen 27, 28, 29). Die dreidimensionale Aufnahme bestätigte einen direkten Nervkontakt. Die Mandibula war bukkal und lingual deutlich abgerundet. Dies entsprach der Klasse I (Abbildung 28).



Abbildung 25 Panoramaschichtaufnahme Moderate Risk – Zahn 38 zeigt tangentialen Verlauf von Wurzelspitzen und Mandibularkanaldach

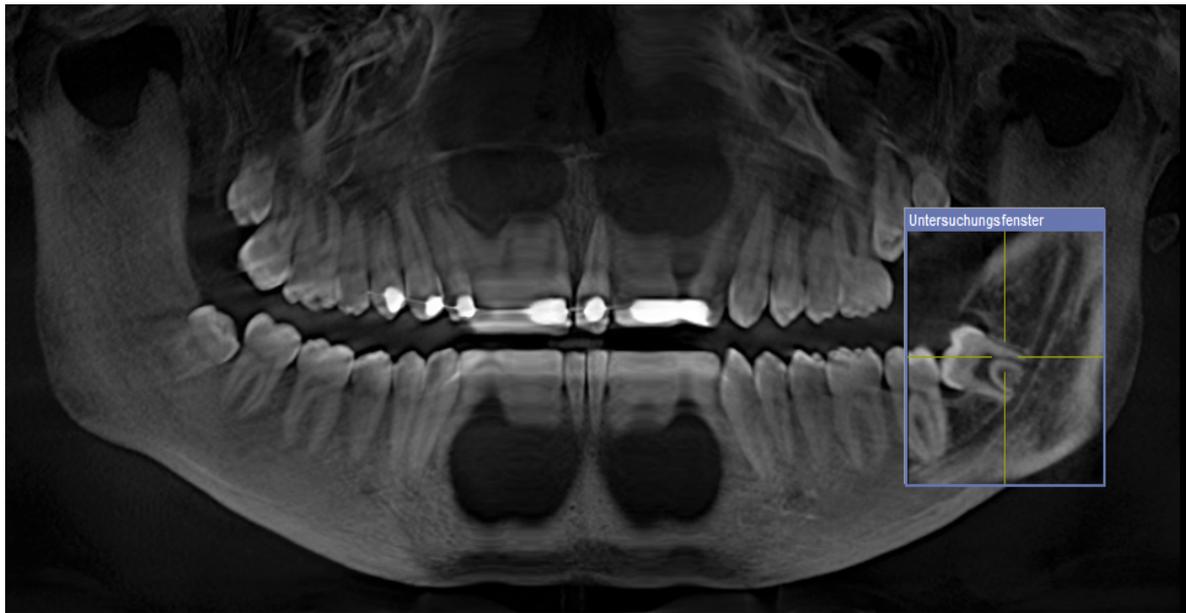


Abbildung 26 Risikoklasse B Panoramaansicht mit Untersuchungsfenster regio 38 – klare Darstellung der Apices, Wurzelanzahl deutlich

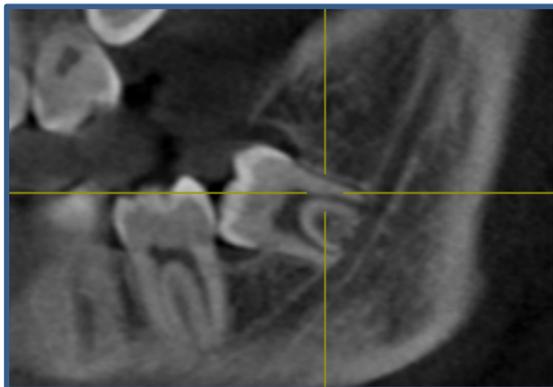


Abbildung 27 Risikoklasse B - longitudinale Ansicht Zahn 38, kortikale Kanallamelle nicht intakt

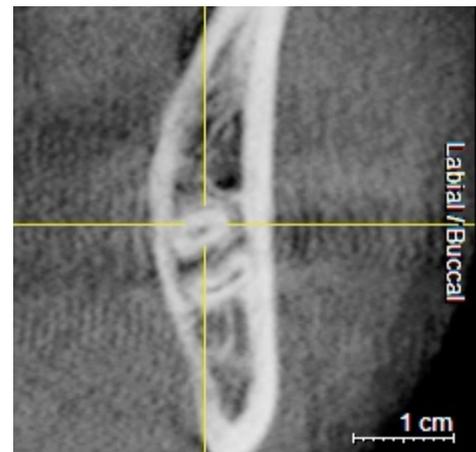


Abbildung 28 Risikoklasse B - transversale Ansicht Zahn 38, Nervverlauf lingual, kortikale Kanallamelle durchbrochen, Mandibulaklasse I

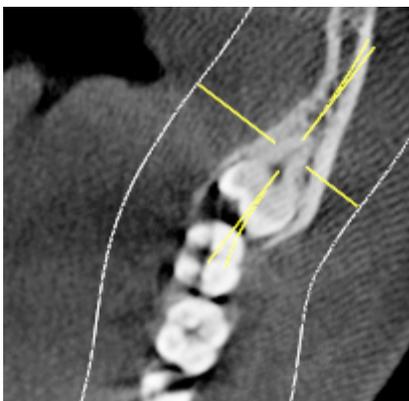


Abbildung 29 Risikoklasse B - axiale Ansicht Zahn 38, kortikale Kanallamelle nicht intakt

3.3.3 Fallbeispiel Low Risk

- Patient L.H., 40 Jahre, Zahn 48
- Aufnahmeindikation: Diagnostik vor WHZ-Entfernung

Die Panoramaschichtaufnahme zeigt einen teilretinierten und verlagerten Zahn 48 (Abbildung 30). Nach der Klassifikation von Winter entsprach dies einer distoangulären Verlagerung. Zudem wurde er nach der Klassifikation von Pell und Gregory als „moderate impacted“ eingestuft. Die Krone des Zahns lag auf Höhe der Okklusalebene des 12-Jahres-Molaren. Der Apex konnte in der Aufnahme klar und deutlich dargestellt werden, die exakte Anzahl der Zahnwurzeln konnten nicht identifiziert werden. Der Überlagerungsgrad von Zahnwurzeln und Nervkanal wurde in die Low Risk-Gruppe eingestuft, da der Mandibularkanal keinen direkten Kontakt zu den Zahnwurzeln zeigte. Der direkte Nervkontakt konnte hier eher ausgeschlossen werden.

In der zugehörigen DVT-Aufnahme zeigte sich der Apex in der dreidimensionalen Analyse klar und deutlich (Abbildung 31). Es konnten drei Wurzelspitzen dargestellt werden (Abbildung 34). Der Nervus alveolaris inferior verlief apikal, die kortikale Lamelle war intakt (Abbildung 33). Der Nervkanal zeigte einen Abstand von mehr als 2 mm zu den Zahnwurzeln (Abbildung 32). Die Mandibula war lingual konkav. Dies entsprach der Klasse III (Abbildung 33).

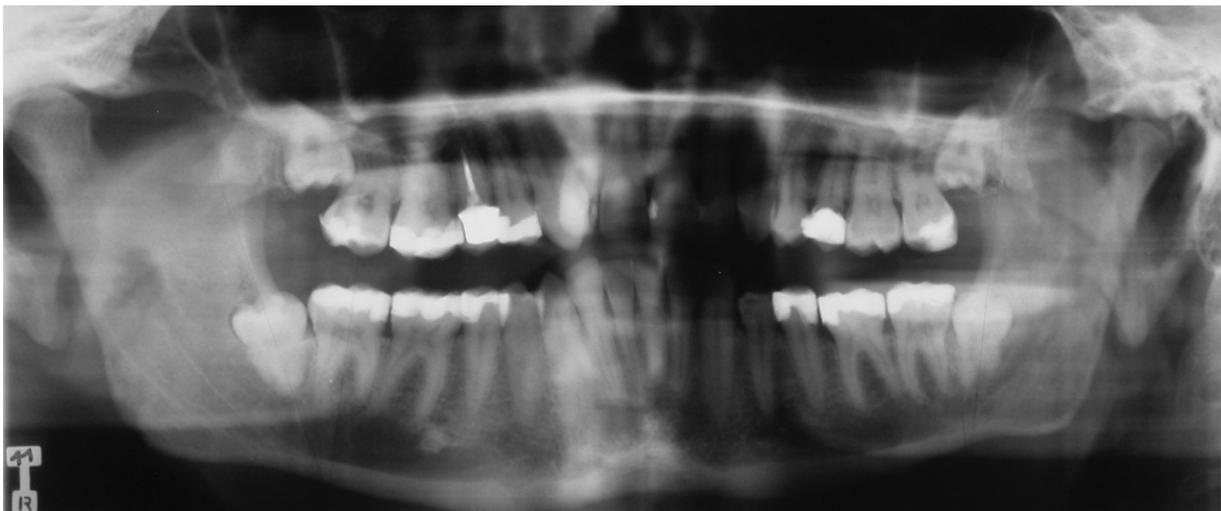


Abbildung 30 Panoramaschichtaufnahme Low Risk – Zahn 48 zeigt deutlichen Abstand zwischen Zahnwurzeln und Mandibularkanal

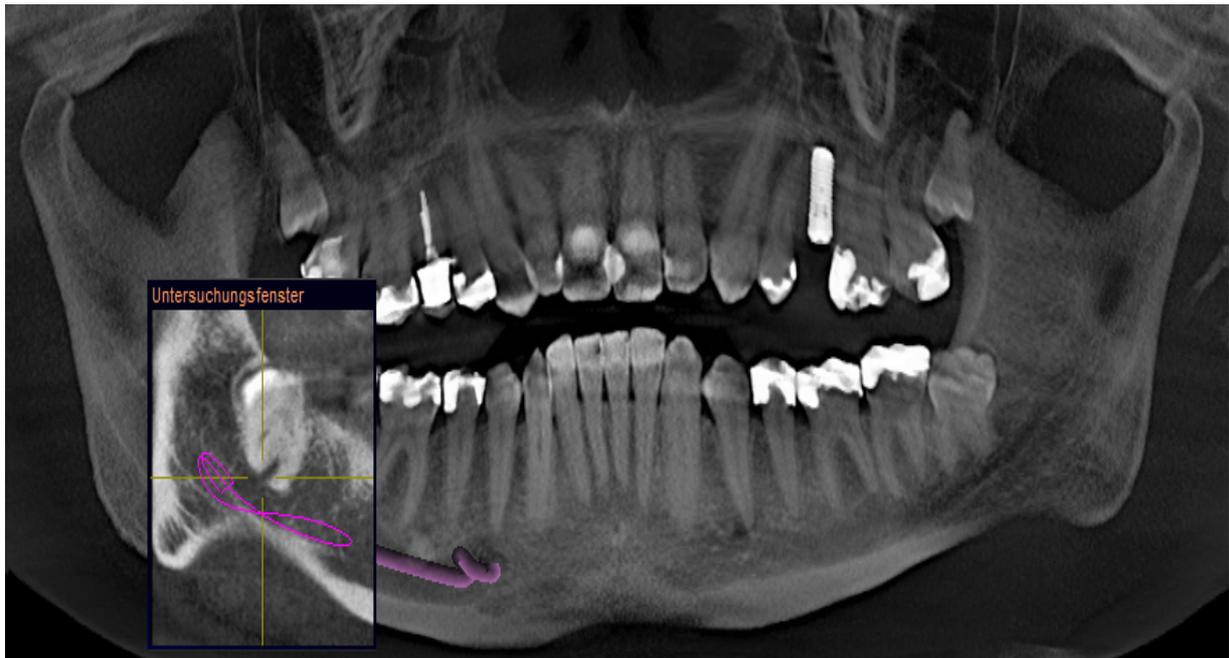


Abbildung 31 Risikoklasse C Panoramaansicht mit Untersuchungsfenster regio 48 - klare Darstellung der Apices

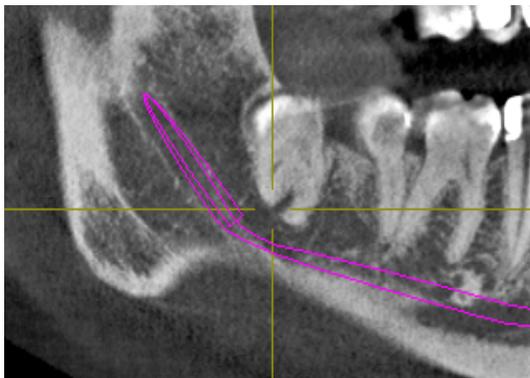


Abbildung 32 Risikoklasse C - longitudinale Ansicht Zahn 48, Abstand von Wurzelspitzen und Mandibularkanal >2mm



Abbildung 33 Risikoklasse C - transversale Ansicht Zahn 48, Nervverlauf apikal, Mandibulaklasse III



Abbildung 34 Risikoklasse C - axiale Ansicht Zahn 48, drei Wurzelspitzen sichtbar, kein Kontakt zwischen Wurzeln und Nervkanal

3.3.4 Sonderfall Low Risk

- Patient: A.K., 34 Jahre, Zahn 38,
- Aufnahmeindikation: odontogene Zysten

Die Panoramaschichtaufnahme zeigt einen teilretinierten und verlagerten Zahn 38 (Abbildung 35). Nach der Klassifikation von Winter entsprach dies einer mesioangulären Verlagerung. Zudem wurde er nach der Klassifikation von Pell und Gregory als „moderate impacted“ eingestuft. Die Zahnkrone liegt zwischen der Okklusalebene und der Schmelz-Zement Grenze. Der Apex konnte in der Aufnahme nicht klar und deutlich dargestellt werden, es konnten jedoch zwei Wurzeln identifiziert werden. Der Überlagerungsgrad von Zahnwurzeln und Nervkanal wurde in die Low Risk-Gruppe eingestuft, da der Mandibularkanal keinen direkten Kontakt zur den Zahnwurzeln zeigte. Der direkte Nervkontakt konnte hier eher ausgeschlossen werden.

In der zugehörigen DVT-Aufnahme zeigte sich der Apex in der dreidimensionalen Analyse ebenfalls undeutlich (Abbildung 36). Es konnten zwei Zahnwurzeln bestätigt werden. Der Nervus alveolaris inferior verlief lingual, die kortikale Lamelle war unterbrochen (Abbildung 37, 38, 39). Der Nervkanal zeigte einen direkten Kontakt zu den Zahnwurzeln. Der Fall musste durch die dreidimensionale Analyse von der Low Risk-Gruppe in die High Risk-Gruppe hochgestuft werden. Die Mandibula war bukkal und lingual deutlich abgerundet. Dies entsprach der Klasse I (Abbildung 38).



Abbildung 35 Sonderfall Risikoklasse C Panoramaschichtaufnahme Low Risk - Zahn 38 zeigt deutlichen Abstand zwischen Zahnwurzeln und Mandibularkanal

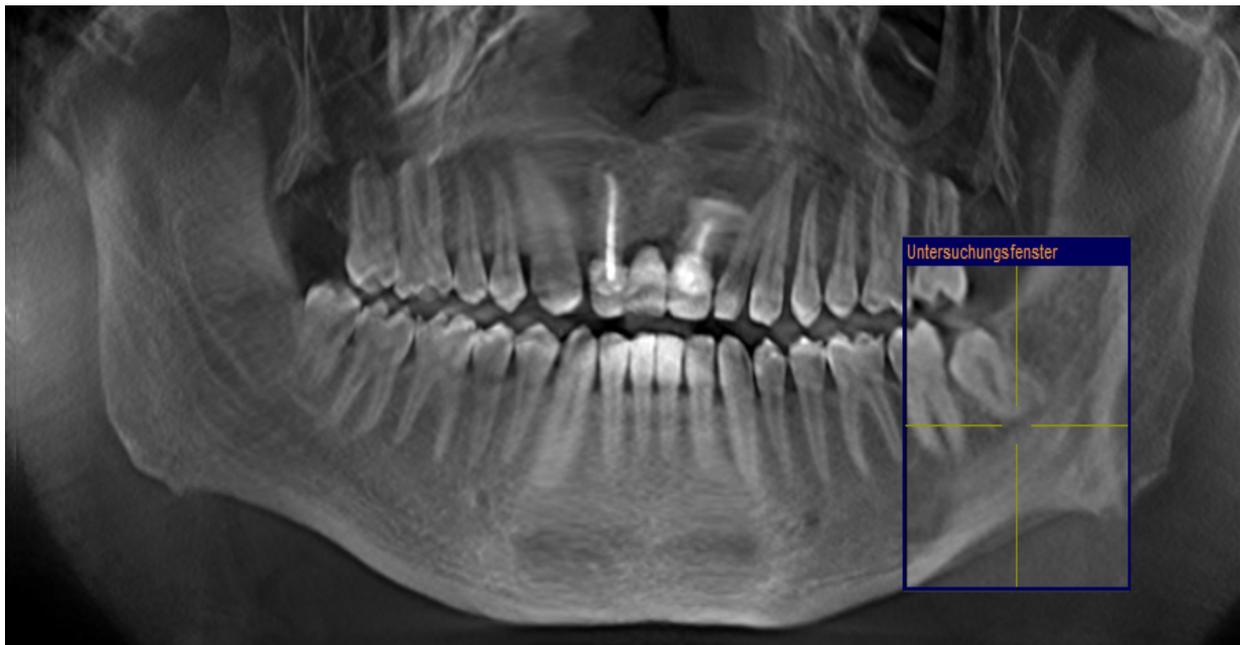


Abbildung 36 Sonderfall Risikoklasse C Panoramaansicht mit Untersuchungsfenster regio 38 – klare Darstellung der Apices

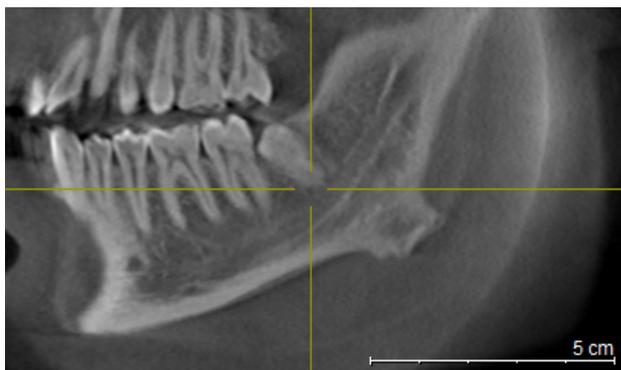


Abbildung 37 Sonderfall Risikoklasse C - longitudinale Ansicht Zahn 38, kortikale Kanallamelle nicht intakt

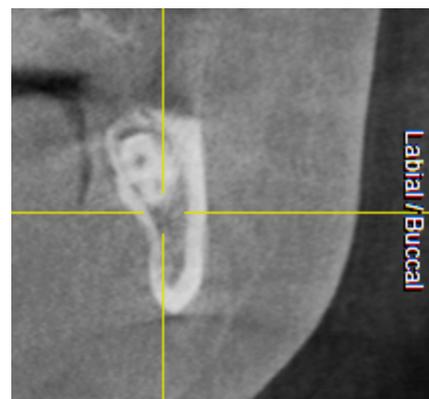


Abbildung 38 Sonderfall Risikoklasse C - transversale Ansicht, Zahn 38, Nervverlauf lingual, kortikale Kanallamelle nicht intakt, Mandibulaklasse I

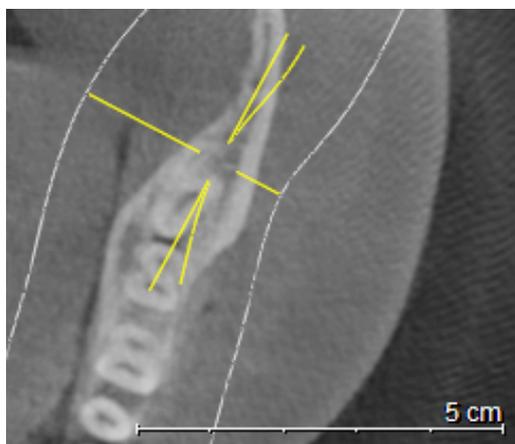


Abbildung 39 Sonderfall Risikoklasse C - axiale Ansicht, Zahn 38, direkter Kontrakt von Wurzel und Nerv

4 Diskussion

4.1 Verlagerungsgrad der Weisheitszähne in Panoramaschichtaufnahmen

In der vorliegenden Studie waren die Weisheitszähne in 53,6% der Fälle nach mesial verlagert. Mit 28,5% der Fälle war die distale Verlagerung die zweithäufigste Position der Zähne, gefolgt von vertikaler und horizontaler Verlagerung. In den Studien von Momin et al. und Tantanapornkul et al. zeigte sich die horizontale Verlagerung der Zähne am häufigsten. Die vertikale Verlagerung kam am wenigsten vor (Momin et al., 2013; Tantanapornkul et al., 2007). Die Unterschiede sind wohl auf die jeweilige Anzahl der Studienfälle zurück zu führen. Die genannten Studien differenzieren zudem nicht in mesial- und distal- verlagerte Zähne, sondern fassen diese in eine Gruppe als „anguliert“ zusammen.

Die vorliegende Arbeit zeigt die Tendenz, dass mesial oder distal verlagerte Zähne, in der Analyse der DVT-Aufnahmen häufiger eine direkte Anlagerung von Wurzelspitzen und Nervus alveolaris inferior aufweisen, als vertikal stehende Zähne. In 83,3% der mesial verlagerten Zähne und in 68,8% der distal verlagerten Zähne war die Kortikalis des Mandibularkanals unterbrochen. Dies deckt sich teilweise mit den Ergebnissen der aktuellen Studie von Chen et al.. Aufgrund der höheren Fallzahl ermittelten die Autoren das größte Risiko für eine direkte Anlagerung von Wurzelspitzen und Nerv bei horizontal verlagerten Zähnen (Chen et al., 2018). Dabei stimmt jedoch mit unseren Ergebnissen überein, dass vertikal verlagerte Zähne das geringste Risiko für eine Gefährdung des Nervs zeigen. Dennoch bestätigte sich in unserer Studie die direkte Anlagerung von Nerv und Zahnwurzel in der DVT-Aufnahme bei insgesamt 75% der untersuchten Zähne, obwohl kein signifikanter Zusammenhang von Verlagerungsgrad und direkter Nervanlagerung festgestellt werden konnte. Bei der operativen Entfernung der Weisheitszähne kann die Kenntnis des Verlagerungsgrads zur Vermeidung einer Nervverletzung beitragen. So kann durch die Auswahl des passenden Instruments sowie durch die Festlegung der optimalen Luxationsrichtung des Zahns aus der Alveole eine übermäßige Kompression des Nervs vermieden werden.

4.2 Topografische Lage der Weisheitszähne im Unterkiefer – Level der Impaktion

Diese Studie zeigt, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Level der Impaktion und der kortikalen Unterbrechung des Mandibularkanaldachs besteht ($p=0,013$). Je tiefer ein Zahn vertikal verlagert war, desto häufiger konnte in der DVT-Aufnahme eine direkte Anlagerung von Zahnwurzel und Nerv bestätigt werden. Andere Studien unterstützen diese Ergebnisse und betonen, dass die Tiefe der Impaktion mit einer höheren Wahrscheinlichkeit der direkten Anlagerung von Wurzelspitzen und Nerv einhergeht (Chen et al., 2018). Zudem besteht wohl ein Zusammenhang des Impaktionslevels und dem Anstieg des Vorkommens von radiologischen Zeichen in den Panoramaschichtaufnahmen (Rodriguez et al., 2017).

Haßfeld kommentiert in seiner Übersichtsarbeit zum Einsatz der DVT-Diagnostik, dass vor allem bei tief verlagerten Weisheitszähnen die dreidimensionale Bildgebung zu empfehlen sei. Es fehle aber eine klare Differenzialindikation, für welche Art der Verlagerung die DVT-Aufnahme klinisch relevante Informationen zusätzlich bereitstelle (Haßfeld, 2018).

4.3 Topographische Lagebeziehung zwischen Zahnwurzeln und Mandibularkanal - Überlagerung auf Panoramaschichtaufnahmen

In der vorliegenden Studie fand sich auf den Panoramaschichtaufnahmen in 64,3% der Fälle eine Überlagerung von Wurzelspitzen und Nervkanal (High Risk-Gruppe). In 23,2% der Fälle (Moderate Risk-Gruppe) berührten die Wurzelspitzen die obere Linie des Mandibularkanals und in 12,5 % (Low Risk-Gruppe) der Fälle war ein deutlicher Abstand zwischen Wurzel und Nervkanaldach feststellbar. Insgesamt zeigten beide Aufnahmetechniken gute Ergebnisse bei der Untersuchung der Lagebeziehungen in der High Risk- und Low Risk-Gruppe ($p=0,22$ und $p=0,59$).

In insgesamt 16 von 56 Fällen zeigte sich in unserer Studie eine Abweichung bei der Risikoanalyse zwischen Panoramaschicht- und DVT-Aufnahmen. Acht Fälle, die aufgrund der zweidimensionalen Diagnostik in die Moderate Risk-Gruppe eingeteilt wurden, mussten durch die Untersuchung mittels DVT in die beiden anderen Gruppen eingeteilt werden. In sechs der acht Fälle bestätigte sich der direkte Kontakt

von Zahnwurzel und Nerv, daher mussten die Fälle der High Risk-Gruppe zugeordnet werden. In zwei Fällen konnte im DVT sogar ein größerer Abstand von Wurzelspitze und Nervkanal festgestellt werden, sie wurden daher in die Low Risk-Gruppe herabgestuft. Es bestätigte sich signifikant, dass die DVT-Aufnahmen in der Moderate Risk-Gruppe exaktere Ergebnisse liefern ($p=0,039$).

Autoren mehrerer aktueller Studien empfehlen eine weiterführende dreidimensionale Diagnostik, wenn die Panoramaschichtaufnahme eine enge topographische Beziehung von Zahnwurzeln und Mandibularkanal darstellt. Die suffiziente Darstellung der Lagebeziehung ist demnach im Unterschied zur Panoramaschichtaufnahme in DVT-Aufnahmen als zuverlässig einzustufen (Ghaemina et al., 2009, Neugebauer et al., 2008, Suomalainen et al., 2010). Dies bestätigte sich auch in unserer Studie signifikant bei der Analyse der Moderate Risk-Gruppe. Das Risiko der engen Lagebeziehung von Nervkanal und Wurzelspitzen wird auf den Panoramaschichtaufnahmen in sechs Fällen als risikoärmer eingestuft, als es sich in der DVT-Aufnahme tatsächlich darstellt.

Besonders in Moderate Risk-Fällen sollte daher über die Anfertigung der zusätzlichen dreidimensionalen Diagnostik diskutiert werden. In der High Risk- und Low Risk-Gruppe zeigten beide Untersuchungstechniken jedoch eine adäquate Übereinstimmung.

4.4 Topographische Lagebeziehung zwischen Zahnwurzeln und Mandibularkanal – Anatomischer Verlauf des Nervs in DVT-Aufnahmen

In der vorliegenden Studie verlief der Nervus alveolaris inferior am häufigsten lingual der Wurzeln (44,6% der Fälle). In 96% (24 von 25 Fällen) der lingual verlaufenden Fälle zeigte sich zudem das Dach des Mandibularkanals unterbrochen und es war von einem direkten Kontakt von Wurzel und Nerv auszugehen. Bei den apikal (insgesamt 30,4% der Fälle) und bukkal (insgesamt 21,4% der Fälle) verlaufenden Fällen zeigten 75% (bukkal) und 82,4% (apikal) eine direkte Anlagerung. Beide interradikulär verlaufende Fälle (3,6%) zeigten ebenfalls eine Unterbrechung der

Kortikalis. Insgesamt bestätigten sich in 87,5% der Fälle die Unterbrechung der Kortikalis und ließ auf eine direkte Anlagerung von Wurzelspitzen und Nerv schließen.

Die Literatur kommt hier zu unterschiedlichen Ergebnissen. Während in der Studie von Tantanapornkul et al. und Dalili et al. der Nervkanal ebenfalls am häufigsten lingual der Wurzelspitzen beobachtet wurde, zeigte sich der Nervkanal in der Studie von Ghaeminia et al. am häufigsten bukkal (Dalili et al., 2011, Ghaeminia et al., 2009, Tantanapornkul et al., 2007). Chen et al. beschrieben in ihrer Studie am häufigsten einen apikalen Verlauf des Nervkanals (Chen et al., 2018). Dennoch besteht ein Konsens in der Annahme, dass die höchste Wahrscheinlichkeit für eine direkte Anlagerung von Nerv und Zahnwurzel besteht, wenn der Nerv lingual der Wurzelspitzen verläuft. Das Risiko einer Nervschädigung ist laut Autoren hier am höchsten, gefolgt von bukkal und inferior verlaufendem Nervkanal (Chen et al., 2018, Ghaeminia et al., 2009, Jung et al., 2012, Rodriguez et al., 2017). Auch in der aktuellen Studie von Nascimento et al. wird der Zusammenhang zwischen lingual verlaufendem Nerv und einem erhöhten operativen Gefährdungsrisiko deutlich (Nascimento et al., 2017). Tantanapornkul et al. weisen zudem in Fällen eines lingual verlaufenden Nervs, auf das erhöhte Risiko einer Perforierung der dünnen lingualen Kortikalis durch rotierende Instrumente hin, welche durch eine direkte Eröffnung des subperiostalen Raums eine Gefährdung des N. lingualis mit sich bringen kann (Tantanapornkul et al., 2009).

4.5 Analyse der Überlagerung von Zahnwurzeln und Mandibularkanal in Panoramaschichtaufnahmen in Bezug zum anatomischen Nervverlauf in DVT-Aufnahmen

Zeigt sich eine Überlagerung von Nervkanal und Zahnwurzel in der Panoramaschichtaufnahme, so besteht eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für die tatsächliche Unterbrechung des kortikalen Dachs des Mandibularkanals. Dies bestätigte sich in der vorliegenden Studie bei der Überprüfung der Annahmen aus den Panoramaschichtaufnahmen mit den zugehörigen DVT-Aufnahmen. In der High Risk-Gruppe, bei der sich in der Panoramaschichtaufnahme eine direkte

Überlagerung von Wurzel und Zahn zeigte, verlief der Nerv am häufigsten lingual (41,7%) gefolgt von apikal (30,6%), bukkal (22,3%) und interradiär (5,6%) gelegenen Nerv. Eine Unterbrechung des kortikalen Dachs konnte mit 91,7% in der korrespondierenden DVT-Aufnahme bestätigt werden.

In der Moderate Risk-Gruppe touchierte die Wurzelspitze des Zahns das Dach des Mandibularkanals in der Panoramaschichtaufnahme. Hier stellte sich der Nervverlauf in der zugehörigen DVT-Aufnahme am häufigsten lingual (38,5%) dar, gefolgt von bukkal (30,8%) und apikal (30,8%) verlaufendem Nerv. In 92,3 % der Fälle der Moderate Risk-Gruppe zeigte sich eine Unterbrechung des kortikalen Dachs des Mandibularkanals. Dies deckt sich mit den Beobachtungen der aktuellen Studie von Rodriguez et al. von 2017 (Rodriguez et al., 2017).

In der Low Risk-Gruppe zeigte sich ein deutlicher Abstand von Wurzelspitze und Kanaldach in der Panoramaschichtaufnahme. Der Nerv verlief in 71,4% der Fälle lingual und in 28,6% der Fälle apikal. Obwohl eine Unterbrechung des kortikalen Dachs eher auszuschließen war, zeigte sich dennoch in 57,1% der Fälle eine durchbrochene Kortikalis des Mandibularkanaldachs. In einem Fall, der in den Panoramaschichtaufnahmen sogar einen Abstand von > 2mm zwischen Nervkanal und Wurzelspitzen zeigte und daher in die Low Risk-Gruppe eingeteilt wurde, bestätigte sich im DVT dennoch eine unterbrochene kortikale Lamelle und bestätigte die direkte Anlagerung von Wurzelspitzen und Nerv (vgl. Sonderfall Risikoklasse Low Risk).

Unsere Ergebnisse werden durch die Studie von Rodriguez et al. gestützt (Rodriguez et al., 2017). In genannter Studie zeigte sich bei lingual verlaufendem Nerv in 45% der Fälle eine unterbrochene Kortikalis.

Die Unterbrechung des Mandibularkanaldachs kann also nicht ausgeschlossen werden, auch wenn sich in den Panoramaschichtaufnahmen ein deutlicher Abstand der Strukturen darstellt. Diese Annahme bestätigt sich auch in der Studie von Chen et al. (Chen et al., 2018). Durch die unterschiedliche Projektionsschicht bei der Anfertigung der Aufnahme oder durch die schlechtere Bildauflösung der Panoramaschichtaufnahme kann es hier zu Abweichungen kommen. Die Autoren sehen durch die geringe Wahrscheinlichkeit einer Gefahrensituation in Low Risk

Fällen aber keinen Anlass, hier generell eine zusätzliche DVT-Aufnahme durchzuführen.

Zusammenfassend besteht jedoch in allen genannten Studien der Konsens, dass das höchste Risiko einer intraoperativen Nervschädigung mit dem lingualen Verlauf des Nervkanals und mit der damit verbundenen hohen Wahrscheinlichkeit einer unterbrochenen kortikalen Lamelle des Mandibularkanals einhergeht.

4.6 Analyse der radiologischen Zeichen in Panoramaschichtaufnahmen

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Unterbrechung des kortikalen Dachs des Mandibularkanals signifikant mit einer Anlagerung von Zahnwurzel und Nerv in Zusammenhang steht ($p=0,002$). In der aktuellen, zum Vergleich herangezogenen Literatur wird die Unterbrechung der kortikalen Lamelle ebenfalls als größter Risikofaktor für eine mögliche Sensibilitätsstörung eingestuft (Neves et al., 2012; Rodriguez et al., 2017; Shahidi et al., 2013).

Einige Studien geben ein erhöhtes Risiko einer intraoperativen Schädigung des Nervus alveolaris inferior bei den folgenden drei radiologischen Zeichen an: Diversion of the canal, Interruption of the white line und Darkening of the root. Nascimento et al. untersuchten auch das erstmals von Kapila et al. 2014 beschriebene, achte radiologische Zeichen. Die juxta-apikale Radioluzenz, die als hypodense rundliche Struktur nahe der Wurzelspitzen auf den Panoramaschichtaufnahmen erscheint, soll ebenso als Indikator einer engen Lagebeziehung von Wurzel und Nerv gelten (Kapila et al., 2014a, Kapila et al., 2014b, Nascimento et al., 2017). Für die anderen bekannten Zeichen (Deflection of the root, Narrowing of the root, Dark and bifid root apex, Narrowing of the mandibular canal) kann ein Einfluss auf die Gefährdung nicht ausgeschlossen aber auch nicht statistisch bestätigt werden (Huang et al., 2015, Su et al., 2017).

Diese Einschätzung, welche auch andere Autoren teilen, deckt sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie (de Melo Albert et al., 2006, Ghaemina et al., 2009). Für die klinische Anwendung empfehlen Su et al. daher die Anfertigung einer zusätzlichen dreidimensionalen Aufnahme oder die Wahl einer schonenderen Operationsmethode zur Entfernung der Zähne, wie beispielweise die Koronektomie

(Su et al., 2017). Andere Autoren verdeutlichen nochmals die steigende Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung des Nerven bei der Darstellung auch nur eines isolierten radiologischen Zeichens auf der Panoramaschichtaufnahme. Höchste Aufmerksamkeit sei daher bei der Entfernung der Zähne geboten (Hasani et al., 2017, Sedaghatfar et al., 2005).

4.7 Analyse der anatomischen Form der Mandibula

Die vorliegende Arbeit untersuchte den Verlauf des Mandibularkanals im Bezug zur anatomischen Darstellung der Unterkieferanatomie in der dreidimensionalen DVT-Aufnahme. Der Unterkieferkorpus zeigte sich in der transversalen Ansicht am häufigsten mit einer lingual konkaven Einziehung (55,4%) gefolgt von einer eher rundlichen Form in 42,9% der Fälle. Nur in einem Fall konnte ein nach lingual extendierter Unterkiefer festgestellt werden (1,8%). In der Literatur wird die rundliche Form am häufigsten beschrieben, gefolgt von der nach lingual konkaven Form. Übereinstimmend ist, dass die lingual extendierte Form selten zu finden ist (Momin et al., 2013, Watanabe et al., 2010).

Unsere Ergebnisse bestätigten signifikant den Zusammenhang der anatomischen Form der Mandibula und dem Nervverlauf ($p=0,002$). War der Unterkiefer in der koronaren Schicht rund und zeigte sich genügend Knochenangebot, so verlief der Canalis mandibulae in 58,3% apikal der Zahnwurzeln. Zeigte die Mandibula lingual eine konkave Einziehung und eine flache, abgerundete bukkale Fläche, so stellte sich der Nervkanal in der Aufnahme auch lingual dar (51,6%).

Die Form der Mandibula kann eine Hilfestellung für den Operateur darstellen, um mögliche Risiken, wie die Perforation der lingualen Kortikalis beim Trennen des Molars und eine damit einhergehende Gefährdung des Nervus lingualis zu vermeiden. Durch die klinische Palpation des Unterkiefers kann das Knochenangebot beurteilt werden. Das Risiko einer postoperativen Unterkieferfraktur kann so erkannt und Maßnahmen zur Risikominimierung empfohlen werden. Andere Autoren stützen die Empfehlung, präoperativ eine DVT-Aufnahme anzufertigen und die Palpation des Unterkiefers durchzuführen (Momin et al., 2013).

5 Synoptische Bewertung

Die operative Entfernung der Weisheitszähne ist eine der häufigsten Operationen im Bereich der Oralchirurgie. Durch die unterschiedlichen anatomischen Gegebenheiten ist eine präoperative röntgenologische Untersuchung unabdingbar, um eine Gefährdung der sensiblen Strukturen möglichst zu vermeiden. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die diagnostische Genauigkeit der DVT-Aufnahmen bei der Untersuchung der unteren Weisheitszähne exakter ist als die der Panoramaschichtaufnahmen und durch die übersichtliche Darstellung von Zusatzinformationen einen Mehrwert für den behandelnden Operateur bedeutet. Auch die aktuelle Studienlage bestätigt, dass sich zur Ermittlung der Lagebeziehung zwischen den Wurzelspitzen der Weisheitszähne zum Mandibularkanal die DVT-Aufnahme im Vergleich zur Panoramaschichtaufnahme besser eignet. Die DVT-Aufnahme generiert dem Behandler zusätzliche Information bei annehmbar geringer Strahlendosis (Nakagawa et al., 2002). Durch die gute Visualisierung der knöchernen Strukturen des Mandibularkanals mit seinen umgebenden Strukturen sei die DVT-Aufnahme die beste Methode zur Untersuchung (Haas et al., 2016).

Risikofaktoren können durch die DVT-Aufnahme besser analysiert und in die präoperative Planung miteinbezogen werden. Der Einsatz der digitalen Volumtomographie kann die Position des Mandibularkanals exakt bestimmen, mit dem Manko einer höheren Strahlenbelastung für die meist jungen Patienten. So zeigte Kim et al. bei Untersuchungen der retromolaren Region, dass sich mit Hilfe der DVT-Aufnahmen der retromolare Kanal, der ca. 13 mm hinter dem zweiten Molaren liegen kann, in 43% ihrer Studienfälle mit dem DVT darstellen ließ, während er auf Panoramaschichtaufnahmen nicht abgebildet wurde (Kim et al., 2017). Neben intraoperativen Blutungen kann es bei der operativen Entfernung der Weisheitszähne hier zu Sensibilitätsstörungen des Bereichs kommen (Kim et al., 2017). Der Einsatz der digitalen Volumtomographie ist daher ein sinnvolles Instrument für eine genaue Operationsplanung. Besonders bei der Osteotomie der Zähne mit rotierenden Instrumenten, welche die Gefahr von Faserverletzungen des Nervs mit sich bringen kann sowie bei der Entfernung durch Luxation, die mit einer Druckschädigung einhergehen kann. Diese Beurteilung deckt sich mit der aktuellen Literatur (Guerrero et al., 2014, Hasegawa et al., 2013, Rodriguez et al., 2017, Xu et al., 2013).

Die Panoramaschichtaufnahme gibt als initiale diagnostische Methode eine erste gute Übersicht über den dentalen Status, die knöchernen Strukturen sowie mögliche pathologische Veränderungen. Dennoch generiert die Aufnahme nur eine schwache diagnostische Genauigkeit zur Beurteilung der Lage der Weisheitszähne und deren umgebenden anatomischen Strukturen (Bell et al., 2003). Diese Aussage teilt auch die vorliegende Arbeit, da die zweidimensionale Aufnahme nur Hinweise auf mögliche Risikofaktoren geben kann, die bei der Befundung der Bilder erkannt, eingeordnet und gegebenenfalls weiterführend untersucht werden sollten. Eine Differenzialindikation, für welche Risikofaktoren genau die weiterführende dreidimensionale Aufnahme erfolgen soll, gibt es bisher nicht. Flygare et al. versuchten bereits 2008 eine Strategie für die präoperative radiologische Untersuchung vorzugeben. Sie postulierten, dass die Panoramaschichtaufnahme in den meisten Fällen ausreichend sei, besonders wenn keine Überlagerungen zu finden seien. Zusätzlich empfahlen sie die Anfertigung einer postero-anterioren Projektion, um die Nerv–Wurzelbeziehung zu verdeutlichen (Flygare und Ohman, 2008). Im Sinne des Strahlenschutzes ist fraglich, ob zur weiterführenden Diagnostik eine zusätzliche zweidimensionale Aufnahme angefertigt werden sollte, die im Zweifel ebenfalls nicht informationsgebend ist.

Die vorliegende Studie verdeutlicht, dass nach mesial-, distal- oder horizontal verlagerte Weisheitszähne ein höheres Risiko für eine direkte Wurzel-Nerv Beziehung darstellen. Lediglich vertikal im Unterkiefer stehende Zähne scheinen ein geringeres Risiko für die Gefährdung des Nervus alveolaris inferior zu zeigen. Ebenso muss betont werden, dass das Risiko einer Schädigung des Nervens steigt, je tiefer ein Zahn im Knochen verlagert ist. Da der Verlagerungsgrad der Zähne mit der Häufung von sichtbaren radiologischen Zeichen auf den Panoramaschichtaufnahmen korreliert, ist bei einem kombinierten Auftreten von mehreren radiologischen Zeichen und gleichzeitig tiefer Verlagerung des Weisheitszahns eine weiterführende dreidimensionale Aufnahme dringend zu empfehlen (Rodriguez et al. 2017).

Die Überlagerung von Wurzelspitzen und Nervkanal auf den Panoramaschichtaufnahmen gibt einen weiteren Hinweis auf eine mögliche direkte Anlagerung von Zahnwurzeln und Nerv. Die Einteilung der Überlagerung in drei Risikoklassifikationen soll eine Vereinfachung der Gefährdungseinschätzung

darstellen. In der High Risk-Gruppe ist der Kontakt von Wurzel und Nerv anzunehmen. In der vorliegenden Studie bestätigte sich dies mit über 90% in der korrespondierenden DVT-Aufnahme. Je stärker der Grad der Überlagerung, desto wahrscheinlicher ist ein linguale Verlauf des Nervkanals. Unsere Studie zeigt, dass in 96% der Fälle ein direkter Kontakt von Zahnwurzeln und Nerv in der DVT-Aufnahme bestätigt werden kann, wenn der Nerv lingual der Zahnwurzeln verläuft. Selbst in der Low Risk-Gruppe, bei der ein deutlicher Abstand von Wurzelspitze und oberer Kanalgrenze besteht, bestätigte sich in knapp 60% die direkte Anlagerung in der dreidimensionalen Aufnahme. Dennoch besteht in der Literatur ein Konsens darüber, dass der Einsatz der digitalen Volumetomographie bei Patienten, bei denen in der Panoramaschichtaufnahme die topographische Nähe von Nervkanal und Zahnwurzel eher auszuschließen ist, nicht indiziert sei. Für eine angemessene Risikobewertung in komplexeren Fällen sei eine dreidimensionale Aufnahme aber als dringend notwendig einzustufen (Rodriguez et al., 2017).

Zudem kann man die Analyse der Form des Unterkiefers in die präoperative Untersuchung mit einbeziehen. Ist die Mandibula rundlich ausgeprägt, so verläuft bei reichlich Knochenangebot der Nervkanal meist apikal der Zahnwurzeln. Zeigt sich jedoch eine lingual konkave Einziehung und eine flache bukkale Seite so liegt der Nerv laut Ergebnissen dieser Studie auch lingual. Als Konsequenz kann hier nur die Empfehlung eines zusätzlichen DVT-Bildes bei der Kombination aus mehreren Risikofaktoren gelten.

Fraglich bleibt, ob die Änderung der chirurgischen Planung aufgrund der Erkenntnisse aus der DVT-Aufnahme das Risiko für eine Schädigung des Nervens verringert. Die Schonung des Nervus alveolaris inferior könnte intraoperativ durch die Informationen besser gewährleistet werden (Eyrich et al., 2011, Ghaemina et al., 2011, Guerrero et al., 2012, Hasani et al., 2017, Neugebauer et al., 2008, Sanmarti-Garcia et al., 2012, Suomalainen et al., 2015).

Korkmaz et al. zeigte in seiner Studie von 2017, dass eine präoperative dreidimensionale Untersuchung zu einem geringeren Auftreten von temporären postoperativen Sensibilitätsstörungen führt. Bei Operationen, bei denen lediglich eine Panoramaschichtaufnahme zur Verfügung stand, waren postoperative temporäre Sensibilitätsstörungen des Nervus alveolaris inferior signifikant häufiger zu beobachten. Es ließ sich aber kein Unterschied bei der postoperativen

Nachsorgeuntersuchung nach sechs Monaten zeigen. Laut Autor bringt die zusätzliche DVT-Aufnahme daher keinen zusätzlichen Nutzen bei der Vermeidung von Verletzungen des Nervus alveolaris inferior. Um das Risiko einer Nervschädigung zu vermindern soll die präoperative Bildgebung dem Operateur als Hilfsmittel zur Risikoeinschätzung und zur Festlegung der anzuwendenden Operationstechnik dienen (Korkmaz et al., 2017). Bei erhöhtem Risiko wird empfohlen die Koronektomie der vollständigen chirurgischen Zahnentfernung vorzuziehen (Matzen et al., 2013).

Viele Autoren bestätigen den limitierten Einfluss auf die postoperativen Ergebnisse. Derzeit kann man nicht feststellen, dass eine zusätzlich angefertigte DVT-Aufnahme intra- und postoperative Komplikationen vermeiden kann. Der positive Nutzen der zusätzlichen DVT-Aufnahme ist derzeit vor allem bei High Risk-Fällen gegeben. Dennoch bleibt dies Grundlage für weitere Diskussionen (Guerrero et al., 2012, Korkmaz et al., 2017).

Das Risiko einer Verletzung des Nervs geht mit einer erhöhten Operationszeit einher, zudem korreliert eine verlängerte Eingriffszeit mit der chirurgischen Erfahrung des Operateurs (Korkmaz et al., 2017). Die genannten Studien bestätigen, dass der Einsatz des DVTs die Operationszeit durch die Optimierung intraoperativer Abläufe und durch eine sorgfältige Planung des Procederes verkürzt (Korkmaz et al., 2017, Rodriguez et al., 2017). Die topographische Lage zwischen Mandibularkanaldach und Zahnwurzeln, die Unterbrechung des Kanaldachs sowie der metrische Abstand zwischen kortikaler Begrenzung und Zahnwurzel kann detailliert untersucht werden und kann dem Operateur so eine fundierte Planungsgrundlage bieten (Rodriguez et al., 2017). Kurze, komplikationslose operative Eingriffe sind für Patienten von Vorteil sowie im Sinne der Wirtschaftlichkeit positiv zu bewerten. Jedoch scheinen die Zusatzinformationen insgesamt keinen Einfluss auf eine Änderung des chirurgischen Vorgehens zu haben (Wolff et al., 2016).

Die vorliegende Studie macht deutlich, dass die zusätzliche DVT-Aufnahme relevante chirurgische Informationen liefert. Der wichtigste Risikofaktor für eine Gefährdung des Nervus alveolaris ist eine nahe topographische Lagebeziehung zwischen Nerv und den Wurzelspitzen. Dennoch spielen auch Nebenfaktoren, wie die chirurgische Erfahrung des Operateurs oder das Alter der Patienten eine nicht zu vernachlässigende Rolle (Xu et al., 2013).

Die topographischen Lagebeziehungen zwischen Wurzelspitzen und Nervkanal können in der Panoramaschichtaufnahme nicht eindeutig interpretiert werden. Eine bessere Untersuchung der Strukturen ist durch die DVT-Aufnahme gewährleistet (Hauge Matzen et al., 2013). Eine Gefährdung des Nervus alveolaris inferior kann nicht durch die Panoramaschichtaufnahme ausgeschlossen werden. Sie kann keine zuverlässige Darstellung der Strukturen bieten, die für eine adäquate Einschätzung einer möglichen Nervläsion nötige wäre (Gomes et al., 2008).

Haßfeld macht in seinem aktuellen Beitrag aus dem MKG-Update 2018 deutlich, dass vor allem klare Aussagen zur Differenzialindikation des DVT-Einsatzes bei retinierten Zähnen fehlen. Die Frage, bei welcher Art der Verlagerung eine DVT-Aufnahme mit Wahrscheinlichkeit klinisch relevante Information zusätzlich liefere, könne nicht abschließend beantwortet werden (Haßfeld, 2018). Die vorliegende Studie ist ein Versuch hierzu für chirurgisch arbeitende Kollegen weitere Informationen zur Verfügung zu stellen.

5.1 Ausblick

Das Bestreben, die jährliche Strahlenbelastung durch medizinische Röntgenaufnahmen vor allem bei Kindern und jungen Erwachsenen zu reduzieren, wird aktuell im europäischen DIMITRA-Projekt (Dentomaxillofacial paediatric imaging: an investigation towards low-dose radiation induced risks) diskutiert. Die Autoren aus Belgien, Frankreich und Rumänien versuchen dem Trend der steigenden Nutzung der dreidimensionalen Röntgenaufnahmen in der Oralchirurgie und Kieferorthopädie entgegenzuwirken und geben patientenspezifische und indikationsorientierte Empfehlungen zur Nutzung des DVTs bei Kindern und Jugendlichen (Oenning et al., 2018).

Die Risiken der Einwirkung von Röntgenstrahlung vor allem in der Entwicklungsphase bei jungen Patienten sind bekannt. Damit geht die Suche nach strahlenarmer Diagnostik, vor allem für elektive präoperative Untersuchungen einher. Im Bereich der Darstellung der Weisheitszähne und ihren umgebenden Strukturen untersuchte Deepho et al. das neurovaskuläre Bündel des Mandibularkanals mittels Magnetresonanztomographie im Vergleich zur klassischen Aufnahme mittels Computertomographie. Er zeigte, dass der Mandibularkanal in der CT-Aufnahme in 68% der untersuchten Fälle deutlich darstellbar war, das neurovaskuläre Bündel im

MRT jedoch sogar in 98% der Fälle (Deepho et al., 2017). Auch Zuniga et al. untersuchten mittels Magnetresonanztomographie das Ausmaß traumatischer Sensibilitätsstörungen des Nervus mandibularis in Folge der Schädigung bei einer vorangegangenen Weisheitszahnentfernung. Das Augenmerk der Autoren lag hier vor allem bei der Abschätzung der funktionellen Regenerationsfähigkeit des Trigeminusastes und der Indikation für den Zeitpunkt der operativen Rekonstruktion (Zuniga et al., 2018). Die schnelle technologische Weiterentwicklung mit präziserer Bildgebung steht dabei dem relativ hohen Kostenaufwand der MRT-Aufnahmen gegenüber.

Im Bereich der digitalen dentalen Volumentomographie sollte durch patientenspezifische Anpassungen am Gerät eine Dosisreduktion erreicht werden. Rottke et al. und Tsapaki et al. geben zu bedenken, dass eine Anpassung der Strahlendosis und die Optimierung von Volumengröße und Belichtung an die Fragestellung und an das Alter der Patienten in der zahnärztlichen Praxis leicht umzusetzen seien. Dies bedinge aber die Schulung des Praxispersonals und genauere Angaben zu verschiedenen Indikationen der Gerätehersteller (Rottke et al., 2017, Schulze et al., 2017, Tsapaki, 2017). Dies sollte von Kliniken, Praxisinhabern und Geräteherstellern in die röntgenologische Aus- und Weiterbildung in Zukunft integriert werden (Haßfeld, 2018).

6 Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war es, die Diagnosemöglichkeiten der Panoramaschichtaufnahme und der digitalen Volumentomographie bei der Untersuchung der topographischen Lagebeziehungen zwischen Nervus alveolaris inferior und den unteren Weisheitszähnen vergleichend zu evaluieren. In zahlreichen Studien wurde der Einsatz der dreidimensionalen Röntgentechniken bereits beschrieben, dennoch gibt es keine abschließende Beurteilung über die Sinnhaftigkeit und den Patientennutzen der Aufnahmen bei der Untersuchung der Weisheitszähne. Ziel war es zu analysieren, ob die konventionelle Panoramaschichtaufnahme eine direkte Anlagerung von Wurzel und Nerv und somit das individuelle Risiko einer möglichen intraoperativen Nervschädigung bei der Entfernung der unteren Weisheitszähne ausreichend einzuschätzen vermag.

In dieser Arbeit wurden die Patientenakten von 172 Patienten ausgewertet, die sich im Zeitraum von September 2014 bis Juli 2016 in der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Klinikums rechts der Isar der Technischen Universität München einer präoperativen Röntgenuntersuchung mittels Panoramaschicht- und DVT-Aufnahme unterzogen. Das Patientenkollektiv umfasste nur Patienten, die teilretinierte, vollständig retinierte und verlagerte Weisheitszähne aufwiesen. Zudem musste derselbe Zahnstatus in beiden Röntgenaufnahmen sowie der 12-Jahres-Molar in Situ vorliegen. Die Weisheitszähne aller Patienten wurden auf den Panoramaschichtaufnahmen sowie im zugehörigen DVT nach einem erstellten Kriterienkatalog untersucht und analysiert.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass bei 83,3% der mesial verlagerten Zähne und bei 68,8% der distal verlagerten Zähne eine Unterbrechung der oberen kortikalen Lamelle des Mandibularkanaldachs, in der zur Panoramaschichtaufnahme korrespondierenden DVT-Aufnahme vorlag. Nach mesial- und distalangulierte Zähne wiesen also häufiger eine direkte Anlagerung von Wurzelspitzen und Nervus alveolaris inferior auf, als vertikal im Knochen stehende Zähne. Tendenziell scheint die Entfernung von angulierten Weisheitszähnen ein erhöhtes Gefährdungspotential zu bedingen.

Die Assoziation zwischen dem Level der vertikalen Impaktion in die Mandibula und der kortikalen Unterbrechung des Mandibularkanaldachs wird durch die Ergebnisse

dieser Arbeit signifikant bestätigt ($p=0,013$). Je tiefer ein Zahn vertikal verlagert war, desto häufiger konnte in der zugehörigen DVT-Aufnahme eine direkte Anlagerung von Zahnwurzel und Nerv bestätigt werden. Das Risiko einer Nervschädigung steigt mit dem Grad der vertikalen Verlagerung an.

Alle Patienten wurden in drei Risikoklassifikationen eingeteilt:

High Risk-Gruppe

Überlagerung von Wurzel und Mandibularkanal: „Nervkontakt anzunehmen“

Moderate Risk-Gruppe

Tangentialer Verlauf von Wurzel und MK: „Nervkontakt möglich“

Low Risk-Gruppe

Kein Kontakt von Wurzel und MK: „Nervkontakt eher auszuschließen“

Es fand sich auf den Panoramaschichtaufnahmen in 64,3% der Fälle eine Überlagerung von Wurzelspitzen und Nervkanal (High Risk-Gruppe). In 23,2% der Fälle (Moderate Risk-Gruppe) berührten die Wurzelspitzen die obere Linie des Mandibularkanals und in 12,5 % (Low Risk-Gruppe) der Fälle war ein deutlicher Abstand zwischen Wurzel und Nervkanaldach feststellbar.

Der Nervus alveolaris inferior verlief in den korrespondierenden DVT-Aufnahmen am häufigsten lingual der Wurzeln (44,6% der Fälle). In 96% der lingual verlaufenden Fälle zeigte sich zudem das Dach des Mandibularkanals unterbrochen und es war von einem direkten Kontakt von Wurzel und Nerv auszugehen. Bei den apikal (insgesamt 30,4% der Fälle) und bukkal (insgesamt 21,4% der Fälle) verlaufenden Fällen zeigten 75% (bukkal) und 82,4% (apikal) eine direkte Anlagerung. Beide interradikulär verlaufende Fälle (3,6%) zeigten ebenfalls eine Unterbrechung der Kortikalis. Insgesamt bestätigte sich in 87,5% aller untersuchten Fälle die Unterbrechung der Kortikalis und ließ auf eine direkte Anlagerung von Wurzelspitzen und Nerv schließen.

In Bezug zu den gebildeten Risikoklassifikationen zeigte sich in der High Risk-Gruppe der Nervverlauf in der korrespondierenden DVT-Aufnahme am häufigsten lingual (41,7%) gefolgt von apikal (30,6%), bukkal (22,3%) und interradikulär (5,6%) gelegenen Nerv. Eine Unterbrechung des kortikalen Dachs konnte mit 91,7% in der

DVT-Aufnahme bestätigt werden. Auch in der Moderate Risk-Gruppe stellte sich der Nerv in der dreidimensionalen Analyse am häufigsten lingual (38,5%) dar, gefolgt von bukkal (30,8%), und apikal (30,8%) verlaufendem Nerv. In 92,3% der Fälle der Moderate Risk-Gruppe zeigte sich eine Unterbrechung des kortikalen Dachs des Mandibularkanals. In der Low Risk-Gruppe zeigte sich ein deutlicher Abstand von Wurzelspitze und Kanaldach in der Panoramaschichtaufnahme. Der Nerv verlief in 71,4% der Fälle lingual und in 28,6% der Fälle apikal. Obwohl eine Unterbrechung des kortikalen Dachs in dieser Gruppe eher auszuschließen war, zeigte sich dennoch in 57,1% eine durchbrochene Kortikalis des Mandibularkanaldachs.

Beide Aufnahmetechniken zeigten gute Ergebnisse bei der Untersuchung der Lagebeziehungen in der High Risk- und Low Risk-Gruppe ($p=0,22$ und $p=0,59$). In 16 von 56 Fällen zeigte sich in unserer Studie eine Abweichung bei der Risikoanalyse zwischen Panoramaschicht- und DVT-Aufnahmen. Acht Fälle, die aufgrund der zweidimensionalen Diagnostik in die Moderate Risk-Gruppe eingeteilt wurden, mussten durch die Untersuchung mittels DVT in die beiden anderen Gruppen eingeteilt werden. In sechs der acht Fälle bestätigte sich der direkte Kontakt von Zahnwurzel und Nerv, daher mussten die Fälle der High Risk-Gruppe zugeordnet werden. In zwei Fällen konnte im DVT sogar ein größerer Abstand von Wurzelspitze und Nervkanal festgestellt werden, sie wurden daher in die Low Risk-Gruppe herabgestuft.

Es bestätigte sich signifikant, dass die DVT-Aufnahmen in der Moderate Risk-Gruppe exaktere Ergebnisse liefern ($p=0,039$). Besonders in Moderate Risk-Fällen sollte daher über die Anfertigung der zusätzlichen dreidimensionalen Diagnostik diskutiert werden.

Unsere Ergebnisse bestätigen, dass das Vorkommen radiologischer Zeichen auf der Panoramaschichtaufnahme als Risikofaktor einer möglichen Nervschädigung gilt. Dies bestätigt sich auch in der Literatur. Die Unterbrechung des kortikalen Dachs des Mandibularkanals (interruption of the white line) stand in signifikantem Zusammenhang mit der direkten Anlagerung von Zahnwurzel und Nerv ($p=0,002$).

Auch der Zusammenhang der anatomischen Form des Unterkiefers und dem Verlauf des Mandibularkanals konnte signifikant mit $p=0,002$ bestätigt werden. War der Unterkiefer in der koronaren Schicht rund und zeigte genügend Knochenangebot, so

verlief der Canalis mandibulae in 58,3% apikal der Zahnwurzeln. Hatte die Mandibula lingual eine konkave Einziehung und eine flache, abgerundete bukkale Fläche, so stellte sich der Nervkanal in der Aufnahme auch lingual dar (51,6%).

Unsere Ergebnisse sprechen für die Anfertigung einer weiterführenden dreidimensionalen Diagnostik, wenn sich auf einer Panoramaschichtaufnahme eine enge topographische Lagebeziehung von Zahnwurzeln und Mandibularkanal darstellt. Die exakte Darstellung der anatomischen Gegebenheiten zwischen Zahnwurzeln und Nervus alveolaris inferior ist mittels DVT-Aufnahme zuverlässiger möglich. Besonders in Fällen der Moderate Risk-Gruppe sollte eine zusätzliche dreidimensionale Diagnostik in Erwägung gezogen werden. Zudem geht das höchste Risiko einer intraoperativen Nervschädigung mit dem lingualen Verlauf des Nervkanals und mit der damit verbundenen hohen Wahrscheinlichkeit einer unterbrochenen kortikalen Lamelle des Mandibularkanals einher.

Durch patientenspezifische Anpassungen an den genutzten DVT-Geräten sollte eine Reduktion der Strahlendosis angestrebt werden. Im Zweifel sollte die dreidimensionale Aufnahme trotz zeitlichem Aufwand und höheren Kosten zur Risikominimierung im Sinne der Patienten durchgeführt werden, um postoperative Komplikationen zu vermeiden. Prospektive Studien zur Untersuchung der Weisheitszähne durch die Kernspintomographie erscheinen sinnvoll.

7 Literaturverzeichnis

- Bell, G. W., Rodgers, J. M., Grime, R. J., Edwards, K. L., Hahn, M. R., Dorman, M. L., Hampton, N. (2003). The accuracy of dental panoramic tomographs in determining the root morphology of mandibular third molar teeth before surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 95(1), 119-125.
- Blondeau, F., Daniel, NG. (2007). Extraction of impacted mandibular third molars: postoperative complications and their risk factors. *Journal of Canadian Dental Association*, 73(325).
- Boeddinghaus, R., White, A. (2018). Trends in maxillofacial imaging. *Clin Radiol*, 73(1), 4.-18.
- Bundesamt für Strahlenschutz. (2014). Ionisierende Strahlung. *Bundesamt für Strahlenschutz*. Abgerufen am 27.05.2019 unter: http://www.bfs.de/DE/themen/ion/ion_node.html
- Chen, Y., Liu, J., Pei, J., Liu, Y., Pan, J. (2018). The Risk Factors that Can Increase Possibility of Mandibular Canal Wall Damage in Adult: A Cone-Beam Computed Tomography (CBCT) Study in a Chinese Population. *Med Sci Monit*, 24, 26-36.
- Dalili, Z., Mahjoub, P., Sigaroudi, A. K. (2011). Comparison between cone beam computed tomography and panoramic radiography in the assessment of the relationship between the mandibular canal and impacted class C mandibular third molars. *Dent Res J (Isfahan)*, 8(4), 203-210.
- de Melo Albert, D. G., Gomes, A. C., do Egito Vasconcelos, B. C., de Oliveira e Silva, E. D., Holanda, G. Z. (2006). Comparison of orthopantomographs and conventional tomography images for assessing the relationship between impacted lower third molars and the mandibular canal. *J Oral Maxillofac Surg*, 64(7), 1030-1037.
- Deepho, C., Watanabe, H., Kotaki, S., Sakamoto, J., Sumi, Y., Kurabayashi, T. (2017). Utility of fusion volumetric images from computed tomography and magnetic resonance imaging for localizing the mandibular canal. *Dentomaxillofac Radiol*, 46(3), 20160383.
- European Commission. (2004). European Guidelines on Radiation Protection in Dental Radiology. *Radiation protection report 136*. Abgerufen am 27.05.2019 unter: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/136.pdf>
- Eyrich, G., Seifert, B., Matthews, F., Matthiessen, U., Heusser, C. K., Kruse, A. L., Lubbers, H. T. (2011). 3-Dimensional imaging for lower third molars: is there an implication for surgical removal? *J Oral Maxillofac Surg*, 69(7), 1867-1872.
- Flygare, L., Ohman, A. (2008). Preoperative imaging procedures for lower wisdom teeth removal. *Clin Oral Investig*, 12(4), 291-302.
- Ghaeminia, H., Meijer, G. J., Soehardi, A., Borstlap, W. A., Mulder, J., Berge, S. J. (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), 964-971.
- Ghaeminia, H., Meijer, G. J., Soehardi, A., Borstlap, W. A., Mulder, J., Vlijmen, O. J., Maal, T. J. (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), 834-839.

- Gomes, A. C., Vasconcelos, B. C., Silva, E. D., Caldas Ade, F., Jr., Pita Neto, I. C. (2008). Sensitivity and specificity of pantomography to predict inferior alveolar nerve damage during extraction of impacted lower third molars. *J Oral Maxillofac Surg*, 66(2), 256-259.
- Guerrero, M. E., 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 radiography versus cone-beam CT. *Clin Oral Investig*, 18(1), 335-342.
- Guerrero, M. E., Nackaerts, O., Beinsberger, J., Horner, K., Schoenaers, J., Jacobs, R. (2012). Inferior alveolar nerve sensory disturbance after impacted mandibular third molar evaluation using cone beam computed tomography and panoramic radiography: a pilot study. *J Oral Maxillofac Surg*, 70(10), 2264-2270.
- Haas, L. F., Dutra, K., Porporatti, A. L., Mezzomo, L. A., De Luca Canto, G., Flores-Mir, C., Correa, M. (2016). Anatomical variations of mandibular canal detected by panoramic radiography and CT: a systematic review and meta-analysis. *Dentomaxillofac Radiol*, 45(2), 20150310.
- Hasani, A., Ahmadi Moshtaghin, F., Roohi, P., Rakhshan, V. (2017). Diagnostic value of cone beam computed tomography and panoramic radiography in predicting mandibular nerve exposure during third molar surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 46(2), 230-235.
- Hasegawa, T., Ri, S., Shigeta, T., Akashi, M., Imai, Y., Kakei, Y., Komori, T. (2013). Risk factors associated with inferior alveolar nerve injury after extraction of the mandibular third molar--a comparative study of preoperative images by panoramic radiography and computed tomography. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 42(7), 843-851.
- Haßfeld, S. (2018). DVT-Bildgebung und 3D-Planung. *MKG-Update 2018*.
- Hauge Matzen, L., Christensen, J., Hintze, H., Schou, S., Wenzel, A. (2013). Diagnostic accuracy of panoramic radiography, stereo-scanography and cone beam CT for assessment of mandibular third molars before surgery. *Acta Odontol Scand*, 71(6), 1391-1398.
- Huang, C. K., Lui, M. T., Cheng, D. H. (2015). Use of panoramic radiography to predict postsurgical sensory impairment following extraction of impacted mandibular third molars. *J Chin Med Assoc*, 78(10), 617-622.
- Jung, Y. H., Nah, K. S., Cho, B. H. (2012). Correlation of panoramic radiographs and cone beam computed tomography in the assessment of a superimposed relationship between the mandibular canal and impacted third molars. *Imaging Sci Dent*, 42(3), 121-127.
- Kamrun, N., Tetsumura, A., Nomura, Y., Yamaguchi, S., Baba, O., Nakamura, S., Kurabayashi, T. (2013). Visualization of the superior and inferior borders of the mandibular canal: a comparative study using digital panoramic radiographs and cross-sectional computed tomography images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 115(4), 550-557.
- Kapila, R., Harada, N., Araki, K., Sano, T., Goto, T. K. (2014a). Evaluation of juxta-apical radiolucency in cone beam CT images. *Dentomaxillofac Radiol*, 43(5), 20130402.

- Kapila, R., Harada, N., Araki, K., Sano, T., Goto, T. K. (2014b). Relationships between third-molar juxta-apical radiolucencies and mandibular canals in panoramic and cone beam computed tomography images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 117(5), 640-644.
- Kiefer, H.-P., Lambrecht, T., Roth, J. (2004). Strahlenexposition von analogen und digitalen Zahnstatten und Panoramaschichtaufnahmen. *Schweiz Monatsschrift Zahnmedizin*, 114(7/2014).
- Kim, H. J., Kang, H., Seo, Y. S., Kim, D. K., Yu, S. K. (2017). Anatomic evaluation of the retromolar canal by histologic and radiologic analyses. *Arch Oral Biol*, 81, 192-197.
- Kim, J. W., Cha, I. H., Kim, S. J., Kim, M. R. (2012). Which risk factors are associated with neurosensory deficits of inferior alveolar nerve after mandibular third molar extraction?. *J Oral Maxillofac Surg*, 70(11), 2508-14
- Koivisto, J., van Eijnatten, M., Järnstedt, J., Holli-Helenius, K., Dastidar, P., Wolff, J. (2017). Impact of prone, supine and oblique patient positioning on CBCT image quality, contrast to noise ratio and figure of merit value in the maxillofacial region. *Dentomaxillofacial Radiology*, 46, 20160418. 10.1259/dmfr.20160418.
- Korkmaz, Y. T., Kayipmaz, S., Senel, F. C., Atasoy, K. T., Gumrukcu, Z. (2017). Does additional cone beam computed tomography decrease the risk of inferior alveolar nerve injury in high-risk cases undergoing third molar surgery? Does CBCT decrease the risk of IAN injury? *Int J Oral Maxillofac Surg*, 46(5), 628-635.
- Kunkel, M. (2013). S2k-Leitlinie: Operative Entfernung von Weisheitszähnen. DGZMK. Abgerufen am 27.05.2019 unter https://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/weisheitoplang.pdf
- Ludlow, J. B., Timothy, R., Walker, C., Hunter, R., Benavides, E., Samuelson, D. B., Scheske, M. J. (2015). Effective dose of dental CBCT—a meta analysis of published data and additional data for nine CBCT units. *Dentomaxillofacial Radiology*, 44, 20140197. 10.1259/dmfr.20140197
- Lopes, V., Mumenya, R., Feinmann, C., Harris, M. (1995). Third molar surgery: an audit of the indications for surgery, post-operative complaints and patient satisfaction. *British Journal of Oral Maxillofacial Surgery*, 33(33-5).
- Matzen, L. H., 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 on coronectomy vs surgical removal. *Dentomaxillofac Radiol*, 42(1), 98870341.
- Miracle, A. C., Mukherji, S. K. (2009). Conebeam CT of the head and neck, part 1: physical principles. *AJNR Am J Neuroradiol*, 30(6), 1088-1095.
- Momin, M. A., Matsumoto, K., Ejima, K., Asaumi, R., Kawai, T., Arai, Y., Yosue, T. (2013). Correlation of mandibular impacted tooth and bone morphology determined by cone beam computed tomography on a premise of third molar operation. *Surg Radiol Anat*, 35(4), 311-318.
- Nakagawa, Y., Kobayashi, K., Ishii, H., Mishima, A., Ishii, H., Asada, K., Ishibashi, K. (2002). Preoperative application of limited cone beam computerized tomography as an assessment tool before minor oral surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 31(3), 322-326.

- Nakamori, K., Fujiwara, K., Miyazaki, A., Tomihara, K., Tsuji, M., Nakai, M., Hiratsuka, H. (2008). Clinical assessment of the relationship between the third molar and the inferior alveolar canal using panoramic images and computed tomography. *J Oral Maxillofac Surg*, 66(11), 2308-2313.
- Nascimento, E. H., Oenning, A. C., Rocha Nadaes, M., Ambrosano, G. M., Haiter-Neto, F., Freitas, D. Q. (2017). Juxta-apical radiolucency: relation to the mandibular canal and cortical plates based on cone beam CT imaging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 123(3), 401-407.
- Neugebauer, J., Shirani, R., Mischkowski, R. A., Ritter, L., Scheer, M., Keeve, E., Zoller, J. E. (2008). Comparison of cone-beam volumetric imaging and combined plain radiographs for localization of the mandibular canal before removal of impacted lower third molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 105(5), 633-642; discussion 643.
- Neves, F. S., Souza, T. C., Almeida, S. M., Haiter-Neto, F., Freitas, D. Q., Boscolo, F. N. (2012). Correlation of panoramic radiography and cone beam CT findings in the assessment of the relationship between impacted mandibular third molars and the mandibular canal. *Dentomaxillofac Radiol*, 41(7), 553-557.
- Oenning, A. C., Jacobs, R., Pauwels, R., Stratis, A., Hedesiu, M., Salmon, B. (2018). Cone-beam CT in paediatric dentistry: DIMITRA project position statement. *Pediatr Radiol*, 48(3), 308-316.
- Pasler, F. (2008). *Zahnärztliche Radiologie* S.182ff
- Pell, G., Gregory, G. (1933). Impacted mandibular third molars: Classification and modified technique for removal. *The dental digest*, 39(9), 325-338.
- Quek, S. L., Tay, C. K., Tay, K. H., Toh, S. L., Lim, K. C. (2003). Pattern of third molar impaction in a Singapore Chinese population: a retrospective radiographic survey. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 32(5), 548-552.
- Reichart, P. (1983). Zur Technik der operativen Freilegung retinierter Zähne *Zahnärztliche Praxis*(34), 110-112.
- Reiche, D. (2003). Roche Lexikon Medizin. 5. Auflage. Abgerufen am 27.05.2019 unter <https://www.roche.de/lexikon/index.htm?loc=www.roche.de&content=/lexikon/suche.html>
- Rizzo, S., Lupi, S.M., Zampetti, P. (2009). Nerve damage resulting from oral surgery and medical legal implications. *Journal of Osseointegration*, 1(86-94).
- Rodriguez, Y., Baena, R., Beltrami, R., Tagliabo, A., Rizzo, S., Lupi, S. M. (2017). Differences between panoramic and Cone Beam-CT in the surgical evaluation of lower third molars. *J Clin Exp Dent*, 9(2), e259-e265.
- Rood, J. P., Shehab, B. A. (1990). The radiological prediction of inferior alveolar nerve injury during third molar surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 28(1), 20-25.
- Rottke, D. (2012). Digitale Volumentomographie: Was man wissen muss. *ZMK-Zahnheilkunde-Management-Kultur*.
- Rottke, D., Andersson, J., Ejima, K. I., Sawada, K., Schulze, D. (2017). Influence of lead apron shielding on absorbed doses from cone-beam computed tomography. *Radiat Prot Dosimetry*, 175(1), 110-117.

- Sanmarti-Garcia, G., Valmaseda-Castellon, E., Gay-Escoda, C. (2012). Does computed tomography prevent inferior alveolar nerve injuries caused by lower third molar removal? *J Oral Maxillofac Surg*, 70(1), 5-11.
- Schulze, R. (2013). S2k-Leitlinie: Dentale digitale Volumentomografie. Version Nr. 9, August 2013. Abgerufen am 27.05.2019 unter https://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/083-005I_S2k_Dentale_Volumentomographie_2013-10.pdf
- Schulze, R., Sazgar, M., Karle, H., de Las Heras Gala, H. (2017). Influence of a Commercial Lead Apron on Patient Skin Dose Delivered During Oral and Maxillofacial Examinations under Cone Beam Computed Tomography (CBCT). *Health Phys*, 113(2), 129-134.
- Schwenzer, N., Ehrenfeld, M. (2008). Chirurgische Grundlagen in der Reihe *Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde*, 4. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2008, S. 110.
- Sedaghatfar, M., August, M. A., Dodson, T. B. (2005). Panoramic radiographic findings as predictors of inferior alveolar nerve exposure following third molar extraction. *J Oral Maxillofac Surg*, 63(1), 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), 105-109.
- Sitzmann, F., Benz, C. (2000). Einzelbildstatus oder Orthopantomogramm. Stellungnahme der DGZMK V 2.0, Stand 12/00. Abgerufen am 27.05.2019 unter http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/Einzelbildstatus_oder_Orthopantomogramm.pdf
- Spitzer, W., Rücker, M. (2000). Zahnärztliche Röntgenologie. In: Schwenzer, N., Ehrenfeld, M., Hrsg. *Chirurgische Grundlagen in der Reihe Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde*, 4. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2008, S. 70.
- Su, N., van Wijk, A., Berkhout, E., Sanderink, G., De Lange, J., Wang, H., van der Heijden, G. J. (2017). Predictive Value of Panoramic Radiography for Injury of Inferior Alveolar Nerve After Mandibular Third Molar Surgery. *J Oral Maxillofac Surg*, 75(4), 663-679.
- Suomalainen, A., Pakbaznejad Esmaeili, E., Robinson, S. (2015). Dentomaxillofacial imaging with panoramic views and cone beam CT. *Insights Imaging*, 6(1), 1-16.
- Suomalainen, A., Venta, I., Mattila, M., Turtola, L., Vehmas, T., Peltola, J. S. (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), 276-284.
- Tantanapornkul, W., Okochi, K., Bhakdinaronk, A., Ohbayashi, N., Kurabayashi, T. (2009). Correlation of darkening of impacted mandibular third molar root on digital panoramic images with cone beam computed tomography findings. *Dentomaxillofac Radiol*, 38(1), 11-16.
- 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), 253-259.

- Tsapaki, V. (2017). Radiation protection in dental radiology - Recent advances and future directions. *Phys Med*, 44, 222-226.
- Ueda, M., Nakamori, K., Shiratori, K., Igarashi, T., Sasaki, T., Anbo, N., Hiratsuka, H. (2012). Clinical significance of computed tomographic assessment and anatomic features of the inferior alveolar canal as risk factors for injury of the inferior alveolar nerve at third molar surgery. *J Oral Maxillofac Surg*, 70(3), 514-520.
- Watanabe, H., Mohammad Abdul, M., Kurabayashi, T., & Aoki, H. (2010). Mandible size and morphology determined with CT on a premise of dental implant operation. *Surg Radiol Anat*, 32(4), 343-349.
- Winter, G.B. (1926). *The Principles of Exodontia as Applied to the Impacted Third Molar*. St. Louis: *Americian Medical Book Co*
- Wolff, C., Mücke, T., Wagenpfeil, S., Kanatas, A., Bissinger, O., Deppe, H. (2016). Do CBCT scans alter surgical treatment plans? Comparison of preoperative surgical diagnosis using panoramic versus cone-beam CT images. *J Craniomaxillofac Surg*, 44(10), 1700-1705.
- Xu, G. Z., Yang, C., Fan, X. D., Yu, C. Q., Cai, X. Y., Wang, Y., He, D. (2013). Anatomic relationship between impacted third mandibular molar and the mandibular canal as the risk factor of inferior alveolar nerve injury. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 51(8), e215-219.
- Zöller, J. E., Neugebauer, J. (2007). *Digitale Volumentomografie in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde*: Quintessenz Verlag GmbH, Berlin.
- Zuniga, J. R., Mistry, C., Tikhonov, I., Dessouky, R., Chhabra, A. (2018). Magnetic Resonance Neurography of Traumatic and Nontraumatic Peripheral Trigeminal Neuropathies. *J Oral Maxillofac Surg*. (4):725-736.

8 Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Professor Dr. med. dent. Herbert Deppe, Extraordinarius an der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Technischen Universität München für das entgegengebrachte Vertrauen bei der Überlassung des Themas und die ausgezeichnete Betreuung bei der Durchführung dieser Arbeit.

Frau Dr. Monika Kriner, Lehrbeauftragte der Virtuellen Hochschule Bayern, danke ich sehr für Ihre unendliche Mühe mir das Verständnis statistischer Analysen nahezubringen und für die wichtigen Sachhinweise bei der statistischen Bearbeitung des Themas.

Besonderer Dank gilt auch meinem Vater Professor Dr. med. Klaus Kleinschmidt, dem ich diese Arbeit widme, für seine unermüdliche Unterstützung bei meinem bisherigen beruflichen Werdegang und besonders bei der Durchsicht meiner Arbeit, seinem kritischen Hinterfragen und für die vielen Tipps, die für die Durchführung und Vollendung derselben eine große Hilfe waren.