

Aus der Klinik für Mund-, Kiefer und Gesichtschirurgie
der Universität zu Lübeck
Direktor: Prof. Dr. Dr. Peter Sieg

**Geschlechts- und altersspezifische Unterschiede in der Position
des Nervus alveolaris inferior am 1. und 2. Molaren anhand der
digitalen Volumentomographie**

Inauguraldissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde
der Universität zu Lübeck
- Aus der Sektion Medizin -

vorgelegt von

David Hilarius Scheuring
aus Bonn

Lübeck 2025

1. Berichterstatter: PD Dr. med. Dr. med. dent. Daniel Steller

Ko-Betreuerin: PD Dr. med. Anke Leichtle

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Jan Goltz

Tag der mündlichen Prüfung: 12.03.2026

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 19.03.2026

-Promotionskommission der Sektion Medizin-

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1. Einleitung	1
1.1 Einführung in die Thematik	1
1.2 Anatomische Grundlagen.....	1
1.2.1 Unterkiefer.....	1
1.2.2 N. alveolaris inferior	3
1.3 Sagittale Spaltosteotomie	4
1.3.1 Allgemein.....	4
1.3.2 Operationsverfahren	4
1.3.3 Epidemiologie.....	6
1.3.4 Therapeutischer Nutzen.....	7
1.3.5 Therapeutisches Risiko.....	8
1.3.6 Neurosensorische Störungen	8
1.3.7 Nutzen-Risiko-Verhältnis	10
1.4 Stand der Forschung NSD-Risikofaktoren	11
1.4.1 Geschlecht und Alter.....	11
1.4.2 Anatomische Einflussgrößen	11
1.5 Neue Aspekte dieser Dissertation.....	14
1.6 Zielsetzung und Fragestellung	15
2. Material und Methoden	17
2.1 Literaturrecherche	17
2.2 DVT-Aufnahmen.....	17
2.3 Patientenkollektiv.....	18
2.4 Dokumentation und Statistiksoftware	19
2.5 Messmethodik.....	19
2.6 Statistische Auswertung.....	22
3. Ergebnisse	25
3.1 Demographie	25

3.2	Messergebnisse	25
3.2.1	Geschlechtsspezifische Unterschiede.....	27
3.2.2	Altersspezifische Unterschiede	30
3.2.3	Unterschiede zwischen 1. und 2. Molaren	34
4.	Diskussion	37
4.1	Geschlechtsspezifische Unterschiede.....	37
4.1.1	Distanz zur äußeren Kortikalis.....	37
4.1.2	Distanz zur inneren Kortikalis	38
4.1.3	Kortikalis-Dicke	40
4.2	Altersspezifische Unterschiede.....	41
4.2.1	Distanz zur äußeren Kortikalis.....	41
4.2.2	Distanz zur inneren Kortikalis	42
4.2.3	Kortikalis-Dicke	43
4.3	Vergleich 1. Molarer Versus 2. Molarer	44
4.4	Weitere Einflussfaktoren für NSD	46
4.5	Alternative Verfahren zur BSSO	48
4.6	Limitationen	50
4.7	Fazit.....	51
5.	Zusammenfassung	54
6.	Literaturverzeichnis	56
7.	Anhang	69
7.1	Urdaten	69
7.2	Technische Daten DVT-Gerät.....	69
7.3	Viewer Programm Sidexis.....	72
8.	Danksagung.....	75
9.	Lebenslauf.....	76

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mandibula	2
Abbildung 2: Aufzweigung des N. mandibularis (= 3. Ast des N. trigeminus, V3) im Bereich des Unterkiefers	3
Abbildung 3: Technik der sagittalen Spaltung in der Modifikation nach Hunsuck und Epker.....	5
Abbildung 4: Technik der sagittalen Spaltung.....	5
Abbildung 5: Darstellung der Messstrecken an DVT-Aufnahmen.....	21
Abbildung 6: Altersverteilung Männer und Frauen	25
Abbildung 7: Histogramm horizontale Messungen zur äußeren Kortikalis am 1. Molaren linksseitig	26
Abbildung 8: QQ-Plot horizontale Messwerte links 1M-äK	27
Abbildung 9: Hohe Ramusosteotomie (HOO) versus bilaterale sagittale Spaltosteotomie (BSSO).....	48
Abbildung 10: subkondyläre Ramusosteotomie (IVRO).....	49

Abbildungen im Anhang

Abbildung A 1: Datenblatt DVT-Gerät	69
Abbildung A 2: Datenblatt DVT-Gerät	70
Abbildung A 3: Datenblatt DVT-Gerät	71
Abbildung A 4: Viewer Übersicht und Tools	72
Abbildung A 5: Bestimmung der Messstrecken mittels Winkel-Tool	72
Abbildung A 6: Messung zur inneren Kortikalis mittels Lineal-Tool.....	73
Abbildung A 7: Messung zur äußeren Kortikalis mittels Lineal-Tool	73
Abbildung A 8: Messung der Kortikalis-Dicke mittels Lineal-Tool.....	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: horizontale Messungen des gesamten Studienkollektivs	27
Tabelle 2: Geschlechtsspezifischer Vergleich der horizontalen Messungen	29
Tabelle 3: Geschlechtsspezifischer Vergleich der Kompositmessungen	29
Tabelle 4: Korrelation zwischen Alter und horizontalen Messungen.....	31
Tabelle 5: Korrelation zwischen Alter und Kompositmessungen	31
Tabelle 6: Ergebnisse Varianzanalyse Altersgruppen	33
Tabelle 7: Ergebnisse Scheffe Test.....	34
Tabelle 8: Vergleich Distanzen zwischen 1. und 2. Molaren	35
Tabelle 9: Vergleich kritischer Distanzen zwischen 1. und 2. Molaren	36

Abkürzungsverzeichnis

1M	1. Molarer
2M	2. Molarer
äk	äußere Kortikalis
ANOVA	<i>analysis of variance</i> , Varianzanalyse
BSSO	<i>bilateral sagittal split osteotomy</i> , bilaterale sagittale Spaltosteotomie
CT	Computertomographie
DVT	digitale Volumetomographie
HOO	<i>high oblique sagittal split osteotomy</i> , hohe (schräge) Ramusosteotomie
IAN	<i>inferior alveolar nerve</i> , Nervus alveolaris inferior
iK	innere Kortikalis
IVRO	<i>intraoral vertical ramus osteotomy</i>
KD	Kortikalis-Dicke
M.	Musculus
MC	<i>mandibular channel</i> , Mandibularkanal
MKG	<i>Mund-, Kiefer und Gesichtschirurgie</i>
N.	Nervus
NSD	<i>neurosensory disturbances</i> , neurosensorische Störungen
OHIP	<i>Oral Health Impact Profile</i>
OP	Operation
PSA	Panoramaschichtaufnahme
QQ-Plot	<i>quantile-quantile plot</i>
Rr.	Rami
SSO	<i>sagittal split osteotomy</i> , sagittale Spaltosteotomie
SSRO	<i>sagittal split ramus osteotomy</i> , sagittale Ramus-Spaltosteotomie
TMD	<i>temporomandibular disorder</i> , temporomandibuläre Gelenkdysfunktion
TMJ	<i>temporomandibular joint</i> - temporomandibuläres Gelenk
TSA	Transversalen Schichtaufnahme
USSO	<i>unilateral sagittal split osteotomy</i> , unilaterale sagittale Spaltosteotomie

1. Einleitung

1.1 Einführung in die Thematik

Die genaue Kenntnis der Lage des Nervus (N.) alveolaris inferior (IAN - inferior alveolar nerve) im Unterkiefer ist für viele kieferchirurgische Eingriffe essenziell, um eine iatrogene Schädigung zu vermeiden. So ist der Nerv beispielsweise gefährdet bei Umstellungsosteotomien, Implantationsverfahren, monokortikalen Schraubenfixierungen mandibulärer Frakturen, endodontischen Eingriffen an den unteren Molaren und bei Extraktionen von „Weisheitszähnen“ (Vidya et al., 2019). Eine Schädigung des IAN kann zu sensorischen Störungen leichten Grades bis hin zu Taubheitsgefühl von Unterlippe und Kinn führen (Vidya et al., 2019). Das Risiko, den IAN zu schädigen, unterscheidet sich je nach Art des Eingriffs.

Das Risiko von neurosensorischen Störungen (NSD – neurosensory disturbances) liegt bei einer Weisheitszahnentfernung bei 0,4-6 % (Ghaemina et al., 2009), bei Implantationsverfahren bei 17 % (Kovisto et al., 2011) und bei sagittalen Spaltosteotomien bei 9-85 % pro operierter Unterkieferseite (Westermarck et al., 1998). Zur Schädigung kann es durch Verletzung des Nervs beim Präparieren oder während der Osteotomie direkt kommen oder durch Kompression oder Dehnung indirekt kommen (Westermarck et al., 1998). Aufgrund von temporären oder dauerhaften NSD kann die Lebensqualität deutlich abnehmen (Çakır et al., 2018).

1.2 Anatomische Grundlagen

1.2.1 Unterkiefer

Der Unterkiefer ist ein C-förmiger Knochen, der aus dem Corpus mandibulae und den beiden Rami mandibulae besteht, in die er am Angulus (Kieferwinkel) übergeht. Das Corpus mandibulae enthält mit den Alveolarfortsätzen (Partes alveolares) den zahntragenden Teil des Unterkiefers. Die Rami mandibulae sind rechts- und linksseitig nach dorsal und lateral aufsteigende Knochenäste des Corpus. Kranial geht von jedem Ramus ein Processus coronoideus und ein Processus condylaris ab. Letzterer trägt das Caput mandibulae, das Gelenkköpfchen des Kiefergelenks. Ventral des Ramus verläuft die Linea obliqua, ein Knochenkamm, die ungefähr

lateral des 2. Molaren in das Corpus übergeht. Auf der Innenseite jedes Ramus befindet sich mittig in Form des Foramen mandibulae die Öffnung zum Canalis mandibulae, in dem der IAN verläuft. Von dort aus verläuft der Canalis mandibulae im Unterkieferknochen nach ventral, wo er im Foramen mentale nach außen auf Höhe des 2. Prämolaren mündet. Die Lingula mandibulae ist eine Knochenzunge, die das Foramen mandibulae von kranioventral überdeckt (Michael Schünke, Erik Schulte, Udo Schumacher, 2015).

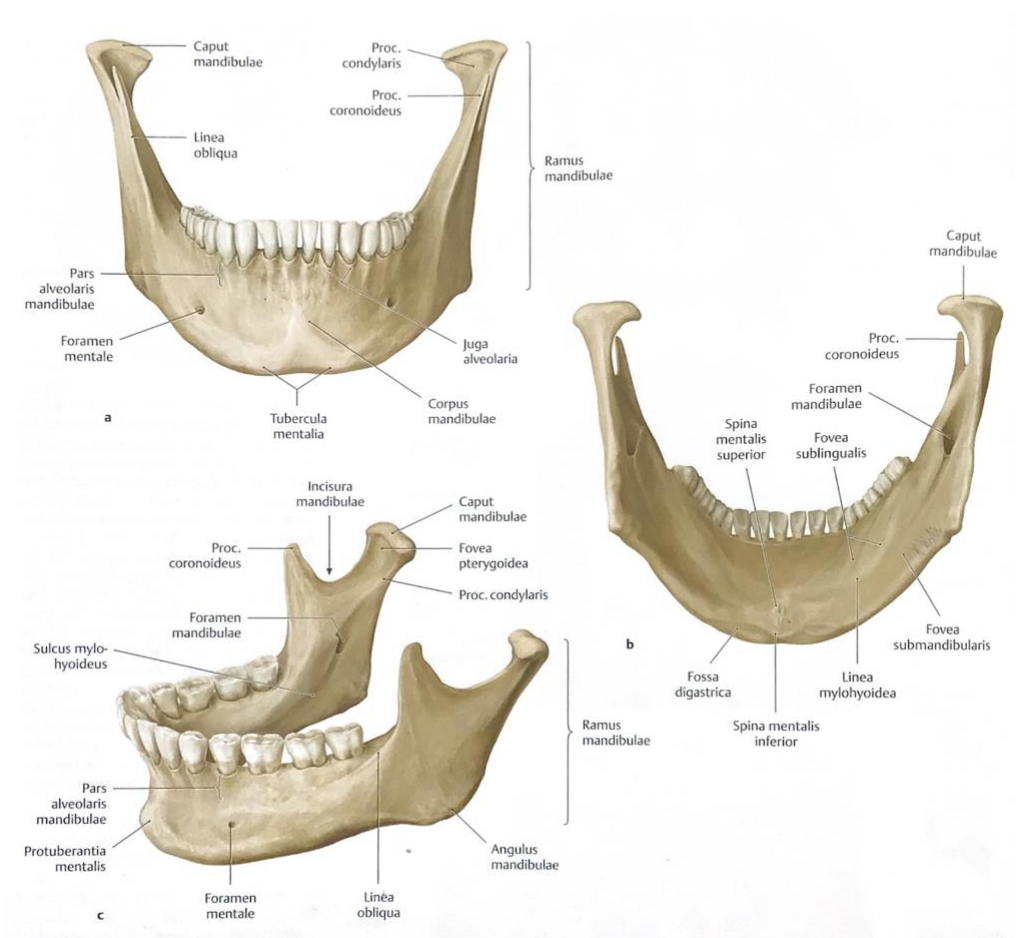


Abbildung 1: Mandibula

a: Ansicht von frontal, b: Ansicht von dorsal, c: Ansicht von schräg-links

Entnommen aus Schünke et al., Kopf Hals und Neuroanatomie, 4. Auflage 2015, S. 46 © Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart

1.2.2 N. alveolaris inferior

Der IAN entstammt dem 5. Hirnnerven, dem N. trigeminus. Dieser teilt sich in drei Hauptäste auf von denen der dritte Ast der N. mandibularis (V3) ist. Der N. mandibularis zieht durch das Foramen ovale der Schädelbasis in die Fossa infratemporalis, wo er unter anderem den IAN abgibt. Der IAN verläuft zwischen M. pterygoideus medialis und M. pterygoideus lateralis zum Foramen mandibulae, durch das er in den Canalis mandibulae eintritt. Am Ende des Kanals verlässt er ihn über das Foramen mentale mit seinem Endast, dem N. mentalis. Bis auf einen motorischen Ast (N. mylohyoideus), der vor dem Canalis mandibulae abgegeben wird, hat der IAN nur sensible Äste. Die Rr. dentales inferiores zweigen im Verlauf des Canalis mandibulae zu den Zähnen ab und versorgen diese. Der N. mentalis innerviert die Haut des Kinns und der Unterlippe sensibel (Michael Schünke, Erik Schulte, Udo Schumacher, 2015).

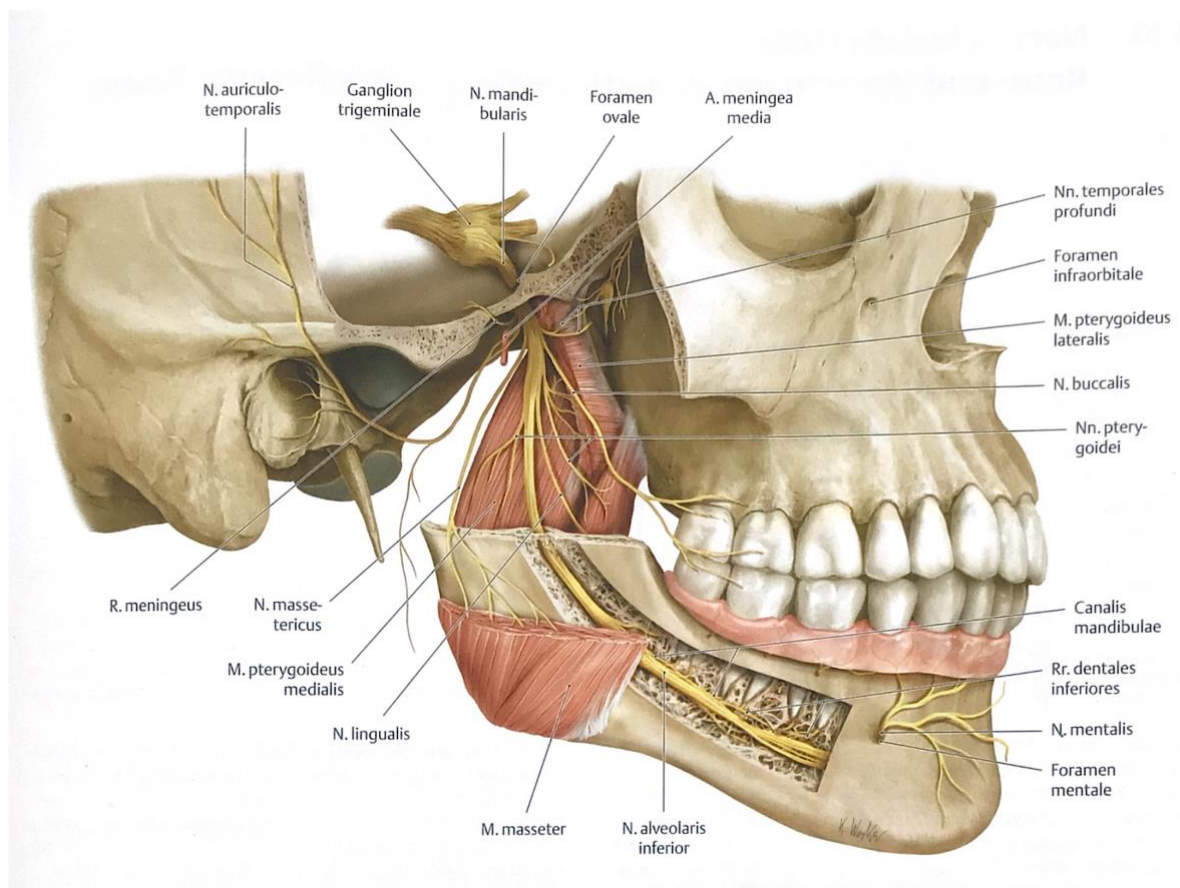


Abbildung 2: Aufzweigung des N. mandibularis (= 3. Ast des N. trigeminus, V3) im Bereich des Unterkiefers

Entnommen aus Schünke et al., Kopf Hals und Neuroanatomie, 4. Auflage 2015, S. 123 © Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart

1.3 Sagittale Spaltosteotomie

1.3.1 Allgemein

Die sagittale Spaltosteotomie (SSO) ist ein Verfahren zur Korrektur verschiedener Dysgnathien. Skelettale Dysgnathien sind angeborene oder erworbene Form- und Lageanomalien der Kiefer. Dabei kann der Unterkiefer zu lang (mandibuläre Prognathie) oder zu kurz (mandibuläre Retrognathie) in Relation zum Oberkiefer sein. Die SSO kann auch zur Korrektur von Asymmetrien (hemimandibuläre Hyper- / Hypoplasie) angewendet werden (Monson, 2013).

Am häufigsten wird die SSO im Fall von mandibulärer Pro- oder Retrognathie beidseitig durchgeführt als „bilateral sagittale Spaltosteotomie“ (BSSO). Bei Asymmetrien kann die SSO aber auch einseitig als „unilaterale sagittale Spaltosteotomie“ (USSO) durchgeführt werden (Beukes et al., 2016). SSO, SSRO (sagittal split ramus osteotomy) und BSSO werden in der Literatur oft synonym verwendet und bezeichnen meist die beidseitige Spaltung des Unterkiefers, wobei dies per Definition nur bei der BSSO obligat ist. Das Prinzip der BSSO beruht auf der sagittalen Spaltung beider Rami, sodass das Corpus je nach Korrektur vor- oder zurückgeschoben werden kann, um die Längendifferenz zum Oberkiefer auszugleichen. Anschließend wird das Corpus in seiner neuen Position durch eine Plattenosteosynthese fixiert (Monson, 2013).

1.3.2 Operationsverfahren

Da die IAN-Position keine Bedeutung für die Weichteilpräparation hat, wird diese hier nicht beschrieben, sondern nur auf die Osteotomie-Technik fokussiert.

Nach Präparation der Weichteile und Freilegen des Knochens beginnt die BSSO mit der lingualen Osteotomie. Die linguale Kortikalis wird zwischen Inzisur und Foramen mandibulae im anterioren Bereich parallel zur Zahnreihe des Unterkiefers mittels der Lindemann-Fräse durchtrennt. In der Modifikation nach Hunsuck, wird die linguale Osteotomie nicht bis zum dorsalen Ramusende fortgesetzt, sondern dorsal der Lingua vertikal zum kaudalen Ramusrand hin komplettiert (Abb. 3) (Hunsuck, 1968).

Als nächstes wird die bukkale Kortikalis durch einen vertikalen Knochenschnitt zwischen dem 1. und 2. Molaren bis zum Unterkieferrand durchtrennt. Durch einen

median und längs der Linea obliqua verlaufenden Knochenschnitt mit der Lindemann-Fräse werden linguale und bukkale Osteotomie verbunden.

Die definitive Spaltung des Unterkiefers kann nun entweder durch flexible Meißel (Steinhäuser-Meißel) oder durch einen Sprengmeißel (nach Lexer) erfolgen. Die flexiblen Meißel werden zur Schonung des Gefäß-Nerven-Bündels in mediolateraler



Abbildung 3: Technik der sagittalen Spaltung in der Modifikation nach Hunsuck und Epker

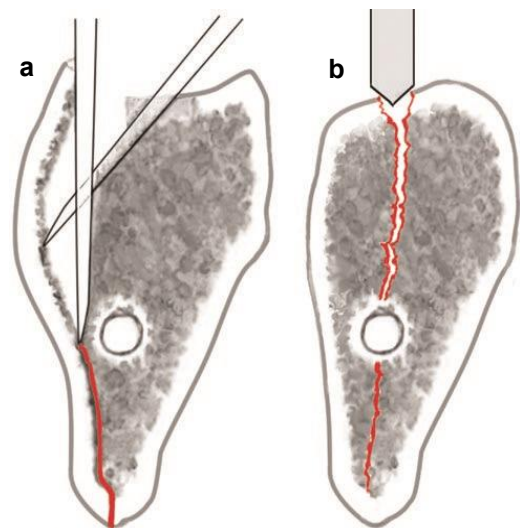


Abbildung 4: Technik der sagittalen Spaltung

a Osteotomie mittels flexibler Meißel (Steinhäuser-Meißel). **b** Osteotomie mittels Sprengmeißel (nach Lexer)

Entnommen aus Eufinger et al., Mund-, Kiefer und Gesichtschirurgie: Operationslehre und -atlas, 5. Auflage 2021, S. 435 © Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Richtung unter Berücksichtigung der Oberflächenkrümmung der äußeren Kortikalis durch mehrfaches Umsetzen gleichmäßig vorangetrieben (Abb. 4). Bei der alternativen Osteotomie mittels Sprengmeißel, wird dieser im Bereich des 3. Osteotomiespalts aufgesetzt und durch kurze Impulsschläge eine fissurale Fraktur in sagittaler Richtung entsprechend der Osteotomielinie erzielt (Abb. 4). Der Frakturspalt wird anschließend mit zwei Lexer-Dehnmeißeln schrittweise aufgedehnt. Diese Methode hat den Vorteil einer geringeren Verletzungsgefahr für den IAN im Vergleich zur Osteotomie mit scharfen Steinhäuser-Meißeln. Beim Spalten mit den Dehnmeißeln kann der Nerv vorsichtig schrittweise freigelegt und

geschont werden. Nachteilig ist ein häufigeres Auftreten von „bad splits“ (ungünstige Frakturmuster im Rahmen der Spaltung). Auf der Gegenseite wird gleich verfahren (Eufinger et al., 2021).

Bei mandibulärer Retrognathie kann nun der zahntragende Unterkieferbogen mit dem Zielsplint (Kunststoffschiene) in die präoperativ geplante Soll-Position (Vorverlagerung) zum Oberkiefer gebracht und durch Drahtligaturen („mandibulomaxilläre Fixation“) daran gesichert werden (Roser et al., 2011). Nach einer Rückverlagerung des Kiefers bei Patienten mit Prognathie muss die äußere Kortikalis des Ramus so weit gekürzt werden, dass sich die bukkalen Kortikalislamellen im Bereich der vertikalen Osteotomielinie nicht mehr berühren (Eufinger et al., 2021). Die Osteosynthese der neupositionierten Unterkieferfragmente kann mit Positionsschrauben, Miniplatten oder adjustierbaren Split-Fix-Platten erfolgen (Roser et al., 2011).

1.3.3 Epidemiologie

Die Spanne der Prävalenz von Dysgnathien ist in der Literatur sehr groß. Dysgnathien sind meist mit Malokklusionen (Fehlbissen) verbunden und lassen sich anhand dieser klassifizieren. De Ridder et al. (2022) ermittelten unter Einschluss von 123 Artikeln eine mittlere Prävalenz von 23,8 % für Angle-Klasse-II-Okklusionen (relativer maxillärer Überstand) und 6,5 % für Angle-Klasse-III-Okklusionen (relativer mandibulärer Überstand) in Probanden unter 19 Jahren. Eine US-amerikanische Gesundheitsstudie über die Jahre 1989–1994 schätzte, dass bei 2,7 % der Bevölkerung Malokklusionen aufgrund dentofazialer Deformitäten vorliegen, die einer chirurgischen Therapie bedürfen (Roser et al., 2011). Davon waren ca. 74 % mandibuläre Hypoplasien und/ oder vertikale maxilläre Hyperplasien, 11 % mandibuläre Hyperplasien und/ oder maxilläre Hypoplasien, 11 % offene Bisse und 3,7 % Asymmetrien.

Da mit der BSSO sowohl relative mandibuläre als auch maxilläre Überstände therapiert werden können, durch Rück- oder Vorverlagerung des Unterkiefers, ist sie eine der häufigsten orthognathiechirurgischen Operationen. Es gibt wenig

Daten zur Häufigkeit der BSSO, gleichzeitig gibt es große regionale Unterschiede. Eine Studie in Schweden fand durch Befragung von 47 Kliniken heraus, dass die Inzidenz der Orthognathie-Chirurgie bei ca. 0,0094 % im Jahr 2011 lag (Andrup, 2015).

1.3.4 Therapeutischer Nutzen

Aus einer Malokklusion können zahlreiche negative Folgen resultieren. Leck et al. (2022) fassten in einem umfangreichen Review von 799 Publikationen Komplikationen einer schweren Malokklusion zusammen. Eine schwere Malokklusion war assoziiert mit einer Minderung der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität, einer temporomandibulären Gelenkdysfunktion¹ (TMD), Kaufunktionseinschränkungen, einem obstruktiven Schlafapnoe-Syndrom, traumatischen Zahnverletzungen, Zahnoberflächenverlust und einer Schädigung des Parodontiums. Durch eine mitunter chirurgische Therapie können diese Komplikationen eventuell verhindert werden. Pahkala und Kellokoski (2007) untersuchten mittels Befragung von 82 Dysgnathie-Patienten den Einfluss der BSSO auf deren Beschwerden und ihre Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis. Es gaben 40 % der Patienten mit TMD nach BSSO eine Besserung der Beschwerden an. Ebenso besserten sich Kopf- und Gesichtsschmerzen bei 56 % der Betroffenen. Die Kaufunktion verbesserte sich bei 61 %. 82 % der Patienten nahmen eine Verbesserung im Aussehen ihres Gesichtes wahr. 45 % gaben ein gesteigertes Selbstbewusstsein an, wobei dieser Effekt bei Frauen stärker ausgeprägt war. 72 % der Patienten waren sehr zufrieden mit dem Behandlungsergebnis, 27 % waren eher zufrieden und keiner der Patienten äußerte Unzufriedenheit.

Pahkala und Kellokoski (2007) schlussfolgern, dass Patienten generell im Hinblick auf funktionale und psychosoziale Faktoren von der kieferchirurgischen Therapie profitieren

¹ TMD (temporomandibular joint dysfunction) sind eine Gruppe von Erkrankungen, die Schmerzen und Funktionsstörungen im Kiefergelenk und in den Muskeln verursachen, die die Kieferbewegung steuern.

1.3.5 Therapeutisches Risiko

Wie jede Operation birgt die BSSO auch potenzielle Risiken, die berücksichtigt werden müssen. Die Studie von Pahkala und Kellokoski (2007) zeigte neben den vielen Verbesserungen auch einige subjektiv wahrgenommene Verschlechterungen in den untersuchten Aspekten.

6 % der Patienten gaben an, dass sich ihre Kaufunktion nach der BSSO verschlechtert hat. 12 % berichteten von einer Verschlechterung der TMJ- (temporomandibular joint)Probleme. Keine Verbesserung wurde im TMJ-Schmerz und Kopfschmerz bemerkt bei 20 % respektive 12 % der Patienten.

Neben allgemeinen OP-assoziierten Komplikationen wurden für die BSSO im Spezifischen noch neurosensorische Störungen (NSD) der Unterlippe bei 33,9 % der Patienten, bad splits bei 2,3 % der operierten Unterkieferseiten, postoperative Infektionen bei 9,6 % und die Entfernung von Osteosynthesematerial bei 11,2 % der Patienten beschrieben (Verweij et al., 2016). Ein bad split kann wiederum zu Infektionen, Knochensequestern², verzögerter Knochenheilung, einer Pseudarthrose, postoperativer Instabilität und TMD führen (Chrcanovic und Freire-Maia, 2012).

1.3.6 Neurosensorische Störungen

Aufgrund der hohen Inzidenz und schwerwiegenden Auswirkungen stellen NSD das größte Risiko im Rahmen der BSSO dar. Neurosensorische Störungen (NSD) des IAN bezeichnen ein unterschiedlich stark ausgeprägtes Taubheitsgefühl (Hypästhesie) der Unterlippe und des Kinns (Colella et al., 2007). Durch nicht standardisierte Methoden der NSD-Erfassung und unterschiedliche Kontrollintervalle, ist die Spanne der berichteten NSD-Inzidenzen mit 9-85 % sehr groß (Westermarck et al., 1998). Unmittelbar nach einer BSSO geben nahezu alle Patienten eine trigeminale sensorische Hypästhesie an, da es durch eine

² Knochensequester: abgestorbenes Knochenfragment, das Wundheilung behindert und bei ausbleibender Abstoßung chirurgisch entfernt werden muss

intraoperative Manipulation um und am Nerven zwangsläufig zu einer vorübergehenden Beeinträchtigung kommt (Nakagawa et al., 2001). Daher muss zwischen temporären und anhaltenden Hypästhesien unterschieden werden.

Seddon (1943) klassifizierte eine temporäre Hypästhesie als Neurapraxie. Neurapraxie ist definiert als Leitungsblock, der aus einer leichten Verletzung des Nervenstamms ohne axonale Degeneration resultiert. Über 6 Monate anhaltende Hypästhesien wurden als Axonotmesis klassifiziert, eine axonale Durchtrennung von Nervenfasern bei erhaltenen Hüllstrukturen des Nervens. Eine komplette Durchtrennung eines Nerven ohne spontane Regeneration wurde als Neurotmesis definiert und ist ohne chirurgische Nervennaht mit dauerhaftem Funktionsverlust distal der Unterbrechung verbunden.

Colella et al. (2007) analysierten in einem Review 7 Studien die bei BSSO-Patienten postoperativ den neurosensorischen Status des IAN bis zu einem Jahr postoperativ nachverfolgt haben. Alle Studien verwendeten sowohl objektive Tests wie z.B. die Messung der Nervenleitgeschwindigkeit, als auch subjektive Tests bei denen Patienten die Wahrnehmung von verschiedenen taktilen Reizen rückmelden sollten. Am 7. postoperativen Tag wurden bei 63,3 % NSD objektiv nachgewiesen, während es 83 % nach den Ergebnissen der subjektiven Tests waren. Drei Monate postoperativ waren es mit beiden Methoden ungefähr jeweils 50 %. Sechs Monate nach BSSO konnten bei 33 % NSD objektiviert werden, gleichzeitig wurden NSD bei 36 % subjektiv erfasst. Über 1 Jahr persistierten NSD in 12,8 % bei objektiven und 23,8 % bei subjektiven Testverfahren.

In Da Costa Senior et al. (2020) persistierten in 15 % der Patienten NSD noch 3 Jahre nach BSSO.

Çakır et al. (2018) verglichen mittels des „Oral Health Impact Profile“ (OHIP-14) die Lebensqualität in einer Gruppe mit NSD des IAN und einer Kontrollgruppe ohne NSD nach einem kieferchirurgischen Eingriff. Das OHIP ist ein Fragebogen zur mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität. Je höher die Gesamtpunktzahl ist, desto geringer ist die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität. Die NSD-Gruppe hatte hochsignifikant höhere Punktzahlen in den Kategorien funktionelle Einschränkung, psychisches Unwohlsein, psychische Beeinträchtigung und Behinderung.

Damit sind NSD eine schwerwiegende Nebenwirkung der BSSO, die die Lebensqualität stark beeinträchtigen kann. Auch wenn der Großteil der NSD nur temporär ist, kann oft noch über 3 Jahre nach einer Operation eine veränderte Sensibilität von Patienten empfunden werden.

1.3.7 Nutzen-Risiko-Verhältnis

Die BSSO führt nicht immer zur Verbesserung der Beschwerden, sondern kann sogar in seltenen Fällen eine Verschlechterung bestimmter Symptome bewirken (Pahkala & Kellokoski, 2007). Gleichzeitig beinhaltet sie einige Risiken, die von normalen Eingriffsrisiken bis hin zu dauerhaft die Lebensqualität einschränkenden Komplikationen reichen (Çakır et al., 2018). In der Mehrzahl der Fälle erhöht sie jedoch die Lebensqualität, indem funktionelle Beschwerden reduziert oder behoben werden und die Zufriedenheit und das Selbstbewusstsein der Patienten erhöht werden (Pahkala & Kellokoski, 2007).

Um insbesondere die NSD-Rate zu reduzieren, sollten zum einen Verfahren angewendet und weiterentwickelt werden die den IAN schonen, zum anderen sollten individuelle Risikofaktoren evaluiert und zusammen mit dem Patienten abgewogen werden.

1.4 Stand der Forschung NSD-Risikofaktoren

1.4.1 Geschlecht und Alter

Der Zusammenhang zwischen Geschlecht und NSD-Risiko wird in der wissenschaftlichen Literatur kontrovers diskutiert. Verweij et al. (2016) werteten in einer Metaanalyse 59 Studien aus, die sich mit Komplikationen der BSSO und ihren Risikofaktoren beschäftigt haben. Die Auswertung ergab, dass die Mehrzahl der Studien keinen signifikanten Einfluss des Geschlechts auf das NSD-Risiko feststellen konnte. Diese Metaanalyse berücksichtigt jedoch nicht die Studien von Yoshioka et al. (2010, 2011, 2012), Bruckmoser et al. (2013) und Kokuryo et al. (2018), die ein signifikant erhöhtes NSD-Risiko für Frauen gegenüber Männern ermittelt haben. Auch wenn die Datenlage uneindeutig ist, scheint die Tendenz in Richtung eines erhöhten NSD-Risikos bei Frauen zu gehen.

Konsens besteht dagegen in Bezug auf den Einfluss des Alters auf das NSD-Risiko. Mit zunehmendem Alter steigt das Risiko postoperativer NSD (Verweij et al., 2016). Mensink et al. (2012) und Politis et al. (2013) gaben für permanente NSD nach einer BSSO eine Risikozunahme von 5 % pro Jahr an. Patienten jenseits des 30. Lebensjahres haben ein höheres Risiko einen Nervenschaden und daraus folgend permanente NSD zu erleiden, verglichen mit 18-30-jährigen (Nesari et al., 2005; Westermarck et al., 1999). Es wurde berichtet, dass diese Patienten eine erhöhte Belastung durch die NSD erfahren und folglich unzufriedener nach einer BSSO waren (August et al., 1998; Espeland et al., 2008; Phillips et al., 2009; Westermarck et al., 1999).

1.4.2 Anatomische Einflussgrößen

Neben Patientencharakteristika wurden noch eine Reihe anatomischer Merkmale und ihr Einfluss auf das NSD-Risiko erforscht. Es werden folgende, aktuelle Erkenntnisse zu den drei anatomischen Einflussgrößen vorgestellt, die Gegenstand dieser Arbeit sind.

1.4.2.1 Distanz zur äußeren Kortikalis

Die am häufigsten untersuchte anatomische Einflussgröße in diesem Kontext, ist die Distanz zwischen IAN und bukkaler äußerer Kortikalis³. Rich et al. (2014) fassten in einem Review 7 Studien zusammen, von denen 5 die beschriebene Distanz betrachtet haben. Alle Studien haben die Distanz am 2. Molaren gemessen. Einige Studien haben noch zusätzlich an weiteren Stellen entlang des IAN-Messungen durchgeführt. Es zeigte sich ausnahmslos ein signifikant häufigeres Auftreten von NSD bei einer abnehmenden Distanz. In der Studie von Yoshioka et al. (2010) hatten Patienten mit NSD im Mittel eine Distanz von $4,53 \pm 1,03$ mm, die signifikant kürzer war als die mittlere Distanz der Patienten ohne NSD mit $7,11 \pm 1,1$ mm ($p = 0,001$). Huang et al. (2013) maßen die Distanz an 292 Unterkieferseiten in 2 mm-Abständen von der Lingula bis zum 1. Molaren (insgesamt 40 mm Strecke). In allen 21 koronaren Schnittbildern waren die mittleren Distanzen der NSD-Gruppe kürzer als die der Nicht-NSD-Gruppe. Die Unterschiede waren in der retromolaren Region signifikant. Kokuryo et al. (2018) konnten einen signifikanten Unterschied in der mittleren Distanz zwischen einer Gruppe mit und einer ohne NSD nach BSSO feststellen. Die NSD-Gruppe hatte eine signifikant kürzere mittlere Distanz als die Gruppe ohne NSD. Drei Monate nach BSSO war die mittlere Distanz in der NSD-Gruppe zwar kürzer als in der Gruppe ohne NSD, der Unterschied war aber nicht mehr signifikant.

Auch Kanneth et al. (2023) beobachteten, dass eine zunehmende Distanz das Auftreten von Nervenschädigungen reduziert und postoperativ zu einer verbesserten Sensibilität führt.

1.4.2.2 Distanz zur inneren Kortikalis

Eine weitere Distanz, die mit dem NSD-Risiko korreliert, ist die Distanz zwischen IAN und bukkaler innerer Kortikalis. Als gesichert gilt, dass eine abnehmende Distanz mit einem zunehmenden Auftreten von NSD verbunden ist (Kuroyanagi et al., 2013; Lee et al., 2016; Yamamoto et al., 2002; Yamauchi et al., 2012).

Lee et al. (2016) haben diese Distanz an 98 Patienten in der Region des 1. und 2. Molaren gemessen. Es wurde herausgefunden, dass eine Zunahme der Distanz um

³ Äußere Kortikalis meint immer die äußere Grenze der Kortikalis. Analog meint innere Kortikalis die innere Grenze der Kortikalis, die der Spongiosa anliegt.

1 mm das Risiko von NSD 3 Monate nach SSRO um 25,5 % und 12 Monate nach SSRO um 26,3 % reduziert.

Kuroyanagi et al. (2013) führte an 100 Unterkieferseiten (50 Patienten) 8 verschiedene Messungen durch, unter anderem auch die Messung der Distanz zwischen IAN und innerer bukkaler Kortikalis. Anders als Lee et al. (2016) wurden die Messungen nicht in der Molaren- sondern in der Ramusregion durchgeführt. Es wurde eine Distanz von $<1,5$ mm zwischen IAN und innerer Kortikalis als eine kurze Distanz und eine Distanz von $\geq 1,5$ mm als lange Distanz definiert. 33 Patienten hatten eine kurze und 67 Patienten eine lange Distanz. Bei den Patienten mit kurzer Distanz persistierten NSD in 21,2 % der Fälle noch nach 6 Monaten, bei den Patienten mit langer Distanz persistierten sie dagegen nur in 6 % der Fälle. Mit einer multivariaten Analyse wurde ein relatives Risiko von 4,4 berechnet ($p = 0,032$). Dies bedeutet, dass in der Studie bei Patienten mit kurzer Distanz die Wahrscheinlichkeit 4,4-mal höher war, dass NSD nach 6 Monaten persistierten als bei Patienten mit einer langen Distanz (Kuroyanagi et al., 2013).

Yamamoto et al. (2002) haben dieselbe Distanz an 40 Unterkieferseiten gemessen. Es wurde beobachtet, dass ein Jahr nach BSSO keiner der Patienten mit einer Distanz von ≥ 1 mm NSD hatte. Dagegen lag die NSD-Inzidenz der Patienten mit einer Distanz < 1 mm bei 61,5 %. Die statistische Auswertung ergab, dass NSD signifikant häufiger auftraten, wenn die Distanz $< 0,8$ mm war ($p=0,002$). Yamauchi et al. (2012) kamen zu einem ähnlichen Ergebnis. NSD traten in 57,1 % der Patienten mit einer Distanz < 1 mm auf und nur in 7,7 % der Patienten mit einer Distanz ≥ 2 mm.

Agbaje et al. (2013) fanden in einer Studie an 440 operierten Unterkieferseiten heraus, dass die Distanz zwischen IAN und innerer bukkaler Kortikalis signifikant mit der Häufigkeit korreliert, mit der der IAN intraoperativ am proximalen Segment anhängt. Je kürzer die Distanz, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass der IAN am proximalen Segment anhängt. Ein Anhängen des IAN am proximalen Segment verlängert die OP-Zeit und erhöht das Risiko einer Nervenschädigung (Agbaje et al., 2013).

Eine weitere Korrelation mit der Distanz zur inneren Kortikalis konnte im Zusammenhang mit bad splits beobachtet werden. Jiang et al. (2021) stellten in einer Studie an 484 Patienten fest, dass in der bad split Gruppe mit $M = 4,02$ mm

die Distanz signifikant kürzer war als in der Gruppe mit normalem Spaltmuster mit $M = 4,8 \text{ mm}$ ($p = 0,003$).

1.4.2.3 Kortikalis-Dicke

Lee et al. (2016) untersuchten die Beziehung zwischen der bukkalen Kortikalis-Dicke, NSD und der intraoperativen Nervenexposition. Es konnte keine direkte Korrelation zwischen der Kortikalis-Dicke und dem Auftreten von NSD nachgewiesen werden. Es konnte jedoch eine signifikante Korrelation zwischen Kortikalis-Dicke und Nervenexposition festgestellt werden. Das Risiko der Nervenexposition erhöhte sich 3,5-fach, wenn die bukkale Kortikalis-Dicke um 1 mm zunahm. Die Nervenexposition korreliert wiederum signifikant mit NSD, wie mehrere Studien belegen (Lee et al., 2016; Nakagawa et al., 2003; Yuan et al., 2007). Ein direkt frei liegender Nerv in der Operation erhöhte das Risiko von NSD 3 Monate nach SSRO um das 13-fache, 6 Monate nach SSRO um das 10-fache und 12 Monate nach SSRO um das 7-fache (Lee et al., 2016). Es wird angenommen, dass eine dickere bukkale Kortikalis mehr Platz lateral des IAN einnimmt und dadurch den Spongiosaraum verkleinert, der den Nerven einbettet, wodurch die Wahrscheinlichkeit einer direkten Nervenfreilegung zunimmt (Lee et al, 2016).

Weiterhin wurde ein Einfluss der Kortikalis-Dicke auf das Risiko eines bad split thematisiert. Hou et al. (2015) konnte bereits eine signifikante Korrelation zwischen der Kortikalis-Dicke und dem Auftreten verschiedener Spaltmuster beobachten. Laut Chrcanovic & Freire-Maia (2012) prädisponiert eine dünne Kortikalis für bad splits. Hou et al. (2015) führt diesen Umstand unter anderem darauf zurück, dass eine dünnere Kortikalis schneller frakturiert als eine dickere. In der Studie von Telha et al. (2023) hatten Patienten mit bad split am 1. Molaren und distal des 2. Molaren im Mittel eine dünnere bukkale Kortikalis als Patienten ohne bad split. Die Ergebnisse waren bei einer Stichprobengröße von 96 Patienten nicht signifikant.

1.5 Neue Aspekte dieser Dissertation

Wie die Darstellung der bisherigen Literatur zeigt, gibt es bereits einige Vorarbeiten zu diesem Thema. Es gibt jedoch wenige Studien an großen Kollektiven, die es

ermöglichen, Unterschiede valide bezüglich ihrer statistischen Signifikanz zu testen. Außerdem wurden insgesamt viele Studien an asiatischen Kollektiven durchgeführt, während in dieser Arbeit ein kaukasisches Kollektiv untersucht wurde. Des Weiteren wurden teilweise inkonsistente Ergebnisse publiziert. Insofern gibt es zu diesem Thema noch eine Reihe von Detailfragen (Subgruppen-Unterschiede; optimale Messebene), die nicht abschließend geklärt sind. Diese Arbeit strebt an, eine umfassende anatomische Untersuchung aller Messparameter in einem großen Kollektiv durchzuführen, um deren Variabilität verlässlich abzubilden und potenzielle Einflussfaktoren zu identifizieren. Es wird dazu auf die ausführliche Darstellung in der Diskussion verwiesen.

1.6 Zielsetzung und Fragestellung

Die präoperative, anatomische Kenntnis der individuellen Lage des IAN ist von großer Bedeutung, um bei kieferchirurgischen Eingriffen eine Schädigung zu vermeiden. Gerade bei der sagittalen Spaltosteotomie kommt es jedoch noch relativ oft zu postoperativen NSD durch direkte oder indirekte Schädigung des IAN. Die zitierten Studien belegen, dass vor allem die Distanz zwischen IAN-Kanal und äußerer sowie innerer bukkaler Kortikalis auf Höhe des 2. Molaren ein wichtiger prognostischer Faktor für das Auftreten von NSD nach sagittaler Spaltosteotomie sind.

Zielsetzung dieser Dissertation ist, anatomische Daten einer repräsentativen Kohorte zu generieren und im Kontext der aktuellen Literatur einzuordnen, um Operateuren bei sagittalen Spaltosteotomien präoperativ eine Hilfe zu geben, das Risiko einer operationsassoziierten neurosensorischen Störung des N. alveolaris inferior besser einzuschätzen und dementsprechend intra-operativ zu reduzieren. Dazu sollen die Distanzen des IAN zur bukkalen inneren und äußeren Kortikalis-Begrenzung bestimmt werden. Des Weiteren soll die Kortikalis-Dicke ermittelt werden. Die Messungen sollen auf Höhe des 1. und 2. Molaren jeweils durchgeführt werden, da in dieser Region die Distanz zwischen Nerv und bukkaler Kortikalis am kürzesten ist. In Subgruppenanalysen soll untersucht werden, ob geschlechts- und / oder altersspezifische Unterschiede existieren. Weiterhin sollen die Ergebnisse am 1. Molaren mit denjenigen am 2. Molaren verglichen werden.

Aus dieser Zielsetzung ergeben sich folgende, konkrete Fragestellungen, die in dieser Arbeit beantwortet werden sollen:

1. Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede in der Distanz des N. alveolaris inferior zur bukkalen Kortikalis am 1. und 2. Molaren?
 - 1.1 zur äußeren Kortikalis
 - 1.2 zur inneren Kortikalis
2. Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede in der bukkalen Kortikalis-Dicke am 1. und 2. Molaren?
3. Gibt es altersspezifische Unterschiede in der Distanz des N. alveolaris inferior zur bukkalen Kortikalis am 1. und 2. Molaren?
 - 3.1 zur äußeren Kortikalis
 - 3.2 zur inneren Kortikalis
4. Gibt es altersspezifische Unterschiede in der bukkalen Kortikalis-Dicke am 1. und 2. Molaren?
5. Gibt es Unterschiede in der Distanz des N. alveolaris inferior zur bukkalen Kortikalis zwischen 1. und 2. Molaren?
 - 5.1 zur äußeren Kortikalis
 - 5.2 zur inneren Kortikalis
6. Gibt es Unterschiede in der bukkalen Kortikalis-Dicke zwischen 1. und 2. Molaren?
7. Wird am 1. oder 2. Molaren die kritische Distanz von 1,5 mm zwischen N. alveolaris inferior und innerer bukkaler Kortikalis häufiger unterschritten?

2. Material und Methoden

2.1 Literaturrecherche

Für die Literaturrecherche wurden die Datenbanken PubMed und Google Scholar im Zeitraum von April 2022 bis Oktober 2023 mehrmals durchsucht. Suchbegriffe waren unter anderem „sagittal split, BSSO, neurosensory disturbances, paresthesia, inferior alveolar nerve position, mandibular canal und cone beam“. Diese Suchbegriffe wurden in unterschiedlichen Kombinationen und mit verschiedenen Operatoren abgefragt. Reviews und Metaanalysen wurden bei Verfügbarkeit priorisiert. Ausgeschlossen wurden Studien, die keine der drei hier thematisierten Distanzen untersucht haben oder eine deutlich abweichende Messtechnik verwendeten. Insgesamt wurde darauf geachtet aktuelle Publikationen heranzuziehen. Die Darstellung der anatomischen Grundlagen erfolgte zudem unter Nutzung gängiger Lehrbücher der Zahnheilkunde sowie der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Zur Dokumentation und Organisation der Literaturquellen wurde das Literaturverwaltungsprogramm Zotero (Version 6.0.29) verwendet.

2.2 DVT-Aufnahmen

Eine digitale Volumentomographie (DVT) ist ähnlich der Computertomographie (CT) ein Schnittbildverfahren zur Erzeugung dreidimensionaler Bilder unter Verwendung von Röntgenstrahlung. Ihr Vorteil gegenüber der konventionellen CT sind eine höhere Auflösung feiner knöcherner Strukturen und geringere Strahlungsartefakte (Bremke et al., 2010).

Die Anfertigung der in dieser Arbeit verwendeten DVTs erfolgte in der Klinik für Mund- Kiefer- und Gesichtschirurgie des UKSH Campus Lübeck, mittels des DVT-Geräts „GALILEOS“ (Sirona Dental Systems GmbH). Der Strahler des Geräts hat eine Spannung von 85 kV und eine Anodenstromstärke von 5-7 mA. Im 204-Grad Winkel rotiert der Strahler um den Kopf des Patienten und nimmt dabei 200 zweidimensionale Einzelbilder auf, die anschließend zu einem dreidimensionalen Bild rekonstruiert werden. Die gesamte Scann-Zeit eines DVTs beträgt 14 s. Der Bilddetektor hat eine Pixelmatrix von 1000 x 1000 Bildpunkten und eine Grauskala von 12 Bits. Die Brennfleckgröße bei diesem Gerät beträgt 0,5 mm.

Analyse und Messungen wurden auf dem Viewerprogramm Sidexis XG (Version 2.63) vorgenommen. Die Benutzeroberfläche besteht aus fünf Fenstern, die verschiedene Ansichten von Ober- und Unterkiefer ermöglichen. Neben den drei Hauptebenen transversal, longitudinal und axial gibt es noch eine rekonstruierte Panoramaschichtaufnahme und eine 3D Darstellung.

2.3 Patientenkollektiv

Für die Patientenauswahl wurde die Datenbank der Klinik für Mund- Kiefer- und Gesichtschirurgie des UKSH Campus Lübeck nach DVT-Aufnahmen durchsucht. Dabei wurden DVT-Aufnahmen der Jahre 2017-2022 gesichtet. Insgesamt wurden 300 Patienten zwischen 15 und 44 Jahren ausgewählt. Für den altersspezifischen Vergleich wurden vorab drei gleichgroße Altersgruppen definiert, die jeweils ein 10-Jahres-Intervall umfassen:

1. Altersgruppe: 15-24 Jahre (52 weibliche und 48 männliche Patienten)
2. Altersgruppe: 25-34 Jahre (50 weibliche und 50 männliche Patienten)
3. Altersgruppe: 35-44 Jahre (50 weibliche und 50 männliche Patienten)

Bei der Auswahl der untersuchten Altersgruppen wurde sich an der typischen Altersspanne für die orthognathe Chirurgie orientiert. Als frühestmöglicher Behandlungszeitpunkt gilt der Abschluss des Kieferwachstums, der in der Regel bei Jungen mit 18 Jahren und bei Mädchen mit 16 Jahren erreicht ist (Roser et al., 2011). Bei hemimandibulären Hyperplasien oder Elongationen wird meist ein Operationszeitpunkt nach dem 20. Lebensjahrs gewählt, da die zugrundeliegende Wachstumsaktivität im Kondylusbereich oft bis zu diesem Alter sistiert. Eine klar definierte obere Altersbegrenzung für eine Operation gibt es nicht (Roser et al., 2011). In den meisten Studien waren die ältesten Patienten jedoch zwischen 39 und 49 Jahren alt (Rich et al., 2014). Damit die beiden Einflussfaktoren Alter und Geschlecht unabhängig voneinander untersucht werden konnten, wurde darauf geachtet, dass alle Altersgruppen annähernd gleich viele weibliche wie männliche Patienten enthielten.

Es wurden nur Patienten in die Studie eingeschlossen, die folgende Einschlusskriterien erfüllten: DVT-Aufnahmen vorhanden, zum Zeitpunkt der DVT-Aufnahme einer der 3 Altersgruppen (15-24, 25-34, 35-44) zugehörig; bekanntes Geschlecht; klare Abgrenzbarkeit des N. alveolaris inferior (IAN) am 1. und 2. Molaren auf den DVT-Aufnahmen. Ausschlusskriterien waren jegliche Pathologien und Behandlungen auf einer oder beiden Seiten des Unterkiefers, die die Position des IAN hätten verändern können, sowie Aufnahmen, die nicht den kompletten Unterkiefer abbildeten.

2.4 Dokumentation und Statistiksoftware

Zur Dokumentation der erhobenen Messdaten wurde MS Excel (Version 16.66.1) verwendet. Die Messwerte wurden zusammen mit den jeweiligen Basisinformationen (Name, Geburtsdatum, Datum der DVT-Aufnahme, Alter zum Zeitpunkt der Aufnahme, Geschlecht) in einer Tabelle dokumentiert. Zur besseren Übersicht wurden die Daten entsprechend den Altersgruppen sortiert und chronologisch nach Datum der DVT-Aufnahme geordnet. Die Daten wurden anschließend anonymisiert.

Durch die Dokumentation in Excel wurde eine präzise und flexible Verarbeitung der Daten ermöglicht. Excel fungierte gleichzeitig als Statistikprogramm. Die Daten wurden unter Zuhilfenahme der verschiedenen Datenanalyse-Tools statistisch analysiert und ausgewertet. Die Daten wurden ausschließlich dezentral auf zwei verschiedenen externen Speichermedien gesichert. Zugriff hatten nur direkt am Projekt beteiligte Personen (Doktorand und Doktorvater). Die Daten werden mindestens für einen Zeitraum von 10 Jahren aufbewahrt.

2.5 Messmethodik

Für die Messungen wurde sich zunächst in der Panoramaschichtaufnahme (PSA) ein Überblick über den Unterkiefer und den Verlauf des IAN verschafft. Die Messungen selbst wurden an DVT-Aufnahmen durchgeführt, um die Position des IAN exakt dreidimensional bestimmen zu können. Anstelle des IAN wurde der Mandibularkanal (MC – mandibular channel), in dem der IAN verläuft, als Ausgangspunkt für die Messungen ausgewählt, da der Nerv selbst auf cone beam (DVT) Aufnahmen nicht abgrenzbar ist.

Als erstes wurde der 1. Molare (1M) linksseitig aufgesucht und in der Transversalen Schichtaufnahme (TSA) dargestellt. Die TSA-Ebene wurde so eingestellt, dass sie genau die Bifurkation des 1. Molaren schneidet. Die Sagittalebene war dabei am ehesten parallel zum MC, die Koronarebene am ehesten senkrecht zum MC ausgerichtet. Der MC wurde identifiziert und der bukkalste Aspekt des Kanals als Ausgangspunkt für die Messung markiert. Von dort aus wurde eine horizontale Messlinie erst zur inneren (iK) und dann zur äußeren Kortikalis (äK) gelegt, die Distanzen abgelesen und dokumentiert. Die beiden Linien lagen dabei exakt übereinander, sodass aus ihrer Längendifferenz die Kortikalis-Dicke (KD) bestimmt werden konnte. Anschließend wurde unter Zuhilfenahme des Winkeltools eine Hilfslinie vom selben Ausgangspunkt im +30 Grad Winkel zur ersten Messung gezogen. Auf dieser Linie wurde nun wieder ausgehend vom Ausgangspunkt die Distanz zur inneren und äußeren Kortikalis gemessen. Nach demselben Prinzip wurden die Distanzen zur inneren und äußeren Kortikalis im -30 Grad Winkel gemessen. Folgend wurden die gleichen sechs Messungen auf Höhe der Bifurkation des 2. Molaren (2M) gemacht, sowie an den entsprechenden Stellen auf der Gegenseite (rechts). Insgesamt wurden somit 24 Messungen pro Patient vorgenommen.

Aus den gewinkelten Messungen (+30 und -30 Grad) einer Messstrecke wurde zusammen mit dem horizontalen Messwert ein Mittelwert gebildet. Die gewinkelten und gemittelten Messungen werden folgend als Kompositmessung bezeichnet.

Da die Okklusionsebene des Kiefers nicht immer exakt in der räumlichen Horizontalebene ausgerichtet war, sind bei den horizontalen Messungen Abweichungen von der Horizontalebene nicht auszuschließen. Der Mittelwert aus den Kompositmessungen gleicht somit potenzielle Messungenauigkeiten aus. Zudem variiert die Kortikalis-Dicke je nach Lokalisation am Unterkiefer. Die Mittelung der Kortikalis-Dicken ermöglicht Aussagen über einen größeren Abschnitt der vertikalen Kontinuität des Unterkiefers treffen zu können. Dies wäre durch punktuelle Messungen an einer einzigen Stelle nicht möglich.

Am relevantesten zur Beantwortung der Fragestellung sind jedoch die horizontalen Messungen, die gleichzeitig auch die kürzeste Distanz zwischen MC und Kortikalis

darstellen. Diese Messlinie wird bei der sagittalen Osteotomie senkrecht geschnitten und gibt somit an wie viel Platz der Operateur für die Osteotomie hat. Die Kompositmessungen sind weniger störungsanfällig und dienen dem Kongruenzabgleich mit den horizontalen Messungen.

Obwohl die vertikale Osteotomie in der Regel zwischen 1. und 2. Molaren vorgenommen wird, gibt es auch Beschreibungen, in denen die sie auf Höhe des 1. Molaren durchgeführt wird (Obwegeser & Hadjianghelow, 1987). Daher wurden beide potenziellen Osteotomie-Stellen in diese Untersuchung einbezogen und verglichen.

Die Messungen wurden einmalig durch einen Untersucher und unter standardisierten Bedingungen erhoben (gleicher PC, Bildschirm, Belichtung, Raum).

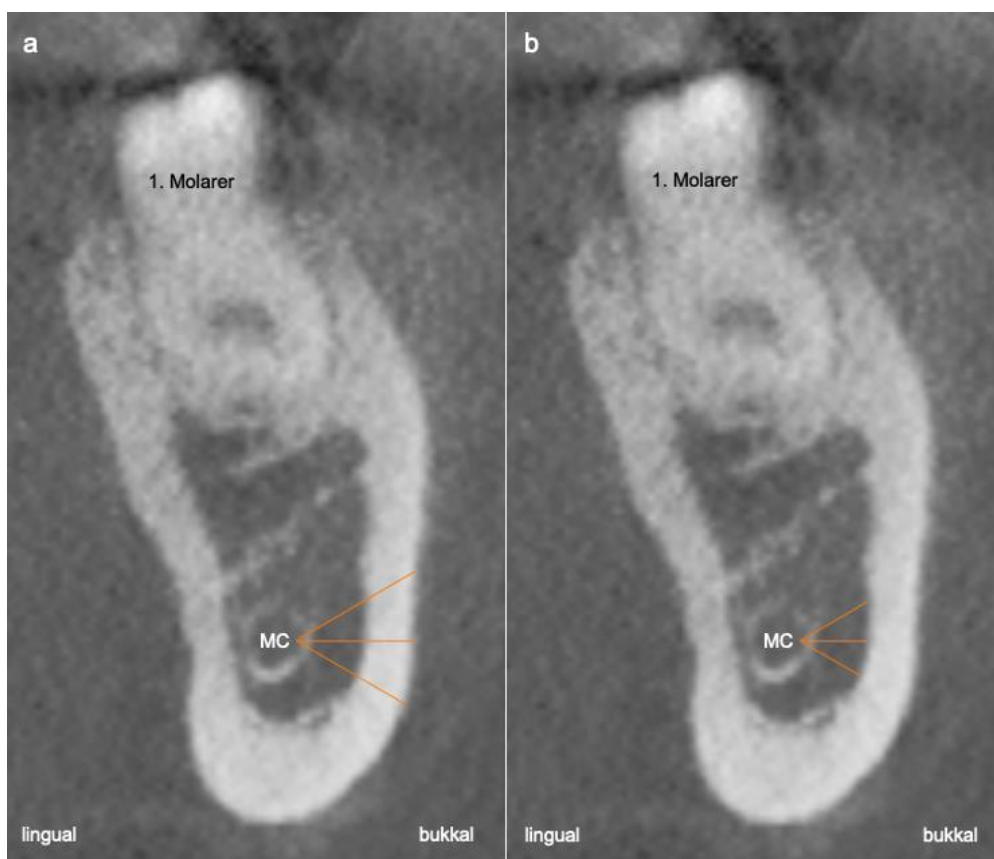


Abbildung 5: Darstellung der Messstrecken an DVT-Aufnahmen

Ansicht: Transversale Schichtaufnahme (TSA), orangefarbene Linien: Messstrecken im 0, +30 und -30 Gradwinkel **a** zur äußeren Kortikalis **b** zur inneren Kortikalis, MC: Mandibularkanal, eigenständige Darstellung

2.6 Statistische Auswertung

Zur Fallzahlplanung wurde die Stichprobengröße für die einzelnen statistischen Tests errechnet. Dazu wurde mittels Cohens d vorab die Effektstärke einer vergleichbaren Studie berechnet. Cohens d lag in der Studie von Simonton et al. (2009) im geschlechtsspezifischen Vergleich bei $d = 0,29$. Daraus ergibt sich eine nötige Stichprobengröße von $n = 148$ pro Gruppe, um ein signifikantes Ergebnis bei einem Alphaniveau von $\alpha = 0,05$ und einer Power von $0,8$ zu erhalten.

Zur Stichprobenberechnung für die einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den drei Altersgruppen wurde Cohens d mit $d = 0,1$ als kleinster relevanter Effekt nach Cohen (2009) festgelegt, da keine Studien mit identischen Altersgruppen existieren, die dieselben Distanzen gemessen haben. Um ein signifikantes Ergebnis bei einem Alphaniveau von $\alpha = 0,05$ und einer Power von $0,9$ zu erhalten wird eine Stichprobe von $n = 39$ pro Altersgruppe benötigt.

Die deskriptive Statistik erfolgte unter Verwendung des Lagemaßes „Mittelwert“ und der Streumaße „Standardabweichung“, „Varianz“, „Minimum“ und „Maximum“. Zur Überprüfung der Messwerte auf Normalverteilung wurden Histogramme und QQ-Plots verwendet. Die Altersverteilung wurde durch Boxplots visualisiert. Für die Mittelwerte des gesamten Studienkollektivs wurden zusätzlich Konfidenzintervalle mit einem Konfidenzlevel von 95% angegeben.

Zur Überprüfung auf geschlechtsspezifische Unterschiede wurde das gesamte Patientenkollektiv in eine Gruppe mit Männern und eine Gruppe mit Frauen unterteilt. Die Werte beider Gruppen wurden auf Normalverteilung und Varianzhomogenität überprüft. Wenn diese Kriterien erfüllt waren, wurden sie im Zwei-Stichproben-t-Test für unabhängige Stichproben ähnlicher Varianz miteinander verglichen. Bei Varianzheterogenität wurde der Welch's t-Test angewendet. Identisch wurde bei der Überprüfung der anatomischen Unterschiede zwischen 1. und 2. Molaren vorgegangen.

In dieser Studie wurden bei jedem Patienten beide Unterkieferseiten in die Untersuchung miteinbezogen. Zur Vermeidung korrelierter Beobachtungen wurden die Unterkieferseiten separat analysiert. Allgemein galt ein Ergebnis mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ als signifikant und mit $p < 0,01$ als

hochsignifikant. Da jedoch beide Unterkieferseiten separat voneinander analysiert wurden, wurden angepasste Signifikanzniveaus mittels der Bonferroni-Korrektur von $\alpha = 0,025$ (signifikant) respektive $\alpha = 0,005$ (hochsignifikant) für die einzelnen Tests ermittelt. Die 95 % Konfidenzintervalle wurden nicht nach Bonferroni adjustiert. Daher müssen sie einzeln betrachtet werden und eignen sich nicht zur Inferenzstatistik.

Für eine erste Einschätzung der Abhängigkeit zwischen dem Alter und den gemessenen Distanzen wurden Korrelationsanalysen durchgeführt. Da in der untersuchten Altersspanne von einem linearen Zusammenhang ausgegangen wurde, wurde der Pearson Korrelationskoeffizient (r) angewandt. Die Bewertung der Korrelationsstärke richtet sich nach der Interpretation von Cohen (2009), bei der $r = 0,1$ einer schwachen, $r = 0,3$ einer moderaten und $r = 0,5$ einer starken Korrelation entspricht.

Zur genaueren altersspezifischen Analyse wurden die drei vordefinierten Altersgruppen untereinander auf signifikante Unterschiede überprüft. Da hier einzelne t-Test Vergleiche eine Alpha-Fehler-Kumulierung nach sich ziehen würden, wurden die Altersgruppen mittels einfaktorierter Varianzanalyse (ANOVA) untersucht. Um bei einem positiven Ergebnis in der ANOVA zu bestimmen zwischen welchen der drei Altersgruppen signifikante Unterschiede bestehen, wurde anschließend ein Scheffé-Test als Post-hoc-Test durchgeführt. Ein signifikanter Unterschied in der Varianzanalyse existierte, wenn der kritische F-Wert überschritten wurde und der p-Wert unter 0,025 lag. Im Scheffé-Test wurden Unterschiede zwischen den Gruppen identifiziert, deren F_s -Wert den kritischen F_s -Wert überschritten hat.

Für einen Vergleich der anatomischen Bedingungen des IAN zwischen 1. Und 2. Molaren wurde die prozentuale Differenz der mittleren Distanzen ermittelt. Dabei bildete jeweils der Wert des 1. Molaren die Basis.

Für die statistische Auswertung wurde eine Beratung durch das Institut für medizinische Biometrie und Statistik der Universität zu Lübeck im Umfang von 2 Stunden in Anspruch genommen.

3. Ergebnisse

3.1 Demographie

In der vorliegenden Studie wurden die Unterkiefer von 300 Patienten aus der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie gemessen. Davon waren 152 Patienten weiblichen Geschlechts und 148 männlichen Geschlechts. Die Patienten waren im Durchschnitt 29,3 Jahre alt. Die jüngste Person war 15 Jahre alt und die älteste Person war 44 Jahre alt. Das Alter war bei beiden Geschlechtern annähernd gleich verteilt (Abbildung 6), es gab keine signifikanten Unterschiede.

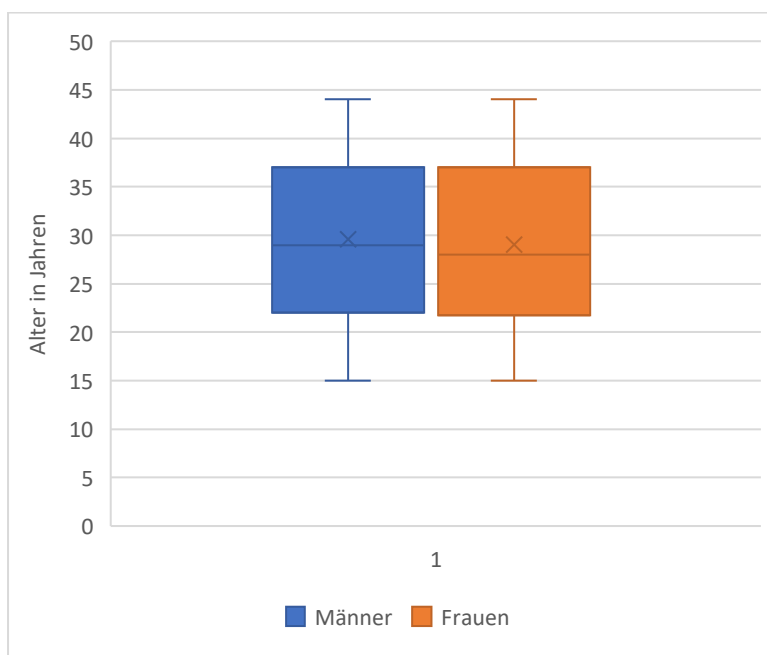


Abbildung 6: Altersverteilung Männer und Frauen

X = Mittelwert, Linie = Median, unteres Ende der Box = 1. Quartil, oberes Ende der Box = 3. Quartil, Schnurrbärte/Verlängerungslinien = Maximum und Minimum

3.2 Messergebnisse

Über das gesamte Studienkollektiv waren alle Messdaten normalverteilt. Dies wurde mittels Gauß-Verteilung und QQ-Plot überprüft (exemplarisch in Abbildung 7 und

Abbildung 8 dargestellt). Für alle Messungen wurde der Mittelwert, die Standardabweichung, Minimum und Maximum bestimmt. Nachfolgend werden diese Lage- und Streumaße exemplarisch für die horizontalen Messungen zur

äußeren Kortikalis auf Höhe des linksseitigen 1. Molar beschrieben: Der Mittelwert dieser Messreihe beträgt 5,67 mm bei einer Standardabweichung von $\pm 1,23$ mm. Der kleinste Wert war 2,7 mm, während der größte Wert bei 10,1 mm lag.

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte, Standardabweichungen und Konfidenzintervalle für die gesamte Studienpopulation dargestellt. Da die 95 % Konfidenzintervalle nicht nach Bonferroni adjustiert wurden, müssen sie einzeln betrachtet werden und eignen sich nicht zur Inferenzstatistik.

Mit 95-prozentiger Sicherheit liegt der Mittelwert der Grundgesamtheit für die Messdistanz zur äußeren Kortikalis am 1. Molaren linksseitig in einer Spanne von 0,32 mm um den Mittelwert ($M = 5,67$ mm) dieser Stichprobe.

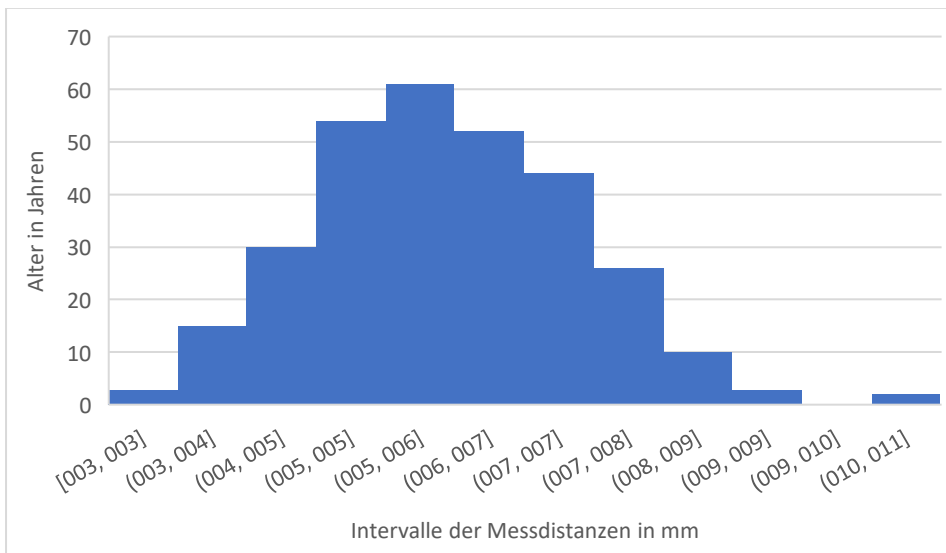


Abbildung 7: Histogramm horizontale Messungen zur äußeren Kortikalis am 1. Molaren linksseitig

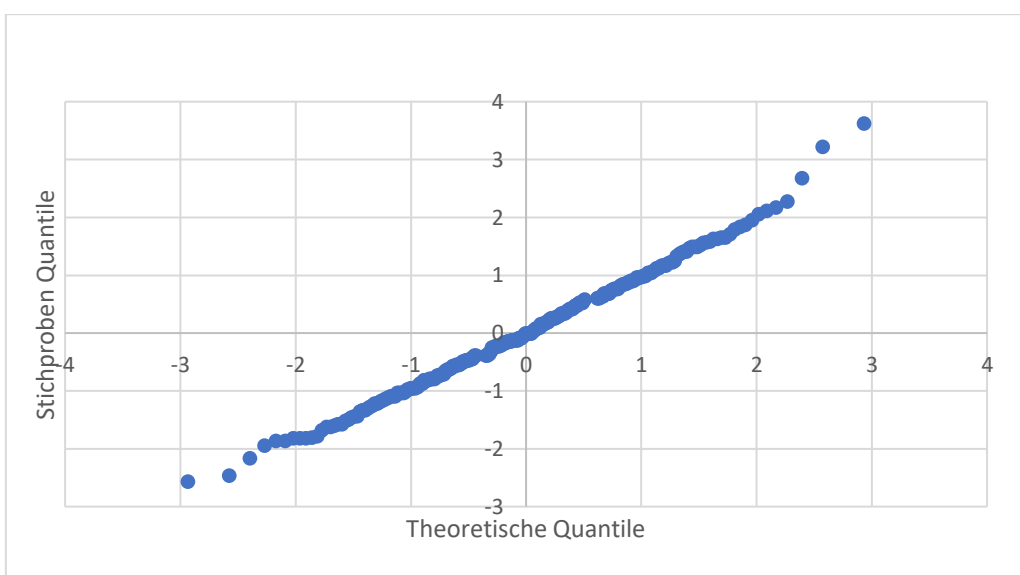


Abbildung 8: QQ-Plot horizontale Messwerte der Messungen zur äußeren Kortikalis am 1. Molaren linksseitig

Tabelle 1: horizontale Messungen des gesamten Studienkollektivs

Gemessene Distanz	Distanz in mm (n=300)	95 %-Konfidenzintervall	1M: 1.
Linke Seite			
1M-äk	5,67 ±1,23	[5,53; 5,81]	
1M-iK	3,08 ±1,16	[2,95; 3,21]	
1M-KD	2,58 ±0,43	[2,54; 2,63]	
2M-äk	6,59 ±1,26	[6,44; 6,73]	
2M-iK	3,76 ±1,31	[3,62; 3,91]	
2M-KD	2,82 ±0,51	[2,76; 2,88]	
Rechte Seite			
1M-äk	5,62 ±1,16	[5,48; 5,75]	
1M-iK	3,08 ±1,09	[2,96; 3,21]	
1M-KD	2,53 ±0,46	[2,47; 2,58]	
2M-äk	6,54 ±1,23	[6,4; 6,68]	
2M-iK	3,74 ±1,35	[3,59; 3,89]	
2M-KD	2,8 ±0,53	[2,74; 2,86]	

Molarer, 2M: 2. Molarer, äK: äußere Kortikalis, iK: innere Kortikalis, KD: Kortikalis-Dicke

3.2.1 Geschlechtsspezifische Unterschiede

Für die geschlechtsbezogene Analyse wurden die Messwerte von Männern (n = 148) und Frauen (n = 152) bei Normalverteilung im Zweistichproben-t-Test miteinander verglichen. Das Durchschnittsalter der Frauen betrug 29,0 Jahre, das der Männer 29,6 Jahre. Es gab keine signifikanten Unterschiede in der Altersverteilung.

Tabelle 2 und Tabelle 3 bilden die Ergebnisse der geschlechtsspezifischen Analyse ab. Es wird die gemessene Distanz, der dazugehörige Mittelwert aller Männer, der Mittelwert aller Frauen, die mittlere absolute sowie relative Längendifferenz zwischen den Distanzen von Männern und Frauen sowie der p-Wert angegeben. Die Basis für die Berechnung der relativen Längendifferenz bildet der Mittelwert der Männer. Sie ist also als relative Längenabweichung des weiblichen vom männlichen Mittelwert zu verstehen.

Bei den horizontalen Messungen (0 Grad) zur äußeren Kortikalis zeigten sich beidseits sowohl auf Höhe des 1. als auch auf Höhe des 2. Molaren signifikante

Unterschiede in der Distanz zwischen Männern und Frauen. Am 1. Molaren linksseitig beträgt die mittlere Distanz der Männern $5,91 \pm 1,3$ mm und die der Frauen $5,43 \pm 1,1$ mm. Die mittlere Differenz liegt damit bei 0,48 mm respektive 8,1 %. Dies entspricht einer relativen Längenabnahme der Distanz der Frauen gegenüber der Distanz der Männer von 8,1 %. Auf der Gegenseite liegt die mittlere Differenz bei 0,32 mm respektive 5,5 %. Auf Höhe des 2. Molaren linksseitig beträgt die mittlere Distanz bei Männern $6,84 \pm 1,36$ mm und bei Frauen $6,34 \pm 1,11$ mm. Die relative Längendifferenz liegt damit bei 7,3 % (0,5 mm). Rechtsseitig liegt diese bei 6,6 % (0,45 mm).

Bei den horizontalen Messungen zur inneren Kortikalis zeigten sich auf Höhe des 1. Molaren linksseitig, jedoch nicht rechtsseitig signifikante Unterschiede in der Distanz zwischen Männern und Frauen. Auf Höhe des 2. Molaren waren die Unterschiede beidseits signifikant. Am 1. Molaren linksseitig (Li6_iK_0) beträgt die mittlere Distanz aller Männern $3,26 \pm 1,26$ mm und aller Frauen $2,9 \pm 1,0$ mm. Somit besteht eine relative Längendifferenz von 11 % (0,36 mm). Auf der rechten Seite (Re6_iK_0) fällt diese mit 6,9 % (0,22 mm) geringer aus. Auf Höhe des 2. Molaren linksseitig (Li7_iK_0) haben Männer eine mittlere Distanz von $4,01 \pm 1,42$ mm, dagegen Frauen von $3,53 \pm 1,14$ mm. Die relative Längendifferenz fällt hier mit 12 % (0,48 mm) am deutlichsten aus. Ebenso auf der rechten Seite (Re7_iK_0) mit 12,3 % (0,49 mm)

Die Unterschiede in den horizontalen Messungen der Kortikalis-Dicken zwischen Männern und Frauen sind ausschließlich am 1. Molaren linksseitig signifikant. Auf Höhe des 1. Molaren linksseitig (Li6_KD_0) ist die Kortikalis bei Männern im Mittel $2,65 \pm 0,46$ mm dick, während sie bei Frauen im Durchschnitt $2,52 \pm 0,39$ mm dick ist. Es besteht eine relative Differenz von 4,9 % (0,13 mm). Auf der rechten Seite (Re6_KD_0) beträgt diese Differenz 3,9 % (0,1 mm). Auf Höhe des 2. Molaren (Li7_KD_0 und Re7_KD_0) lassen sich diesbezüglich weder relevante Unterschiede feststellen (0,7 % und 1,8 %) noch sind diese signifikant. Die Auswertung der Kompositmessungen⁴ zeigt keine relevanten Abweichungen (Tabelle 3Tabelle 1).

⁴ Erläuterung siehe Methodenteil, S. 28

Tabelle 2: Geschlechtsspezifischer Vergleich der horizontalen Messungen

Gemessene Distanz	Männer (n=148) in mm	Frauen (n=152) in mm	Mittlere Differenz in mm und Prozent (Abweichung von Männern)	p-Wert
Linke Seite				
1M-äK	5,91 ±1,3	5,43 ±1,1	0,48 (-8,1 %)	** 6,34·10 ⁻⁴
1M-iK	3,26 ±1,26	2,9 ±1,0	0,36 (-11 %)	*7,26·10 ⁻³
1M-KD	2,65 ±0,46	2,52 ±0,39	0,13 (-4,9 %)	*1,36·10 ⁻²
2M-äK	6,84 ±1,36	6,34 ±1,11	0,5 (-7,3 %)	**6,2·10 ⁻⁴
2M-iK	4,01 ±1,42	3,53 ±1,14	0,48 (-12 %)	**1,38·10 ⁻³
2M-KD	2,83 ±0,55	2,81 ±0,47	0,02 (-0,7 %)	7,92·10 ⁻¹
Rechte Seite				
1M-äK	5,78 ±1,21	5,46 ±1,09	0,32 (-5,5 %)	*1,68·10 ⁻²
1M-iK	3,2 ±1,13	2,98 ±1,04	0,22 (-6,9 %)	8,16·10 ⁻²
1M-KD	2,58 ±0,49	2,48 ±0,44	0,1 (-3,9 %)	6,02·10 ⁻²
2M-äK	6,77 ±1,26	6,32 ±1,16	0,45 (-6,6 %)	**1,56·10 ⁻³
2M-iK	3,99 ±1,42	3,5 ±1,23	0,49 (-12,3 %)	**1,38·10 ⁻³
2M-KD	2,78 ±0,56	2,83 ±0,49	-0,05 (+1,8 %)	4,34·10 ⁻¹

1M: 1. Molarer, 2M: 2. Molarer, äK: äußere Kortikalis, iK: innere Kortikalis, KD: Kortikalis-Dicke

* p < 0,025; **p < 0,005

Tabelle 3: Geschlechtsspezifischer Vergleich der Kompositmessungen

Gemessene Distanz	Männer (n=148) (in mm)	Frauen (n=152) (in mm)	Mittlere Differenz (in mm und %)	p-Wert
Linke Seite				
1M-äK	6,28 ±1,3	5,77 ±1,13	0,51 (-8,1 %)	**5,2·10 ⁻⁴
1M-iK	3,48 ±1,28	3,1 ±1,05	0,38 (-10,9 %)	*5,76·10 ⁻³
1M-KD	2,8 ±0,41	2,66 ±0,35	0,14 (-5 %)	**1,3·10 ⁻³
2M-äK	7,26 ±1,39	6,73 ±1,15	0,53 (-7,3 %)	**3,2·10 ⁻⁴
2M-iK	4,23 ±1,43	3,74 ±1,15	0,49 (-11,6 %)	**9,8·10 ⁻⁴
2M-KD	3,03 ±0,49	2,99 ±0,42	0,04 (-1,3 %)	4,56·10 ⁻¹
Rechte Seite				
1M-äK	6,17 ±1,21	5,84 ±1,12	0,33 (-5,3 %)	*1,32·10 ⁻²
1M-iK	3,43 ±1,18	3,19 ±1,07	0,24 (-7 %)	6,4·10 ⁻²
1M-KD	2,74 ±0,44	2,65 ±0,37	0,09 (-3,3 %)	4,4·10 ⁻²
2M-äK	7,2 ±1,29	6,75 ±1,18	0,45 (-6,3 %)	**1,7·10 ⁻³
2M-iK	4,23 ±1,38	3,73 ±1,23	0,5 (-11,8 %)	**9,2·10 ⁻⁴
2M-KD	2,97 ±0,49	3,02 ±0,43	-0,05 (+1,7 %)	3,26·10 ⁻¹

1M: 1. Molarer, 2M: 2. Molarer, äK: äußere Kortikalis, iK: innere Kortikalis, KD: Kortikalis-Dicke

* p < 0,025; **p < 0,005

3.2.2 Altersspezifische Unterschiede

Für eine erste Einschätzung der Abhängigkeit zwischen dem Alter und den gemessenen Distanzen wurde der Pearson Korrelationskoeffizient (r) angewandt. Insgesamt ließen sich nur schwache Korrelationen zwischen den Messwerten und dem Alter feststellen ($r < 0,3$), die jedoch größtenteils signifikant bis hochsignifikant waren.

Die horizontalen Messungen zur äußeren Kortikalis wiesen bis auf die Messungen am rechten 2. Molaren keine signifikanten Korrelationen mit dem Alter auf.

Die Analyse der horizontalen Messungen zu der inneren Kortikalis ergab signifikante Korrelationen mit dem Alter ($r > 0,1$ und $p < 0,025$). Alle Korrelationskoeffizienten waren negativ, was eine abnehmende Distanz vom IAN-Kanal zur inneren Kortikalis bei zunehmendem Alter, innerhalb der betrachteten Altersspanne, impliziert. Mit $r = -0,14$ am linken und $r = -0,17$ am rechten 1. Molaren waren die Korrelationen auf beiden Seiten ähnlich stark. Am 2. Molaren war die Korrelation mit $r = -0,14$ links und $r = -0,24$ rechts unterschiedlich stark ausgeprägt.

In allen horizontalen Messungen der Kortikalis-Dicken zeigten sich signifikante Korrelationen mit dem Alter. Die Korrelationskoeffizienten waren positiv, was auf eine zunehmende Kortikalis-Dicke mit steigendem Alter, in der untersuchten Altersspanne, hindeutet. Auf Höhe des 1. Molaren betrug der Korrelationskoeffizient beidseits $r = 0,21$. Auf Höhe des 2. Molaren war der Korrelationskoeffizient rechts mit $r = 0,22$ höher als links mit $r = 0,17$.

Die Ergebnisse der Kompositmessungen zeigten keine relevante Abweichung dieser Ergebnisse (siehe Tabelle 5).

Tabelle 4: Korrelation zwischen Alter und horizontalen Messungen

Gemessene Distanz	Korrelationskoeffizient r (für Korrelation mit Alter)	p-Wert
Linke Seite		
1M-äK	-0,06	$2,64 \cdot 10^{-1}$
1M-iK	-0,14	$*1,23 \cdot 10^{-2}$
1M-KD	0,21	$**3,47 \cdot 10^{-4}$
2M-äK	-0,08	$1,85 \cdot 10^{-1}$
2M-iK	-0,14	$*1,56 \cdot 10^{-2}$
2M-KD	0,17	$**3,52 \cdot 10^{-3}$
Rechte Seite		
1M-äK	-0,08	$1,72 \cdot 10^{-1}$
1M-iK	-0,17	$**2,52 \cdot 10^{-3}$
1M-KD	0,21	$**2,35 \cdot 10^{-4}$
2M-äK	-0,17	$**3,08 \cdot 10^{-3}$
2M-iK	-0,24	$**2,27 \cdot 10^{-5}$
2M-KD	0,22	$**1,16 \cdot 10^{-4}$

1M: 1. Molarer, 2M: 2. Molarer, äK: äußere Kortikalis, iK: innere Kortikalis, KD: Kortikalis-Dicke

* $p < 0,025$; ** $p < 0,005$

Tabelle 5: Korrelation zwischen Alter und Kompositmessungen

Gemessene Distanz	Korrelationskoeffizient (für Korrelation mit Alter)	p-Wert
Linke Seite		
1M-äK	-0,06	$2,45 \cdot 10^{-1}$
1M-iK	-0,14	$*1,3 \cdot 10^{-2}$
1M-KD	0,22	$**9 \cdot 10^{-5}$
2M-äK	-0,07	$2,3 \cdot 10^{-1}$
2M-iK	-0,13	$*1,96 \cdot 10^{-2}$
2M-KD	0,19	$**9,2 \cdot 10^{-4}$
Rechte Seite		
1M-äK	-0,09	$1,22 \cdot 10^{-1}$
1M-iK	-0,16	$**2,3 \cdot 10^{-3}$
1M-KD	0,23	$**7,4 \cdot 10^{-5}$
2M-äK	-0,15	$*9,5 \cdot 10^{-3}$
2M-iK	-0,23	$**5,3 \cdot 10^{-5}$
2M-KD	0,26	$**5,5 \cdot 10^{-6}$

1M: 1. Molarer, 2M: 2. Molarer, äK: äußere Kortikalis, iK: innere Kortikalis, KD: Kortikalis-Dicke

* $p < 0,025$; ** $p < 0,005$

Zur genaueren Analyse der altersspezifischen Unterschiede wurden die drei definierten Altersgruppen mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) und anschließendem Scheffé-Test als Post-hoc-Test untereinander verglichen.

Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen bei den horizontalen Messungen zur äußeren Kortikalis $F(2, 297) < 3,74$; $p < 0,025$.

Die Messungen zur inneren Kortikalis auf Höhe des 1. Molaren zeigten auf der rechten Unterkieferseite signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen $F(2, 297) = 5,0$; $p = 0,0074$. Post-hoc-Vergleiche ergaben, dass Altersgruppe 1 ($M = 3,32$ mm) eine signifikant größere Distanz aufwies sowohl als Gruppe 3 ($M = 2,93$ mm) als auch als Gruppe 2 ($M = 2,96$ mm). Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen Gruppe 2 und 3. Dagegen gab es auf der linken Unterkieferseite keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen $F(2, 297) = 3,53$; $p = 0,031$.

Die Messungen der Kortikalis-Dicke auf Höhe des 1. Molar zeigten linksseitig signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen $F(2, 297) = 8,92$; $p = 0,0017$. Die mittlere Kortikalis der Gruppe 3 ($M = 2,72$ mm) war signifikant dicker als die der Gruppe 1 ($M = 2,47$ mm) nicht aber als die der Gruppe 2 ($M = 2,57$ mm). Gruppe 1 und 2 unterschieden sich nicht signifikant. Auf der rechten Seite waren die Unterschiede zwischen den Altersgruppen hochsignifikant $F(2, 297) = 9,7$; $p = 8,5 \cdot 10^{-5}$. Die Kortikalis-Dicke der Gruppe 1 ($M = 2,38$ mm) war signifikant kleiner als die der Gruppen 3 ($M = 2,66$ mm) und 2 ($M = 2,55$ mm).

In den Messungen zur inneren Kortikalis auf Höhe des 2. Molaren unterschieden sich die Altersgruppen nur auf der rechten Seite signifikant $F(2, 297) = 7,6$; $p = 5,8 \cdot 10^{-4}$. Gruppe 1 ($M = 4,12$ mm) hatte eine signifikant größere Distanz als Gruppe 3 ($M = 3,39$ mm). Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen Gruppe 1 und 2 oder 2 und 3.

Die Messungen der Kortikalis-Dicke auf Höhe des 2. Molar zeigten linksseitig hochsignifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen $F(2, 297) = 7,7$; $p = 0,0017$. Gruppe 3 ($M = 2,98$ mm) hatte im Mittel eine signifikant dickere Kortikalis

als die Gruppen 1 (M = 2,75 mm) und 2 (M = 2,73 mm). Zwischen Gruppe 1 und 2 lagen keine signifikanten Unterschiede vor. Die Analyse auf der rechten Seite stimmte damit überein $F(2, 297) = 10,6$; $p = 3,4 \cdot 10^{-5}$. Die mittleren Kortikalis-Dicken waren in Gruppe 3 (M = 2,97 mm) größer als in den Gruppen 1 (M = 2,64 mm) und 2 (M = 2,8 mm). Statistisch signifikante Unterschiede zwischen Gruppe 1 und 2 konnten nicht nachgewiesen werden.

Tabelle 6: Ergebnisse Varianzanalyse Altersgruppen

Gemessene Distanz	Mittelwert Altersgruppe 1 (15-24J)	Mittelwert Altersgruppe 2 (25-34J)	Mittelwert Altersgruppe 3 (35-44J)	F-Wert	Kritischer F-Wert	p-Wert
Linke Seite						
1M-äK	6,15	6	6	0,76	3,74	$4,7 \cdot 10^{-1}$
1M-iK	3,32	3,02	2,9	3,53	3,74	$3,1 \cdot 10^{-2}$
1M-KD	2,47	2,57	2,72	8,92	3,74	**$1,7 \cdot 10^{-3}$
2M-äK	6,72	6,5	6,54	0,87	3,74	$4,2 \cdot 10^{-1}$
2M-iK	3,97	3,77	3,56	2,54	3,74	$8 \cdot 10^{-2}$
2M-KD	2,75	2,73	2,98	7,7	3,74	**$5,5 \cdot 10^{-4}$
Rechte Seite						
1M-äK	5,75	5,51	5,59	1,07	3,74	$3,5 \cdot 10^{-1}$
1M-iK	3,36	2,96	2,93	5,0	3,74	*$7,4 \cdot 10^{-3}$
1M-KD	2,38	2,55	2,66	9,7	3,74	**$8,5 \cdot 10^{-5}$
2M-äK	6,76	6,51	6,36	2,7	3,74	$7 \cdot 10^{-2}$
2M-iK	4,12	3,72	3,39	7,6	3,74	**$5,8 \cdot 10^{-4}$
2M-KD	2,64	2,8	2,97	10,6	3,74	**$3,4 \cdot 10^{-5}$

1M: 1. Molarer, 2M: 2. Molarer, äK: äußere Kortikalis, iK: innere Kortikalis, KD: Kortikalis-Dicke

* $p < 0,025$; ** $p < 0,005$

Tabelle 7: Ergebnisse Scheffe Test

Gemessene Distanz	Fs-Wert (Scheffe) 1. Vs. 2. Altersgruppe	Fs-Wert (Scheffe) 2. Vs. 3. Altersgruppe	Fs-Wert (Scheffe) 1. Vs. 3. Altersgruppe	Kritischer Fs-Wert
Linke Seite				
1M-KD	3,3	5,8	17,7	6,1
2M-KD	0,04	12,2	10,9	6,1
Rechte Seite				
1M-iK	6,9	0,04	6,9	6,1
1M-KD	6,5	3,4	19,2	6,1
2M-iK	4,5	3,1	15,2	6,1
2M-KD	4,6	6,1	21,2	6,1

1M: 1. Molarer, 2M: 2. Molarer, iK: innere Kortikalis, KD: Kortikalis-Dicke

3.2.3 Unterschiede zwischen 1. und 2. Molaren

Für einen Vergleich der anatomischen Bedingungen des IAN zwischen 1. und 2. Molaren wurde die prozentuale Differenz der mittleren Distanzen ermittelt. Dabei bildete jeweils der Wert des 1. Molaren die Basis.

Die anatomischen Einflussgrößen unterschieden sich deutlich zwischen 1. und 2. Molaren. Die Distanz zur inneren Kortikalis war am 2. Molaren um 22,1 % (0,68 mm) länger (linksseitig). Die Distanz zur äußeren Kortikalis war 16,2 % (0,92 mm) länger und die Kortikalis 9,3 % (0,24 mm) dicker. Die Ergebnisse der rechten Unterkieferseite sind nahezu identisch. Alle Distanzen unterschieden sich zwischen 1. und 2. Molaren hochsignifikant ($p < 0,005$).

Tabelle 8: Vergleich Distanzen zwischen 1. und 2. Molaren

Gemessene Distanz	Distanz am 1. Molaren in mm (n=300)	Distanz am 2. Molaren in mm (n=300)	Differenz in mm	Differenz in % (Wert des 1. Molaren bildet Basis)	p-Wert
Linke Seite					
Li_äK_0	5,67 ±1,23	6,59 ±1,26	0,92	16,2	8,7·10 ⁻⁴⁵
Li_iK_0	3,08 ±1,16	3,76 ±1,31	0,68	22,1	3,7·10 ⁻²⁷
Li_KD_0	2,58 ±0,43	2,82 ±0,51	0,24	9,3	1,1·10 ⁻¹³
Rechte Seite					
Re_äK_0	5,62 ±1,16	6,54 ±1,23	0,92	16,4	1,0·10 ⁻⁴²
Re_iK_0	3,08 ±1,09	3,74 ±1,35	0,66	21,4	4,4·10 ⁻²⁵
Re_KD_0	2,53 ±0,46	2,8 ±0,53	0,27	10,7	1,4·10 ⁻¹⁶

Re: Rechte Unterkieferseite, Li: Linke Unterkieferseite, äK: äußere Kortikalis, iK: innere Kortikalis, KD: Kortikalis-Dicke

Zur genaueren Stratifizierung des NSD-Risikos am 1. gegenüber dem 2. Molaren wurden die anatomischen Verhältnisse mit klinischen Parametern verglichen. Dazu wurde die Stichprobe in zwei Gruppen aufgeteilt. Die Aufteilung orientierte sich dabei an dem kritischen Grenzwert von Kuroyanagi et al. (2013). Die Patienten wurden auf eine Gruppe mit kurzer Distanz (< 1,5 mm) und eine Gruppe mit langer Distanz (≥ 1,5 mm) zwischen Mandibularkanal und innerer Kortikalis aufgeteilt. Dies wurde für alle Messstellen vorgenommen. Die Unterschiede zwischen 1. und 2. Molaren waren in allen Messdistanzen hochsignifikant.

(Tabelle 8).

Tabelle 9: Vergleich kritischer Distanzen zwischen 1. und 2. Molaren

	Anzahl kurze Distanz (< 1,5 mm)	Anzahl große Distanz (≥ 1,5 mm)	Relatives Risiko
Distanz Kanal-innere Kortikalis am 1. Molar links	22	278	2,4
Distanz Kanal-innere Kortikalis am 2. Molar links	9	291	
Distanz Kanal-innere Kortikalis am 1. Molar rechts	21	279	2,6
Distanz Kanal-innere Kortikalis am 2. Molar rechts	8	292	

Die Gesamtzahl der Stichprobe betrug für jede Messdistanz $n = 300$. Auf der linken Seite des Unterkiefers am 1. Molaren hatten mit 22 Patienten 7,3 % des gesamten Kollektivs eine kurze Distanz. Dagegen waren es auf Höhe des 2. Molaren nur 9 Patienten, was einem prozentualen Anteil von 3 % entspricht. Das Risiko zwischen Kanal und innerer Kortikalis eine Distanz von $< 1,5$ mm vorzufinden, war damit am 1. Molaren 2,4-fach erhöht gegenüber dem 2. Molaren. Insgesamt wiesen auf der linken Seite 31 Messwerte einen kurzen Abstand auf. Davon lagen 22 Messwerte (71 %) auf Höhe des 1. Molaren und 9 Messwerte (29 %) auf Höhe des 2. Molaren. Damit waren über zwei Drittel der kurzen Abstände am 1. Molar lokalisiert.

Die Ergebnisse auf der rechten Seite wichen davon nur marginal ab. Dort hatten 21 (7 %) Patienten am 1. Molar einen kurzen Abstand. Auf Höhe des 2. Molar waren es 8 (2,7 %) Patienten. Das Risiko zwischen Kanal und innerer Kortikalis eine Distanz von $< 1,5$ mm vorzufinden, war am 1. Molar 2,6-fach erhöht gegenüber dem 2. Molar. Insgesamt wiesen auf der rechten Seite 29 Messwerte einen kurzen Abstand auf. Davon lagen 21 Messwerte (72 %) auf Höhe des 1. Molar und 8 Messwerte (28 %) auf Höhe des 2. Molaren.

4. Diskussion

4.1 Geschlechtsspezifische Unterschiede

4.1.1 Distanz zur äußeren Kortikalis

In der Frage nach einem geschlechtsspezifischen Unterschied in der Distanz zwischen IAN und bukkaler äußerer Kortikalis finden sich in der Literatur widersprüchliche Ergebnisse. Während Vidya et al. (2019), Simonton et al. (2009) und Kawashima et al. (2016) keinen Unterschied zwischen Männern und Frauen postulierten, fanden Eto et al. (2023), Huang et al. (2013) und Yeh et al. (2018) signifikante Unterschiede. Eto et al. (2023) erhoben eine mittlere Distanz von 5,7 mm bei Frauen und 6,7 mm bei Männern (n = 205). Die Distanzen der Frauen waren damit im Mittel 15 % kürzer als die der Männer. Huang et al. (2013) fand fast identische Werte jeweils vor mit einem Mittelwert von 5,71 mm bei Frauen und 6,88 mm bei Männern (n = 292). Hier betrug die relative Längendifferenz 17 %. Auch Yeh et al. beobachtete kürzere Distanzen bei Frauen, die allerdings nur auf der rechten Unterkieferseite statistisch signifikant waren.

In Übereinstimmung mit Eto et al. (2023) und Huang et al. (2013) zeigten sich in dieser Studie signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede. Die Distanz war bei Frauen (M=6,34 mm) im Durchschnitt linksseitig um 7,3 % kürzer als bei Männern (M=6,84 mm). Auf der rechten Unterkieferseite betrug die relative Differenz 6,6 %.

Von den drei Studien, die keinen geschlechtsspezifischen Unterschied gefunden haben, weisen zwei Studien erhebliche Unstimmigkeiten auf, die an der Validität der Ergebnisse zweifeln lassen. Obwohl die Methodik der Distanzmessung identisch zu den anderen Studien beschrieben wurde, wichen die Mittelwerte von Vidya et al. (2019) stark von denen anderer Studien ab. Am 2. Molaren lag der Mittelwert bei M = 3,15 mm, während die Mittelwerte anderer Studien in einer Spanne von 5,88 - 6,5 mm lagen (Yoshioka et al., 2010; Kawashima et al., 2016; Huang et al., 2013; Kokuryo et al., 2018; Eto et al., 2023). Auch wenn ethnische Unterschiede in der Kieferanatomie möglich sind, lassen sich bei einer so großen Abweichung systematische Messfehler nicht ausschließen.

Ebenso zeigen die Ergebnisse von Kawashima et al. (2016) Inkongruenzen. Der Gesamtmittelwert für Männer betrug hier 5,73 mm, obwohl für die rechte Unterkieferseite ein Mittelwert von 4,94 mm und für die linke Seite ein Mittelwert von 5,7 mm angegeben wurde. Gleichzeitig impliziert dieser Seitenunterschied eine starke Asymmetrie im IAN-Verlauf, die so in keiner anderen Studie beobachtet wurde und im Widerspruch zu den meisten Studien mit beidseitigen Messungen steht (Kanneth et al., 2023; Yeh et al., 2018).

In der Zusammenschau dieser Aspekte, lässt sich ein signifikanter geschlechtsspezifischer Unterschied in der Distanz zur äußeren Kortikalis annehmen. Die Distanz ist bei Frauen um 6,6 - 17 % kürzer als bei Männern. Gleichzeitig lässt sich daraus, bei alleiniger Betrachtung dieses Faktors, ein erhöhtes NSD-Risiko für Frauen nach BSSO schlussfolgern (siehe 1.4.2.1 Distanz zur äußeren Kortikalis).

4.1.2 Distanz zur inneren Kortikalis

Auch wenn die Distanz zur äußeren Kortikalis mit dem Auftreten von NSD korreliert, stellt die Distanz zwischen IAN und innerer Kortikalis die relevantere Distanz zur Abschätzung des NSD-Risikos dar. Da die sagittale Osteotomie medial der bukkalen Kortikalis erfolgen soll (siehe 1.3.2 Operationsverfahren), gibt diese Distanz exakt den Platz an, der dafür zu Verfügung steht, ohne den IAN zu tangieren. Messungen zur äußeren Kortikalis beinhalten zusätzlich die Kortikalis-Dicke, die zu Verzerrung und Unschärfe bei der Bewertung der tatsächlichen Platzverhältnisse für die Osteotomie führen kann. Eine dickere Kortikalis führt zwangsläufig zu einer größeren Distanz zwischen IAN und äußerer Kortikalis, ohne dabei den Platz für die sagittale Osteotomie zu vergrößern. Darüber hinaus wird angenommen, dass eine Osteotomie in einer Region ohne Spongiosa zu ungünstigen Frakturen führt (Muto et al., 2003). Allgemein ist die Spongiosa besser vaskularisiert und heilt nach Osteotomien schneller als die Kortikalis (Montavon et al., 2009).

Neben zahlreichen Studien die geschlechtsspezifisch die Distanz zur äußeren Kortikalis verglichen haben, gibt es nur wenige Studien, die die Distanz zwischen IAN und innerer bukkaler Kortikalis verglichen haben. Die einzigen beiden Studien deren Messungen mit dieser Arbeit in Distanz und Messebene übereinstimmen, sind die Studie von Dos Santos et al. (2022) und Jung et al. (2022). In Dos Santos et al. (2022) war die mittlere Distanz der Männer ($M = 3 \text{ mm}$) signifikant länger als die der Frauen ($M = 1,1 \text{ mm}$). Auch bei Jung et al. (2022) waren die Distanzen der Männer ($M = 3,77 \text{ mm}$) signifikant länger als die der Frauen ($M = 3,42 \text{ mm}$). Chrcanovic und Freire-Maia (2012) haben die gleiche Distanz gemessen, jedoch nicht exakt am 2. Molaren. Die Messstelle, die dieser am nächsten kam (Schnittstelle zwischen IAN und horizontaler Ebene 21 mm unterhalb des Foramen mandibulae) wies eine kleinere Distanz bei Frauen als bei Männern auf, wobei der Unterschied nicht statistisch signifikant war.

Tseng et al. (2021) haben die gleiche Distanz in der Region des Ramus mandibulae gemessen. Es wurde die Häufigkeit mit der eine Distanz von $\leq 0,8 \text{ mm}$ zwischen IAN und innerer Kortikalis auftrat untersucht. Bei 13,3 % der Frauen trat diese auf und unterschied sich damit nicht signifikant von der Rate der Männer die bei 11,7 % lag. In diesen beiden Gruppen hatten Männer ($M = 0,25 \text{ mm}$) durchschnittlich eine kürzere Distanz als Frauen ($M = 0,33 \text{ mm}$). Daraus wurde gefolgert, dass Männer ein leicht höheres Risiko für NSD haben könnten als Frauen. Da sich hier aber nur auf den Mittelwert der Personen bezogen wurde, die eine Distanz $\leq 0,8 \text{ mm}$ haben, lässt dieser selektive Mittelwertvergleich keine valide Aussage über Unterschiede zwischen allen untersuchten Männern und Frauen zu.

In der vorliegenden Arbeit unterschieden sich die Distanzen zwischen Männern und Frauen, mit Ausnahme am 1. Molaren rechtsseitig, signifikant. Die mittlere Distanz der Frauen ($M = 2,9 \text{ mm}$) war am 1. Molaren linksseitig um 11 % kürzer als die der Männer ($M = 3,26 \text{ mm}$). Ebenso hatten Frauen auf Höhe des 2. Molaren eine signifikant kürzere Distanz als Männer. Die Ergebnisse zeigen in Übereinstimmung mit Dos Santos et al. und Jung et al. (2022) eine signifikant kürzere Distanz vom IAN zur inneren Kortikalis für Frauen gegenüber Männern. Bei alleiniger Betrachtung dieses Faktors lässt sich aus diesen Ergebnissen sowohl ein erhöhtes NSD-Risiko als auch ein erhöhtes bad-split-Risiko für Frauen ableiten (siehe 1.4.2.2 Distanz zur inneren Kortikalis).

4.1.3 Kortikalis-Dicke

Der Großteil der Studien, die Messungen der Kortikalis-Dicke geschlechtsspezifisch verglichen haben, konnte keinen signifikanten Unterschied finden (Centeno et al., 2022; Jung et al., 2022; Telha et al., 2023; Vidya et al., 2019; Yeh et al., 2018). Jung et al. (2022) konnten zwar keinen statistisch signifikanten Unterschied feststellen, jedoch lag der Mittelwert der Männer ($M = 3,6 \text{ mm}$) 5,3 % über dem der Frauen ($M = 3,42 \text{ mm}$). Nur bei Cassetta et al. (2013) hatten Männer in einer Reihe von Messungen am Unterkiefer eine signifikant dickere Kortikalis als Frauen. In Bezug auf die Auswahl der Messstellen gab es unter den Studien kein einheitliches Vorgehen, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse limitiert. Während die Messungen von Yeh et al., 2018; Vidya et al. 2019; Telha et al., 2022 und Jung et al. (2022) analog zu den Messungen dieser Arbeit durchgeführt wurden, wurden sie bei Centeno et al. (2022) und Cassetta et al. (2013) in der Mesialregion nahe des Alveolarkamms vorgenommen. Auch innerhalb der Studien waren Unterschiede in der Kortikalis-Dicke abhängig von der Messstelle.

Die mittlere Kortikalis-Dicke in dieser Arbeit hat sich zwischen Männern und Frauen nur auf Höhe des 1. Molaren linksseitig signifikant unterschieden. Frauen hatten im Schnitt eine um 4,9 % (linksseitig) bzw. 3,9 % (rechtsseitig) schmalere Kortikalis als Männer. Auf Höhe des 2. Molaren haben sich die Kortikalis-Dicken nicht signifikant unterschieden. Die Ergebnisse der Kompositmessungen, die pro Molaren 2 Messpunkte mehr enthalten, stimmen damit überein. Ein geschlechtsspezifischer Unterschied in der Kortikalis-Dicke konnte insgesamt nicht nachgewiesen werden. Auf Höhe des 1. Molaren wäre solch ein Unterschied dennoch denkbar, da die Ergebnisse linksseitig bereits signifikant waren und rechtsseitig das Signifikanzniveau nur knapp verfehlt haben. Möglicherweise könnte eine Untersuchung an einer größeren Stichprobe einen tatsächlichen Unterschied aufdecken.

Nach den Erkenntnissen von Lee et al. (2016) hätten Patienten mit einer dünneren Kortikalis ein erhöhtes Risiko einer intraoperativen Nervenexposition, die mit einem erhöhten NSD-Risiko vergesellschaftet ist. Des Weiteren wäre die Wahrscheinlichkeit eines bad split bei diesen Patienten durch eine dünnere

Kortikalis erhöht (Chrcanovic und Freire-Maia, 2011). Auch wenn die Tendenz eher Richtung einer dünneren Kortikalis bei Frauen zeigt, kann eine Signifikanz dieses Unterschieds auf Basis der hier ermittelten Daten nicht nachgewiesen werden. Zudem würde die Diskrepanz eines geschlechtsspezifischen Unterschieds zwischen 1. und 2. Molaren die Relevanz dieses potenziellen Unterschieds fraglich machen. Ein alleiniger Unterschied auf Höhe des 1. Molaren hätte nur für Patienten eine Konsequenz, bei denen die sagittale Spaltosteotomie die Region des 1. Molaren miteinbezieht. In der Regel endet die Osteotomie aber zwischen 1. und 2. Molaren (Dal Pont, 1961) und bezieht die Region des 1. Molaren damit nicht ein. Eine weitere Limitation aller Studien besteht darin, dass die innere Kortikalis sich bei den Messungen nicht immer eindeutig und scharf zur Spongiosa abgrenzen lässt. Bei einer per se kleinen Messdistanz haben solche Messungenauigkeiten großen Einfluss auf die Varianz und damit auf die Zuverlässigkeit, mit der ein Subgruppenunterschied festgestellt werden kann. Es werden weitere Studien mit einer größeren Anzahl an Messstellen benötigt, um zu überprüfen, ob es tatsächlich einen geschlechtsspezifischen Unterschied in der Kortikalis-Dicke gibt und zu bestimmen an welcher Stelle dieser lokalisiert ist.

4.2 Altersspezifische Unterschiede

4.2.1 Distanz zur äußeren Kortikalis

Levine et al. (2007) und Jung et al. (2022) stellten in der Distanz zwischen IAN und äußerer Kortikalis signifikante altersspezifische Unterschiede fest. Levine et al. (2007) postulierten eine abnehmende Distanz mit zunehmendem Alter ($p = 0,04$). Die Altersspanne der Probanden betrug dabei 14-73 Jahre. In die Studie von Jung et al. (2022) wurden Probanden im Alter von 20 bis 50 Jahren eingeschlossen. Es zeigte sich, dass Probanden im Alter von über 35 Jahren eine signifikant längere Distanz ($M = 8,52 \text{ mm}$) hatten als Probanden im Alter von 35 Jahren oder jünger ($M = 6,17 \text{ mm}$) ($p < 0,001$). Kawashima et al. (2016) konnten dagegen zwischen drei Altersgruppen (<21 , $21-40$, >40) keinen signifikanten Unterschied ermitteln. Es wurde keine Altersspanne der untersuchten Probanden angegeben.

In dieser Arbeit konnte nur für die Messstelle am rechten 2. Molaren eine signifikante Korrelation zwischen der Distanz zur äußeren Kortikalis und dem Alter festgestellt werden. Die Varianzanalyse der Altersgruppen zeigte an dieser Messstelle jedoch keinen signifikanten Unterschied. Alle anderen Messstellen zur äußeren Kortikalis zeigten weder signifikante Altersgruppenunterschiede noch signifikante Korrelationen.

Die vermeintlich gegensätzlichen Ergebnisse zwischen Levine et al. (2007) und Jung et al. (2022) können unter anderem durch die unterschiedlichen Altersspannen erklärt werden, die untersucht wurden. Während Jung et al. (2022) nur Probanden bis zu einem Alter von 50 Jahren einschloss, bezog Levine et al. (2007) Probanden bis zu einem Alter von 73 Jahren ein. Im hohen Alter finden stoffwechselbedingt Umbauprozesse in den Knochen statt, die eine abnehmende Distanz verursachen könnten. Die Ergebnisse müssen daher nicht im Widerspruch zueinander stehen, wenn ein nicht linearer Zusammenhang angenommen wird. Eine Zunahme der Distanz zwischen dem 20. und 50. Lebensjahr, gefolgt von einer Abnahme bis zum 73. Lebensjahr wäre möglich. Korrelationsanalysen für eine große Altersspanne zu verwenden, scheint daher nicht sinnvoll. Ein Altersintervall, in dem die Distanz zunimmt, muss getrennt von einem Altersintervall, in dem die Distanz abnimmt, analysiert werden, da sich diese Effekte sonst gegenseitig aufheben.

Nach den Ergebnissen dieser Arbeit und unter Berücksichtigung der bestehenden Literatur, kann ein altersspezifischer Unterschied in der Distanz zur äußeren Kortikalis weder belegt noch ausgeschlossen werden.

4.2.2 Distanz zur inneren Kortikalis

Die Distanz zur inneren Kortikalis war in dieser Arbeit an allen Messstellen signifikant mit dem Alter korreliert. Mit zunehmendem Alter nahm die Distanz ab. Die Varianzanalyse zeigte nur auf der rechten Seite signifikante Unterschiede, wobei die Varianzanalyse linksseitig das Signifikanzniveau nur knapp verfehlte mit $p = 0,031$ (1. Molarer) und $p = 0,081$ (2. Molarer).

Aus dem post-hoc-Test ging hervor, dass die Unterschiede vor allem zwischen Gruppe 1 (15-24 Jahre) und 3 (35-44 Jahre) signifikant waren. Am rechten 1.

Molaren waren zusätzlich noch die Unterschiede zwischen Gruppe 1 und 2 (25-34 Jahre) signifikant. An jeder Messstelle nahm die mittlere Distanz von Gruppe 1 zu Gruppe 3 ab.

Diese Ergebnisse stimmen mit denen von Jung et al. (2022) überein. Dort hatten Probanden unter 35 Jahren eine längere Distanz ($M = 4,1$ mm) als Probanden im Alter von 35 Jahren und älter ($M = 3,32$ mm). Chrcanovic et al. konnten keine signifikante Korrelation mit dem Alter feststellen. Bei einer Altersspanne von 13-88 Jahren ist jedoch eine Korrelationsanalyse kein adäquates Mittel, um altersspezifische Unterschiede festzustellen (siehe 4.2.1 Distanz zur äußeren Kortikalis).

Insgesamt lassen die Ergebnisse von Jung et al. (2022) und dieser Arbeit auf einen signifikanten altersspezifischen Unterschied in der Distanz zur inneren Kortikalis schließen. Beide Studien beobachteten eine signifikant kürzere Distanz bei Probanden über 34 Jahren gegenüber jüngeren Probanden. Daraus leitet sich ein höheres NSD-Risiko und bad-split-Risiko für ältere Patienten gegenüber jüngeren Patienten innerhalb der untersuchten Altersspanne ab (siehe 1.4.2 Anatomische Einflussgrößen).

4.2.3 Kortikalis-Dicke

Während Cassetta et al. (2013), Centeno et al. (2022), Yeh et al. (2018) eine signifikante Zunahme der Kortikalis-Dicke mit dem Alter beobachteten, nahm diese in der Studie von Jung et al. (2022) signifikant mit dem Alter ab. Die Studie von Centeno et al. (2022) lässt jedoch keine Aussage zu altersspezifischen Veränderungen nach dem 12. Lebensjahr zu, da nur Probanden unter 12 Jahren mit Probanden über 12 Jahren verglichen wurden. Die untersuchte Altersspanne der Probanden reichte von 6 Jahren bis zu 30 Jahren. In Cassetta et al. (2013) wurde der Grenzwert der beiden Altersgruppen mit 18 Jahren höher gewählt. Die Altersspanne aller eingeschlossenen Probanden lag bei 12-50 Jahren. Yeh et al. (2018) wählte mit 40 Jahren einen Grenzwert, um zu überprüfen, wie sich die Distanz im höheren Alter verändert. Die Altersspanne reichte von 7-76 Jahren.

Eine Limitation einiger Studien ist die Wahl der untersuchten Altersspanne. Die Altersspanne weicht teilweise deutlich von der Altersspanne von BSSO-Patienten ab, die in der Regel 16-49 Jahre nicht über- oder unterschreitet (siehe 2.3 Patientenkollektiv). Altersspezifische Veränderung jenseits dieser Altersspanne haben keine klinische Relevanz bezüglich des Risikos sagittaler Spaltosteotomien und sollten daher auch nicht in diese Untersuchungen einbezogen werden.

Die Korrelationen der Kortikalis-Dicke mit dem Alter waren in dieser Arbeit am ausgeprägtesten und an jeder Messstelle hochsignifikant. Mit steigendem Alter nahm die Kortikalis-Dicke zu. Auch in der Varianzanalyse zeigten sich fast ausschließlich hochsignifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen, bei denen die älteren Gruppen eine dickere Kortikalis aufwiesen.

Die Ergebnisse zeigen einen eindeutigen altersspezifischen Unterschied in der Kortikalis-Dicke. Aufgrund einer dickeren Kortikalis haben ältere Patienten ein höheres Risiko einer intraoperativen Nervenexposition bei einer sagittalen Spaltosteotomie. Dagegen ist das bad-split-Risiko älterer Patienten durch eine dickere Kortikalis reduziert (siehe 1.4.2 Anatomische Einflussgrößen). Diese altersspezifische Korrelation ist nur für das, durch die Studien abgedeckte, Altersspektrum von 6-76 Jahren gültig.

4.3 Vergleich 1. Molarer Versus 2. Molarer

Obwohl die vertikale Osteotomie in der Regel zwischen 1. und 2. Molaren vorgenommen wird, gibt es auch Beschreibungen, in denen sie mesial des 1. Molaren durchgeführt wird (Obwegeser & Hadjianghelow, 1987). Daher wurden auch Messungen am 1. Molaren in diese Untersuchung einbezogen und mit denen am 2. Molaren verglichen, um die potenziellen Osteotomie-Stellen im Hinblick auf das NSD-Risiko zu bewerten.

Bisher wurden noch von keiner Studie die anatomischen Verhältnisse zwischen 1. und 2. Molaren in Bezug auf die IAN-Position verglichen. Aus einigen Studien ließen sich jedoch Unterschiede errechnen. In Huang et al. (2013) und Vidya et al. (2019)

war die mittlere Distanz zur äußeren Kortikalis am 2. Molaren kleiner als am 1. Molaren. Dort betrug der relative Unterschied -6 % respektive -6,5 %. Aus Eto et al. (2023) und Tseng et al. (2021) ergaben sich dagegen längere mittlere Distanzen für die Messstelle am 2. Molaren. Die Differenz betrug im Mittel 14 % respektive 13,8 %.

Wie vorhergehend beschrieben, ist bei der Studie von Vidya et al. (2019) eher von einer geringen Validität auszugehen (siehe 4.2.1 Distanz zur äußeren Kortikalis).

In dieser Arbeit war die mittlere Distanz zur äußeren Kortikalis am 2. Molaren ca. 16 % länger als am 1. Molaren und stimmt demnach mit den Ergebnissen von Eto et al. (2023) und Tseng et al. (2021) überein. In der Distanz zur inneren Kortikalis war der Unterschied zwischen 1. und 2. Molaren noch größer. Die mittlere Distanz war am 2. Molaren um 28,7 % (Lee et al., 2016) respektive 24,9 % (Tseng et al., 2021) länger als am 1. Molaren. Die mittlere Distanz dieser Arbeit war am 2. Molaren ca. 22 % länger. Ebenso war die mittlere Kortikalis-Dicke 9,3 % (links) / 10,7 % (rechts) dicker als am 1. Molaren.

Kuroyanagi et al. (2013) fand heraus, dass bei Patienten mit einer kurzen Distanz zur inneren Kortikalis ($< 1,5$ mm) NSD 6 Monaten nach SSRO 3,5-mal häufiger persistierten als bei Patienten mit einer langen Distanz ($\geq 1,5$ mm) (21 % vs. 6 %). Dieser Grenzwert ermöglicht eine indirekte Quantifizierung des NSD-Risikos an dem Kollektiv dieser Arbeit. In dem hier untersuchten Kollektiv wurde die kritische Distanz (1,5 mm) am 1. Molaren 2,4-mal (links) beziehungsweise 2,6-mal (rechts) öfter unterschritten als am 2. Molaren. Auch wenn diese kritische Distanz von $< 1,5$ mm mit einem signifikant erhöhten NSD-Risiko assoziiert ist, lässt dieser Vergleich allein keine Rückschlüsse auf das absolute Risiko der beiden Subgruppen zu.

Insgesamt stellen sich die anatomischen Verhältnisse am 2. Molaren deutlich günstiger für die vertikale Osteotomie dar als am 1. Molaren. Die mittleren Distanzen zur äußeren wie zur inneren Kortikalis sind am 2. Molaren hochsignifikant länger. Gleichzeitig ist die Kortikalis am 2. Molaren dicker. Daraus ergibt sich ein höheres NSD- und bad-split-Risiko für Osteotomien, die auf Höhe des 1. Molaren durchgeführt werden (siehe 1.4.2 Anatomische Einflussgrößen). Zusätzlich wird am 1. Molaren die von Kuroyanagi et al. (2013) definierte kritische Distanz von 1,5 mm

2,4-/2,6-mal häufiger unterschritten, was ebenso mit einer bedeutenden Zunahme des NSD-Risikos verbunden ist. Bei der Wahl der vertikalen Osteotomie-Stelle sollten diese Risikofaktoren evaluiert werden.

4.4 Weitere Einflussfaktoren für NSD

Obgleich die hier untersuchten anatomischen Einflussgrößen nachweislich das NSD-Risiko beeinflussen, gibt es noch weitere Faktoren, die sich auf das NSD-Risiko auswirken.

Neben den bereits thematisierten Faktoren Alter und Geschlecht, konnte noch die Knochendichte als Risikofaktor für NSD belegt werden. Mit zunehmender Knochendichte erhöht sich das NSD-Risiko (Yoshioka et al., 2012). Eine mögliche Erklärung wurde darin gesehen, dass bei einer erhöhten Knochendichte mehr Kraffteinwirkung zur Spaltung des Knochens notwendig ist und eventuell höhere Temperaturen entstehen. Die Knochendichte nimmt ungefähr bis zum 30. Lebensjahr zu und nimmt ab dem 40. Lebensjahr wieder ab (Barkaoui et al., 2017). Dieser Zusammenhang stützt die Annahme, dass ältere SSO-Patienten (35-44 Jahre) ein höheres NSD-Risiko haben (siehe 1.4.1 Geschlecht und Alter). Gleichzeitig haben Männer eine höhere Knochendichte als Frauen (Barkaoui et al., 2017). Dieser Faktor isoliert betrachtet würde also eher für ein höheres NSD-Risiko von Männern sprechen.

Außer den patientenbezogenen Faktoren, gibt es noch eine Reihe operationsbezogener Risikofaktoren. Einige Autoren entdeckten eine signifikante Korrelation zwischen dem NSD-Risiko und dem Ausmaß der Unterkieferverlagerung (Demirbas et al., 2020; Van Sickels et al., 2002; Westermarck et al., 1998). Bei Patienten, deren Ausmaß der Unterkieferverlagerung mehr als 7 mm betrug, remittierten NSD innerhalb von 7-12 Monaten. Dagegen remittierten diese bei Patienten mit einer Unterkieferverlagerung von ≤ 7 mm bereits innerhalb von 3 Monaten. (Demirbas et al., 2020). In Shibata et al. (2022) wurde auch thematisiert, dass das NSD-Risiko davon abhängig ist, ob eine Unterkieferrückverlagerung oder eine Unterkiefervorverlagerung durchgeführt wird. Takeuchi et al. (1994) vermuteten, dass eine Rückverlagerung durch eine mögliche

Kompression des IAN-Stamms mit einem höheren NSD-Risiko einhergeht als eine Vorverlagerung. Des Weiteren sind Begleiteingriffe von Bedeutung. Bei einer zusätzlich durchgeführten Genioplastik erhöht sich das NSD-Risiko signifikant (Van Sickels et al., 2002). Lee et al. (2016) beobachteten eine signifikante Korrelation zwischen der intraoperativen Nervenexposition und dem Auftreten von NSD. Bei einem komplett freiliegenden Nerven erhöhte sich das NSD-Risiko um das 13-fache nach 3 Monaten, um das 10-fache nach 6 Monaten und um das 7-fache nach 12 Monaten. Ebenso erhöht eine direkte Nervenmanipulation das NSD-Risiko (Politis et al., 2014), insbesondere wenn der IAN vom lateralen Segment gelöst werden muss (Nesari et al., 2005). Bruckmoser et al. (2013) identifizierten unter anderem noch die Operationsdauer als signifikanten Risikofaktor.

Entscheidend für das NSD-Risiko ist auch die Wahl des Osteotoms. Sprengmeißel zusammen mit Dehnmeißeln ermöglichen ein nervenschonendes Freilegen des IAN. Dafür haben flexible Meißel (Steinhäuser-Meißel) ein geringeres bad-split Risiko (siehe 1.3.2 Operationsverfahren). Mensink et al. (2014) ermittelten eine NSD-Inzidenz 1 Jahr nach BSSO von 37,3 % pro Seite unter Verwendung der flexiblen Meißel und von 4,1 % unter Verwendung der Spreng- und Dehnmeißel. Mit der Einführung der Piezo-Chirurgie kam eine Alternative zu den konventionellen Knochensägen hinzu. Die Piezo-Knochensäge wird mittels Ultraschallwellen in Bewegung versetzt. Der Knochen wird durch die hochfrequente Vibration geschnitten, das Weichgewebe absorbiert diese Schwingungen jedoch ohne Schaden. Spinelli et al. (2014) fanden heraus, dass NSD signifikant seltener bei Verwendung von Piezo-Knochensägen auftraten als bei konventionellen Knochensägen. Während NSD 6 Monate postoperativ bei der konventionellen Chirurgie in 28 % der Fälle persistierten, waren es bei der Piezochirurgie nur 3 %. Nesari et al. (2005) stellten signifikante Unterschiede des NSD-Risikos in Abhängigkeit der Osteosynthesemethode fest. 30 Monate nach BSSO hatten 34 % der Patienten mit Schraubenosteosynthese, 15 % mit Miniplattenosteosynthese und 0 % mit Drahtfixierung NSD.

4.5 Alternative Verfahren zur BSSO

Heutzutage ist die BSSO die meistgenutzte Methode zur Korrektur skelettaler Dysgnathien des Unterkiefers. Die große Knochenanlagerungsfläche der gespaltenen Fragmente ermöglichen eine gute Knochenheilung und stabile chirurgische Ergebnisse. Der größte Nachteil bleibt, jedoch das anatomisch bedingte Risiko einer IAN-Schädigung.

Eine Alternative zu der BSSO stellt die hohe (schräge) Ramusosteotomie (HOO - high oblique sagittal split osteotomy) dar. Bei dieser wird der Ramus oberhalb des Foramen mandibulae von mediokranial nach laterokaudal osteotomiert (Abbildung 9). Mit der HOO sind wie bei der BSSO sowohl Vor- als auch Rückverlagerungen möglich, allerdings in begrenzterem Ausmaß, aufgrund einer geringeren Knochenanlagerungsfläche (Eufinger et al., 2021).

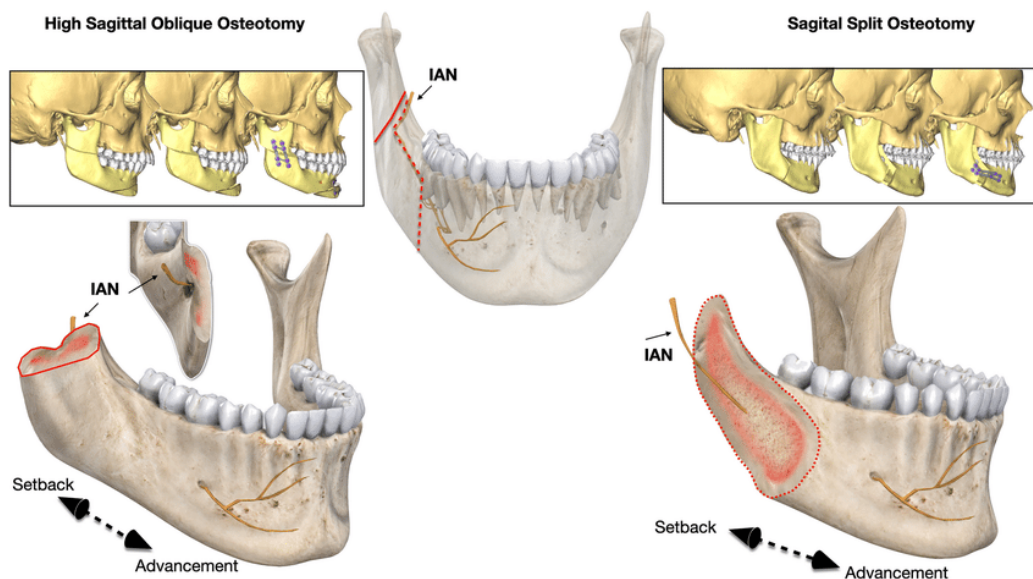


Abbildung 9: Hohe Ramusosteotomie (HOO) versus bilaterale sagittale Spaltosteotomie (BSSO)

Entnommen aus: Savoldelli et al. (2021)

Seifert et al. (2022) verglichen BSSO und HOO im Hinblick auf das Auftreten von intra- und postoperativen Komplikationen. Die Gesamtkomplikationsrate betrug 19,78 % in der BSSO-Gruppe und 12,5 % in der HOO-Gruppe. Innerhalb der ersten drei Monate postoperativ traten bei 48,4 % der Patienten aus der BSSO-Gruppe NSD auf, während diese in der HOO-Gruppe nur bei 3,9 % der Patienten auftraten.

In der HOO-Gruppe sank dieser Anteil nach 6 Monaten auf 0,78 % und nach 12 Monaten auf 0 %. Allerdings sank auch der Anteil von NSD in der BSSO-Gruppe stark. Nach 3 Monaten lag er dort bei 16,48 % und nach 12 Monaten bei 3,3 %. Es wurde auch beobachtet, dass in der BSSO-Gruppe fünfmal mehr bad splits auftraten als in der HOO-Gruppe. Die HOO-Gruppe hatte eine signifikant kürzere durchschnittliche Operationszeit und weniger Rezidive, die eine Revision erforderten. Dagegen war in der BSSO-Gruppe die Rate an Materialversagen signifikant niedriger.

Ein weiteres Verfahren ist die subkondyläre Ramusosteotomie (IVRO - intraoral vertical ramus osteotomy). Dabei wird die Osteotomie dorsal des Gefäß-Nerven-Bündels von der Incisura mandibulae bis zum äußeren Kieferwinkel durchgeführt (Abbildung 10), wodurch auch hier eine geringere NSD-Rate als bei der BSSO resultiert. Ein Nachteil ist, dass sie sich ohne Osteoplastik nur zur Korrektur der Prognathie und zur Verkürzung des aufsteigenden Unterkieferasts eignet. Damit kommt sie vor allem bei sehr dünnen Rami und einer schlechten Realisierbarkeit einer BSSO zum Einsatz (Eufinger et al., 2021).

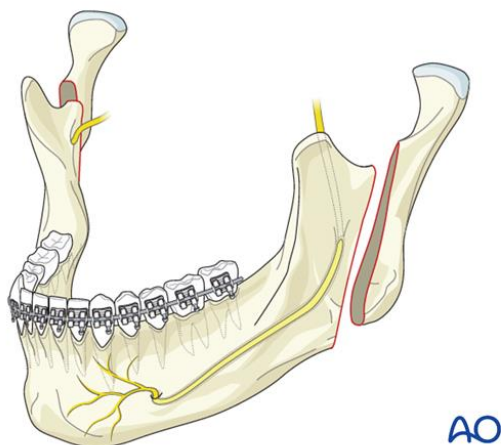


Abbildung 10: subkondyläre Ramusosteotomie (IVRO)

Entnommen von:

<https://surgeryreference.aofoundation.org/cm/orthognathic/mandible/mandible-vertical-mandibular-hyperplasia/vertical-ramus-osteotomy> (abgerufen am 15.10.2023)

Al-Moraissi und Ellis (2015) fanden in einem Review heraus, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen BSSO und IVRO in Bezug auf die horizontale skelettalen Stabilität gab, wohl aber in der vertikalen Stabilität zu Gunsten der BSSO. Für die IVRO wurde gegenüber der BSSO ein relatives Risiko von $RR = 0,16$ ($p = 0,001$) errechnet, das auf eine signifikant niedrigere NSD-Rate in der IVRO-Gruppe zurückzuführen ist.

4.6 Limitationen

Diese Arbeit wurde sorgfältig und entsprechend den Grundsätzen des wissenschaftlichen Arbeitens durchgeführt. Dennoch finden sich limitierende Faktoren, die im Folgenden kritisch diskutiert werden.

Bei dem Studienkollektiv dieser Arbeit handelte es sich um eine Auswahl von MKG (Mund-, Kiefer und Gesichtschirurgie)-Patienten, die die Einschlusskriterien erfüllten. Für eine valide Aussage über die gesamte kaukasische Bevölkerung hätte eine repräsentative Stichprobe aus eben dieser erfolgen müssen. Dies war aus Gründen mangelnder Datenverfügbarkeit nicht möglich. Aufgrund des weiten Spektrums der DVT-Indikationen, das zu einer heterogenen Gruppe von Patienten führt, ist jedoch von einer hohen Übertragbarkeit der Ergebnisse auszugehen.

Da sich diese Arbeit auf das NSD-Risiko nach sagittaler Spaltosteotomie konzentrierte, wäre eine Untersuchung ausschließlich an Patienten mit mandibulärer Pro- oder Retrognathie interessant gewesen. Die relativen geschlechts- oder altersspezifischen Unterschiede wären aber vermutlich ähnlich ausgefallen.

Bei allen Patienten wurden beide Unterkieferseiten vermessen. Dies ermöglicht Seitenvergleiche, führt aber zu korrelierten Beobachtungen. Um diesen Effekt in der statistischen Analyse gering zu halten, wurden beide Unterkieferseiten separat ausgewertet.

In dieser Studie wurde die Kortikalis-Dicke bukkal auf Höhe des IAN in der Molarenregion gemessen. Für die Fragestellung des bad-split-Risikos sollten je nach Spaltpattern (split pattern) noch weitere Messstellen wie z.B. die linguale

Kortikalis untersucht werden. Zwar ist eine Korrelation des geschlechtsspezifischen Unterschieds für die verschiedenen Messstellen zu vermuten, da sich die Kortikalis-Dicke intraindividuell proportional verhält, es kann aber keine sichere Aussage getroffen werden, da sich die Kieferanatomie und Knochenstruktur auch punktuell unterscheiden können. Zudem war die innere Kortikalis nicht immer scharf abgrenzbar. Auch wenn seltene Fälle bei denen die Kortikalis fließend in die Spongiosa übergang ausgeschlossen wurden, ließ sich ein gewisser Grad an Messungenauigkeit nicht vermeiden. Dies hat vor allem Einfluss auf die ermittelte Kortikalis-Dicke, da bei dieser per se kurzen Messdistanz kleine Ungenauigkeiten starke Auswirkungen haben.

Des Weiteren ist die Vergleichbarkeit mit anderen Studien begrenzt. Zum einen wurden teils unterschiedliche Messmethoden verwendet, zum anderen lassen sich selbst bei gleicher Beschreibung der Messmethode untersucherabhängige Unterschiede nicht ausschließen.

Insgesamt stellte sich die Studienlage in bestimmten Einzelfragen sehr uneindeutig dar und schränkt damit die Aussagekraft ein.

Zuletzt sind durch diese Arbeit nur indirekte Rückschlüsse auf das NSD-Risiko möglich, da die untersuchten Patienten anschließend keine sagittale Spaltosteotomie erhielten mit Dokumentation der postoperativen NSD-Inzidenz. Dies war allerdings auch nicht das Ziel dieser Studie, sondern die Analyse geschlechts- und altersspezifischer Unterschiede, sowie die Bereitstellung normativer Daten.

4.7 Fazit

In dem untersuchten Kollektiv ließen sich geschlechtsspezifische Unterschiede feststellen. Frauen zeigten in allen drei anatomischen Einflussgrößen kürzere Distanzen, wobei die Kortikalis-Dicke nur am 1. Molaren signifikant dünner war. Bezogen auf die anatomischen Faktoren lässt sich daraus ein erhöhtes NSD- und bad-split-Risiko für Frauen ableiten (siehe 1.4.2 Anatomische Einflussgrößen).

Es konnten signifikante altersspezifischen Unterschiede nachgewiesen werden, die sich in einer dickeren Kortikalis und einer kürzeren Distanz zur inneren Kortikalis bei älteren Patienten äußerten. Es ist anzunehmen, dass die Kortikalis-Dicke auf Kosten der Distanz zur inneren Kortikalis zunimmt, während die Distanz zur äußeren Kortikalis gleich bleibt. Die kürzere Distanz zur inneren Kortikalis ist mit einem erhöhten NSD- und bad-split-Risiko vergesellschaftet. Dagegen ist die dickere Kortikalis mit einem erhöhten Risiko einer intraoperativen Nervenexposition und einem reduzierten bad-split-Risiko assoziiert. Während die anatomischen Veränderungen älterer Patienten das NSD-Risiko erhöhen, ist unklar wie sie sich auf das bad-split-Risiko auswirken, da es sowohl Veränderungen gibt, die das Risiko erhöhen als auch senken. Weitere Studien werden benötigt, um die Dynamik der anatomischen Einflussgrößen mit zunehmendem Alter zu erfassen und präzisere risikostratifizierte Altersgruppen zu bestimmen.

Der Vergleich der anatomischen Verhältnisse am 1. gegenüber dem 2. Molaren zeigten hochsignifikante Unterschiede. Alle drei untersuchten Distanzen waren am 1. Molaren hochsignifikant kürzer. Ebenso wurde am 1. Molaren (rechts) die kritische Distanz von 1,5 mm 2,6-mal häufiger unterschritten als am 2. Molaren. Es zeigte sich, dass das NSD-Risiko in einer Gruppe mit einer von Distanz $< 1,5$ mm gegenüber einer Gruppe mit einer Distanz $\geq 1,5$ mm 4,4-mal höher war (Kuroyanagi et al., 2013). Vertikale Osteotomien auf Höhe des 1. Molaren sind infolgedessen mit einem deutlich erhöhten NSD- und bad-split-Risiko vergesellschaftet. Eine vertikale Osteotomie auf Höhe des 2. Molaren ist daher generell zu bevorzugen. In Fällen, in denen eine Osteotomie auf Höhe des 1. Molaren geplant ist, sollte eine genaue DVT-Bildgebung mit Identifikation des IAN erfolgen, um das anatomische Risiko zu bewerten.

Das individuelle NSD-Risiko eines Patienten kann nicht nur anhand einzelner anatomischer Parameter bestimmt werden, sondern ergibt sich aus der Summe aller vorhandenen Risikofaktoren. Zu diesen zählen auch Knochendichte, Richtung und Ausmaß der Unterkieferverlagerung, Nervenexposition bzw. -manipulation und das verwendete Operationswerkzeug.

Eine Dysgnathie-Behandlung sollte die individuellen Bedürfnisse und Risikofaktoren des Patienten berücksichtigen und gegeneinander abwägen. Ein hohes NSD-Risiko und niedriges bad-split-Risiko begünstigen beispielsweise die Verwendung eines Sprengmeißels, dagegen sind flexible Meißel besser bei einem niedrigen NSD-Risiko und hohem bad-split Risiko geeignet (siehe 1.3.2 Operationsverfahren). Es sollten auch alternative Verfahren zur BSSO wie die HOO oder die IVRO in Betracht gezogen werden. Eine HOO bietet vor allem Vorteile bei einem hohen NSD-Risiko, einem hohen bad-split-Risiko und einem kleinen Verlagerungsausmaß. Bei niedrigem bis moderaten NSD- und bad-split-Risiko ist die BSSO vorzuziehen, da sie stabilere Ergebnisse erzeugt und ein größeres Verlagerungsausmaß ermöglicht.

Gegenstand weiterer Forschung sollte sein, herauszufinden, wie sich die Risikofaktoren gegenseitig beeinflussen und ob sich beispielsweise mittels eines Scores ein individuelles Gesamtrisiko prognostizieren lässt.

5. Zusammenfassung

Postoperative neurosensorische Störungen (NSD) sind trotz vieler Fortschritte in der sagittalen Spaltosteotomie (SSO) noch eine häufige Komplikation mit teilweise schwerwiegenden Auswirkungen auf die Lebensqualität. Bisher konnten einige anatomische Risikofaktoren identifiziert werden. Das Ziel dieser Arbeit ist es zu untersuchen, ob sich diese anatomischen Risikofaktoren alters- und geschlechtsspezifisch unterscheiden, sowie die anatomischen Verhältnisse am 1. und 2. Molaren einander gegenüberzustellen im Hinblick auf die Wahl der vertikalen Osteotomie-Stelle.

Dazu wurden DVT-Aufnahmen von 300 Patienten aus drei Altersgruppen (15-24, 25-34 und 35-44 Jahre) untersucht. Es wurden die horizontalen Distanzen vom N. alveolaris inferior zur äußeren und zur inneren bukkalen Kortikalis gemessen. Aus der Differenz wurde die Kortikalis-Dicke ermittelt. Diese Messungen wurden beidseits auf Höhe des 1. und 2. Molaren vorgenommen.

Es zeigte sich, dass Männer eine signifikant längere Distanz zur äußeren und inneren Kortikalis hatten. Frauen hatten im Mittel eine um 5,5-8,1 % kürzere Distanz zur äußeren Kortikalis und eine um 6,9-12,3 % kürzere Distanz zur inneren Kortikalis. In der Kortikalis-Dicke waren die Unterschiede überwiegend nicht signifikant. Die altersspezifische Analyse ergab signifikante Korrelationen zwischen dem Alter und der Distanz zur inneren Kortikalis sowie zwischen Alter und der Kortikalis-Dicke. In der untersuchten Altersspanne von 15-44 Jahren nahm die Distanz zur inneren Kortikalis mit dem Alter ab, während die Kortikalis-Dicke zunahm. Die Korrelationen mit der Distanz zur äußeren Kortikalis waren überwiegend nicht signifikant. In der Varianzanalyse der Altersgruppen bestätigten sich diese Ergebnisse. Die mittlere Kortikalis-Dicke der Altersgruppen nahm von der jüngsten zur ältesten Gruppe zu, gleichzeitig nahm die Distanz zur inneren Kortikalis ab. Während die Unterschiede der Kortikalis-Dicke beidseits signifikant waren, waren die Unterschiede in der Distanz zur inneren Kortikalis nur rechtsseitig signifikant. Im Vergleich der anatomischen Verhältnisse am 1. und 2. Molaren waren alle drei anatomischen Distanzen am 2. Molaren länger. Insbesondere die Distanz zur inneren Kortikalis war am 2. Molaren mit 22 % deutlich länger als am 1. Molaren.

Des Weiteren zeigte sich, dass in dieser Studie das Risiko die kritische Distanz zur inneren Kortikalis von 1,5 mm zu unterschreiten am 1. Molaren 2,4-2,6-mal höher war als am 2. Molaren.

Bei isolierter Betrachtung der untersuchten anatomischen Einflussfaktoren, lässt sich ein höheres NSD-Risiko für weibliche und ältere Patienten (35-44) nach SSO ableiten (Rich et al., 2014; Lee et al. 2016). Nach den Ergebnissen dieser Arbeit lässt sich ebenfalls schlussfolgern, dass das NSD-Risiko bei vertikaler Osteotomie auf Höhe des 1. Molaren deutlich erhöht ist im Vergleich zu einer Osteotomie auf Höhe des 2. Molaren.

In der präoperativen Planung sollten diese Risikofaktoren berücksichtigt und evaluiert werden. Die vertikale Osteotomie scheint distal des 1. Molaren mit einem niedrigeren NSD-Risiko verbunden zu sein. Die Dysgnathie-Behandlung sollte auf das individuelle Risikoprofil des Patienten angepasst sein und bei hohem NSD-Risiko auch alternative Verfahren zur SSO in Erwägung ziehen.

6. Literaturverzeichnis

- Agbaje, J. O., Sun, Y., De Munter, S., Schepers, S., Vrielinck, L., Lambrichts, I., & Politis, C. (2013). CBCT-based predictability of attachment of the neurovascular bundle to the proximal segment of the mandible during sagittal split osteotomy. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 42(3), 308–315.
<https://doi.org/10.1016/j.ijom.2012.07.012>
- Al-Moraissi, E. A., & Ellis, E. (2015). Is There a Difference in Stability or Neurosensory Function Between Bilateral Sagittal Split Ramus Osteotomy and Intraoral Vertical Ramus Osteotomy for Mandibular Setback? *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 73(7), 1360–1371. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2015.01.010>
- Andrup, M. (2015). Indications and Frequency of Orthognathic Surgery in Sweden—A Questionnaire Survey. *International Journal of Oral and Dental Health*, 1(4).
<https://doi.org/10.23937/2469-5734/1510019>
- August, M., Marchena, J., Donady, J., & Kaban, L. (1998). Neurosensory deficit and functional impairment after sagittal ramus osteotomy: A long-term follow-up study. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 56(11), 1231–1235; discussion 1236. [https://doi.org/10.1016/s0278-2391\(98\)90595-x](https://doi.org/10.1016/s0278-2391(98)90595-x)
- Barkaoui, A., Ben Kahla, R., Merzouki, T., & Hambli, R. (2017). Age and gender effects on bone mass density variation: Finite elements simulation. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 16(2), 521–535. <https://doi.org/10.1007/s10237-016-0834-x>

- Beukes, J., Reyneke, J. P., & Damstra, J. (2016). Unilateral sagittal split mandibular ramus osteotomy: Indications and geometry. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *54*(2), 219–223. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2015.10.029>
- Bremke, M., Leppek, R., & Werner, J. A. (2010). Die digitale Volumentomographie in der HNO-Heilkunde. *HNO*, *58*(8), 823–832. <https://doi.org/10.1007/s00106-010-2110-1>
- Bruckmoser, E., Bulla, M., Alacamlioglu, Y., Steiner, I., & Watzke, I. M. (2013). Factors influencing neurosensory disturbance after bilateral sagittal split osteotomy: Retrospective analysis after 6 and 12 months. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, *115*(4), 473–482. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2012.08.454>
- Çakır, M., Karaca, I. R., Peker, E., & Öğütlü, F. (2018). Effects of Inferior Alveolar Nerve Neurosensory Deficits on Quality of Life. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, *21*(2), 206–211. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_408_16
- Cassetta, M., Sofan, A., Altieri, F., & Barbato, E. (2013). Evaluation of alveolar cortical bone thickness and density for orthodontic mini-implant placement. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, e245-52. <https://doi.org/10.4317/jced.51228>
- Centeno, A. C. T., Fensterseifer, C. K., Chami, V. D. O., Ferreira, E. S., Marquezan, M., & Ferrazzo, V. A. (2022). Correlation between cortical bone thickness at mini-implant insertion sites and age of patient. *Dental Press Journal of Orthodontics*, *27*(1), e222098. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.27.1.e222098.oar>
- Chrcanovic, B. R., & Freire-Maia, B. (2012). Risk factors and prevention of bad splits during sagittal split osteotomy. *Oral and Maxillofacial Surgery*, *16*(1), 19–27. <https://doi.org/10.1007/s10006-011-0287-4>

- Cohen, J. (2009). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. ed., reprint). Psychology Press.
- Colella, G., Cannavale, R., Vicidomini, A., & Lanza, A. (2007). Neurosensory Disturbance of the Inferior Alveolar Nerve After Bilateral Sagittal Split Osteotomy: A Systematic Review. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 65(9), 1707–1715. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2007.05.009>
- Da Costa Senior, O., Gemels, B., Van Der Cruyssen, F., Agbaje, J. O., De Temmerman, G., Shaheen, E., Lambrechts, I., & Politis, C. (2020). Long-term neurosensory disturbances after modified sagittal split osteotomy. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 58(8), 986–991. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2020.05.010>
- Dal Pont, G. (1961). Retromolar osteotomy for the correction of prognathism. *Journal of Oral Surgery, Anesthesia, and Hospital Dental Service*, 19, 42–47.
- Demirbas, A. E., Yilmaz, G., Topan, C., Kütük, N., Kilic, E., & Alkan, A. (2020). Risk Factors Influencing Recovery of Neurosensory Disturbances Following Sagittal Split Ramus Osteotomy. *Journal of Craniofacial Surgery*, 31(1), e35–e38. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000005839>
- Dos Santos, V. D. B., Queiroz, S. I. M. L., Da Silva, A. C., Silva, S., Da Silva, J. S. P., Fernandes, G. V. D. O., & Germano, A. R. (2022). Evaluation of the Anatomic Position of the Mandibular Canal Regarding to the Segments of the Mandibular Sagittal Split Ramus Osteotomy to Diminish the Possibility of Injuries: A Pilot Study. *Journal of Oral and Maxillofacial Research*, 13(4). <https://doi.org/10.5037/jomr.2022.13402>

- Espeland, L., Høgevold, H. E., & Stenvik, A. (2008). A 3-year patient-centred follow-up of 516 consecutively treated orthognathic surgery patients. *European Journal of Orthodontics*, *30*(1), 24–30. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjm081>
- Eto, V. M., Figueiredo, N. C., Eto, L. F., Azevedo, G. M., Silva, A. I. V., & Andrade, I. (2023). Bone thickness and height of the buccal shelf area and the mandibular canal position for miniscrew insertion in patients with different vertical facial patterns, age, and sex. *The Angle Orthodontist*, *93*(2), 185–194. <https://doi.org/10.2319/060822-412.1>
- Eufinger, H., Kübler, A., & Schliephake, H. (Hrsg.). (2021). *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie: Operationslehre und -atlas*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58984-7>
- Ghaemina, H., Meijer, G. J., Soehardi, A., Borstlap, W. A., Mulder, J., & Bergé, 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. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *38*(9), 964–971. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2009.06.007>
- Hou, M., Yu, T.-P., & Wang, J.-G. (2015). Evaluation of the Mandibular Split Patterns in Sagittal Split Ramus Osteotomy. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *73*(5), 985–993. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2014.07.007>
- Huang, C. S., Jia-Syuan Syu, J., Ko, E. W.-C., & Chen, Y. R. (2013). Quantitative Evaluation of Cortical Bone Thickness in Mandibular Prognathic Patients With Neurosensory Disturbance After Bilateral Sagittal Split Osteotomy. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *71*(12), 2153.e1-2153.e10. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2013.08.004>

- Hunsuck, E. E. (1968). A modified intraoral sagittal splitting technic for correction of mandibular prognathism. *Journal of Oral Surgery (American Dental Association: 1965)*, 26(4), 250–253.
- Jiang, N., Wang, M., Bi, R., Wu, G., Zhu, S., & Liu, Y. (2021). Risk factors for bad splits during sagittal split ramus osteotomy: A retrospective study of 964 cases. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 59(6), 678–682.
<https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2020.08.107>
- Jung, S., Yun, H., Chung, C. H., Kim, K., & Chang, Y. (2022). A computed tomography-based analysis of the structure of the mandible according to age and sex. *Archives of Craniofacial Surgery*, 23(3), 103–110. <https://doi.org/10.7181/acfs.2022.00150>
- Kanneth, S., Vinod V, S., Mani, V., George, A., & Thomas, A. (2023). Assessment of Mandibular Canal Using Cone-Beam Computed Tomography (CBCT) and Its Relevance in Post-Operative Neurosensory Disturbances Following Bilateral Sagittal Split Osteotomy Setback. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.36004>
- Kawashima, Y., Sakai, O., Shosho, D., Kaneda, T., & Gohel, A. (2016). Proximity of the Mandibular Canal to Teeth and Cortical Bone. *Journal of Endodontics*, 42(2), 221–224. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.11.009>
- Kokuryo, S., Habu, M., Kita, R., Katsuki, T., Tominaga, K., & Yoshioka, I. (2018). Comparison of the Effects of Ultrasonic and Conventional Surgery on the Neurosensory Disturbance After Bilateral Sagittal Split Osteotomy. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 76(7), 1539–1545.
<https://doi.org/10.1016/j.joms.2017.12.023>
- Kovisto, T., Ahmad, M., & Bowles, W. R. (2011). Proximity of the mandibular canal to the tooth apex. *Journal of Endodontics*, 37(3), 311–315.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.11.030>

- Kuroyanagi, N., Miyachi, H., Ochiai, S., Kamiya, N., Kanazawa, T., Nagao, T., & Shimozato, K. (2013). Prediction of neurosensory alterations after sagittal split ramus osteotomy. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *42*(7), 814–822. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2012.11.016>
- Leck, R., Paul, N., Rolland, S., & Birnie, D. (2022). The consequences of living with a severe malocclusion: A review of the literature. *Journal of Orthodontics*, *49*(2), 228–239. <https://doi.org/10.1177/14653125211042891>
- Lee, J. H., Son, Y. J., Hwang, J. H., Baek, S. H., & Jeon, J. H. (2016). Influence of anatomic position and intraoperative exposure of the inferior alveolar nerve on neurosensory disturbance after sagittal split ramus osteotomy: A three-dimensional computed tomography study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, *122*(3), 300–305. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2016.04.008>
- Levine, M. H., Goddard, A. L., & Dodson, T. B. (2007). Inferior Alveolar Nerve Canal Position: A Clinical and Radiographic Study. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *65*(3), 470–474. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2006.05.056>
- Mensink, G., Gooris, P. J. J., Bergsma, J. E., Van Hooft, E., & Van Merkesteyn, J. P. R. (2014). Influence of BSSO surgical technique on postoperative inferior alveolar nerve hypoesthesia: A systematic review of the literature. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, *42*(6), 976–982. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2014.01.019>
- Mensink, G., Zweers, A., Wolterbeek, R., Dicker, G. (G. J.), Groot, R. H., & Van Merkesteyn, R. (J. P. R.). (2012). Neurosensory disturbances one year after bilateral sagittal split osteotomy of the mandibula performed with separators: A multi-centre prospective study. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, *40*(8), 763–767. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2012.02.003>

- Michael Schünke, Erik Schulte, Udo Schumacher. (2015). *Prometheus. Kopf, Hals und Neuroanatomie: 123 Tabellen* (4., überarb. und erw. Aufl). Thieme.
- Monson, L. (2013). Bilateral Sagittal Split Osteotomy. *Seminars in Plastic Surgery*, 27(03), 145–148. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1357111>
- Montavon, P. M., Voss, K., & Langley-Hobbs, S. J. (2009). *Feline orthopedic surgery and musculoskeletal disease*. Mosby Elsevier.
- Muto, T., Shigeo, K., Yamamoto, K., & Kawakami, J. (2003). Computed tomography morphology of the mandibular ramus in prognathism: Effect on the medial osteotomy of the sagittal split ramus osteotomy. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 61(1), 89–93. <https://doi.org/10.1053/joms.2003.50014>
- Nakagawa, K., Ueki, K., Takatsuka, S., Takazakura, D., & Yamamoto, E. (2001). Somatosensory-evoked potential to evaluate the trigeminal nerve after sagittal split osteotomy. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 91(2), 146–152. <https://doi.org/10.1067/moe.2001.112331>
- Nakagawa, K., Ueki, K., Takatsuka, S., & Yamamoto, E. (2003). Trigeminal nerve hypesthesia after sagittal split osteotomy in setback cases: Correlation of postoperative computed tomography and long-term trigeminal somatosensory evoked potentials. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 61(8), 898–903. [https://doi.org/10.1016/S0278-2391\(03\)00295-7](https://doi.org/10.1016/S0278-2391(03)00295-7)
- Nesari, S., Kahnberg, K.-E., & Rasmusson, L. (2005). Neurosensory function of the inferior alveolar nerve after bilateral sagittal ramus osteotomy: A retrospective study of 68 patients. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 34(5), 495–498. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2004.10.021>

Obwegeser, H. L., & Hadjianghelow, O. (1987). Two ways to correct bird-face deformity.

Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 64(5), 507–518.

[https://doi.org/10.1016/0030-4220\(87\)90023-5](https://doi.org/10.1016/0030-4220(87)90023-5)

Pahkala, R. H., & Kellokoski, J. K. (2007). Surgical-orthodontic treatment and patients’

functional and psychosocial well-being. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 132(2), 158–164.

<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.09.033>

Phillips, C., Kim, S. H., Essick, G., Tucker, M., & Turvey, T. A. (2009). Sensory

retraining after orthognathic surgery: Effect on patient report of altered sensations.

American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics, 136(6), 788–794.

<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.07.015>

Politis, C., Lambrichts, I., Sun, Y., Vrielinck, L., Schepers, S., & Agbaje, J. O. (2014).

Attachment rate of the inferior alveolar nerve to buccal plate during bilateral sagittal split osteotomy influences self-reported sensory impairment. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 25(6), 2121–2126.

<https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000001091>

Politis, C., Sun, Y., Lambrichts, I., & Agbaje, J. O. (2013). Self-reported hypoesthesia of

the lower lip after sagittal split osteotomy. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 42(7), 823–829. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2013.03.020>

Rich, J., Golden, B. A., & Phillips, C. (2014). Systematic review of preoperative

mandibular canal position as it relates to postoperative neurosensory disturbance following the sagittal split ramus osteotomy. *International Journal of Oral and*

Maxillofacial Surgery, 43(9), 1076–1081.

<https://doi.org/10.1016/j.ijom.2014.03.020>

Roser, M., Cornelius, C., Gehrke, G., Ehrenfeld, M., & Mast, G. (2011). Osteotomien im Gesichtsskelett - Basis der orthognathen Chirurgie: Befunderhebung, präoperative Planung und individuelle Realisation bei Korrekturoperationen von Kiefer- und Gesichtsdeformitäten. *OP-JOURNAL*, 27(03), 200–221. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1280410>

Savoldelli, C., Ehrmann, E., & Tillier, Y. (2021). Biomechanical assessment of different fixation methods in mandibular high sagittal oblique osteotomy using a three-dimensional finite element analysis model. *Scientific Reports*, 11(1), 8755. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88332-2>

Seddon, H. J. (1943). THREE TYPES OF NERVE INJURY. *Brain*, 66(4), 237–288. <https://doi.org/10.1093/brain/66.4.237>

Seifert, L. B., Langhans, C., Berdan, Y., Zorn, S., Klos, M., Landes, C., & Sader, R. (2022). Comparison of two surgical techniques (HOO vs. BSSO) for mandibular osteotomies in orthognathic surgery—A 10-year retrospective study. *Oral and Maxillofacial Surgery*, 27(2), 341–351. <https://doi.org/10.1007/s10006-022-01073-y>

Shibata, M., Takahara, N., Tomomatsu, N., Kurasawa, Y., Sasaki, Y., & Yoda, T. (2022). Risk factors of neurosensory disturbances at 1 year postoperatively after bilateral sagittal split osteotomy. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 134(6), 695–701. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2022.04.002>

Simonton, J. D., Azevedo, B., Schindler, W. G., & Hargreaves, K. M. (2009). Age- and Gender-related Differences in the Position of the Inferior Alveolar Nerve by Using

- Cone Beam Computed Tomography. *Journal of Endodontics*, 35(7), 944–949.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.04.032>
- Spinelli, G., Lazzeri, D., Conti, M., Agostini, T., & Mannelli, G. (2014). Comparison of piezosurgery and traditional saw in bimaxillary orthognathic surgery. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 42(7), 1211–1220.
<https://doi.org/10.1016/j.jcms.2014.02.011>
- Takeuchi, T., Furusawa, K., & Hirose, I. (1994). Mechanism of transient mental nerve paraesthesia in sagittal split mandibular ramus osteotomy. *The British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 32(2), 105–108. [https://doi.org/10.1016/0266-4356\(94\)90139-2](https://doi.org/10.1016/0266-4356(94)90139-2)
- Telha, W., Abotaleb, B., Zhang, J., Bi, R., Zhu, S., & Jiang, N. (2023). Correlation between mandibular anatomy and bad split occurrence during bilateral sagittal split osteotomy: A three-dimensional study. *Clinical Oral Investigations*, 27(3), 1035–1042. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04665-w>
- Tseng, Y.-C., Liang, S.-W., Chou, S.-T., Chen, S.-C., Pan, C.-Y., & Chen, C.-M. (2021). Differences in the Buccal Bone Marrow Distance of ≤ 0.8 mm in the Mandible of Patients Undergoing Sagittal Split Ramus Osteotomy among the Different Skeletal Patterns: A Retrospective Study. *Journal of Clinical Medicine*, 10(23), 5644.
<https://doi.org/10.3390/jcm10235644>
- Van Sickels, J. E., Hatch, J. P., Dolce, C., Bays, R. A., & Rugh, J. D. (2002). Effects of age, amount of advancement, and genioplasty on neurosensory disturbance after a bilateral sagittal split osteotomy. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 60(9), 1012–1017. <https://doi.org/10.1053/joms.2002.34411>

- Verweij, J. P., Houppermans, P. N. W. J., Gooris, P., Mensink, G., & Van Merkesteyn, J. P. R. (2016). Risk factors for common complications associated with bilateral sagittal split osteotomy: A literature review and meta-analysis. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, 44*(9), 1170–1180.
<https://doi.org/10.1016/j.jcms.2016.04.023>
- Vidya, K., Pathi, J., Rout, S., Sethi, A., & Sangamesh, N. (2019). Inferior alveolar nerve canal position in relation to mandibular molars: A cone-beam computed tomography study. *National Journal of Maxillofacial Surgery, 10*(2), 168.
https://doi.org/10.4103/njms.NJMS_53_17
- Westermarck, A., Bystedt, H., & von Konow, L. (1998). Inferior alveolar nerve function after sagittal split osteotomy of the mandible: Correlation with degree of intraoperative nerve encounter and other variables in 496 operations. *The British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery, 36*(6), 429–433.
[https://doi.org/10.1016/s0266-4356\(98\)90458-2](https://doi.org/10.1016/s0266-4356(98)90458-2)
- Westermarck, A., Bystedt, H., & von Konow, L. (1999). Patients' evaluation of the final result of sagittal split osteotomy: Is it influenced by impaired sensitivity of the lower lip and chin? *The International Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery, 14*(2), 135–139.
- Yamamoto, R., Nakamura, A., Ohno, K., & Michi, K. (2002). Relationship of the mandibular canal to the lateral cortex of the mandibular ramus as a factor in the development of neurosensory disturbance after bilateral sagittal split osteotomy. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 60*(5), 490–495.
<https://doi.org/10.1053/joms.2002.31843>
- Yamauchi, K., Takahashi, T., Kaneuji, T., Nogami, S., Yamamoto, N., Miyamoto, I., & Yamashita, Y. (2012). Risk Factors for Neurosensory Disturbance After Bilateral

- Sagittal Split Osteotomy Based on Position of Mandibular Canal and Morphology of Mandibular Angle. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 70(2), 401–406.
<https://doi.org/10.1016/j.joms.2011.01.040>
- Yeh, A. Y. E., Finn, B. P., Jones, R. H. B., & Goss, A. N. (2018). The variable position of the inferior alveolar nerve (IAN) in the mandibular ramus: A computed tomography (CT) study. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 40(6), 653–665.
<https://doi.org/10.1007/s00276-018-1973-9>
- Yoshioka, I., Tanaka, T., Habu, M., Oda, M., Kodama, M., Kito, S., Seta, Y., Tominaga, K., Sakoda, S., & Morimoto, Y. (2012). Effect of bone quality and position of the inferior alveolar nerve canal in continuous, long-term, neurosensory disturbance after sagittal split ramus osteotomy. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 40(6), e178–e183. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2011.09.003>
- Yoshioka, I., Tanaka, T., Khanal, A., Habu, M., Kito, S., Kodama, M., Oda, M., Wakasugi-Sato, N., Matsumoto-Takeda, S., Fukai, Y., Tokitsu, T., Tomikawa, M., Seta, Y., Tominaga, K., & Morimoto, Y. (2010). Relationship Between Inferior Alveolar Nerve Canal Position at Mandibular Second Molar in Patients With Prognathism and Possible Occurrence of Neurosensory Disturbance After Sagittal Split Ramus Osteotomy. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 68(12), 3022–3027. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2009.09.046>
- Yoshioka, I., Tanaka, T., Khanal, A., Habu, M., Kito, S., Kodama, M., Oda, M., Wakasugi-Sato, N., Matsumoto-Takeda, S., Seta, Y., Tominaga, K., Sakoda, S., & Morimoto, Y. (2011). Correlation of mandibular bone quality with neurosensory disturbance after sagittal split ramus osteotomy. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 49(7), 552–556.
<https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2010.09.014>

Yuan, H., Shen, G., & Wang, X. (2007). [Influencing factors of sensory disturbance of lower lip after sagittal split ramus osteotomy]. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue = Shanghai Journal of Stomatology*, 16(3), 225–228.

7. Anhang

7.1 Urdaten

Die Urdaten dieser Arbeit sind auf dem beigefügten USB-Stick zu entnehmen.

7.2 Technische Daten DVT-Gerät

Sirona Dental Systems GmbH Gebrauchsanweisung GALILEOS		2 Technische Beschreibung
<h2>2 Technische Beschreibung</h2>		
Chassis:	Modellbezeichnung	GALILEOS
	Nennspannung:	200 – 240V
	Zulässige Schwankung:	±10%
	Zulässiger Einbruch unter Last:	10%
	Nennstrom:	6A
	Nennleistung:	0,6 kW bei 85 kV/7mA
	Strom-Zeit-Produkt:	42 mAs
	Nennfrequenz:	50/60Hz
	Netzzinnenwiderstand:	max. 0,8Ohm
	Sicherung der Hausinstallation:	25A träge (16 A bei Einzelanschluss)
	Leistungsaufnahme:	0,9 kVA
Strahler:	Brennleckgröße nach IEC 60336, gemessen im Zentralstrahl:	0,5
	kV:	85 kV
	mA:	5 / 7 mA
	gepulster Betrieb:	10 ms – 30 ms
	Gesamtfilterung im Röntgenstrahler	> 2,5 Al / 90 IEC 522
	Conebeam-Strahlwinkel:	eingebündelt auf ca. 24°
Detektor:	Typ: Bildverstärker (BV), Thales	
	aktive Eingangs-Fenstergröße:	215 mm Durchmesser
	Kamera:	Pixel: 1000 ²
		FPS: 15 – 30
		Dynamik: 12 Bit, (4096 Helligkeitswerte), 60 dB
Geometrie:	Abstand Fokus – BV-Wandlerschicht (Zentralstrahl)	505 mm
	Abstand Fokus – Isozentrum (Zentralstrahl)	333 mm
	Abstand Fokus – Haut (Minimalabstand)	ca. 220 mm
Scanvorgang:	Umlaufwinkel	204°
	Scanzeit	ca. 14 s
	Anzahl der Einzelaufnahmen	200
61 18 108 D 3437 D 3437.201.01.08.01		11

Abbildung A 1: Datenblatt DVT-Gerät



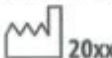
2 Technische Beschreibung		Sirona Dental Systems GmbH Gebrauchsanweisung GALILEOS	
Rekonstruktion:	Brennfleckmarkierung:	gefüllerte Rückprojektion	
Automatische Aufnahmesperre (siehe Seite 46):	Gerät der Schutzklasse I Grad des Schutzes gegen elektrischen Schlag:	Die Dauer der Aufnahmesperre (Abkühlpause) ist abhängig von der eingestellten kV/mAs Stufe und der tatsächlich ausgelösten Strahlzeit. Je nach Röhrenbelastung werden Pausenzeiten von 8s bis 300s automatisch eingestellt.	Gerätetyp B 
Grad des Schutzes gegen Eindringen von Wasser:	Herstellungsjahr	Gewöhnliches Gerät (ohne Schutz gegen Eindringen von Wasser)	 (auf dem Typenschild)
Betriebsart:	Langzeitleistung:	Dauerbetrieb	
Anodenmaterial:	Aufnahmedaten zur Ermittlung der Leckstrahlen:	100W	
Langzeitstrom für Leckstrahlmessungen:	Transport- und Lagertemperatur:	Wolfram	
Grundgerät	Detektor	7 mA / 85 kV	
Luftfeuchtigkeit:	Zulässige Betriebstemperatur:	0,14 mA	
		-40°C – +70°C (-40°F – 158°F)	
		-30°C – +55°C (-22°F – 131°F)	
		10% – 95% nicht kondensierend	
		zwischen +10°C und +35°C (50°F – 95°F)	
Röntgenröhre:		DF-151R – von Toshiba	
Minimalanforderungen an Rekonstruktions-PC (im Lieferumfang enthalten):			
Prozessor:		2x 3,0 GHz, alternativ Dual-Core	
RAM:		2 GByte RAM	
Festplatten:		> 200 GByte	
Betriebssystem:		Windows XP Professional Service-Pack 2 oder neuer	
externes Laufwerk:		1x DVD Brenner, Dual Layer	

Abbildung A 2: Datenblatt DVT-Gerät

**Minimalanforderungen an
SIDEKIS-Visualisierungs-PC
(nicht im Lieferumfang enthalten):**

Festplatte:	> 50 MByte / SIDEKIS-Installation
RAM:	mind. 1 GByte
Laufwerke:	CD-ROM MOD-Laufwerk min. 640 MByte (einmal pro System / Netzwerk)
Betriebssystem:	Windows XP Professional Service-Pack 2 Vista Business/Home Premium
Grafiksystem:	> 128 MByte, Auflösung mind. 1024x768 Bildpunkte, Farbtiefe mind. 8 Bit
Bildschirm:	befundungsfähiger Bildschirm
Netzwerk:	
Netzwerk:	100 MBit Ethernet, 1 Gbit Ethernet empfohlen
Kommunikationsanschluss:	RJ45 für LAN-Kabel

Die Röntgeneinrichtung GALILEOS ist in Übereinstimmung mit IEC 60601-2-28 / 1993

Die Röntgeneinrichtung GALILEOS ist in Übereinstimmung mit IEC 60601-1-3 / 1994

Die Röntgeneinrichtung GALILEOS ist in Übereinstimmung mit IEC 60601-2-7 / 1998

Die Röntgeneinrichtung GALILEOS ist in Übereinstimmung mit AS/NZS 3200.1.0

Ursprungssprache: deutsch



Dieses Produkt trägt das CE-Kennzeichen in Übereinstimmung mit den Bestimmungen der Richtlinie 93/42EWG vom 14. Juni 1993 über Medizinprodukte.

Abbildung A 3: Datenblatt DVT-Gerät

7.3 Viewer Programm Sidexis

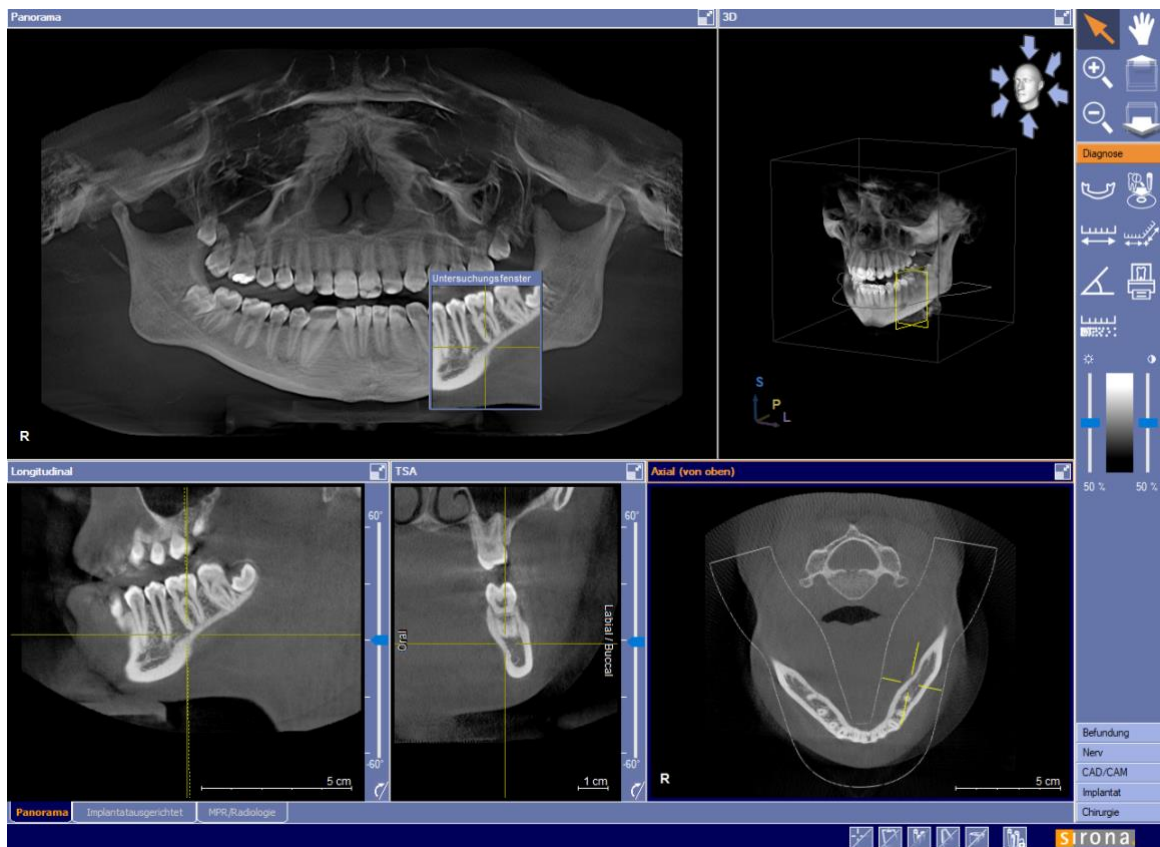


Abbildung A 4: Viewer Übersicht und Tools

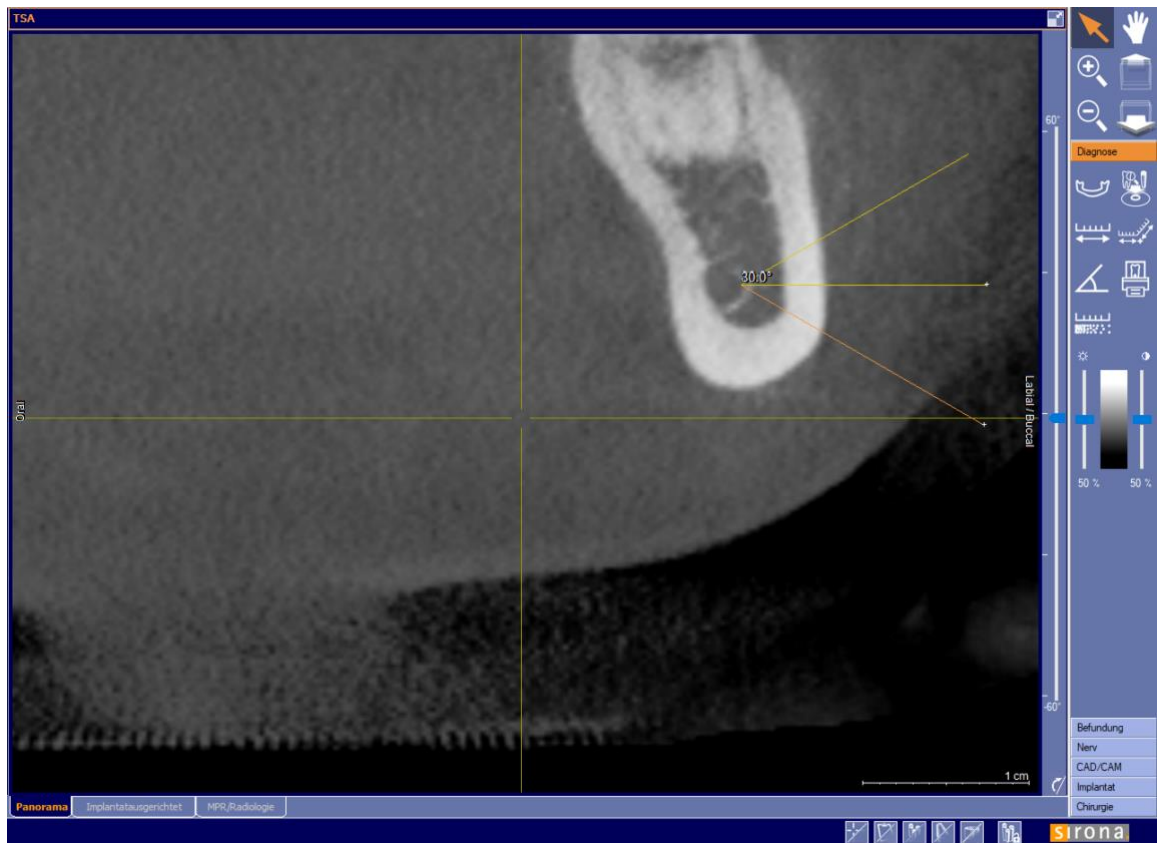


Abbildung A 5: Bestimmung der Messstrecken mittels Winkel-Tool



Abbildung A 6: Messung zur inneren Kortikalis mittels Lineal-Tool

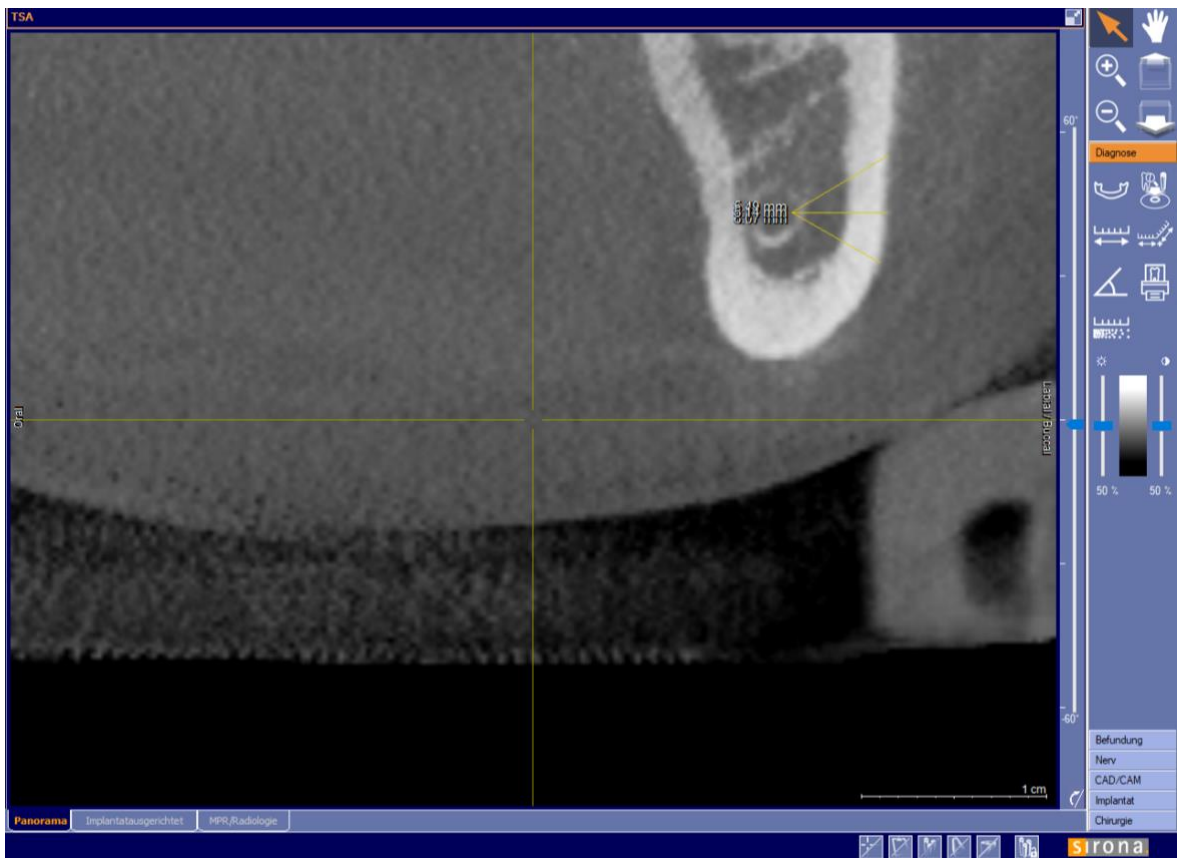


Abbildung A 7: Messung zur äußeren Kortikalis mittels Lineal-Tool



Abbildung A 8: Messung der Kortikalis-Dicke mittels Lineal-Tool

8. Danksagung

Mein großer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Privatdozent Dr. med. Dr. med. dent. Daniel Steller, der mir dieses interessante Thema vorschlug. Er hat durch viele anregende Diskussionen meine Begeisterung für das wissenschaftliche Arbeiten maßgeblich beeinflusst und gefördert. Dabei habe ich Herrn Dr. Steller nicht nur fachlich, sondern auch besonders persönlich sehr zu schätzen gelernt.

Ich danke Herrn Prof. Sieg für die Möglichkeit, an seiner Klinik dieses Promotionsprojekt bearbeitet haben zu dürfen und Frau PD Dr. Anke Leichtle, Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde für die Kobetreuung meiner Arbeit.

Des Weiteren danke ich dem gesamten Personal der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des UKSH Lübeck, das mich bei der Einarbeitung in die Programme und bei der Beschaffung der Dokumente sowie DVT-Aufnahmen zur Erhebung der Daten unterstützt hat.

Für die finanzielle Förderung im Rahmen des Promotionsstipendiums „Lübecker Exzellenzmedizin“ danke ich der Universität zu Lübeck.

Nicht zuletzt danke ich meinen Eltern, die mich seit jeher in jeder erdenklichen Weise unterstützt und gefördert haben. Sie ließen mich den hohen Wert von Bildung erkennen und weckten in mir eine wissenschaftliche Neugier.

9. Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: David Hilarius Scheuring

Hochschulstudium

WS 2018/19: Immatrikulation an der Universität zu Lübeck
SS 2020: Physikum mit der Note „gut“
2020: Seminar „Promotion und Wissenschaftlichkeit in Studium und Praxis“ (ProWiSP)
2021: Famulatur, Anästhesie, Helios Klinikum Siegburg
2022: Famulatur, Plastische Chirurgie, UKSH Lübeck
2022: Famulatur, chirurgische Notaufnahme, Sana Klinik Lübeck
2023: Famulatur, Allgemeinmedizin, allgemeinmedizinische Praxis „Hausärzte Eschweiler“
2024: 2. Staatsexamen mit der Note „gut“
2024: PJ-Tertial, Unfallchirurgie, München Klinik Schwabing
2024: PJ-Tertial, Orthopädie, Helios Endo-Klinik Hamburg
2024/25: PJ-Tertial Innere Medizin, Asklepios Westklinikum Rissen
2025: 3. Staatsexamen mit der Note „gut“ (Frühjahr 2025)

Zeitraum der Dissertation

April 2023: Annahme der Dissertation
Dezember 2023: Fertigstellung der Messungen an DVT-Aufnahmen
Februar 2024: Fertigstellung statistische Auswertung und Interpretation
August 2024: Fertigstellung Dissertation
Mai 2025: Einreichung Dissertation
März 2026: Rigorosum

Hamburg, den 20. März 2026

David Scheuring