

Aus dem Institut für 3D-Dentalradiologie - MESANTIS Berlin

DISSERTATION

Vergleichende Untersuchung von 2D- und 3D-Röntgenaufnahmen zur Prävalenz implantologisch relevanter Parameter im teilbezahnten Unterkiefer

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Birgit Oberhuber

aus Berlin

Datum der Promotion: 06.03.2020

Inhaltsverzeichnis

Abstrakt	5
Abstract	7
Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	11
Abkürzungsverzeichnis	12
1 Einleitung	13
1.1 Die Implantologie auf dem Gebiet der Zahnmedizin	13
1.2 Anatomische Grundlagen des knöchernen Unterkiefers	15
1.3 Pathophysiologie des knöchernen Unterkiefers	16
1.4 Bildgebende Verfahren in der Implantologie	18
1.4.1 Panoramaschichtaufnahme (PSA)	18
1.4.2 Dentale Volumentomographie	19
1.5 Strahlenbelastung bildgebender Verfahren in der Implantologie	20
1.6 Aufbau und Funktionsprinzip der DVT	21
1.6.1 Darstellung der anatomischen Strukturen und Dimensionstreu der DVT	24
1.6.2 Vermessung teilbezahnter/unbezahnter Unterkiefer mittels DVT	24
2 Fragestellung	26
3 Methodik	28
3.1 Allgemeine Methodik	28
3.1.1 Patientengut	28
3.1.2 Literaturanalyse	28
3.1.3 DVT-Aufnahmen	29
3.1.4 Auswertungssoftware	30
3.1.5 Systematische Auswertung	31
3.1.6 Einteilung der Unterkieferquerschnittsformen	31
3.1.7 Statistische Analyse	34
3.2 Spezielle Methodik	35
3.2.1 Dimension des Alveolarfortsatzes	35
3.2.2 Bestimmung der krestalen Knochendimensionen	37
3.2.3 Bestimmung der Stufenbildung der Molaren im Unterkieferbereich in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter	38
3.2.4 Bestimmung der Lage des Nervus alveolaris inferior in Abhängigkeit von der Zahnregion	39
3.2.5 Bestimmung der Knochen- und Zahnachsen in Abhängigkeit von der Zahnregion	40

4	Ergebnisse	42
4.1	Demografische Daten im Studienkollektiv	42
4.2	Knochenhöhe (PSA) vs. Kieferbreite (DVT)	45
4.3	Die Dimension des Alveolarfortsatzes	45
4.3.1	Der Zusammenhang zwischen der Höhe und Breite des Alveolarfortsatzes auf dem Niveau des Sicherheitsabstandes	45
4.3.2	Die Altersabhängigkeit der Form des Alveolarfortsatzes	49
4.3.3	Die Geschlechtsabhängigkeit der Form der Alveolarfortsätze	50
4.3.4	Die krestalen Knochendimensionen	50
4.3.5	Der Höhenverlust in Abhängigkeit von Zahnregionen	52
4.3.6	Stufenbildung in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter	57
4.4	Die Lage des Nervus alveolaris inferior in Abhängigkeit von der Zahnregion	59
4.5	Die Knochen- und Zahnachsen in Abhängigkeit von der Zahnregion	62
5	Diskussion	65
5.1	Die Dimension des Alveolarfortsatzes	65
5.2	Zusammenhang zwischen Höhe und Breite des Alveolarfortsatzes	65
5.3	Altersabhängigkeit der Form des Alveolarfortsatzes	67
5.4	Geschlechtsabhängigkeit der Form des Alveolarfortsatzes	67
5.5	Die krestalen Knochendimensionen	68
5.6	Die Höhe des Alveolarfortsatzes in Abhängigkeit von Zahnregionen	69
5.7	Die Höhe des Alveolarfortsatzes in Abhängigkeit von der Querschnittsform des Knochens	70
5.8	Die Stufenbildung im Molarbereich des Unterkiefers in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter	71
5.9	Die Lage des Nervus in Abhängigkeit von der Zahnregion	71
5.10	Knochen- und Zahnachsen in Abhängigkeit von der Zahnregion	72
5.11	Diskussion der Methoden	72
5.11.1	Patientengut	72
5.11.2	Systematische Fehler	74
5.11.3	Zufällige Fehler	76
5.12	Fazit der Diskussion	77
5.13	Schlussfolgerungen und Ausblick	77
6	Literaturverzeichnis	79
7	Eidesstattliche Versicherung	88
8	Lebenslauf	89
9	Danksagung	90

Abstrakt

Einleitung:

Die dentale Volumetomographie (DVT) und ihr klinischer Einsatz wird in den Teildisziplinen der Zahnmedizin kontrovers diskutiert. Dennoch ist die Datenlage auf Basis evidenz-basierter Studien immer noch sehr begrenzt.

Ziel dieser Arbeit ist die retrospektive Erhebung evidenzbasierter Daten zur Breite des Alveolarfortsatzes, Nutzbarkeit des krestalen Anteils für eine Implantation, transversale Form des Alveolarfortsatzes in Abhängigkeit von der Zahnregion und transversale Lokalisation des N. alveolaris inferior im Alveolarfortsatz an einem Patientengut mit teil- bzw. unbezahnten Seitenzahnregionen des Unterkiefers. Die Eignung zur Erhebung der verschiedenen Parameter wird in Abhängigkeit von Kieferhälfte, Geschlecht und Alter der Patienten sowohl anhand von Panoramaschichtaufnahmen (PSA) als auch anhand von DVT evaluiert.

Material und Methode: Initial wurden DVTs von 4132 Patienten gesichtet. Davon erfüllten 117 Patienten im Alter zwischen 39 - 76 Jahren (42 Männer, 75 Frauen) die festgelegten Kriterien (Unterkiefer einseitige oder beidseitige Freundsituationen, bzw. Schalllücken mit mindestens drei fehlenden Zähnen). Aus DVT-Aufnahmen wurden 2D-Projektionen (PSA) des Unterkiefers berechnet und mit der 3D-Darstellung hinsichtlich oben genannter vier Parameter verglichen. Die Alveolarfortsätze wurden im Prämolaren- und Molarenbereich beidseits vermessen.

Ergebnisse: Zwischen Höhe und Breite des Alveolarfortsatzes bestand keine signifikante Korrelation ($r = -0,13$ bzw. $-0,08$). Der implantologisch nicht nutzbare krestale Anteil des Alveolarfortsatzes aufgrund transversaler Defizite betrug durchschnittlich ca. 2 mm (Molarenbereich 1,24mm/1,73mm, Prämolarenbereich 1,64mm/2,32mm). Die Form des Alveolarfortsatzes ist in Abhängigkeit der Region signifikant unterschiedlich. Bei beiden Geschlechtern und allen Altersgruppen war die „Stufenform“ in der Molarenregion (34,2% bis 72,6%) dominierend. In den Prämolarenregionen war sie signifikant seltener (1,7% bis 8,5%).

Der N. alveolaris inferior war im rechten Alveolarfortsatz im Bereich der Molaren tendenziell lingual, im Prämolarenbereich zentral. Im linken Alveolarfortsatz war die Lokalisation im Molarenbereich tendenziell zentral, im Bereich der Prämolaren bukkal. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern. Alle Parameter waren in der PSA nicht zuverlässig zu erheben.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ergaben folgende Konklusionen für die aufgestellten Hypothesen:

1. Ein Rückschluss Höhe auf Breite des Alveolarfortsatzes ist durch fehlende Korrelation in der PSA nicht möglich.
2. Die nutzbare Höhe des zur Verfügung stehenden Alveolarfortsatzes wird in einer 2D Panoramaschichtaufnahme überschätzt.
3. Die Form des Querschnitts des Alveolarfortsatzes in den verschiedenen Zahnregionen variiert interindividuell deutlich.
4. Die Lokalisation des N. alveolaris inferior im Alveolarfortsatz variiert ebenfalls deutlich.

Alle vier untersuchten Parameter sind aus einer PSA nicht ableitbar. Deswegen stellt die Abklärung dieser Parameter zur zahnärztlichen Implantat-Planung eine rechtfertigende Indikation für ein DVT dar.

Schlüsselwörter: Alveolarfortsatz, Implantologie, Nervus alveolaris inferior, DVT

Abstract

Introduction: Dental cone-beam computed tomography (CBCT) and its clinical use is a controversial topic amongst dental subspecialties. However, few data from evidence-based studies are available.

This study aims to collect retrospective, evidence-based data on alveolar process width, adequacy of the alveolar crest for implants, transverse shape of the alveolar process by region, and position of the inferior alveolar nerve (IAN) within the alveolar ridge in patients with partial or absent lateral lower jaw dentition. Suitability of both panoramic radiograph (PAN/OPG) and CBCT for recording various data is evaluated by hemi-arch, gender and age.

Materials and methods: Initially, CBCTs of 4132 patients were examined. 117 patients aged 39-76 (42 males, 75 females) fulfilled the set criteria (lower jaw unilateral or bilateral free end or saddle, at least three teeth missing). Lower jaw 2D images (DPT) were calculated from CBCTs and the above-mentioned four parameters compared to the 3D image. Alveolar processes were measured bilaterally in the premolar/molar area.

Results: Alveolar process height and width did not correlate significantly (r -0.13 and -0.08). The alveolar crest, unsuitable for implants due to transverse deficits, averaged about 2 mm (molar area 1.24 mm/1.73 mm, premolar area 1.64 mm/2.32 mm). The shape of the alveolar process varies significantly by region. Both genders and all age groups predominantly displayed a 'stepped shape' in the molar area (34.2% to 72.6%), but this was significantly rarer in the premolar area (1.7% to 8.5%).

The IAN tended to have a lingual position in the molar area of the right alveolar process, and a central position in the premolar area. In the molar area of the left alveolar process it tended to be central, but buccal in the premolar area. Inter-gender differences were insignificant. DPT was unsuitable for recording any of the parameters reliably.

Conclusion This study's results lead to the following conclusions for the proposed hypothesis:

1. Estimation of alveolar ridge width from its height is impossible due to lack of correlation on DPT.
2. Usable height of the alveolar process is overestimated in a 2D DPT.
3. The transverse shape of the alveolar process in various dental areas underlies significant inter-individual variation.
4. The position of the IAN also varies significantly.

None of the four parameters can be derived from a DPT. Recording these parameters for dental implant planning is therefore a justifiable indication for a CBCT.

Key words: Alveolar process, implantology, inferior alveolar nerve, CBCT

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Unterkieferansicht von vorn, seitlich (Schumacher,1996: 97)	16
Abb. 2: Resorptionsklassen Unterkiefer (Gruber, Solar & Um 1993: 53)	17
Abb. 3: Unterkiefer, rechts von medial (Sobotta Lernkarte Nr.20, Urban & Schwarzenberg, modifiziert)	18
Abb. 4: Funktionsprinzip Volumentomographie (Rother 2006: 47)	22
Abb. 5: MESANTIS ® line, ISI (eigene Darstellung)	29
Abb. 6: i-CAT classic, ISI (eigene Darstellung)	30
Abb. 7: Arbeitsoberfläche Anatomage mit festgelegten Messbereichen in errechneter PSA und Messung in den Cross section-Darstellungen im Bereich des zweiten Prämolaren (eigene Darstellung)	31
Abb. 8: Schematische Darstellung des stufenförmigen Alveolarfortsatzes (eigene Darstellung)	32
Abb. 9: stufenförmiger Alveolarfortsatz im DVT (eigene Darstellung)	32
Abb. 10: Schematische Darstellung des stäbchenförmigen Alveolarfortsatzes (eigene Darstell.)	33
Abb. 11: Stäbchenförmiger Alveolarfortsatz im DVT (eigene Darstellung)	33
Abb. 12: Schematische Darstellung des tropfenförmigen Alveolarfortsatzes (eigene Darstellung)	34
Abb. 13: Tropfenförmiger Alveolarfortsatz im DVT (eigene Darstellung)	34
Abb. 14: Beispiel für keinen linearen Zusammenhang zwischen Höhe und Breite (eigene Darstellung)	35
Abb. 15: Beispiel für einen mäßig linearen Zusammenhang zwischen Höhe und Breite des Knochens im OPG (eigene Darstellung)	35
Abb. 16: Berechnete Panoramaschichtaufnahme mit markierten Messbereichen. Senkrechte im Messbereich 36 (eigene Darstellung)	36
Abb. 17: Messung im Bereich 36; Abstand zum Canalis mandibularis 2,04 mm, Breite des Alvelarknochens 12,97 mm und die implantierbare Höhe 14,14 mm (eigene Darstellung)	37
Abb. 18: Messung im Bereich 36. Abstand zum Canalis mandibularis 2,04 mm, Breite des Alvelarknochens 12,97 mm und die implantierbare Höhe 14,14 mm, zusätzlich krestaler Höhenverlust (eigene Darstellung)	38

Abb. 19: Ermittlung des Ausmaßes der Stufenbildung beim stufenförmigen Alveolarfortsatz (eigene Darstellung)	39
Abb. 20: Beispiel für eine 26%ige Nervlage (eigene Darstellung)	39
Abb. 21: Beispiel für eine 55 %ige Nervlage (eigene Darstellung)	40
Abb. 22: Beispiel für eine 75 %ige Nervlage (eigene Darstellung)	40
Abb. 23: Darstellung zur Winkelmessung zwischen optimal gesetztem Implantat und antagonistischer Krone (eigene Darstellung)	41
Abb. 24: Schematische Darstellung der Winkelmessung zwischen optimal platziertem Implantat und antagonistischer Krone (eigene Darstellung)	41
Abb. 25: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 47 (eigene Darstellung)	46
Abb. 26: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 46 (eigene Darstellung)	46
Abb. 27: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 45 (eigene Darstellung)	47
Abb. 28: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 44 (eigene Darstellung)	47
Abb. 29: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 34 (eigene Darstellung)	48
Abb. 30: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 35 (eigene Darstellung)	48
Abb. 31: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 36 (eigene Darstellung)	49
Abb. 32: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 37 (eigene Darstellung)	49
Abb. 33: Beispiel Zahnregion 34 zur Darstellung der starken Datenstreuung nach Geschlechtertrennung (eigene Darstellung)	50
Abb. 34: Lage des Nervus alveolaris inferior (eigene Darstellung)	60
Abb. 35: Darstellung der Korrelationswerte für die Angulationswinkel (insgesamt) (eigene Darstellung)	63
Abb. 36: Verteilungsmuster der Kieferkammhöhen in absoluten Zahlen (n = 3528 Messpunkte) (89 S. o. S.)	70
Abb. 37: Prognostizierte Zunahme chronischer Erkrankungen (56, S. 182)	74

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Einteilung der Patienten nach Alter und Geschlecht (eigene Darstellung)	42
Tab. 2: Häufigkeitsverteilung der analysierten Molaren-und Prämolarenbereiche (eigene Darstellung)	43
Tab. 3: Einteilung der gescannten Patienten nach Alter (Gruppe I-III), Geschlecht und Regionen mit stufenförmigem Alveolarfortsatz (eigene Darstellung)	43
Tab. 4: Häufigkeitsverteilung der vorhandenen Formen in den einzelnen Zahnregionen (eigene Darstellung)	43
Tab. 5: Einteilung der gescannten Patienten nach Alter (Gruppe I-III), Geschlecht und Regionen mit stufenförmigem Alveolarfortsatz (eigene Darstellung)	44
Tab. 6: Mittelwerte der Höhenverluste in allen Zahnregionen (eigene Darstellung)	50
Tab. 8: Friedman-Test rechte Kieferhälfte (eigene Darstellung)	51
Tab. 8: Friedman-Test linke Kieferhälfte (eigene Darstellung)	52
Tab. 9: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests (eigene Darstellung)	52
Tab. 10: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests mit Trennung nach Geschlecht (eigene Darstellung)	53
Tab. 11: Wilcoxon-Test, rechte Kieferseite Frauen (eigene Darstellung)	54
Tab. 12: Darstellung der Korrelationswerte (r), mit Signifikanz; rechte Kieferhälfte (eigene Darstellung)	63
Tab. 13: Darstellung der Korrelationwerte (r), mit Signifikanz; linke Kieferhälfte (eigene Darstellung)	64
Tab. 14: Darstellung der Korrelationwerte (r), mit Signifikanz; Vergleich rechte/linke Kieferhälfte (eigene Darstellung)	64

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ALADA	As Low As Diagnostically Acceptable
ALARA	As Low As Reasonable Achievable
AW	Angulationswinkel in Grad bei Implantation unter Längsverlauf des Knochens
BKNS	Breite des Knochens auf Niveau des Sicherheitsabstandes zum Nerven
BV	Breitenverlust bei Stufe in mm
CBCT	Cone Beam Computed Tomography
CT	Computertomographie
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine-Format
DKS	Differenz zwischen Knochenverlauf und Senkrechte
DPSA	Differenz zwischen PSA und optimaler Länge aus DVT
DVT	Dentale Volumentomographie
FOV	field of view
HKV	max. Höhe bei Einhaltung des Knochenverlaufs
HPSA	Höhe in der Panoramaschichtaufnahme in mm korrigierte Werte (-2mm zum Canalis mandibularis bzw. -5 mm zum Foramen mentale)
HSM	max. Höhe bei senkrechter Messung im DVT
HV	Höhenverlust bei 4 mm Breite
ICRP	International Commission On Radiological Protection
KF	Kieferformen
LNM	Lage des Nerven in mm
LNP	Lage des Nerven in %
N	Nervus
OPG	Orthopantomografie
PAN	Panoramic Radiograph
PSA	Panoramaschichtaufnahme
r	Pearson-Korrelations-Koeffizient
Sv	Sievert (Einheit für Körperdosis, Äquivalentdosis)
WA	Winkelabweichung in Grad

1 Einleitung

1.1 Die Implantologie auf dem Gebiet der Zahnmedizin

Zahnimplantate gelten aufgrund ihrer stabilen Ergebnisse und der hohen Erfolgsquote als ideale Option für die Rehabilitation zahnloser Kiefer (1) (2).

Das Setzen von Implantaten zählt zu den zahnärztlichen chirurgischen Eingriffen, die nicht dem Leistungskatalog der gesetzlichen Krankenkassen unterliegen. Sie sind eine reine Wunschleistung der Patienten. Aufgrund des oft schwerwiegenden invasiven Eingriffes in das orofaziale System ergeben sich automatisch erhöhte Aufklärungs- u. Dokumentationspflichten bezüglich Forensik, Operationstechnik, Risiken und Kosten. Dies bedingt eine exakte Kenntnis der anatomischen Gegebenheiten im Operationsfeld.

Als wichtigste Grundlage dienen radiologische Aufnahmen wie Intraorale Kleinbildaufnahmen, Panoramaschichtaufnahmen, CT und DVT. Dies sind die häufigsten verwendeten Bildgebungsmodalitäten in der Behandlungsplanung, um den Behandlungserfolg langfristig zu sichern und zu verbessern (1) (3). Eine besondere Schlüsselrolle kommt dabei dem 3D-Bildgebungsverfahren DVT zu.

Entgegen der landläufigen Meinung haben mehrere neuere Studien gezeigt, dass das DVT nicht zwingendermaßen mit einer höheren Strahlenbelastung einhergehen muss als die PSA (4) (5).

Obwohl wir aktuell alle technischen Möglichkeiten hätten, eine hohe Vorhersagbarkeit bei der Positionierung von Zahnimplantaten zu gewährleisten, treten immer noch Komplikationen auf, da diese Ressourcen ungenügend genutzt werden. Weitere Ursachen liegen in der Behandlungsplanung, der Operationstechnik oder der Anatomie des Ortes (1) (6).

Trotz dieser bekannten Fakten weist Nedjat (2019) darauf hin, dass technisch gesehen kein DVT für die Implantation benötigt wird und die Strahlenbelastung im Vergleich zu kleinen Röntgenaufnahmen unverhältnismäßig hoch ist (7). Dem widerspricht wiederum eine Studie von Renan et. al. (2018) die das Kosten-Nutzenverhältnis eines DVT-Scans im Vergleich zu mehreren zweidimensionalen Röntgenbildern in Bezug auf die gewonnenen intrinsischen Informationen, die Strahlendosis und den Kosten als überlegen ansehen (8). Zitat Nedjat (2019): „Auch die Arbeitsgemeinschaft Medizinisch Wissenschaftlicher Fachgesellschaften e.V. hält eine zweidimensionale Röntgendiagnostik mit

Referenzkörpern als indiziert und ausreichend zur Beurteilung des Knochenangebots vor einer Implantatinserterion. Nach Ansicht der Fachgesellschaft ist eine dreidimensionale Diagnostik nur dann nötig, wenn sich die erforderlichen Informationen aus der klassischen zweidimensionalen Bildgebung nicht gewinnen lassen.“ (7)

Es ist aber hinreichend bekannt, dass neben der vertikalen Höhe auch die Knochenmorphologie und -maße in orofazialer und mesiodistaler Richtung für die Implantatinserterion von großer Bedeutung sind (9). Genau diese Informationen sind aber aus einer 2D-Aufnahme nicht ableitbar.

Aufgrund der noch immer andauernden Diskussion, ob die Daten eines zweidimensionalen Röntgenbildes für die Implantation ausreichende Grundlagen liefert, geht die vorliegende Arbeit speziell auf die Vermessung der teil- / unbezahnten Mandibular im Prämolaren- und Molarenbereich, den Vergleich zwischen rechter und linker Kieferhälfte, dem Geschlecht und dem Alter der Probanden und die unterschiedliche Darstellung der anatomischen Strukturen des Unterkiefers in der PSA und der DVT ein.

Vor allem im Sinne von „evidenz based medicine / dentistry“ kann man nicht davon ausgehen, dass weitverbreitete Meinungen richtig sind, solange diese nicht mit Daten unterlegt sind. Denn entgegen umfassender aktueller klinischer Forschungen und Erfahrungen zu Implantationen im Unterkieferseitenzahnbereich, wurden noch keine genauen Vermessungen der posterioren zahnlosen Mandibular vorgenommen und beschrieben (10).

Die Knochendimensionen des hinteren Unterkiefers wurden bereits in zahlreichen Studien mit verschiedenen radiographischen Methoden untersucht. Studien zur Analyse von DVT-Bildern des hinteren Unterkiefers wurden entweder an vollständig bezahnten Probanden oder an Kadaverstudien durchgeführt, die sich hauptsächlich auf die Genauigkeit der DVT-Messungen konzentrierten (11).

Chan et. al. führten 2011 Studien zur Untersuchung der Querschnittsformen des unbezahnten / teilbezahnten Unterkieferknochens im Molarenbereich mittels DVT-Aufnahmen durch. Sie teilten die Unterkieferquerschnitte in 3 Formen ein: der C-type (convex), der P-Type (parallel) und der U-Type (undercut) (12) (13).

Eine genauere Untersuchung der Morphologie des Unterkiefers im Molarenbereich erfolgte dann 2014 durch Nickenig et.al. (14).

Studien zum Vergleich der Kieformorphologie im Prämolaren und Molarenbereich wie hier vorliegend konnten nicht ermittelt werden.

1.2 Anatomische Grundlagen des knöchernen Unterkiefers

Die Mandibula (Unterkieferknochen) entwickelt sich aus zwei Unterkieferkörpern, die innerhalb der ersten Lebensjahre im Bereich der Protuberantia mentalis (Kinnmitte) zu einem Unterkieferknochen verschmelzen. Der Unterkiefer besteht somit aus einem Corpus mandibulae und den beidseits aus dem Corpus aufsteigenden Unterkieferästen, den Rami mandibulae. Das kraniale Ende der Rami teilt sich in zwei Fortsätze. Ventral liegt der Processus coronoideus. Dort setzen der M. temporalis, der M. masseter und der M. buccinator an. Beim hinteren (dorsalen) Fortsatz spricht man vom Processus condylaris, der als Gelenkkopf des Kiefergelenks (Articulatio temporomandibularis) dient und den Ansatzpunkt des M. pterygoideus lateralis bildet. Zwischen den beiden Processi liegt die Incisura mandibulae (15).

Das Corpus mandibulae besteht aus dem Basalbogen und der Pars alveolaris. Des Weiteren finden sich am Corpus mandibulae die Protuberantia mentalis, das paarige Tuberculum mentale, die Spina mentalis, die Fossa digastrica, die Linea mylohyoidea, die Fovea sublingualis und die Pars alveolaris mit den Alveoli dentales (16).

Als Öffnung findet man am knöchernen Unterkiefer das Foramen mandibulae und das Foramen mentale. Das Foramen mandibulae befindet sich auf der Innenseite des Unterkiefers ca. 2 cm hinter dem 3. Molaren. Es bildet den Eingang zum Canalis mandibulae, welcher als Knochenkanal unterhalb der Zahnwurzeln durch die Spongiosa der Mandibula verläuft. Der Canalis mandibulae endet am Foramen mentale, welches sich an der Außenseite des Unterkiefers zwischen dem ersten und zweiten Prämolaren befindet. Der Canalis mandibulae beherbergt die Arteria und Vena alveolaris inferior und den Nervus alveolaris inferior (15) (16).

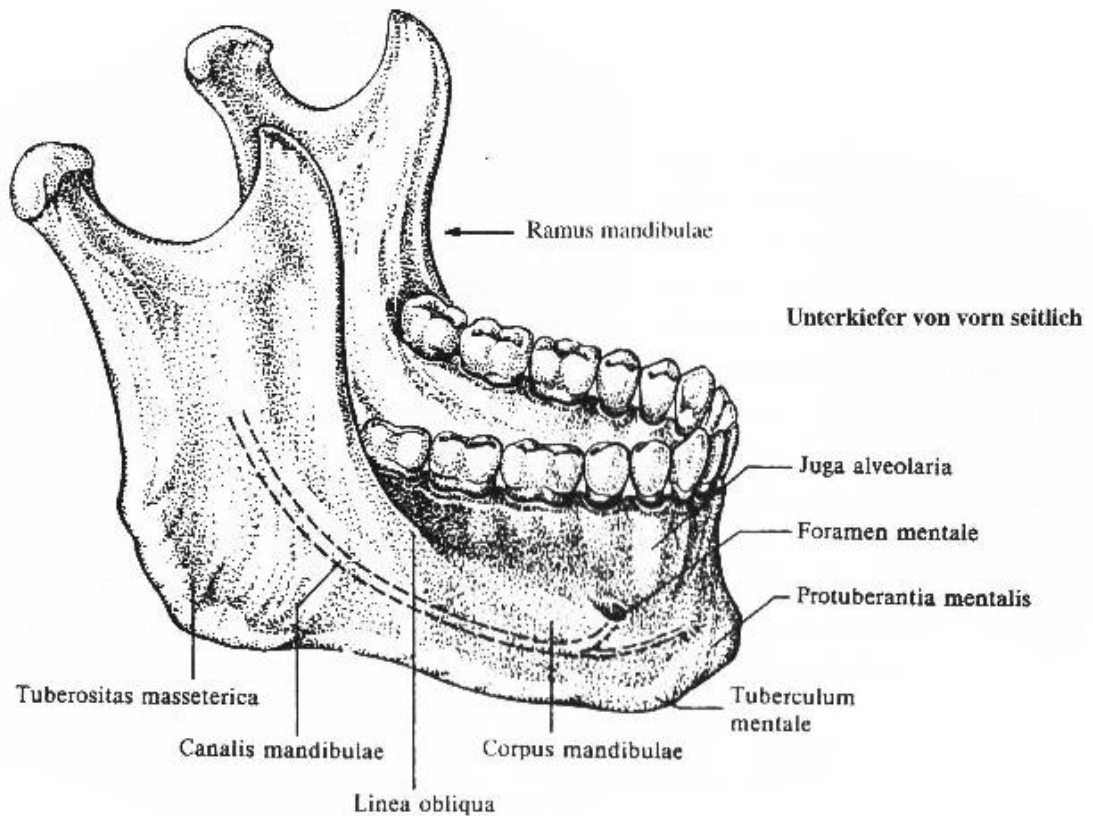


Abb. 1: Unterkieferansicht von vorn, seitlich (Schumacher, 1996: 97)

1.3 Pathophysiologie des knöchernen Unterkiefers

Nach jedem Zahnverlust finden im zahntragenden Alveolarfortsatz knöchernen Umbauprozesse statt, die mit einer Abnahme des ortständigen Knochens verbunden sind (17) (18). Bereits 15 Wochen nach der Zahnextraktion finden sich ausgedehnte vertikale und transversale Resorptionsprozesse (19) (17) (20) (21). Die höchste Resorptionsrate kann dabei innerhalb des ersten Jahres beobachtet werden, wobei der Resorptionspeak in den ersten drei bis sechs Monaten nach Zahnextraktion zu finden ist (17) (20) (21). Durch schleimhautgetragenen Zahnersatz kann es zur Beschleunigung des Knochenschwundes aufgrund der entstehenden Druckatrophie kommen (22). Parallel dazu finden umfangreiche Knochenheilungsprozesse nach einer Zahnextraktion statt, die neben dem osteoblastischen Potential auch von der Angiogenese und dem endothelialen Potential des Knochens abhängen (23).

Die Resorption bestimmt die Unterkieferquerschnittsform und dient als Basis der Einteilung der Unterkieferresorptionsklassen nach Atwood.

Dabei wird die Unterkieferresorption wie folgt in 6 Klassen eingeteilt:

Klasse 1: bezahnter Kiefer

Klasse 2: Extraktionsalveole post extraktionem

Klasse 3: hoher und breiter Alveolarkamm, konvex abgerundet

Klasse 4: hoher und schmaler Alveolarkamm, gratartig

Klasse 5: niedriger und schmaler Alveolarkamm, atrophiert und abgerundet

Klasse 6: Mulde, hochgradig atrophiert und konkav

Die nachfolgende Abbildung stellt die einzelnen Unterkieferresorptionsklassen grafisch dar.

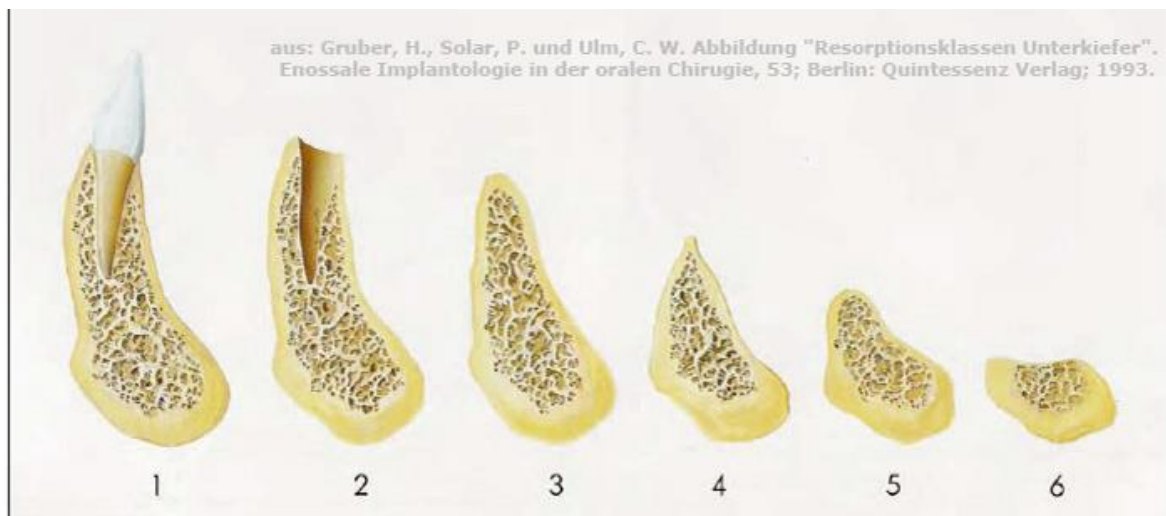


Abb. 2: Resorptionsklassen Unterkiefer (Gruber, Solar & Um 1993: 53)

Der Knochen des zahntragenden Alveolarfortsatzes ist fortwährend statischen oder dynamischen Belastungen aufgrund von Druck-, Zug- und Scherkräften ausgesetzt (18). Diese wirken auf die Zähne ein und werden über das Parodont auf den Knochen weitergeleitet. Daraus resultiert ein stetiger Knochenumbau, welcher eine wichtige Voraussetzung zum Volumen- und Strukturerhalt des Kieferknochens darstellt. Durch den Zahnverlust folgt zwangsläufig der Verlust der funktionellen Krafteinwirkung auf den Alveolarfortsatz und daraus folgt eine physiologische Inaktivitätsatrophie (24). Im Unterkiefer entsteht somit eine zentrifugale Resorption, wobei die Form des Querschnitts nach kaudal ausladend wirkt und sich der Knochenverlust stärker in der bucco-lingualen Höhe denn in der corono-apikalen Höhe darstellt (19). Daraus resultiert eine ungünstige interalveoläre Kieferbasisrelation in sagittaler, vertikaler und transversaler Dimension. Zwei Jahre nach Zahnextraktion betragen der Verlust der Knochen trabekel und die Veränderung der Knochenstruktur bereits bis zu 50 Prozent (21). Dabei erfolgt die Resorption im Unterkiefer viermal schneller als im Oberkiefer. Die Resorption schreitet bis zu den Knochenstrukturen vor, welche als Muskelansätze dienen und funktionsbedingt

nicht resorbiert werden. Im Unterkiefer sind das die Linea mylohyoidea (Ansatz des M. mylohyoideus) und die Spina mentalis (Ansatz von Mm. genioglossus et geniohyoideus) (25).

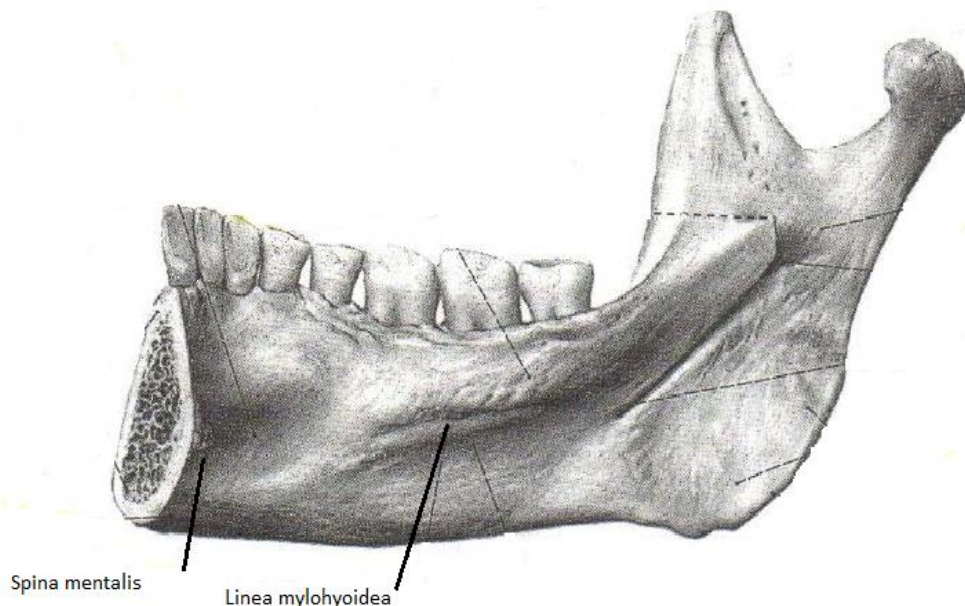


Abb. 3: Unterkiefer, rechts von medial (Sobotta Lernkarte Nr.20, Urban & Schwarzenberg, modifiziert)

1.4 Bildgebende Verfahren in der Implantologie

Wie in allen Bereichen der Medizin, ist auch in der Zahnmedizin eine möglichst umfassende Diagnostik der Grundpfeiler für eine erfolgreiche Therapie.

In der zahnärztlichen Praxis zählen deshalb intraorale Kleinbildröntgenaufnahmen und extraorale Röntgenaufnahmen, wie die Panoramaschichtaufnahme zu den radiologischen Standardverfahren, die durch weitere Bildgebungsverfahren wie die dentale Volumentomographie, die Computertomografie und die Magnetresonanztomografie ergänzt werden (26) (27) (28) (29) (30) (31).

1.4.1 Panoramaschichtaufnahme (PSA)

Die Panoramaschichtaufnahme, auch Orthopantomografie genannt, ist die häufigste extraorale Aufnahme im zahnärztlichen Bereich (30). Sie ermöglicht mit einer geringen Strahlenbelastung von etwa 7 μ SV die Darstellung des gesamten Ober- und Unterkiefers, aller Zähne, der Kiefergelenke und der Kieferhöhlen (31) (32) (33). Aufgrund des Summationseffektes der sich im Strahlengang befindlichen Strukturen, werden diese jedoch überlagert dargestellt. Daher sind anatomische Einzelheiten nicht immer klar

und deutlich erkennbar (31). Forciert werden diese Summationseffekte, die zu einer unzureichenden Beurteilbarkeit der Strukturen führen, durch die Krümmung der Kieferäste, die Lage der zu beurteilenden Struktur und die Positionierung des Patienten. Vor allem in mesiodistaler Richtung weist die Panoramaschichtaufnahme deutliche Verzerrungen in der Abbildung knöcherner Strukturen auf (31) (34). Außerdem hat die Panoramaschichtaufnahme als Grundlage einer implantologischen Planung den grundsätzlichen Nachteil der nicht verwischungsfreien zweidimensionalen und nicht maßstabsgetreuen Darstellung der anatomischen Strukturen (31) (35). Alle Partien der Kiefer, welche nicht vom Zentralstrahl getroffen werden, werden aufgrund der divergierenden Ausbreitung der Röntgenstrahlen auf dem Film vergrößert dargestellt (36). Zunan Tang (2017) untersuchten die Vergrößerungsrate im PSA im Vergleich zum DVT, mit dem Ergebnis, dass die Messgenauigkeiten annähernd dieselben sind (37). Davon unberührt bleibt jedoch, die Tatsache, dass bei der PSA keine Informationen über die dritte Ebene erhalten werden können.

Bezogen auf den Unterkiefer, gibt die PSA keine Auskunft über die genaue Lage des Nervus alveolaris inferior und die Querschnittsform der Mandibel. Diese variiert erheblich. Mehra und Pai (2009) untersuchten die Effizienz der Panoramaschichtaufnahme in der Beurteilung des Alveolarkanal an 18 Extraktionsstellen im Unterkiefer. Sie konnten nachweisen, dass die Panoramaschichtaufnahme zu einer Unterschätzung der totalen Höhe von 1,88 % und der maximalen bucco-lingualen Breite von 1,59 % führt. Daneben bedingt die Panoramaschichtaufnahme eine Überschätzung der Kamm-Kanal-Distanz von 0,59 %, der kortikalen Dicke an der inferioren Mandibulagrenze von 5,16 % und des buccalem Kortex zum Mandibularkanal von 3,64 % (24).

Zudem kommt es gerade im Bereich der Molaren durch Neigung der Unterkieferseitenzähne bzw. des zahnlosen Alveolarfortsatzes nach lingual, häufig zu einer stark ausgeprägten Wilson-Kurve, bei welcher es sich um die transversale Okklusions- und Kompensationskurve handelt (38) (39).

1.4.2 Dentale Volumetomographie

Aufgrund der Wichtigkeit der Informationen der dritten Dimension bei der Implantation, kommt es zu einer stetig steigenden Nutzung von dreidimensionalen Darstellungsverfahren (32). Während früher das Mittel der Wahl die Computertomografie (CT) war, wird seit 1997 die dentale Volumetomographie (DVT oder auch CBCT) genutzt. Ein entscheidender Vorteil besteht in der deutlich geringeren Strahlenbelastung (im Vergleich

zum CT) und der verzerrungsfreien, räumlichen und maßstabsgetreuen Darstellung anatomischer Strukturen (40).

Die DVT liefert somit bei reduzierter Strahlenexposition eine mit dem CT vergleichbare Darstellung der Hartgewebe, wobei ein kegelförmiges Strahlenbündel (cone beam) in einem Umlauf von 360° das gesamte Aufnahmefeld erfasst (28).

Aus dem Rohdatensatz einer DVT lassen sich dann beliebige axiale Rekonstruktionen erstellen. So können Ober- und Unterkiefer getrennt voneinander und Rekonstruktionen in der coronalen, paraaxialen, sagittalen sowie in der 3D-Ansicht erstellt werden.

Mit der dentalen Volumentomographie wurde somit eine in zahnärztlichen Praxen einsetzbare radiologische Technologie eingeführt, die eine 3D-Bildgebung erlaubt und vom Zahnarzt mit entsprechendem Fachkundenachweis betrieben werden kann.

1.5 Strahlenbelastung bildgebender Verfahren in der Implantologie

Bei jeder Untersuchung des menschlichen Körpers mittels Röntgenstrahlung galt bisher ausschließlich das ALARA-Prinzip (as low as reasonably achievable), welches besagt, dass die Anwendung von Röntgenstrahlen mit der geringstmöglichen Strahlendosis bei gleichzeitig hinlänglicher Abbildungsqualität zur Diagnostik zu erfolgen hat (41). Diese Maxime sollte aber zunehmend durch das ALADA-Prinzip (as low as diagnostically acceptable) ergänzt werden, um eine umfassende Diagnostik zu ermöglichen (42).

Eine besonders kritische Nutzen-Risiko-Abwägung hat im speziellen bei Kindern und Jugendlichen zu erfolgen, da sie ein erheblich höheres Risiko von Folgeschäden nach Exposition mit ionisierenden Strahlen aufweisen (43).

Zur Beurteilung der Strahlenbelastung verschiedener bildgebender Verfahren wird immer die effektive Dosis in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. Ihre Berechnung erfolgt nach den aktuellen ICRP-Gewichtungsfaktoren (44).

Dementsprechend wurden für die jeweiligen Aufnahmeverfahren gemäß ICRP 2007 folgende effektiven Dosen in μSv angegeben: für die digitale Panoramaschichtaufnahme (PSA) 2,7 – 24,5 μSv , für den Intraoralaufnahmestatus 34,9 – 388 μSv , für die Dentale Volumentomographie (DVT) wurden 11 – 674 μSv angegeben und für die Computertomographie (CT) waren es in 2007 noch 180 – 2100 μSv (44).

Nach Durchführung einer Metaanalyse der effektiven Dosis der DVT, (Stichtag 12.März 2013) in die 15 publizierte Studien einfließen und in welcher die Einteilung der Field of view – Größen nach Ludlow & Ivanovic (2008) vorgenommen wurde, ergaben sich folgende mittlere effektive Dosen: Bei einem FOV (field of view) kleiner als 10 cm lag die effektive Dosis bei 92 μ Sv, für FOVs zwischen 10 cm und 15 cm bei 118 μ Sv und für FOV größer als 15 cm bei 114 μ Sv. Die effektiven Dosen können zwischen den einzelnen Geräten aufgrund von Änderungen an den Einzelparametern stark schwanken (45). Feragalli et.al zeigten in einer Studie aus dem Jahre 2016, dass mittels DVT mit großen FOV bei normaler Auflösung 80 kVp, 5 mA und einer Erfassungszeit von 15 sek. ein effektiver Dosiswert von 35 μ Sv erreicht werden kann (46).

Eine Arbeit an der medizinischen Universität Graz aus 2018 hat je nach FoV und dem gewählten Aufnahmemodus gezeigt, dass DVT-Aufnahmen nicht zwingendermaßen mit einer höheren Strahlenbelastung einhergehen müssen, als bei OPG-Aufnahmen (4).

1.6 Aufbau und Funktionsprinzip der DVT

Bei der dentalen Volumentomographie wird das zu scannende Objekt durch eine einmalige Rotation von 360 Grad mit einem kegelförmigen Strahlenbündel erfasst (47). Bedingt durch das kegelförmige oder auch pyramidenförmige Strahlenbündel bezeichnet man die DVT in der englischsprachigen Literatur auch konkreter als „Cone beam computed tomography“, kurz CBCT (47). Somit ermöglicht die DVT eine Schnittbilddiagnostik in allen Ebenen und eine räumliche 3D-Rekonstruktion (48). Der Schwerpunkt der DVT liegt in der Hochkontrastdarstellung, d.h. in der Darstellung des Hartgewebes (Knochen). Daraus resultierend liegen die wichtigsten Indikationsgebiete für die DVT in der Beurteilung der räumlichen Verhältnisse und des Knochenangebotes für die Implantologie, der Lagebeziehung des Canalis mandibularis zu verlagerten und retinierten Weisheitszähnen, dem Erkennen und Beurteilen tumoröser Veränderungen, der Diagnosehilfe in der Traumatologie und der Lokalisation von Fremdkörpern (48).

Der dentale Volumentomograph besteht im Wesentlichen aus einer Röntgenröhre mit einem Generator, einer Bildverstärkerröhre (Image Intensifier), einer CCD-Kamera und einem Steuerrechner mit Auswertungssoftware (49).

Während des Scanvorgangs bewegen sich die Röntgenröhre und der Bildempfänger, welche um 180 Grad zueinander versetzt montiert sind, einmal 360 Grad um den Kopf des, je nach Gerätetyp, sitzenden, stehenden oder liegenden Patienten (47).

Die Röntgenstrahlung wird bei der DVT also nicht kontinuierlich, sondern „gepulst“ freigesetzt. Innerhalb von 10 bis 20 Sekunden werden zwischen 150 und 600 Durchleuchtungsbilder (Fluoroskopien) der zu untersuchenden Region auf einer vordefinierten Umlaufbahn angefertigt.

Der gesamte Scanvorgang dauert je nach Gerätetyp zwischen 5 und 30 Sekunden und liefert einen aus 360 einzelnen Projektionsradiographien gewonnenen Rohdatensatz, welcher mittels mathematischem Algorithmus der gefilterten Rückprojektion in axiale Schichten umgewandelt wird (50) (51).

Je nach Gerät und Aufnahmemodus liegt die effektive Belichtungszeit zwischen 20 und 50 ms je Projektion. Die Röhrensparnungen variieren zwischen 80 und 120 kV und die Röhrenstromstärken zwischen 0,5 und 10 mA (52).

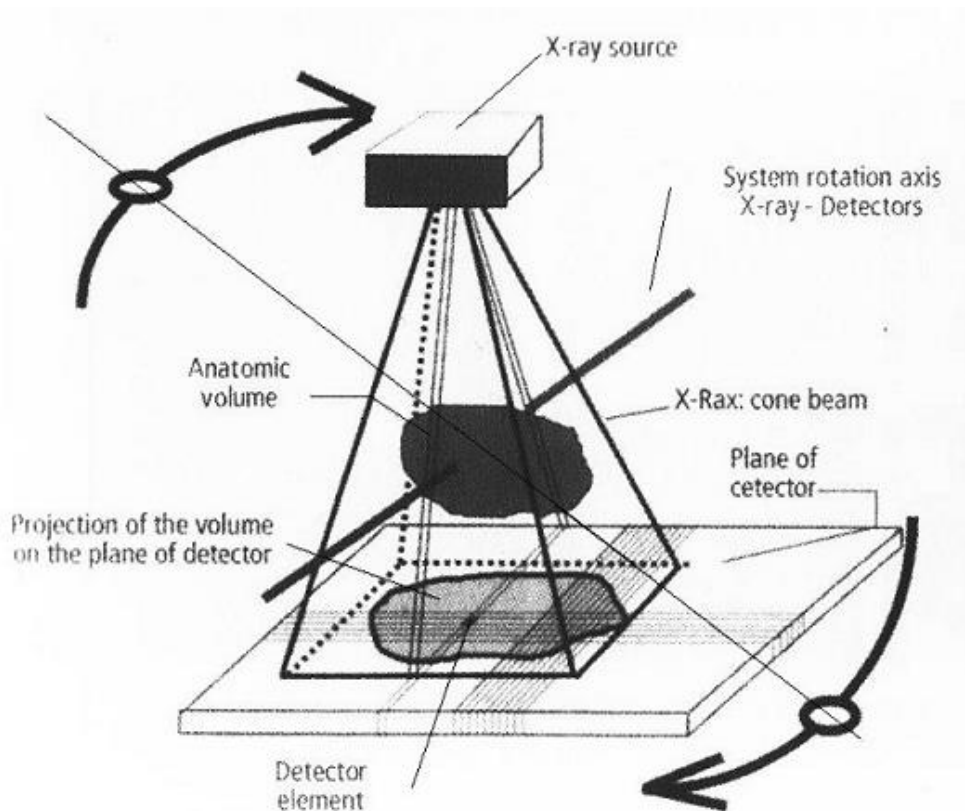


Abb. 5-10 Cone-beam-Prinzip bei der digitalen Volumentomographie.

Abb. 4: Funktionsprinzip Volumentomographie (Rother 2006: 47)

Das Field of View (FOV) der Dentalen Volumtomographie wird aufgrund seiner Variabilität in Höhe und Durchmesser in ein großes, ein mittleres und ein kleines FOV eingeteilt. Dadurch ist die DVT universell in der kraniofazialen und dentoalveolären Behandlungsplanung und in der Untersuchung lokalisierter, kleiner Bereiche im stomatognathen System einsetzbar (47).

Es ist inzwischen hinlänglich bekannt, dass eine dreidimensionale Darstellung anatomischer Strukturen der Zweidimensionalen weit überlegen ist. Die DVT nimmt eine wichtige Position in der präoperativen Diagnostik ein, durch die Möglichkeit der genauestens räumlichen Lokalisation empfindlicher anatomischer Strukturen. (10)

Zu den bevorzugten Einsatzgebieten der dentalen Volumtomographie zählen die Kieferorthopädie, die Implantologie, die Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, die Oralchirurgie, die Endodontie und die Parodontologie (47) (53).

DVT-Aufnahmen können zur dreidimensionalen Beurteilung von tumorösen Ausdehnungen, apikalen Prozessen, Zahnverlagerungen, Nervkanal-Verläufen, Knochentaschen und zur Knochenanalyse genutzt werden (54) (55).

Des Weiteren ist die DVT ein wichtiges Diagnosehilfsmittel im Bereich der Unfallchirurgie (56). Gerade im Bereich des Gesichtskiefers sind Knochenbrüche je nach Lokalisation und Frakturausmaß schwierig zu diagnostizieren. Feine Frakturlinien, kleine Knochenfragmente und die Überlagerung der verschiedenen Strukturen komplizieren die Entdeckung und Beurteilung der Verletzungen. Besonders im Bereich der Kiefergelenke ist die Einschätzung diffizil und folgenreich, da selbst kleinste Brüche Folgeprobleme nach sich ziehen können. Die DVT zeigt selbst kleinste Knochenverschiebungen bei feinen Knochenbrüchen und dient zudem zur Beurteilung des Behandlungsverlaufes (56) (57). Allerdings ist die DVT nicht bei allen Fragestellungen im Bereich der Kiefergelenke überlegen. So konnten Palconet, Ludlow, Tyndall und Lim (2012) an einer Studie von 30 Patienten nur eine geringe Korrelation zwischen den DVT-Befunden und den klinischen Zeichen, Symptomen und Schmerzen von Patienten mit einer Osteoarthritis des Temporomandibulargelenks nachweisen.

Daneben liefern DVT-Aufnahmen, je nach Aufnahmegebiet (FOV) auch wichtige Informationen über die Nasennebenhöhlen und werden somit unterstützend auch in der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde eingesetzt (47).

Die Größe des erfassten zylinderförmigen Volumens wird vom FOV charakterisiert und variiert bei den erhältlichen Geräten zwischen 4 x 4 cm bis 19 x 24 cm. Dabei sichert ein ausgedehntes FOV mit ausreichend hoher Auflösung die Abdeckung des gesamten (dentoalveolären) Indikationsspektrums (43, 44).

1.6.1 Darstellung der anatomischen Strukturen und Dimensionstreuung der DVT

Die Darstellung der anatomischen Strukturen erfolgt in axialer, sagittaler und koronaler Ebene. Auf die diagnostischen Interessen des Behandlers angepasst, können verschiedene Ansichten bzw. Schnittbilder eingestellt, mittels Werkzeugen ausgewertet und rekonstruiert werden. Durch den mathematischen Prozess der Rückprojektion entstehen allerdings Aufhärtungs- und Auslöschungseffekte um strahlungsdichte Strukturen (z.B. Metallkronen). Diese verhindern dann eine ordnungsgemäße Befundung unmittelbar umgebender Strukturen (58).

Die Planung von Implantatpositionen setzt eine genaue Kenntnis über die Höhe und Breite des in den zu inserierenden Knochen voraus. Die digitale Volumentomographie ist ein akkurates, nichtinvasives und zeitsparendes diagnostisches Mittel bei der Planung von Implantatpositionen (59) (60). Eine genaue Lokalisation des im Unterkiefer besonders gefährdeten Mandibularkanals wird in der Schnittbilddarstellung zuverlässig ermöglicht (61).

Jedoch findet man bei allen volumentomografischen Messungen Schwankungen. Ursachen sind zum einen die unterschiedlichen Geräte, die angewendete Software und deren Einstellungen und zum anderen die verschiedenen Messmethoden (62).

1.6.2 Vermessung teilbezahnter/unbezahnter Unterkiefer mittels DVT

Bisher findet man in der Literatur nur wenige Studien über die vertikalen und transversalen Dimensionen des Unterkiefers. Vertikale Vermessungen wurden in der Vergangenheit vor allem mittels Panoramaschichtaufnahmen (63) (64) oder alternativ mittels Fernröntgenseitenaufnahmen durchgeführt (65). Überlagerungs- und Distorsionseffekte limitieren die Aussagefähigkeiten zweidimensionaler Aufnahmen. Es gibt nur wenige neuere wissenschaftliche Studien, in denen mittels DVT eine Bestimmung der horizontalen und vertikalen Dimension des Unterkiefers angewandt wurde. Bislang erfolgte auch keine Beschreibung für eine standardisierte, reproduzierbare Methode zur Aus-

richtung der DVT-Datensätze, Lokalisation der Messpositionen und Definition der Messstrecken (10). In bisherigen Publikationen wurden Vermessungen des Unterkiefers nur in geringem Umfang vorgenommen. Dabei gab es nur wenige Messpositionen und es wurde kein Zusammenhang zwischen den Messergebnissen und der zahnärztlichen Implantatplanung hergestellt (66) (67).

2 Fragestellung

Primum nihil nocere. Die Frage ist doch, ob wir als Zahnärzte diesen Grundsatz erfüllen, wenn wir auf sinnvolle Möglichkeiten in der Diagnostik verzichten.

Lassen sich aus den durch PSA gewonnenen zweidimensionalen Daten mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit die Möglichkeit und Räume einer gewünschten Implantation ableiten? Können Erfahrungswerte als gesichert angenommen werden, oder bedeuten sie zusätzliches Risiko beim Setzen von Implantaten?

Aufgrund der noch immer andauernden kontroversen Diskussion, ob die Daten eines zweidimensionalen Röntgenbildes für die Implantation ausreichende Grundlagen liefert, wurde diese Studie anhand des Unterkiefers durchgeführt.

Die vorliegende Arbeit geht speziell auf die Vermessung der teil- / unbezahnten Mandibular im Prämolaren- und Molarenbereich, den Vergleich zwischen rechter und linker Kieferhälfte, dem Geschlecht und dem Alter der Probanden und die unterschiedliche Darstellung der anatomischen Strukturen in der PSA und der DVT ein.

Das Ziel ist die Überprüfung folgender Hypothesen:

Hypothese 1a: Die messbare Höhe des Processus alveolaris im Unterkieferbereich, oberhalb des Nervus alveolaris inferior, steht im direkten Zusammenhang mit der Breite des Processus alveolaris in der gleichen Zahnregion.

Hypothese 1b: Die Stärke des Zusammenhangs wird beeinflusst von Alter und Geschlecht der Patienten/ Patientinnen.

Hypothese 1c: Es besteht eine Korrelation zwischen den gemessenen Höhen des Alveolarfortsatzes in der PSA (korrigiert) und der DVT.

Hypothese 2a: Innerhalb einer Kieferhälfte unterscheiden sich die Zahnregionen hinsichtlich des Höhenverlustes, aufgrund ungenügender Breite, zwischen für die Implantation geeigneten Alveolarfortsatz und ungeeignetem Alveolarfortsatz.

- Hypothese 2b: Der Wert der Höhenreduktion ist abhängig von der Querschnittsform des Alveolarfortsatzes.
- Hypothese 2c: Das Ausmaß der physiologischen Stufenbildung in der Molarregion des Unterkiefers ist abhängig vom Alter und dem Geschlecht der Patienten.
- Hypothese 3a: Die Lage des Nervus alveolaris inferior (%) im Alveolarfortsatz einer Unterkieferhälfte unterscheidet sich in den einzelnen Zahnregionen.
- Hypothese 3b: Der Winkel zwischen der Achse des Unterkieferalveolarfortsatzes und der Achse der antagonistischen Krone unterscheidet sich in den einzelnen Zahnregionen des Unterkiefers.

3 Methodik

Das folgende Kapitel dient der Darstellung des methodischen Vorgehens, welches dieser Arbeit zugrunde lag.

3.1 Allgemeine Methodik

3.1.1 Patientengut

Initial wurden 4132 DVT's gesichtet. Von diesen DVT's wurden nur die Aufnahmen einbezogen, bei welchen die zugehörigen Patienten entweder eine beidseitige Freundsituation oder Schalllücken im Unterkiefer aufwiesen. Insgesamt wurden so die Unterkiefer von 117 Patienten, in 670 Zahnregionen, mit jeweils 7 Messstrecken (4690 Messwerte) vermessen. Diese Patienten waren vor allem aufgrund einer Implantatplanung für eine DVT-Aufnahme in das dentalradiologische Institut MESANTIS® überwiesen worden. Es handelte sich um 42 Männer (35,9 %) und 75 Frauen (64,1 %). Ein Verlust von mindestens drei Zähnen war für die Aufnahme in die Versuchskohorte der vorliegenden Arbeit Voraussetzung.

Aufgrund der Altersstruktur der Patienten erfolgte eine Aufteilung in drei Gruppen:

Gruppe I (n = 22): Jahrgang 1971 -1962 (39-49 Jahre)

Gruppe II (n = 73): Jahrgang 1961 -1942 (50-69 Jahre)

Gruppe III (n = 22): Jahrgang bis 1941 (> 70 Jahre)

Aus den Datensätzen dieser 117 Patienten ergaben sich 670 zahnlose, zu vermessene Regionen in den Unterkiefern.

Alle Datensätze der gescannten Patienten wurden vor der Vermessung der Unterkiefer anonymisiert und in Excel-Tabellen mit den entsprechenden Vermessungsparametern eingetragen.

3.1.2 Literaturanalyse

Für die medizinischen Basisinformationen für die Diskussion sowie für den Grundlagen teil wurden entsprechende Publikationen mit Hilfe einer systematischen Literaturrecherche in den Suchmaschinen Pubmed® und ScienceDirect® extrahiert. Die Darstellung der anatomischen Grundlagen erfolgte zudem unter Nutzung gängiger Lehrbücher der

Zahnheilkunde sowie der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Insgesamt wurde darauf geachtet aktuelle Publikationen heranzuziehen.

3.1.3 DVT-Aufnahmen

Die Anfertigung der in dieser Studie vermessenen DVTs erfolgte im dentalradiologischen Institut MESANTIS®, mittels den DVT-Geräten „MESANTIS line“ (Sonderedition Fa. ISI, Inc., Hatfield, USA) und dem „iCAT classic“ (Fa. ISI, Inc., Hatfield, USA). Für jede DVT-Aufnahme wurde von einem/r fachkundigem/n Zahnarzt/-ärztin eine individuelle, rechtfertigende Indikation gemäß der S1-Leitlinie der DGZMK (2015) erstellt (68).

Die Ausrichtung der Patienten im DVT-Gerät erfolgte standardgemäß vertikal nach der Okklusionsebene und sagittal nach der Erfassung der Nasenspitze und der Referenzpunkte „Porion rechts und links“.

Die untenstehenden Abbildungen zeigen die beiden verwendeten DVT-Geräte inklusive der zugehörigen Geräteparameter.


<p>MESANTIS® <i>line</i></p>	
<p>Bilddetektor Flachfeld, amorphes Silizium (ablesbarer Bereich) 23,8 cm x 19,2 cm (B x H)</p>	
<p>Voxel-Größe 0,3 mm oder 0,25</p>	
<p>Graustufen 14 Bit</p>	
<p>Bilderfassung Einzelrotation um 360° (max.)</p>	
<p>Bilderfassungsdauer 26,9 oder 8,9 Sekunden</p>	
<p>Sichtfeld (Field of View) 16,5 cm x 13,5 cm (D x H)</p>	
<p>Röntgenröhrenspannung 120 kV</p>	
<p>Stromstärke 3 - 7 mA</p>	

Abb. 5: MESANTIS® line, ISI (eigene Darstellung)

Legende: mA = Milliampere, kV= Kilovolt, H = Höhe, B = Breite, D = Durchmesser


iCAT classic	
Bilddetektor Flachfeld, amorphes Silizium (ablesbarer Bereich) 23,8 cm x 19,2 cm (B x H)	
Voxel-Größe 0,3 mm oder 0,25	
Graustufen 12 Bit	
Bilderfassung Einzelrotation um 360° (max.)	
Bilderfassungsdauer 20 oder 10 Sekunden	
Sichtfeld (Field of View) 16 cm x 13 cm (D x H)	
Röntgenröhrenspannung 120 kV	
Stromstärke 3 - 8 mA	

Abb. 6: i-CAT classic, ISI (eigene Darstellung)

Legende: mA = Milliampere, kV= Kilovolt, H = Höhe, B = Breite, D = Durchmesser

Beide Geräte erstellen Datensätze im „Digital Imaging and Communications in Medicine-Format“ (DICOM). Diese können mit spezieller Auswertungssoftware für verschiedenste Vermessungen genutzt werden.

3.1.4 Auswertungssoftware

Die in dieser Arbeit genutzten DVT- Aufnahmen wurden mit der 3D-Imaging-Software Invivo 5.0 (Anatomage Inc., San Jose, Californien) vermessen. Zur Bearbeitung der Aufnahmen wurde die Grafikkarte Fujitsu Celsius mit NVIDIA Grafikkarte, mit der Software Invivo 5.0 genutzt und ein EIZO - Befundungsmonitor Radiforce MX240, mit einer Bildschirmauflösung von 1920 x 1200 Pixel. Die Software Invivo 5.0 ermöglichte eine genaue Rekonstruktion der Datensätze in axialer, sagittaler und koronarer Ebene. Darüber hinaus war es mit dieser Software möglich, aus den erfassten 3D-Volumen eine, beziehungsweise mehrere der Panoramaschichtaufnahme nachempfundenen Schicht(en) herauszurechnen. Da es sich bei dieser „errechneten“ PSA, um aus dem 3D-Volumen „herausgeschnittene“ Volumenpixel handelt, ist sie hinsichtlich der Auflösung, der Strahlenexposition und der Artefakt-Anfälligkeit, völlig identisch mit der zugrunde liegenden 3D-Aufnahme (69).

3.1.5 Systematische Auswertung

Die Software Invivo® 5.0 gestattet eine Rekonstruktion der Datensätze in axialer, sagittaler und koronarer Ebene und das Herausrechnen von Panoramaschichtaufnahmen nachempfundenen Schichten.

Für die Auswertung wurde zur Darstellung der Panoramaschichtaufnahme die Schicht ausgewählt, welche eine möglichst klare Darstellung aller Regionen des gesamten Unterkiefers und der Zahnkronen des Oberkiefers bot.

Zur besseren Übersicht wurde auf beiden Seiten des Unterkiefers der Nervus alveolaris inferior farblich markiert. Dann wurden die Positionen der Messbereiche im Unterkiefer anhand der Position der antagonistischen Zahnkronen im Oberkiefer festgelegt. Es erfolgte die Messung in den festgelegten Positionen vom obersten krestalen Rand bis zum oberen Rand des Canalis mandibularis. Diese Werte wurden in einer Excel-Tabelle gespeichert, als die für eine Implantation vorhandene Knochenhöhe laut PSA.

In den gleichen Regionen erfolgte zeitgleich die Betrachtung der Cross sections zur Einteilung in 3 festgelegte Querschnittsformen (stufenförmig, stäbchenförmig, tropfenförmig), was die untenstehende Abbildung zeigt. Nicht zuzuordnende Formen wurden unter „sonstige“ zusammengefasst.

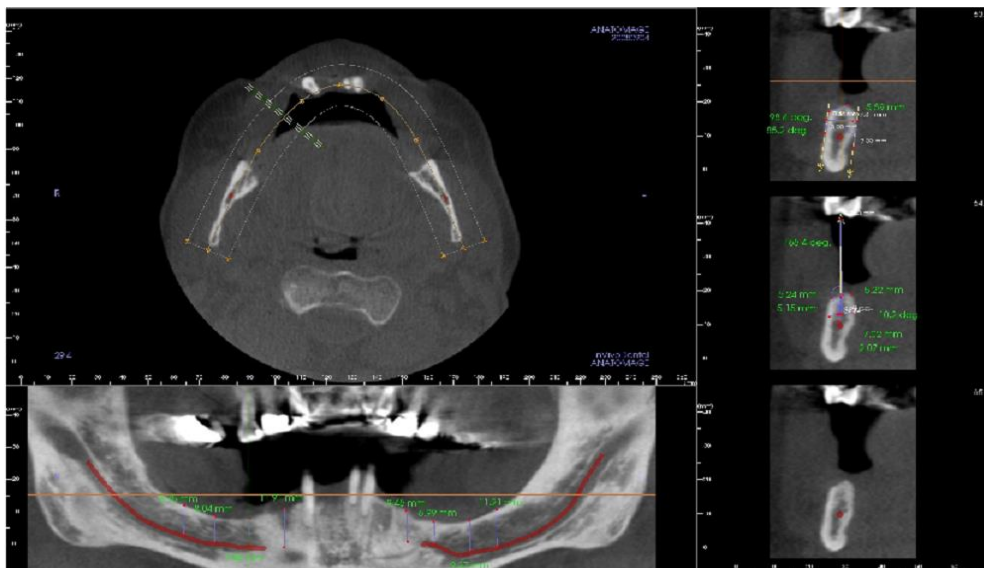


Abb. 7: Arbeitsoberfläche Anatomage mit festgelegten Messbereichen in errechneter PSA und Messung in den Cross section-Darstellungen im Bereich des zweiten Prämolaren (eigene Darstellung)

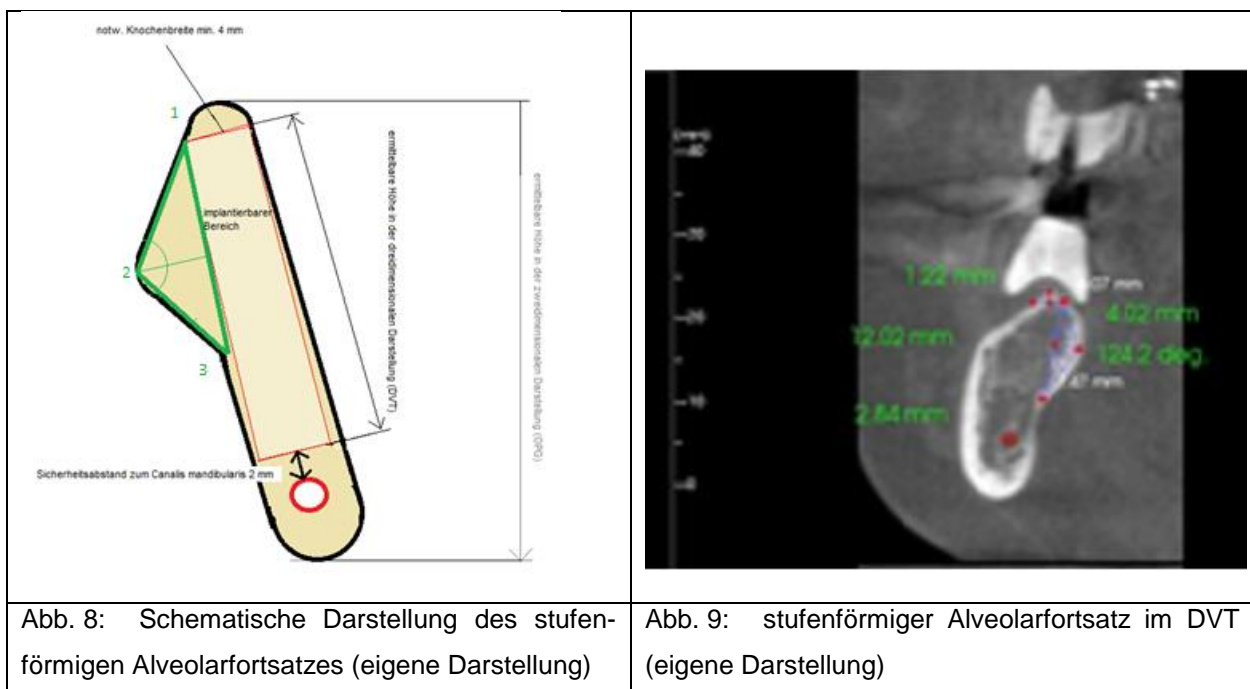
3.1.6 Einteilung der Unterkieferquerschnittsformen

Hsun-Lian Chan et al (2011) und Nickenig HU et al (2015) teilten die Unterkieferquerschnittsformen in die drei Gruppen: U – undercut, P-parallel und C-convex ein (12) (14). In Anlehnung daran, erfolgte in dieser Arbeit die Einteilung der Querschnitte des

Alveolarfortsatzes des Unterkiefers in Stufenform, Stäbchenform und Tropfenform nach eigener, und vor allem messtechnisch reproduzierbarer Definition. Alle Querschnittsformen, die diesen Formdefinitionen nicht zuzuordnen waren, wurden unter der Bezeichnung „Sonstige“ zusammengefasst. In den folgenden Abschnitten werden die Definitionen der verwendeten Formen erläutert.

Definition der Stufenform

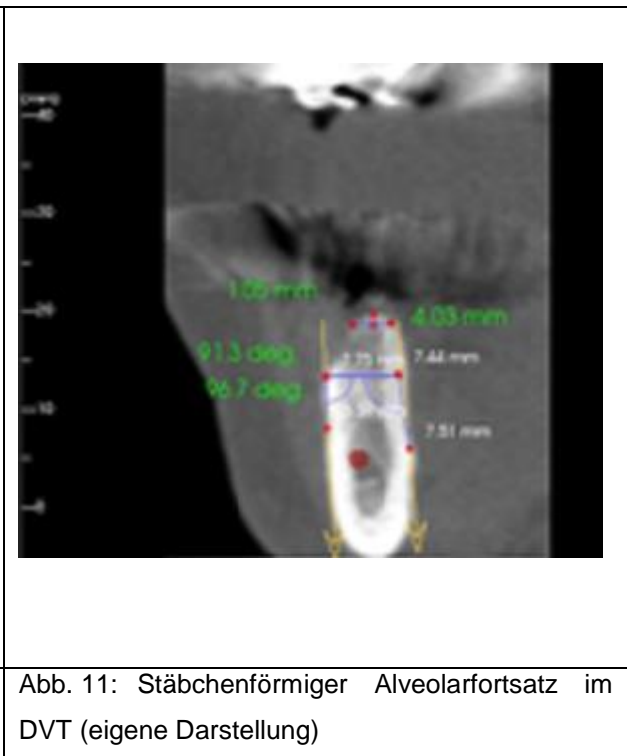
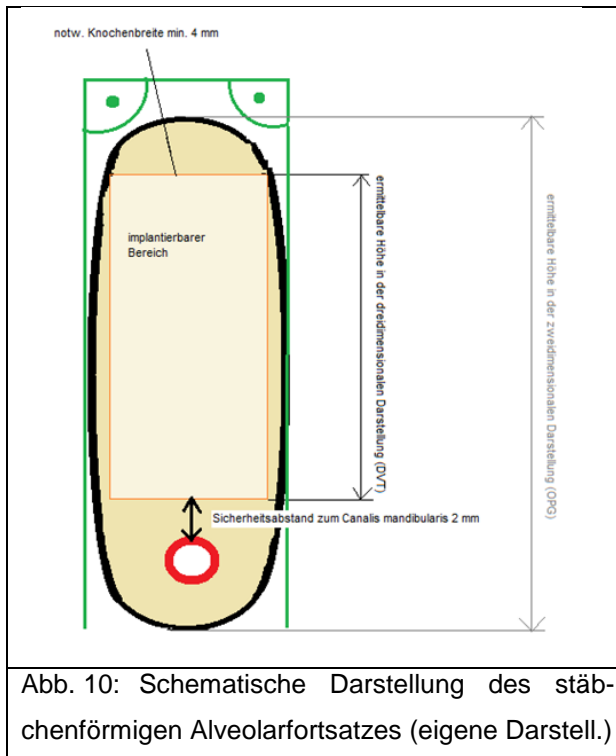
Um die Stufenform des Querschnittes des Alveolarfortsatzes zu definieren, werden drei Punkte benötigt. Punkt 1 beschreibt hierbei die Höhe bei mindestens 4mm Breite, Punkt 2 die höchste Breite des Unterkiefers und Punkt 3 die geringste Breite des Unterkiefers mindestens 2 mm oberhalb des Canalis mandibularis. Wenn der Winkel zwischen Punkt 1, Punkt 2 und Punkt 3 kleiner als 140° ist, wird der Querschnitt (crosssectional) als stufenförmig bezeichnet. Die folgenden zwei Abbildungen zeigen den stufenförmigen Querschnitt schematisch, sowie in einer angefertigten DVT-Aufnahme.



Definition der Stäbchenform

Wenn die Tangenten des lingualen Knochenrandes und des vestibulären Knochenrandes annähernd parallel zueinander verlaufen und die zwei Innenwinkel die Summe von annähernd 180° ergeben, wird der Querschnitt (Crosssection) als stäbchenförmig be-

zeichnet. Diese Form wird in den untenstehenden beiden Abbildungen schematisch sowie in der dentalen Volumentomographie dargestellt.



Definition der Tropfenform

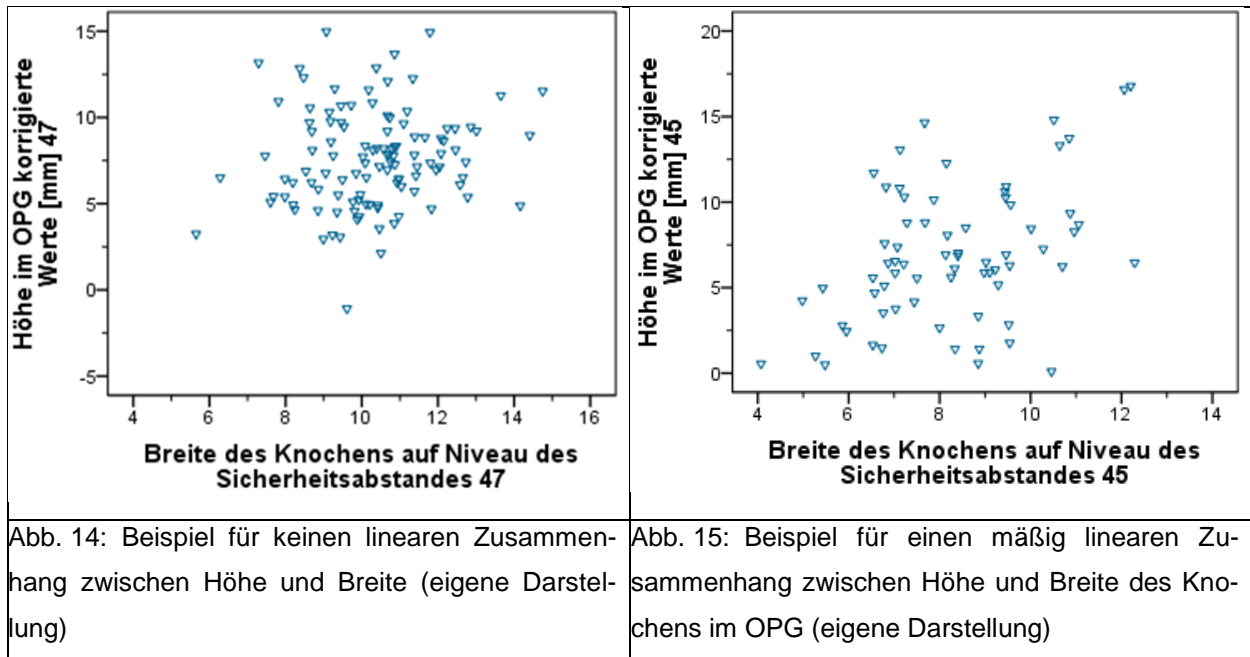
Wenn die Summe der Innenwinkel der Tangenten des lingualen Knochenrandes und des vestibulären Knochenrandes größer als 190° ist und das Volumen kaudal größer als kranial, wird der Querschnitt (Crosssection) als tropfenförmig bezeichnet, was die folgenden Abbildungen schematisch sowie in der DVT zeigen.

<p>Abb. 12: Schematische Darstellung des tropfenförmigen Alveolarfortsatzes (eigene Darstellung)</p>	<p>Abb. 13: Tropfenförmiger Alveolarfortsatz im DVT (eigene Darstellung)</p>

3.1.7 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit Hilfe des Programms SPSS® Version 24. Hierbei wurden die Daten deskriptiv analysiert, wobei neben der prozentualen Häufigkeit, die Mittelwerte, die Minimum- und Maximumwerte sowie die Standardabweichung ermittelt wurden. Ein Test auf Normalverteilung erfolgte mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov und des Shapiro-Wilk-Tests. Basierend auf den Daten der Normalverteilung erfolgte die Korrelationsanalyse nach Pearson (r).

Dafür muss der Zusammenhang zwischen den Merkmalen annähernd linear sein. Bei einer Darstellung im Streudiagramm kann man die Punktwolke durch eine Gerade relativ gut annähern. Die Stärke des Zusammenhangs hängt davon ab, wie stark sich die Punktwolke einer Geraden annähert (70). Untenstehende Abbildung 19 zeigt ein Beispiel keines linearen Zusammenhangs zwischen Höhe und Breite des Knochens im OPG. Demgegenüber veranschaulicht die Abbildung 20 einen mäßig linearen Zusammenhang.



Für alle Tests wurden ein Konfidenzintervall von 95% und ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ festgelegt. Eine statistische Signifikanz bestand demnach bei einem p-Wert von $p < 0,05$.

3.2 Spezielle Methodik

Im vorliegenden Abschnitt werden die einzelnen Messungen vorgestellt, welche zur Beantwortung der Forschungsfragen durchgeführt wurden.

3.2.1 Dimension des Alveolarfortsatzes

Zur Festlegung der Messpositionen für alle folgenden Messungen, wurde zur Darstellung der Panoramaschichtaufnahme, die Schicht ausgewählt, welche eine möglichst klare Darstellung aller Regionen des gesamten Unterkiefers und der Zahnkronen des Oberkiefers erlaubte. Dazu wurde in der Arch-Section-Darstellung der Software eine Adjustierung von Maxilla und Mandibula vorgenommen und der Zahnbogen entsprechend korrigiert. Auf beiden Seiten des Unterkiefers wurde der Nervus alveolaris inferior, als wichtigste Struktur des Unterkiefers, farblich markiert. Die vertikale Lage des Nervenkanals ist in der PSA-Aufnahme gut erkennbar. Der in der PSA-Aufnahme markierte Nerv erscheint auch auf den Bildern der Cross sections, allerdings nicht in seiner exakten transversalen Lage. Dann wurden die Positionen der Messbereiche, also die

zahnlosen Kieferregionen, vom ersten Prämolaren bis zum zweiten Molaren, im Unterkiefer anhand der antagonistischen Zahnkronen im Oberkiefer festgelegt.

3.2.1.1 Bestimmung des Zusammenhangs zwischen der Höhe und Breite des Alveolarfortsatzes

Die Messung zur Ermittlung eines Zusammenhangs zwischen Höhe und Breite des Alveolarknochens der Mandibula erfolgte anhand der DVTs. Die Höhe des Alveolarfortsatzes wurde in der, von der Auswertungssoftware berechneten PSA-Ansicht, jeweils vom obersten krestalen Rand des Processus alveolaris bis zum oberen Rand des Canalis mandibularis gemessen, was die untenstehende Abbildung verdeutlicht. Um eine mögliche Nervschädigung auszuschließen wurde, gemäß der aktuellen Empfehlungen in der Fachliteratur, ein Sicherheitsabstand im Molarbereich von 2 mm und im Prämolarenbereich, je nach Nähe zum Foramen mentale zwischen 2 mm und 5 mm (bei direkter Nähe 5 mm, sonst ebenfalls 2 mm) von den ermittelten Höhen abgezogen (71) (72).

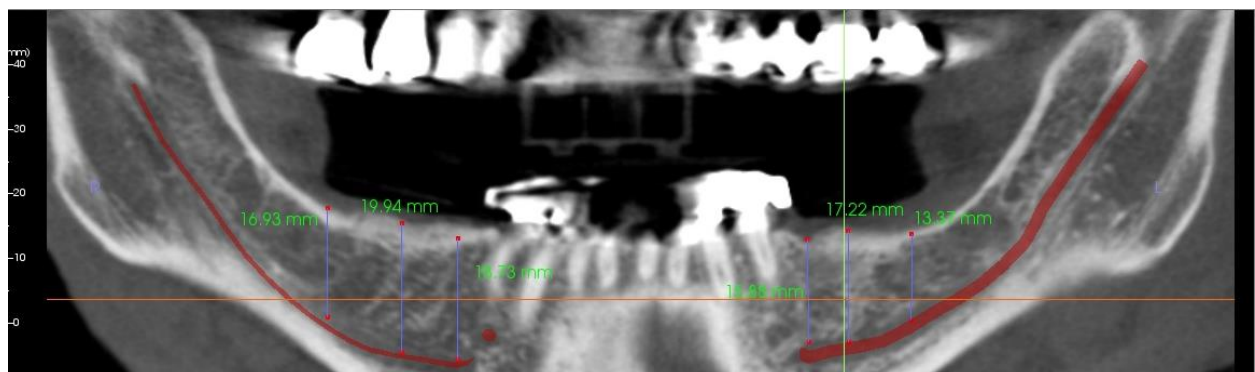


Abb. 16: Berechnete Panoramaschichtaufnahme mit markierten Messbereichen. Senkrechte im Messbereich 36 (eigene Darstellung)

Diese korrigierten Werte wurden als die laut Panoramaschichtaufnahme für eine Implantation vorhandene Knochenhöhe definiert und in einer Excel-Tabelle gespeichert.

Die Breite des Processus alveolaris konnte dann direkt in der frontalen Crosssection-Darstellung der in der PSA-Darstellung vermessenen Regionen markiert werden. Dazu wurde als erstes, ausgehend vom coronalen krestalen Rand des Alveolarfortsatzes, der Bereich ermittelt, wo sich eine Mindestbreite von 4 mm messen ließ, und dieser mittels einer horizontalen Gerade markiert. Danach wurde, ausgehend vom oberen Rand des Canalis mandibularis, eine Senkrechte mit einer Länge von 2 mm nach coronal eingezeichnet, was in der untenstehenden Abbildung ersichtlich ist. Auf Höhe dieses 2 mm Sicherheitsabstandes wurde nun die Breite des Alveolarfortsatzes gemessen. Die er-

fassten Daten wurden ebenfalls in eine Excel-Tabelle übertragen und für die statistische Auswertung aufbereitet.

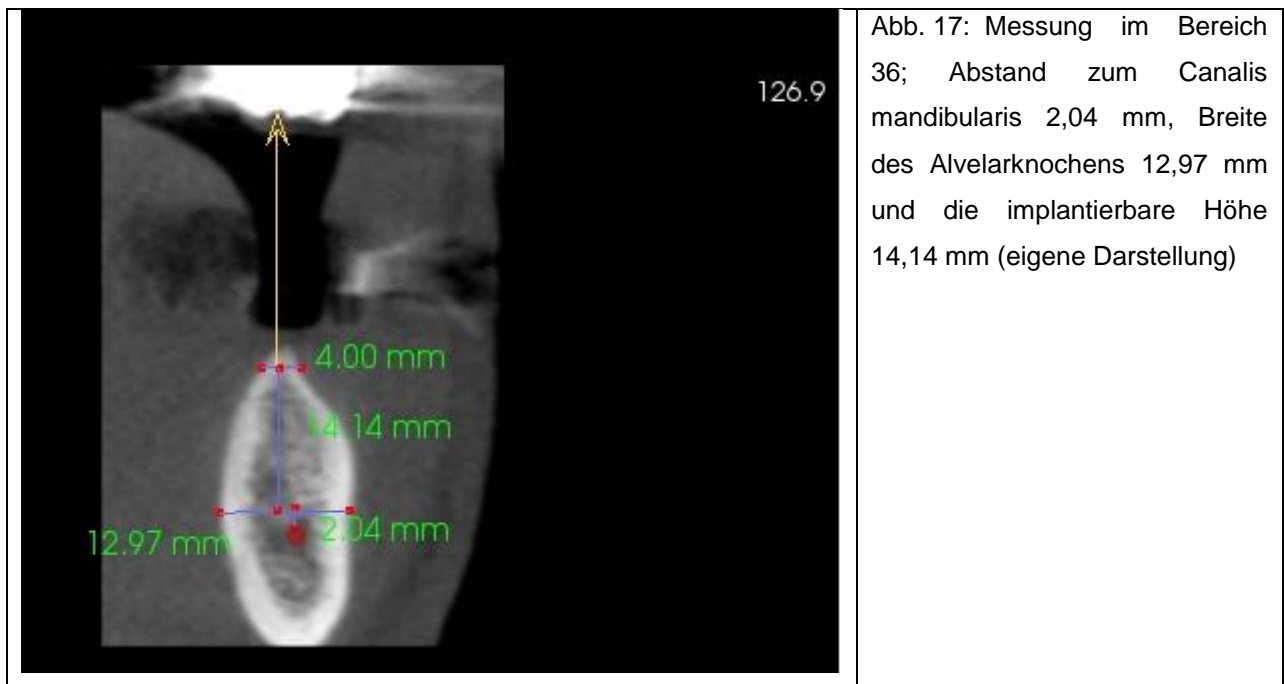


Abb. 17: Messung im Bereich 36; Abstand zum Canalis mandibularis 2,04 mm, Breite des Alveolarfortsatzes 12,97 mm und die implantierbare Höhe 14,14 mm (eigene Darstellung)

3.2.1.2 Bestimmung der Alters- und Geschlechtsabhängigkeit der Form des Alveolarfortsatzes

Die Messdaten wurden in einer Excel-Tabelle nach dem Alter der gescannten Patienten unabhängig vom Geschlecht sortiert.

3.2.2 Bestimmung der krestalen Knochendimensionen

Zur Beurteilung der krestalen Knochendimension des Processus alveolaris der Mandibel wurden die Messungen in den DVT's vorgenommen. Die Messungen erfolgten exakt in den Messpositionen, welche in der errechneten PSA-Ansicht festgelegt wurden.

Zusätzlich wurde ausgehend von der Geraden, welche die 4 mm coronale Mindestbreite markierte, eine Senkrechte zur höchsten Erhebung des krestalen Knochenrandes gezogen und vermessen. Die untenstehende Abbildung zeigt eine solche Vermessung.

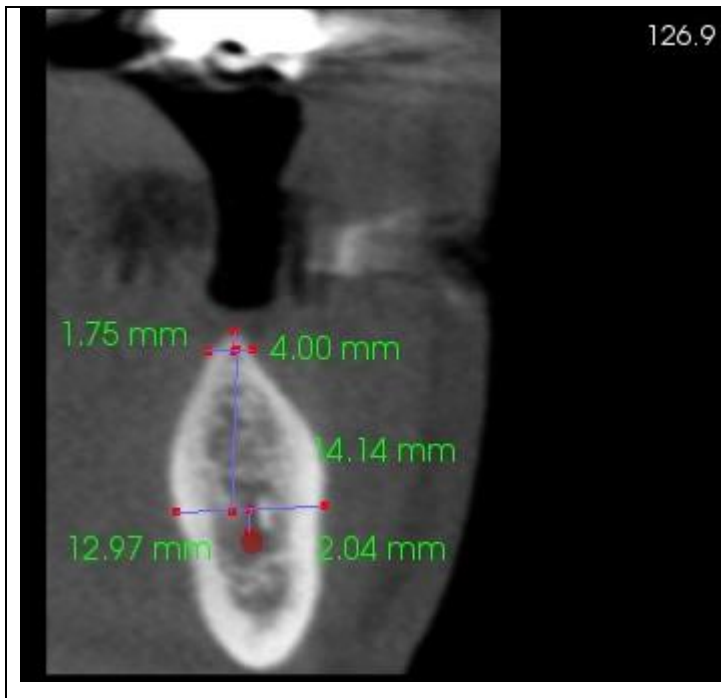


Abb. 18: Messung im Bereich 36. Abstand zum Canalis mandibularis 2,04 mm, Breite des Alveolarfortsatzes 12,97 mm und die implantierbare Höhe 14,14 mm, zusätzlich krestaler Höhenverlust (eigene Darstellung)

3.2.3 Bestimmung der Stufenbildung der Molaren im Unterkieferbereich in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter

Die Messpositionen waren zuvor in der errechneten PSA-Ansicht festgelegt worden. Gemessen wurde in den festgelegten Crosssection - Darstellungen des Alveolarfortsatzes des Unterkiefers. Erstes wurde ausgehend vom coronalen krestalen Rand des Alveolarfortsatzes der Bereich ermittelt, wo sich eine Mindestbreite von 4 mm messen ließ und mittels einer horizontalen Geraden markiert. Vom lingualen Endpunkt dieser Geraden [1] wurde eine Gerade bis zur am weitesten lingual gelegenen Ausdehnung gezogen. Von diesem, am weitesten lingual gelegenen Punkt [2] wurde dann eine Gerade zum Endpunkt [3] der Stufe gezogen und eine Verbindungslinie von Punkt [1] zu Punkt [2] gezogen. So entstand ein, das Ausmaß der Stufe beschreibendes Dreieck. Dazu wurde auf der Geraden von Punkt [1] zu Punkt [3] eine Senkrechte zu Punkt [2] gezogen. Diese Senkrechte h beschreibt die Höhe des Dreieckes, die mit dem Ausmaß der Stufe gleichzusetzen ist. Untenstehende Abbildung zeigt die beschriebene Vermessung.

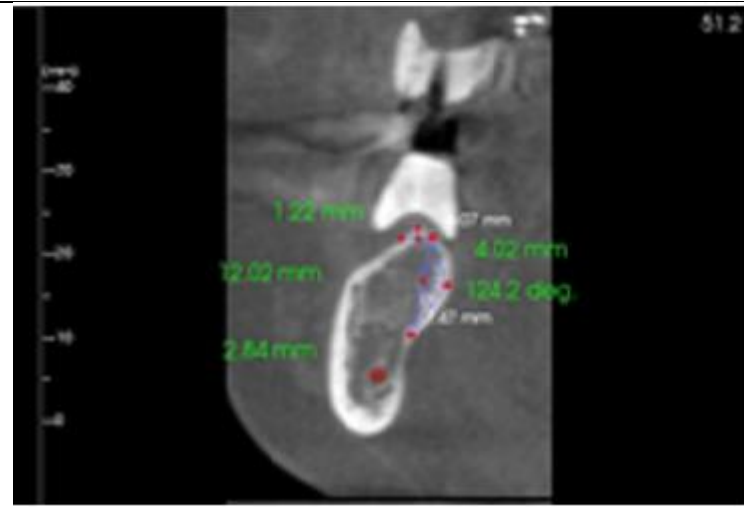


Abb. 19: Ermittlung des Ausmaßes der Stufenbildung beim stufenförmigen Alveolarfortsatz (eigene Darstellung)

Die so ermittelten Daten wurden nach dem Geschlecht und dem Alter entsprechend den bereits oben beschriebenen Altersgruppen (Gruppe 2: 39 - 49 Jahre, Gruppe 2: 50 - 69 Jahre, Gruppe 3: > 70 Jahre) sortiert. Danach erfolgte die Zuteilung nach dem Geschlecht und den gemessenen Lokalisationen mit stufenförmigem Alveolarfortsatz.

3.2.4 Bestimmung der Lage des Nervus alveolaris inferior in Abhängigkeit von der Zahnregion

Zur Untersuchung der Lage des Nervus alveolaris inferior in der Mandibel wurde bei den DVT-Aufnahmen in der Frontalansicht die Breite des Alveolarfortsatzes auf Höhe des Canalis mandibularis gemessen. Die Lage des Nervs wurde immer ausgehend von der vestibulären Kortikales bis zur Mitte des Nervenstranges gemessen.

Die folgenden drei Abbildungen zeigen die beschriebene Vermessung.

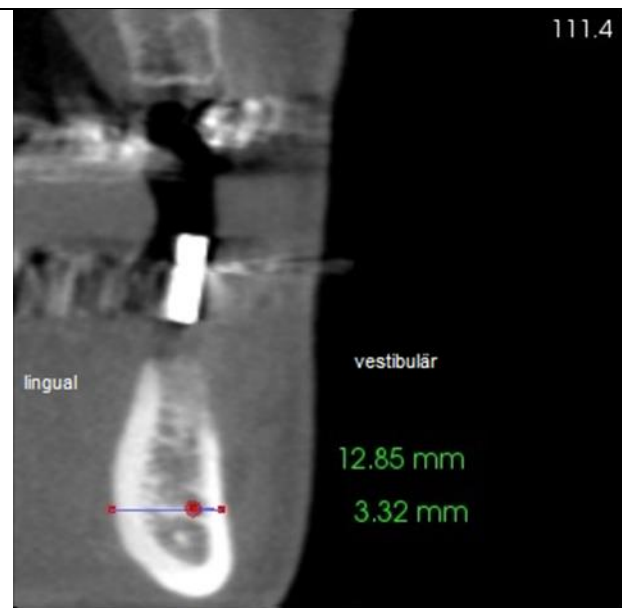


Abb. 20: Beispiel für eine 26%ige Nervlage (eigene Darstellung)

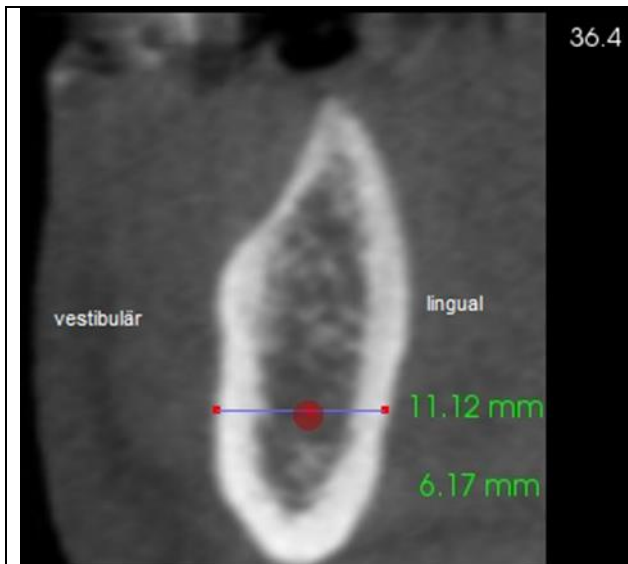


Abb. 21: Beispiel für eine 55 %ige Nervlage (eigene Darstellung)

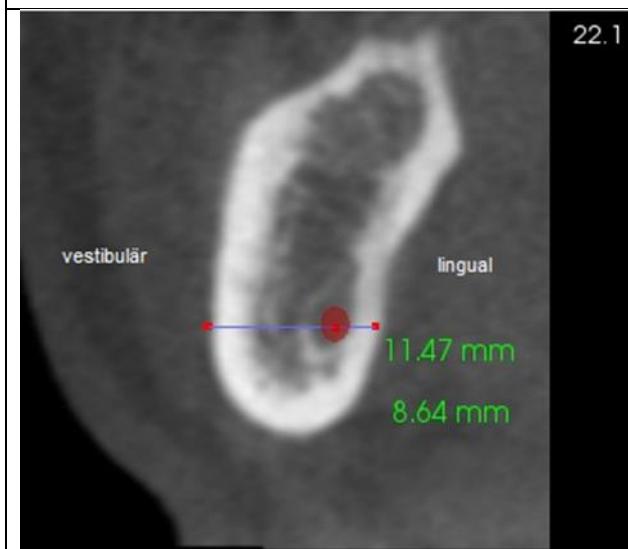


Abb. 22: Beispiel für eine 75 %ige Nervlage (eigene Darstellung)

Anschließend wurde errechnet, bei wieviel Prozent der Gesamtbreite des Knochens sich der Nerv befindet. Wenn der Nerv exakt mittig des Alveolarfortsatzes lag, befand er sich somit bei 50 Prozent der Gesamtbreite des Alveolarfortsatzes.

3.2.5 Bestimmung der Knochen-und Zahnachsen in Abhängigkeit von der Zahnregion

Die Messpositionen waren die gleichen, wie bei allen anderen Messungen und wurden vorab in der errechneten PSA-Ansicht festgelegt. Gemessen wurde wieder in den entsprechenden Crosssection-Darstellungen.

Ausgehend vom coronalen krestalen Rand des Alveolarfortsatzes wurde der Bereich ermittelt, an dem sich eine Mindestbreite von 4 mm messen ließ. Die Markierung erfolgte mittels einer horizontalen Gerade. Ausgehend vom oberen Rand des Canalis mandibularis wurde zur Festlegung des empfohlenen Sicherheitsabstandes zum Ner-

vus alveolaris inferior eine Senkrechte mit einer Länge von 2 mm nach coronal eingezeichnet. Auf diese Höhe kam eine waagerechte Markierung. Danach erfolgte die Einzeichnung des optimalen implantierbaren Bereiches bezüglich der maximal nutzbaren Knochenhöhe durch eine Gerade. Eine weitere Gerade markiert den Verlauf zum Antagonisten. Der Winkel zwischen diesen Geraden wurde gemessen. Zur Ermittlung des Angulationswinkels (Winkel zwischen optimaler Implantat-Achse und antagonistischer Krone) wurde der gemessene Winkel von 180° abgezogen. Die folgenden Abbildungen zeigen schematisch sowie in der DVT-Aufnahme die beschriebene Vermessung.

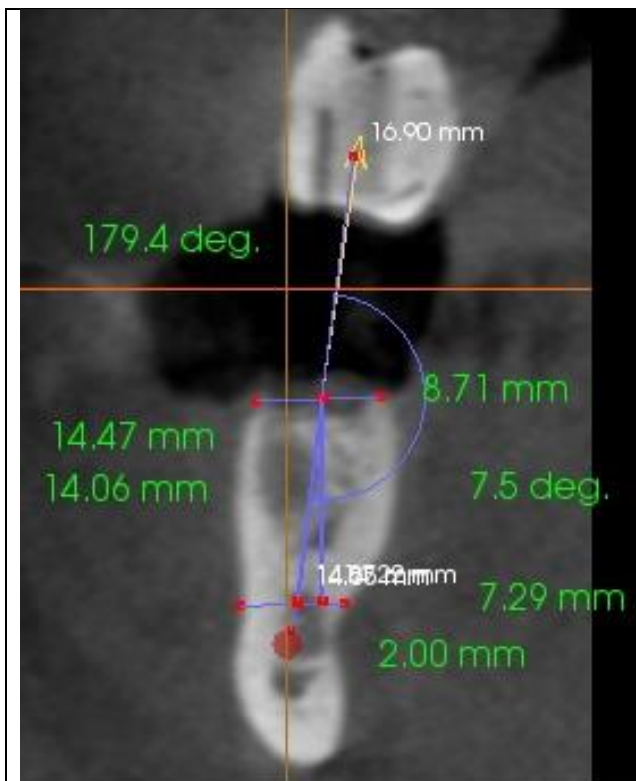


Abb. 23: Darstellung zur Winkelmessung zwischen optimal gesetztem Implantat und antagonistischer Krone (eigene Darstellung)

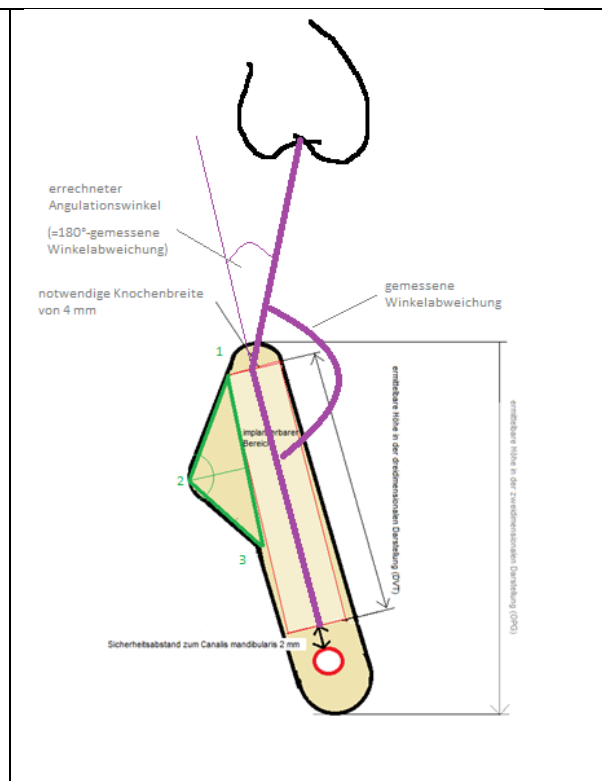


Abb. 24: Schematische Darstellung der Winkelmessung zwischen optimal platziertem Implantat und antagonistischer Krone (eigene Darstellung)

Der ermittelte Angulationswinkel entspricht der Winkelung des später notwendigen Abutments für die prothetische Versorgung.

4 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie vorgestellt. Für die ermittelten Daten wurde die prozentuale Häufigkeitsverteilung, der Mittelwert, Minimum, Maximum und die Standardabweichung bestimmt. Die Prüfung der Normalverteilung der Ergebnisse erfolgte anhand des Kolmogorov-Smirnov-Tests. Neben der deskriptiven Auswertung der Ergebnisse erfolgten auch Korrelationsanalysen unter Verwendung des Pearson' Korrelationskoeffizienten (r). Für alle Tests wurde ein Konfidenzintervall von 95 % und ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ definiert. Folglich galt ein p -Wert von $p < 0,05$ in allen Berechnungen als statistisch signifikant.

4.1 Demografische Daten im Studienkollektiv

Die Verteilung der demografischen Daten im Studienkollektiv, zu denen auch die Häufigkeitsverteilung der analysierten Molaren und die Querschnittsformen des Alveolarfortsatzes gezählt wurden, wird nachfolgend dargestellt.

Alters- und Geschlechtsverteilung

Insgesamt wurden die Daten von 117 Patienten beiderlei Geschlechts im Rahmen der vorliegenden Studie untersucht. Hiervon waren mit 64,1 % ($n = 75$) die meisten Patienten weiblich. 42 Patienten (35,9 %) waren männlich.

Bezüglich des Alters wurden die Patienten in drei Gruppen unterteilt.

Die Verteilung der Patienten entsprechend den Altersgruppen zeigt die folgende Tabelle:

Tab. 1: Einteilung der Patienten nach Alter und Geschlecht (eigene Darstellung)

Altersgruppe	männlich	weiblich
<u>I (39 - 49 Jahre)</u>	9	13
<u>II (50- 69 Jahre)</u>	25	48
<u>III (> 70 Jahre)</u>	8	14

Mit 62,4 % ($n = 73$) war die Mehrzahl der Patienten der Altersgruppe II zuzuordnen. Den Gruppen I und III konnten jeweils 22 Patienten (18,8 %) zugeteilt werden.

Verteilung der Molaren

Insgesamt wurden 670 Zahnregionen untersucht, von denen 453 Molaren-Regionen (67,6 %) und 217 Prämolaren-Regionen (32,4 %) waren.

Die Verteilung der analysierten Molaren ergab folgende Gewichtung:

Tab. 2: Häufigkeitsverteilung der analysierten Molaren- und Prämolarenbereiche (eigene Darstellung)

Region	Molarbereich (n = 453)				Prämolarenbereich (n = 217)			
	47	46	36	37	45	44	34	35
Anzahl (n)	114	109	113	117	72	38	37	70
Anzahl (%)	25,2	24,1	24,9	25,8	33,2	17,5	17,1	32,3

Die Analyse der Häufigkeitsverteilung von untersuchten Molaren- und Prämolaren-Regionen in Abhängigkeit des Alters und des Geschlechts ergab folgende Verteilung:

Tab. 3: Einteilung der gescannten Patienten nach Alter (Gruppe I-III), Geschlecht und Regionen mit stufenförmigem Alveolarfortsatz (eigene Darstellung)

Gruppe	Molaren (Anzahl n, %)	Prämolaren (Anzahl n, %)	Gesamt (Anzahl n, %)
Gruppe I			
Männer	21 (4,6 %)	1 (0,5 %)	22 (3,3 %)
Frauen	35 (7,7 %)	1 (0,5 %)	36 (5,4 %)
Gesamt	56 (12,4 %)	2 (0,9 %)	58 (8,7 %)
Gruppe II			
Männer	58 (12,8 %)	8 (3,7 %)	66 (9,9 %)
Frauen	97 (21,4 %)	10 (4,6 %)	107 (15,9 %)
Gesamt	155 (34,2 %)	18 (8,3 %)	173 (25,8 %)
Gruppe III			
Männer	19 (4,2 %)	1 (0,5 %)	20 (2,9 %)
Frauen	32 (7,1 %)	2 (0,9 %)	34 (5,1 %)
Gesamt	51 (11,3 %)	3 (1,4 %)	54 (8,1 %)

Verteilung der Querschnittsformen des Alveolarfortsatzes

Die Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Querschnittsformen des Alveolarfortsatzes differenziert nach den einzelnen Zahnregionen zeigt die folgende Tabelle.

Tab. 4: Häufigkeitsverteilung der vorhandenen Formen in den einzelnen Zahnregionen (eigene Darstellung)

Form	Zahnregion (Anzahl n, %)
------	--------------------------

	47	46	45	44	34	35	36	37
Stufenförmig	82 (12,2%)	40 (5,9%)	9 (1,3%)	2 (0,3%)	2 (0,3%)	10 (1,5%)	55 (8,2%)	85 (12,%)
Stäbchenförmig	11 (1,6%)	44 (0,3%)	35 (5,2%)	14 (2,1%)	16 (2,4%)	37 (5,5%)	42 (6,3%)	8 (1,2%)
Tropfenförmig	17 (2,5%)	18 (2,7%)	25 (3,7%)	15 (2,2%)	10 (1,5%)	18 (2,7%)	13 (1,9%)	18 (2,7%)
Sonstige	4 (0,6%)	7 (1,0%)	3 (0,4%)	7 (1,0%)	9 (1,3%)	5 (0,7%)	3 (0,4%)	6 (0,9%)
Gesamt	114 (17,0%)	109 (16,3%)	72 (10,7%)	38 (5,7%)	37 (5,5%)	70 (10,4%)	113 (16,9%)	117 (17,5%)

Bei 262 Molaren-Regionen (39,1 %) und 23 Prämolaren-Regionen (3,4 %) zeigt sich ein stufenförmiger Alveolarfortsatz.

Differenziert nach dem Alter und dem Geschlecht ergibt sich die in der untenstehenden Tabelle dargestellte Verteilung der Querschnittsformen des Alveolarfortsatzes im Studienkollektiv.

Tab. 5: Einteilung der gescannten Patienten nach Alter (Gruppe I-III), Geschlecht und Regionen mit stufenförmigem Alveolarfortsatz (eigene Darstellung)

Gruppe	Molaren (Anzahl n, %)	Prämolaren (Anzahl n, %)	Gesamt (Anzahl n, %)
Gruppe I			
Männer	21 (4,6 %)	1 (0,5 %)	22 (3,3 %)
Frauen	35 (7,7 %)	1 (0,5 %)	36 (5,4%)
Gesamt	56 (12,4 %)	2 (0,9 %)	58 (8,7 %)
Gruppe II			
Männer	58 (12,8 %)	8 (3,7 %)	66 (9,9 %)
Frauen	97 (21,4 %)	10 (4,6 %)	107 (15,9 %)
Gesamt	155 (34,2 %)	18 (8,3 %)	173 (25,8 %)
Gruppe III			
Männer	19 (4,2 %)	1 (0,5 %)	20 (2,9 %)
Frauen	32 (7,1 %)	2 (0,9 %)	34 (5,1 %)
Gesamt	51 (11,3 %)	3 (1,4 %)	54 (8,1 %)

4.2 Knochenhöhe (PSA) vs. Kieferbreite (DVT)

Zur Überprüfung, ob die im (aus einem DVT berechneten) PSA ermittelten Höhenwerte mit den Werten der Breite im DVT in Korrelation zueinanderstehen, wurde jede einzelne Zahnregion gesondert betrachtet.

Im Kolmogorov-Smirnov-Test und im Signifikanztest nach Shapiro-Wilk ließen sich keine signifikanten Abweichungen von einer Normalverteilung in den Strecken nachweisen.

4.3 Die Dimension des Alveolarfortsatzes

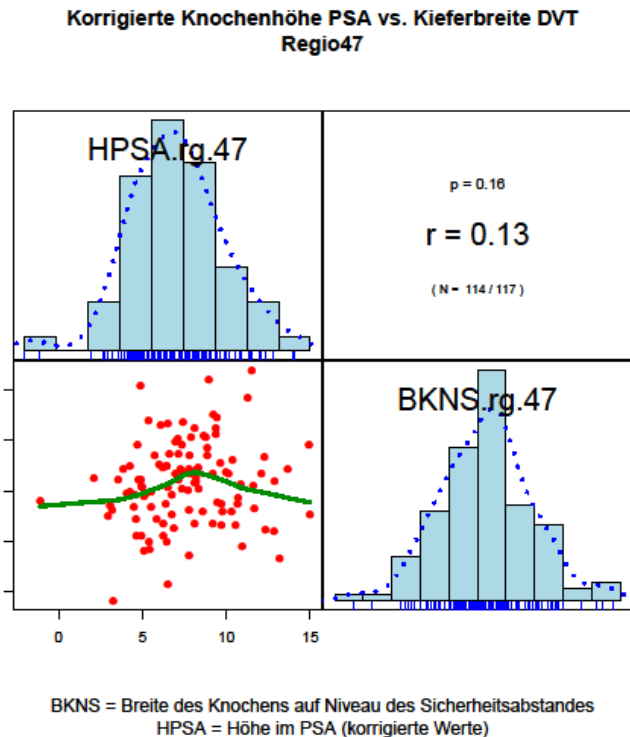
Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse zur Dimension des Alveolarfortsatzes vorgestellt, wobei neben den Zusammenhängen (z. B. zwischen den verschiedenen Größen des Alveolarfortsatzes) auch deren Abhängigkeit von demografischen Faktoren untersucht wurde.

4.3.1 Der Zusammenhang zwischen der Höhe und Breite des Alveolarfortsatzes auf dem Niveau des Sicherheitsabstandes

Zur Beurteilung bestehender Zusammenhänge zwischen Höhe und Breite des Alveolarfortsatzes im menschlichen Unterkiefer wurde jede einzelne Zahnregion der Molaren und Prämolaren gesondert statistisch ausgewertet.

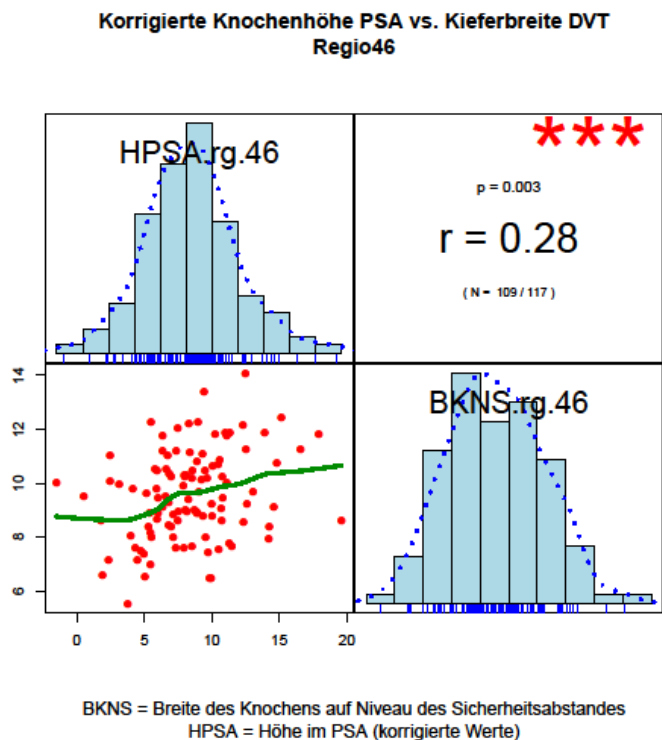
Für die Zahnregion des rechten zweiten Molaren 47 konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen den gemessenen Höhen in den PSA und den gemessenen Breiten in den DVT's gefunden werden ($r = 0,13$; $p = 0,16$). Die Ergebnisse werden in der rechts stehenden Abbildung veranschaulicht.

Abb. 25: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 47 (eigene Darstellung)



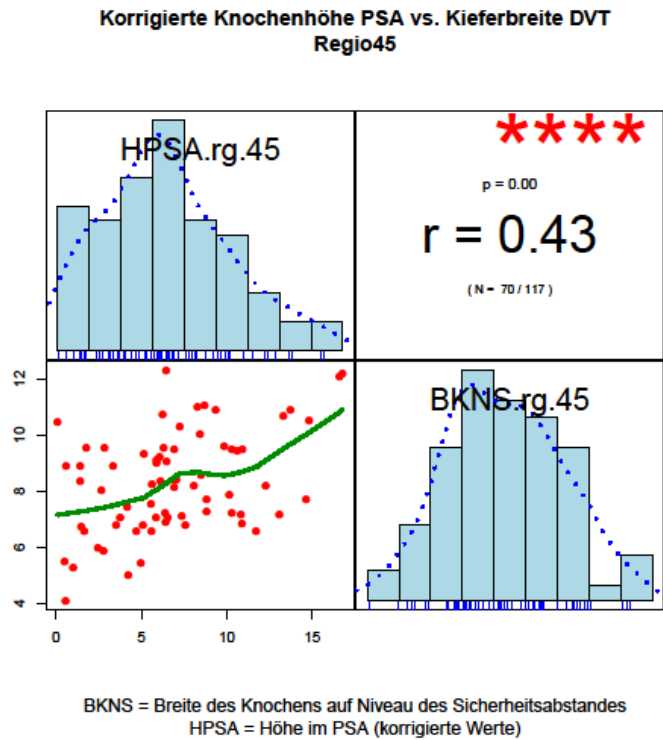
Wie in der rechten Abbildung dargestellt liegt im Bereich der Zahnregion 46 ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,28$ mit einem p-Wert von $p = 0,003$ vor. Somit ist ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen den in den PSA gemessenen Höhen und den im DVT gemessenen Breiten erkennbar.

Abb. 26: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 46 (eigene Darstellung)



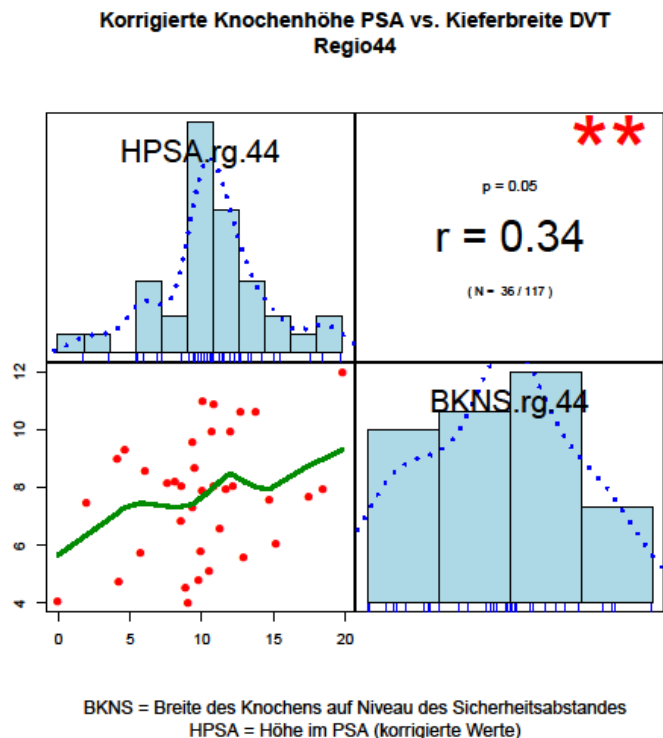
Die Daten des rechten zweiten Prämolaren 45 lassen ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang erkennen. Der Pearson-Koeffizient betrug hier $r = 0,43$ und der p-Wert $p = 0,00$, wie die folgende Grafik rechts zeigt.

Abb. 27: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 45 (eigene Darstellung)



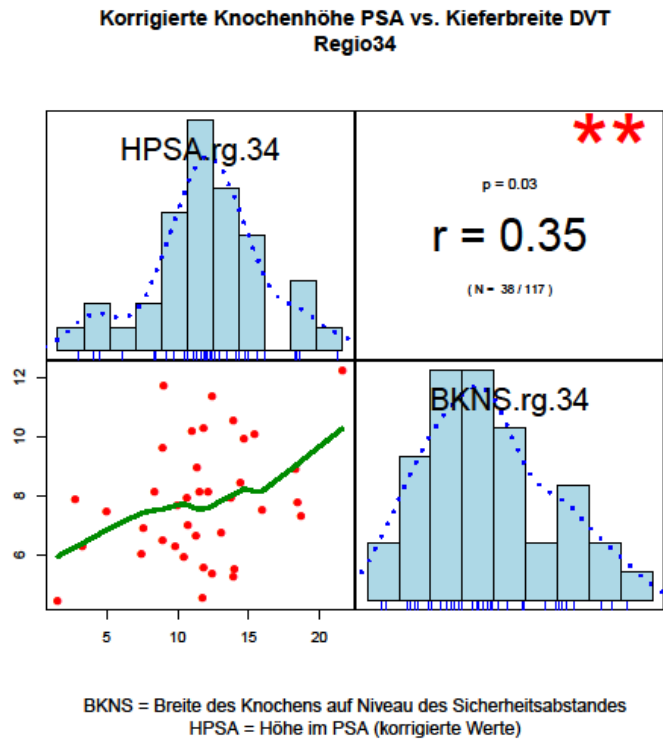
Beim rechten ersten Prämolaren 44 hat r einen Wert von $0,34$ und $p = 0,05$. Es ist somit ein signifikanter Zusammenhang zwischen der in der PSA gemessenen Höhe und der im DVT gemessenen Breite für die Zahnregion 44 erkennbar, was die obenstehende Abbildung zeigt.

Abb. 28: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 44 (eigene Darstellung)



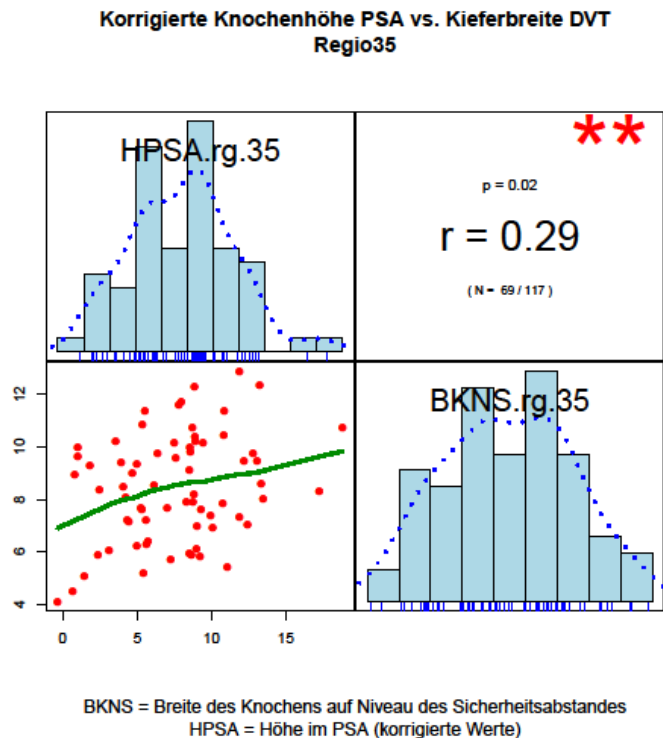
Wie in der Grafik rechts ersichtlich, besteht mit einem $r = 0,35$ im Bereich der Zahnregion 34 (linker erster Prämolare) ein signifikanter Zusammenhang ($p = 0,05$).

Abb. 29: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 34 (eigene Darstellung)



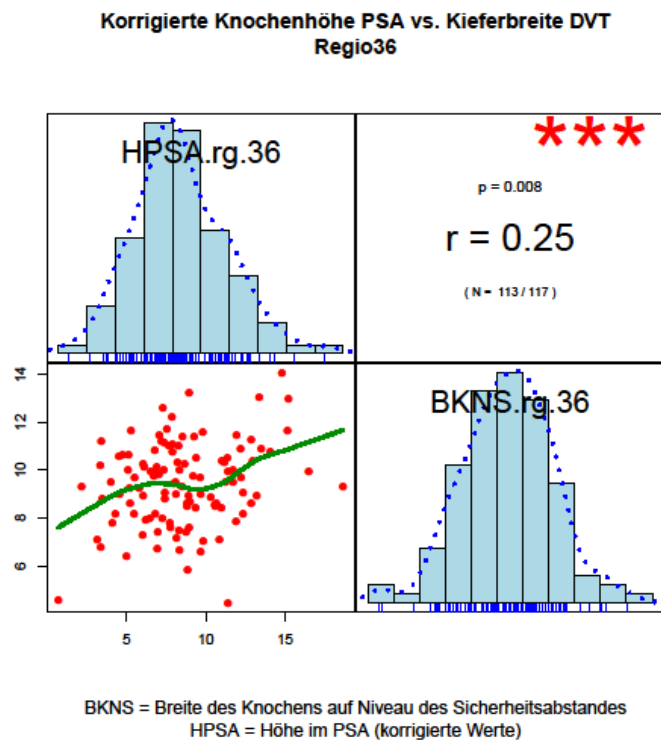
Im Bereich des zweiten linken Prämolaren 35 ist der Pearson-Koeffizient r minimal größer als 0,2. Es zeigt sich also ein positiver Zusammenhang. Der p -Wert beträgt 0,02 und ist signifikant.

Abb. 30: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 35 (eigene Darstellung)



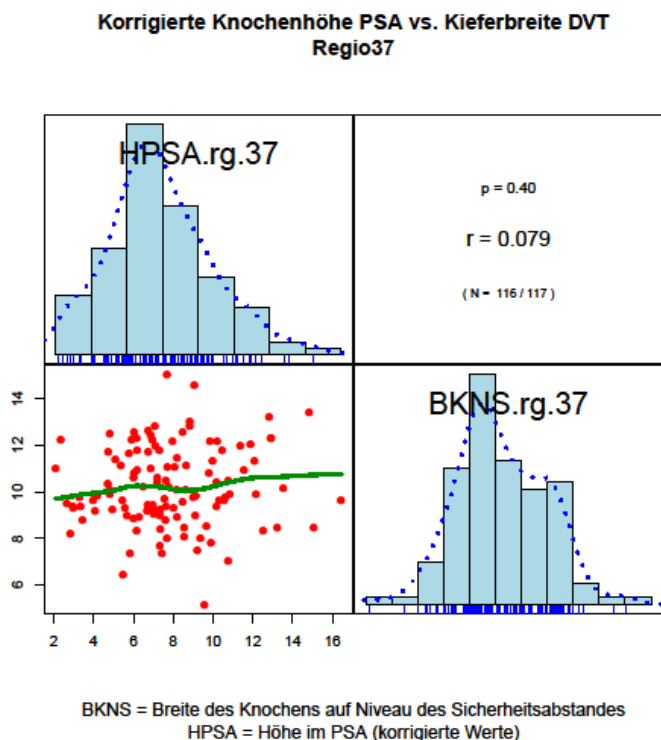
Bei der Betrachtung der Zahnregion des ersten linken Molaren 36 auf Niveau des Sicherheitsabstandes hat r einen Wert von 0,25 und p von 0,008. Es liegt folglich für die Höhe in der PSA und die Breite im DVT ein signifikanter Zusammenhang vor. Die nebenstehende Abbildung stellt das Ergebnis grafisch dar.

Abb. 31: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 36 (eigene Darstellung)



Die Berechnung des Pearson- Koeffizienten r und des p-Wertes ergab für die Zahnregion 37 keinen nachweisbaren signifikanten Zusammenhang zwischen der gemessenen Höhe in der PSA und der gemessenen Breite im DVT Im Bereich des Sicherheitsabstandes ($r = 0,079$; $p = 0,402$), was die Abbildung nochmals veranschaulicht.

Abb. 32: Korrelation PSA Höhe/DVT Breite Regio 37 (eigene Darstellung)



4.3.2 Die Altersabhängigkeit der Form des Alveolarfortsatzes

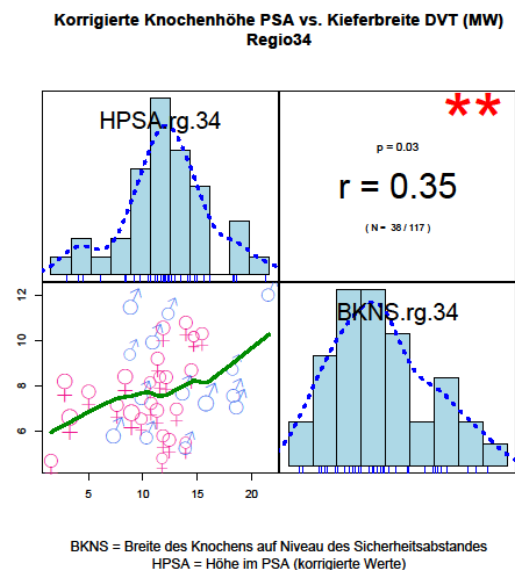
Eine altersabhängige Sortierung und Auswertung der Daten wurde vorgenommen.

Diese Aufteilung führte zur starken Verminderung der Datensätze in den einzelnen Altersgruppen, so dass keine relevanten und fundierten Aussagen getroffen werden können.

4.3.3 Die Geschlechtsabhängigkeit der Form der Alveolarfortsätze

Alle gemessenen Datensätze wurden nach Geschlechtern getrennt, um herauszufinden, ob es geschlechtsspezifische Unterschiede gibt. Diese Aufteilung führte dazu, dass die Fallzahlen für die einzelnen Zahnregionen stark sanken, und die Daten sehr weit streuten, so dass keine fundierten Schlussfolgerungen zu ziehen sind.

Abb. 33: Beispiel Zahnregion 34 zur Darstellung der starken Datenstreuung nach Geschlechtertrennung (eigene Darstellung)



4.3.4 Die krestalen Knochendimensionen

Ein Vergleich der einzelnen Zahnregionen bezüglich des Höhenverlustes bis zur implantierbaren Breite von 4 mm erfolgte als erstes durch Bildung der Mittelwerte der Höhenverluste.

Tab. 6: Mittelwerte der Höhenverluste in allen Zahnregionen (eigene Darstellung)

Region	Anzahl (n)	Mittelwert	Standardabweichung
47	115	1,28	1,21
46	109	1,73	1,36
45	71	2,29	1,77
44	38	2,32	2,43
34	38	1,78	1,76
35	71	1,64	1,58
36	113	1,40	1,16

37	116	1,24	1,06
----	-----	------	------

Auffallend bei der Betrachtung der Mittelwerte, ist ein augenscheinlich stärkster Höhenverlust bei den Prämolaren der rechten Unterkieferhälfte. Aufgrund der geringeren Anzahl der rechten Prämolarenregionen ist aber keine definitive Aussage zu treffen. Ansonsten scheint es bei reiner Betrachtung der Mittelwerte keinen Unterschied zwischen der rechten und linken Hälfte des Processus alveolaris inferior bezüglich des Höhenverlustes zu geben. Die Höhe des Höhenverlustes ist auf beiden Seiten des Kiefers, ausgehend von den zweiten Molaren zu den ersten Prämolaren kontinuierlich ansteigend.

Anschließend erfolgte ein Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung der Messdaten. Dieser Test zeigte signifikante Abweichungen von einer Normalverteilung in allen Messungen ($p < 0,05$). Die weitere Analyse erfolgte demnach mit nicht-parametrischen Methoden.

Zur genaueren Betrachtung wurde der Friedman-Test durchgeführt, bei dem die Regionen der Kieferhälften seitenweise miteinander verglichen wurden.

Tab. 7: Friedman-Test rechte Kieferhälfte (eigene Darstellung)

In der rechten Kieferhälfte bestehen in den einzelnen Zahnregionen nachweisbare Unterschiede zwischen den Höhenverlusten. Diese Unterschiede sind signifikant auf dem Niveau $p = 0,006$. Aufgrund dieses Ergebnisses folgten Paarvergleiche mittels dem Wilcoxon-Test für Paardifferenzen. Hier muss das festgelegte Konfidenzintervall erwähnt werden.

Friedman-Test (Vergleich Regionen rechts)	
Ränge	
	Mittlerer Rang
Höhenverlust bei 4mm Breite 47	2,01
Höhenverlust bei 4mm Breite 46	2,50
Höhenverlust bei 4mm Breite 45	3,06
Höhenverlust bei 4mm Breite 44	2,43
Statistik für Test^a	
N	36
Chi-Quadrat	12,464
df	3
Asymptotische Signifikanz	,006
a. Friedman-Test	

Tab. 8: Friedman-Test linke Kieferhälfte (eigene Darstellung)

In der linken Kieferhälfte bestehen nur sehr kleine nachweisbare Unterschiede zwischen den Höhenverlusten. Diese geringen Unterschiede sind nicht signifikant. Aufgrund fehlender globaler Signifikanz erfolgten für die linke Kieferhälfte keine Paarvergleiche.

Friedman-Test (Vergleich Regionen links)	
Ränge	
	Mittlerer Rang
Höhenverlust bei 4mm Breite 34	2,68
Höhenverlust bei 4mm Breite 35	2,67
Höhenverlust bei 4mm Breite 36	2,35
Höhenverlust bei 4mm Breite 37	2,31
Statistik für Test^a	
N	36
Chi-Quadrat	3,150
df	3
Asymptotische Signifikanz	,369
a. Friedman-Test	

4.3.5 Der Höhenverlust in Abhängigkeit von Zahnregionen

Bei der Analyse der Höhenverlustdaten mittels des Friedman-Tests, zeigten sich für den linken Processus alveolaris inferior nur sehr geringe, nicht signifikante Unterschiede. Deshalb wurde keine genauere Überprüfung der einzelnen Zahnregionen vorgenommen.

Für den rechten Processus zeigte sich bereits nach Durchführung des Friedman-Testes, dass unterschiedliche Höhenverluste vorhanden sind, die auf dem Niveau $p = 0,006$ signifikant sind. Für eine genauere Analyse, wurde mit den ermittelten Daten für die rechte Seite ein Wilcoxon-Test durchgeführt. Bei diesem Test werden immer zwei Zahnregionen miteinander verglichen.

Tab. 9: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests (eigene Darstellung)

Statistik für Test ^a						
	Höhenverlust bei 4mm Breite 46 - Höhenverlust bei 4mm Breite 47	Höhenverlust bei 4mm Breite 45 - Höhenverlust bei 4mm Breite 47	Höhenverlust bei 4mm Breite 44 - Höhenverlust bei 4mm Breite 47	Höhenverlust bei 4mm Breite 45 - Höhenverlust bei 4mm Breite 46	Höhenverlust bei 4mm Breite 44 - Höhenverlust bei 4mm Breite 46	Höhenverlust bei 4mm Breite 44 - Höhenverlust bei 4mm Breite 45
Z	-4,130 ^b	-4,601 ^b	-1,949 ^b	-2,638 ^b	-,244 ^c	-1,872 ^c
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,051	,008	,808	,061
a. Wilcoxon-Test						
b. Basiert auf negativen Rängen.						
c. Basiert auf positiven Rängen.						

Es wurde jede der vier Zahnregionen der rechten Seite 47, 46, 45, 44 mit jeder verglichen.

Eine reine Mittelwertanalyse deutete bereits darauf hin, dass der Höhenverlust in der Zahnregion 47 geringer ist, als in den Regionen der Zähne 46 und 45. Der Wilcoxon-Test bestätigt diese Deutung, für beide Regionen mit einer Signifikanz von $p=0,000$. Ein Vergleich der Region 47 mit 44, zeigt ebenfalls bei den Mittelwerten einen erheblich höheren Höhenverlust in der Prämolarenregion 44 ($47 = 1,28 \text{ mm}$, $44 = 2,32 \text{ mm}$). Eine Signifikanz ist nicht nachweisbar ($p > 0,05$). Die Betrachtung der Mittelwerte von 46 und 45 zeigt für 46 einen geringeren Höhenverlust als für die Region 45. Dieser Verlust ist nach dem Wilcoxon-Test signifikant auf dem Niveau $p < 0,01$. Auch in der Region des 44 ist der Höhenverlust größer als in der Region 46, allerdings ohne Signifikanz. Ein Vergleich der Prämolaren miteinander zeigt für den ersten Prämolaren 44 einen geringfügig höheren Höhenverlust als für den zweiten Prämolaren 45. Es ließ sich ebenfalls keine Signifikanz feststellen.

Zusätzlich wurde in die statistischen Berechnungen eine Trennung nach Geschlecht der Patienten miteinbezogen.

Tab. 10: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests mit Trennung nach Geschlecht (eigene Darstellung)

Statistik für Test ^a								
	Höhenverlust bei 4mm Breite 47	Höhenverlust bei 4mm Breite 46	Höhenverlust bei 4mm Breite 45	Höhenverlust bei 4mm Breite 44	Höhenverlust bei 4mm Breite 34	Höhenverlust bei 4mm Breite 35	Höhenverlust bei 4mm Breite 36	Höhenverlust bei 4mm Breite 37
Mann-Whitney-U	1043,000	1117,000	522,500	100,000	141,500	572,000	1079,000	1290,500
Wilcoxon-W	1904,000	1820,000	847,500	205,000	246,500	923,000	1899,000	2193,500
Z	-2,808	-1,380	-,633	-2,064	-,809	-,157	-2,307	-1,535
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,005	,168	,527	,039	,418	,875	,021	,125
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]				,040 ^b	,427 ^b			
a. Gruppenvariable: Geschlecht								
b. Nicht für Bindungen korrigiert.								

In einigen Regionen (47, 44 und 36) zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Es wurde daher nochmal ein Vergleich der Regionen getrennt nach Geschlechtern durchgeführt.

Es erfolgte wieder die Analyse mittels des Friedman-Tests.

Für die rechte Kieferseite ergab sich folgendes:

Bei den Frauen sind die Höhenverluste signifikant unterschiedlich $p < 0,05$.

Bei den Männern sind die Höhenverluste nicht signifikant unterschiedlich $p > 0,05$.

Auf der linken Kieferseite sind bei beiden Geschlechtern die Unterschiede in den Höhenverlusten nicht signifikant.

Aufgrund der Ergebnisse der Friedman-Tests wurden für die weiteren Untersuchungen nur noch die Daten der rechten Kieferseite der Frauen untersucht.

Tab. 11: Wilcoxon-Test, rechte Kieferseite Frauen (eigene Darstellung)

		Statistik für Test ^a					
		Höhenverlust bei 4mm Breite 46 -	Höhenverlust bei 4mm Breite 45 -	Höhenverlust bei 4mm Breite 44 -	Höhenverlust bei 4mm Breite 45 -	Höhenverlust bei 4mm Breite 44 -	Höhenverlust bei 4mm Breite 44 -
Geschlecht		Höhenverlust bei 4mm Breite 47	Höhenverlust bei 4mm Breite 47	Höhenverlust bei 4mm Breite 47	Höhenverlust bei 4mm Breite 46	Höhenverlust bei 4mm Breite 46	Höhenverlust bei 4mm Breite 45
w	Z	-2,836 ^b	-3,484 ^b	-1,514 ^b	-2,206 ^b	-,214 ^b	-1,369 ^c
	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,005	,000	,130	,027	,830	,171
a. Wilcoxon-Test							
b. Basiert auf negativen Rängen.							
c. Basiert auf positiven Rängen.							

Bei den Frauen lassen sich, auf der rechten Kieferseite, signifikante Unterschiede bei den Werten des Höhenverlustes zwischen den Zahnregionen 47/46, 47/45 und 46/45 feststellen. Für die Zahnregionen 47/44, 46/44 und 45/44 lagen keine signifikanten Unterschiede vor.

Zur Vervollständigung erfolgte eine Betrachtung der Höhenverlustdaten nach dem Alter der Patienten.

Es zeigte sich bis auf die Zahnregion 34 kein Unterschied zwischen den Altersgruppen hinsichtlich des Höhenverlustes. (Kruskal-Wallis-Test, $p > 0,05$). Der Unterschied beim 34er war nach Adjustierung für multiples Testen ebenfalls nicht mehr als signifikant zu

interpretieren. Ein separater Vergleich der Regionen, getrennt nach Altersgruppen erscheint nicht erforderlich zu sein.

4.3.5.1 Höhenverlust in Abhängigkeit von der Querschnittsform des Knochens

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Implantation ist die Querschnittsform des Alveolarfortsatzes. Es erfolgte eine Einteilung in vier Gruppen: 1. *Stufe*, 2. *Stäbchen*, 3. *Tropfen* und 4. *weitere*. Diese vier Querschnittsformen wurden in Bezug auf ihren Höhenverlust, bis zur implantierbaren Mindestbreite von 4 mm untersucht und die Daten, für jede einzelne Zahnregion, statistisch ausgewertet.

Mittels des Kruskal-Wallis-Tests wurde überprüft, ob es einen Unterschied zwischen den vier Querschnittsformen bezüglich des Höhenverlustes in den einzelnen Zahnregionen gibt.

Wurde dieser Unterschied signifikant nachgewiesen, erfolgten Post-Hoc-Paarvergleiche unter Anwendung des Mann-Whitney-Tests.

Region 47:

Mit einer Signifikanz von $p = 0,013$ konnte ein Unterschied zwischen den 4 Formen nachgewiesen werden. Bei der Gegenüberstellung der Stufenform zur Tropfenform gab es den stärksten signifikanten Unterschied ($p < 0,01$). Der Höhenverlust in der Zahnregion 47 ist bei der Tropfenform signifikant höher als bei der Stufenform.

Region 46

Mit einer Signifikanz von $p = 0,038$ zeigte der Kruskal-Wallis Test Unterschiede bezüglich des Höhenverlustes zwischen den Kieferformen in der Region des Zahnes 46. Ein Vergleich der Stufenform mit der Tropfenform zeigte einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$). Weitere signifikante Unterschiede fanden sich in dieser Zahnregion noch beim Vergleich von „Tropfen“ mit „weitere“ ($p < 0,05$). Beim Vergleich aller anderen Formengruppen miteinander ließen sich keine signifikanten Unterschiede im Höhenverlust feststellen. Eine Betrachtung der Mittelwerte der Höhenverluste zeigte den stärksten Verlust bei den tropfenförmigen Alveolarfortsätzen.

Region 45

Der stärkste Höhenverlust war für die tropfenförmigen und die „weiteren“ Alveolarfortsätze nach Betrachtung der Mittelwerte zu finden. Der Kruskal-Wallis-Test ließ für die vier Formengruppen Unterschiede im Verlust der Höhe mit einer Signifikanz von $p =$

0,023 erkennen. Ein signifikanter Unterschied fand sich beim Vergleich von Stufenform mit der Tropfenform ($p < 0,03$) und der Stäbchenform mit der Tropfenform ($p < 0,01$). Alle anderen Formenvergleichskombinationen ließen keine signifikanten Unterschiede im Höhenverlust erkennen.

Region 44

Der stärkste Höhenverlust fand sich bei den Alveolarfortsatzformen die sich nicht konkret einordnen ließen und in der Gruppe „weitere“ zusammengefügt wurden. Da sich für die vier Formengruppen keine Signifikanz ($p = 0,267$) ermitteln ließ, erfolgten keine Post-Hoc-Paarvergleiche.

Region 34 und Region 35

Für die Region 34 war der stärkste Höhenverlust anhand der Mittelwerte in der Gruppe der tropfenförmigen Alveolarfortsätze; für die Region 35 in der Gruppe „weitere“. Es ließen sich für beide Regionen keine signifikanten Unterschiede nachweisen (Region 34 $p = 0,638$; Region 35 $p = 0,328$). Paarvergleiche erfolgten demnach nicht.

Die erhobenen Daten für die Prämolaren beider Kieferhälften waren zahlenmäßig so gering, dass keine genaue Aussage über die Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Kieferformen und Höhenverlust getroffen werden können.

Region 36

Den stärksten Höhenverlust für diese Kieferregion findet sich bei den tropfenförmigen Alveolarfortsätzen. Eine Betrachtung der vier Formengruppen zeigte signifikante Unterschiede bezüglich des Höhenverlustes zwischen den Formen ($p = 0,18$). Daraus folgten Post-Hoc-Paarvergleiche, die mit Mann-Whitney-Tests durchgeführt wurden. Der Vergleich der Stufen- mit der Tropfenform ließ einen signifikanten Unterschied ($p < 0,02$) nachweisen. Das Gleiche ließ sich nur noch beim Vergleich der Stäbchen- mit der Tropfenform finden ($p < 0,01$). Alle anderen Paarvergleiche hatten keine signifikanten Ergebnisse.

Region 37

Für die Region des Zahnes 37 konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Kieferformen nachgewiesen werden ($p = 0,14$). Beim Vergleich der Stufen- mit der Tropfenform war der Unterschied signifikant ($p < 0,02$). Ebenso gab es einen signifikanten Unterschied beim Vergleich der Stäbchen- mit der Tropfenform ($p < 0,05$). Alle anderen Paarvergleiche zeigten keine Signifikanz. Der stärkste Höhenverlust fand sich bei der Tropfenform.

4.3.6 Stufenbildung in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter

Bei allen untersuchten Zahnregionen fand sich die Stufenform in der Region des 47 zu 70,1%, beim 46 zu 34,2%, beim 45 zu 7,7% und beim 44 zu 1,7%. Auf der anderen Kieferhälfte zeigte der 34 einen stufenförmigen Alveolarfortsatz in 1,7% aller untersuchten 34-Regionen. Beim 35 waren es 8,5%, beim 36 47% und beim 37 waren es 72,6%. Damit war die Stufenform für beide Geschlechter und in allen Altersgruppen in den Regionen 47 und 37 dominierend.

Eine Einteilung nach dem Geschlecht ergab folgendes Bild.

In der Zahnregion 47 war bei den Frauen die Stufenform mit einer Häufigkeit von 68,9% vertreten und bei den Männern sogar mit einer Häufigkeit von 75,6%. In der Region des ersten Molaren 46 war die Stufenform bei den Frauen zu 33,3% vertreten und bei den Männern zu 43,2%. Während bei den Männern die Stufenform damit die häufigste Form in der Region 46 war, dominierte bei den Frauen in dieser Region die Stäbchenform mit 41,7%.

In den Prämolarenregionen, der rechten Kieferhälfte, 44 und 45 konnte dann für die Stufenform bei beiden Geschlechtern keine Dominanz mehr festgestellt werden. Bei den Frauen fand sich die Stufenform in der Region 45 nur bei 4,3% und in der Region 44 nur bei 4,2% aller untersuchten Regionen. Die häufigste Form war beim 45 die Stäbchenform (50%) und beim 44 die Tropfenform (54,2%). Bei den Männern war die häufigste Form sowohl beim 45 (48%) als auch beim 44 (42,9%) die Stäbchenform. Die Stufenform fand sich bei den Männern beim 45 in 28% und beim 44 nur in 7,1% der untersuchten Regionen.

Die Prämolarenregionen der linken Kieferhälfte 34 und 35 zeigten für beide Geschlechter ein ähnliches Bild. Bei den Frauen lag die Häufigkeit der Stufenform beim 34 bei 8,3% und beim 35 bei 17,8%. Die häufigste Form war in beiden Regionen die Stäbchenform mit 41,7% beim 34 und 48,9% beim 35. Bei den Männern fand sich für die Region 34 keine Stufenform und beim 35 nur eine Häufigkeit von 7,7%. Auch hier dominierte die Stäbchenform mit 42,9 % beim 34 und 57,7% beim 35.

Bei den Molaren der linken Seite gab es, genauso wie auf der rechten Seite dann wieder eine erhöhte Häufigkeit der Stufenform bei beiden Geschlechtern.

Im Bereich des ersten Molaren 36 war die Stufenform bei den Frauen in 49,3% und bei den Männern in 47,5% der untersuchten Regionen zu finden. Damit war die Stufenform auch die häufigste Form in dieser Zahnregion bei beiden Geschlechtern.

Im Bereich des zweiten Molaren 37 fand sich die Stufenform bei den Frauen in 73,6% und bei den Männern in 76,2% der untersuchten Regionen. Die Stufenform ist in dieser Region bei beiden Geschlechtern die mit weitem Abstand häufigste Form des Alveolarfortsatzes in der Region 37.

Nach der Betrachtung unter dem Aspekt des Geschlechtes erfolgte eine Analyse unter dem Aspekt des Alters. In die erste Gruppe fielen alle Patienten mit einem Alter bis einschließlich 49 Lebensjahren. In dieser Gruppe hatten die zweiten Molaren als häufigste Form die Stufenform (47 mit 81,3% und 37 mit 78,8%). Bei den ersten Molaren war die Häufigkeit der Stufenform bereits geringer. Für den rechten ersten Molaren 46 war die Stufenform nur noch bei 31,3% der untersuchten Regionen zu finden. Die dominierende Form für diese Zahnregion, in dieser Altersgruppe war die Stäbchenform mit einer Häufigkeit von 56,3%. Im Bereich des linken ersten Molaren 36 war die Hälfte aller ermittelten Formen die Stufenform (Häufigkeit 50%).

In den Prämolarregionen war die Stufenform nur in geringer Anzahl feststellbar. Die Region 45 wies nur in 7,1% der Fälle eine Stufe auf, beim 44 gab es gar keine Stufenform. Das Gleiche galt auch für den 34 mit 0% und beim 35 lag die Häufigkeit der Stufenform bei 5,6%. In den Prämolarregionen beider Kieferhälften war die häufigste Form des Alveolarfortsatzes die Stäbchenform (45 64,3%; 44 66,7%; 34 62,5% und 35 50%).

Die Zweite Gruppe erfasste alle Daten von Patienten zwischen dem 50 und 69 Lebensjahr. Auch hier gab es klare Unterschiede zwischen den Molaren und Prämolarregionen. In der Region des Zahnes 47 war die Stufenform mit 69,2% die häufigste Form und in der Region des 37 war sie das mit 73% ebenso. Für die Region des 46 konnte die Stufenform in 37,3% der betrachteten Alveolarfortsätze ermittelt werden, allerdings dicht gefolgt von der Stäbchenform mit 35,6%. In der Region des 36 dominierte die Stufenform mit 47,6% wieder deutlicher vor den anderen Formen. Für die Region des 45 war die Stufenform mit einer Häufigkeit von 15,9% die am wenigsten anzutreffende Form. Am häufigsten fand sich die Stäbchenform (43,2%). Auf der anderen Kieferseite war die Stufenform im Bereich des 35 die Stufenform gering häufiger anzutreffen mit 17,9%. Auch hier dominierte die Stäbchenform mit 46,2%. Die Bereiche der ersten

Prämolaren zeigten für den 44 nur in 8% der Fälle eine Stufenform und im Bereich des 34 nur 8,3%. Die vorrangigste Form des Alveolarfortsatzes im Bereich der ersten Prämolaren 34 war die Tropfenform (44%) und beim 44, wie auch schon bei den zweiten Prämolaren die Stäbchenform.

In die dritte Gruppe fielen alle Patienten ab dem 70. Lebensjahr. In dieser Gruppe zeigte sich ebenfalls eine Dominanz der Stufenform im Bereich der zweiten Molaren. Sie war in der Region des 47 zu 61,1% auffindbar und in der Region des 37 zu 72,2%. In den Regionen der ersten Molaren fand sich die Stufenform bei annähernd der Hälfte der untersuchten Alveolarfortsätze. (44,4% beim 46 und 50% beim 37). Die andere Hälfte war gleichmäßig zwischen den weiteren Kieferformen aufgeteilt. Im Bereich der Prämolaren spielte die Stufenform eine untergeordnete Rolle. Sie war in den Regionen der zweiten Prämolaren nur sehr gering mit 7,7% für den 45 und 14,3% für den 35 vertreten. In diesen Regionen ist die vorherrschende Form die Stäbchenform. Sie findet sich im Bereich des 45 mit einer Häufigkeit von 53,8% und im Bereich des 35 mit 71,4%. Die Stufenform war im Bereich der ersten Prämolaren nicht auffindbar. Dort dominierte in beiden Kieferhälften die Stäbchenform.

4.4 Die Lage des Nervus alveolaris inferior in Abhängigkeit von der Zahnregion

Die Breite des Alveolarkamms wurde auf Höhe des Canalis mandibularis gemessen und das Ergebnis auf einen Wert von 100% festgelegt. Die Lage des Nervs wurde ausgehend von der vestibulären Kortikalis gemessen und in Prozent umgerechnet. Eine exakt mittige Lage des Nervs ergab somit 50%.

Rechte Seite des Unterkiefers: In der Zahnregion 47 ergab der Mittelwert für alle vermessenen Patienten einen Wert von 64%. Der Nervus alveolaris inferior verläuft in dieser Region eher lingual. Für die Zahnregion 46 lag der Mittelwert bei 60% und zeigte somit ebenfalls einen eher lingualen Verlauf. Im Bereich der Prämolaren nahm der Nervus eine mittige Verlaufsrichtung ein. In der Zahnregion 45 lag er bei 52% und in der Zahnregion 44 bei 49%.

Linke Seite des Unterkiefers: Im Bereich der Molaren verläuft der Nervus tendenziell lingual bzw. mittig (Zahnregion 37 bei 56%; Zahnregion 36 bei 51%). Im Bereich der Prämolaren findet mal einen eher bukkalen Verlauf. (Zahnregion 35 bei 43%; Zahnregion 34 bei 46%).

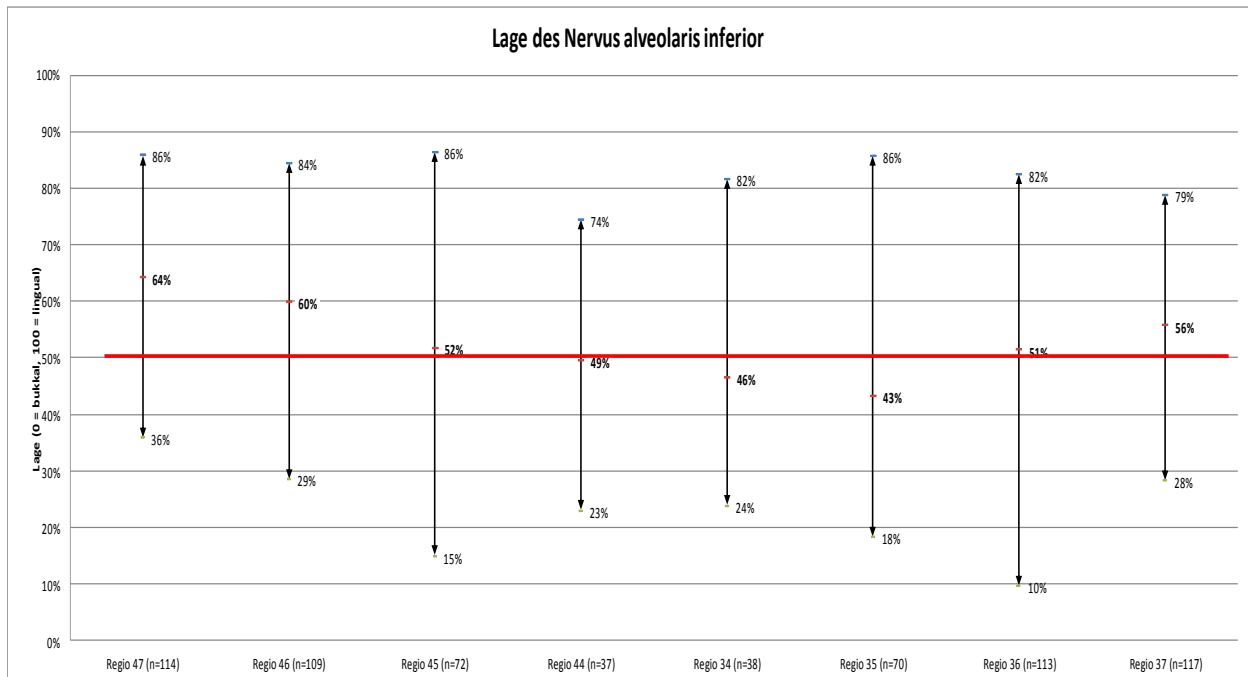


Abb. 34: Lage des Nervus alveolaris inferior (eigene Darstellung)

Für beide Unterkieferhälften ließ sich feststellen, dass der Nervus alveolaris inferior ausgehend von der Region des zweiten Molaren lingual verläuft, sich dann im Bereich des ersten Molaren bzw. zweiten Prämolaren mehr in Richtung Kiefermitte orientiert, um dann im Bereich des ersten Prämolaren seinen Verlauf vestibulär fortzusetzen.

Bei geschlechtsspezifischer Betrachtung der Daten war für den Verlauf des Nervus kein Unterschied zwischen Männern und Frauen auszumachen.

Zur Überprüfung, ob man von der Nervlage einer Zahnregion auf die Nervlage einer anderen Zahnregion, innerhalb einer Kieferhälfte, schließen kann, wurde für die einzelnen Regionen der Korrelationstest nach Pearson (r) durchgeführt. Dieser zeigte auf der rechten Kieferhälfte, dass ein sehr schwacher, signifikanter Zusammenhang der Lage des Nerven zwischen den Zahnregionen 47 ($r = 0,287$; $p < 0,05$) und 46 besteht. Zwischen der Zahnregion 47 zu 45 bzw. 44 konnte kein Zusammenhang nachgewiesen werden. Die Zahnregion 46 hat sowohl zur Zahnregion 45 als auch 44 einen sehr schwachen, nicht signifikanten Zusammenhang bezüglich der Nervlage ($r = 0,23$; $p > 0,05$).

In der linken Kieferhälfte bestand zwischen 37 und 36 ein schwacher, signifikanter Zusammenhang ($r = 0,33$; $p < 0,01$). Es konnte kein Zusammenhang zwischen der Zahnregion 37 mit 35 oder 34 nachgewiesen werden. Zwischen der Zahnregion 36 und 35 gab es einen schwachen, signifikanten Zusammenhang ($r = 0,3$; $p < 0,01$). Die Zahnregion 36 hatte keinen Zusammenhang mit 34. In der Prämolarenregion fand sich zwischen 35 und 34 ein mäßiger, signifikanter Zusammenhang ($r = 0,5$; $p < 0,01$).

Bei geschlechtsspezifischer Betrachtung der Daten war für Zusammenhänge des Verlaufs des Nervens in den verschiedenen Zahnregionen kein Unterschied zwischen Männern und Frauen auszumachen.

Bei Betrachtung der Daten nach Alter sortiert, ergaben sich folgende Ergebnisse:

In der Gruppe der bis 49jährigen, war für die Lage des Nervus alveolaris inferior kein Zusammenhang zwischen den Zahnregionen 47 zu 46, 45, 44 erkennbar.

Der Nerv-Verlauf in der Zahnregion 46 stand im schwachen nicht signifikanten Zusammenhang zum Nerv-Verlauf in der Region des Zahnes 45 ($r = 0,2$; $p > 0,05$). Auffälligerweise gab es einen starken negativen und signifikanten Zusammenhang zwischen den Zahnregionen 46 und 44 ($r = -0,9$; $p < 0,05$). Je näher der Nerv im Bereich der Zahnregion 46 an der lingualen Kortikalis lag, umso so bukkaler lag er in der Region des 44. Zwischen den Regionen des 45 und 44 gab es wieder nur einen mäßigen, nicht signifikanten Zusammenhang ($r = 0,3$; $p > 0,05$).

In der linken Kieferhälfte zeigten sich ähnliche Ergebnisse. Der Nerv-Verlauf in der Region des 34 stand im schwachen, nicht signifikanten Zusammenhang zum Verlauf in den Regionen des 35 ($r = 0,3$; $p > 0,05$) bzw 37 ($r = 0,4$; $p > 0,05$). Zur Region des 36 bestand kein Zusammenhang. Der Verlauf des Nerven in der Region des 35 stand in einem mäßigen, negativen signifikanten Zusammenhang zum Verlauf in der Region des 37 ($r = -0,5$; $p < 0,05$). Je weiter der Nerv im Bereich des 35 bukkal lag, umso weiter lingual verlief er in der Region des 37. Die Regionen 36 und 37 standen in einem mäßigen, signifikanten Zusammenhang ($r = 0,5$; $p < 0,01$). Weitere Zusammenhänge bestanden nicht.

In der Gruppe der 50 bis 69-jährigen, war für die Lage des Nervus alveolaris inferior ein mäßiger signifikanter Zusammenhang zwischen Region 47 und 46 ($r = 0,4$; $p < 0,01$) und zwischen den Regionen 47 und 45 ($r = 0,3$; $p < 0,05$) erkennbar. Zwischen der Region des 46 und des 45 bestand ebenfalls ein mäßiger, signifikanter Zusammenhang (r

= 0,3; $p < 0,05$). Darüber hinaus bestanden keine Zusammenhänge in der rechten Kieferhälfte.

Die Ergebnisse der linken Kieferhälfte ergaben für die Regionen zwischen 34 und 35 einen deutlichen, signifikanten Zusammenhang ($r = 0,6$; $p < 0,01$). Für die Regionen 34 zu 36 ($r = 0,2$, $p > 0,05$) und zu 37 ($r = 0,3$; $p > 0,05$) nur schwache nicht signifikante Zusammenhänge. Zwischen der Region 35 und der Region 36 gab es einen mäßigen, signifikanten Zusammenhang ($r = 0,4$; $p < 0,05$). Zwischen 35 und 37 war der Zusammenhang nur schwach und nicht signifikant ($r = 0,2$; $p > 0,05$). Ausgehend von der Region des 36 zur Region des 37 zeigte sich wieder ein mäßiger, signifikanter Zusammenhang ($r = 0,4$; $p < 0,01$).

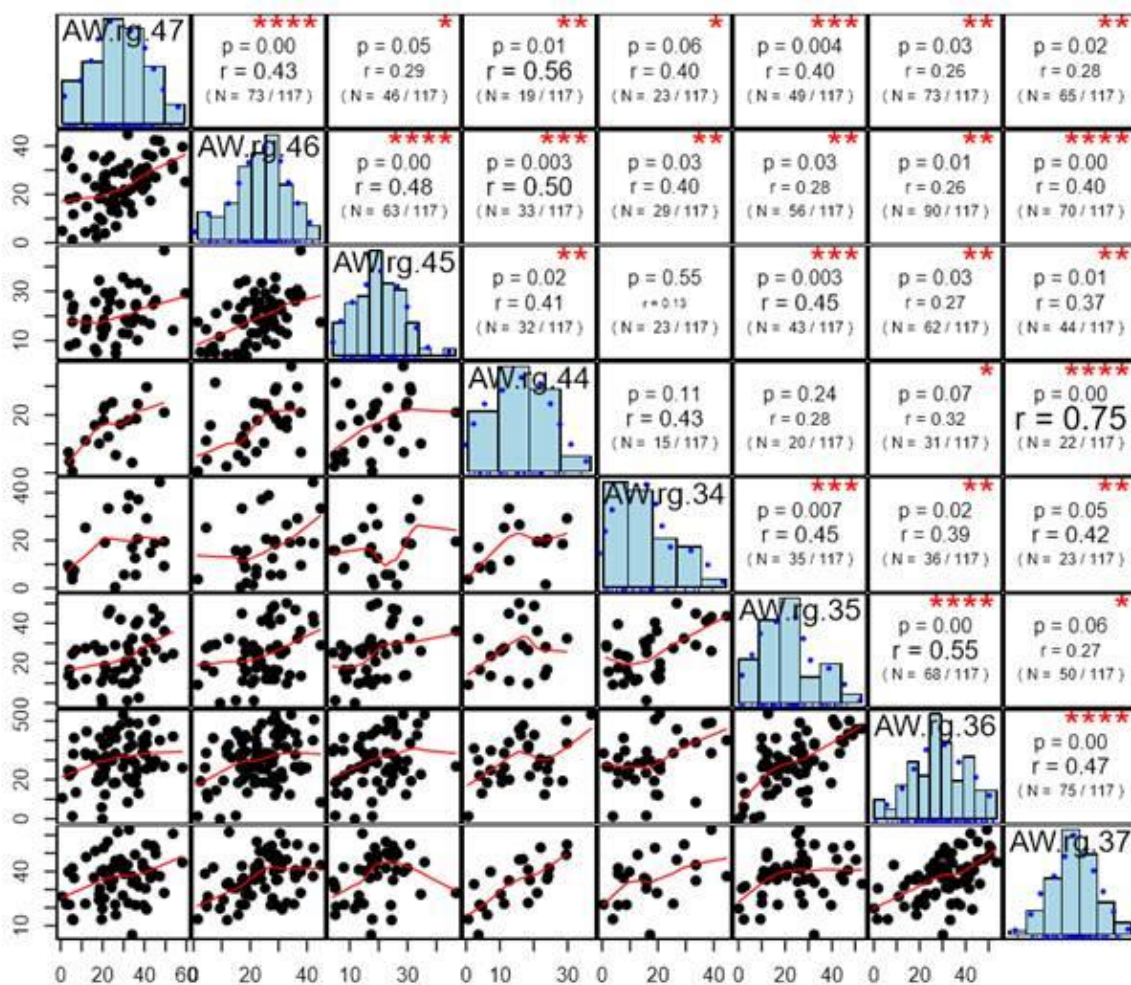
Bei der Altersklasse der über 69-jährigen fanden sich schwache nicht signifikante Zusammenhänge zwischen 47 und 46 ($r = 0,3$; $p > 0,05$) und zwischen 47 und 45 ($r = 0,2$; $p > 0,05$). Zwischen 47 und 44 gab es einen mäßigen aber nicht signifikanten Zusammenhang ($r = 0,5$; $p > 0,05$). Der Verlauf des Nerven in der Zahnregion 46 stand im starken, signifikanten Zusammenhang zum Verlauf in der Region 44 ($r = 0,8$; $p < 0,05$). Je näher der Nerv im Bereich des 46 lingual verlief, umso weiter lingual verlief er auch in der Region 44. Weitere Zusammenhänge fanden sich in der rechten Kieferhälfte nicht.

In der linken Kieferhälfte bestanden zwischen den Zahnregionen nur vereinzelt schwache Zusammenhänge, wobei keiner signifikant war.

4.5 Die Knochen-und Zahnachsen in Abhängigkeit von der Zahnregion

Zur Überprüfung, ob man vom Angulationswinkel eines antagonistischen Zahnpaares auf den Angulationswinkel eines benachbarten Zahnpaares in der gleichen Kieferhälfte bzw. dem Angulationswinkel des Zahnpaares an gleicher Stelle in der gegenüberliegenden Kieferhälfte schließen kann, und wie stark der Zusammenhang der Winkel benachbarter Zähne innerhalb und der gegenüberliegenden Kieferhälfte ist, wurde für die einzelnen Regionen der Korrelationstest nach Pearson durchgeführt. Dabei zeigten sich folgende Ergebnisse:

Regio47-44 UND Regio34-37



AW = Angulationswinkel in Grad bei Implantation unter Längsverlauf des Knochens

Abb. 35: Darstellung der Korrelationswerte für die Angulationswinkel (insgesamt) (eigene Darstellung)

Legende: Sternchen beziehen sich auf den P-Wert; kein Sternchen $P < 1,0$;

* $P < 0,1$; ** $P < 0,05$; *** $P < 0,01$; **** $P < 0,001$

Tab. 12: Darstellung der Korrelationswerte (r), mit Signifikanz; rechte Kieferhälfte (eigene Darstellung)

Zahnregion	47	46	45	44
47	1	0,43 ****	0,29 *	0,56 **
46	0,43 ****	1	0,48 ****	0,50 ***
45	0,29 *	0,48 ****	1	0,41 **
44	0,56 **	0,50 ***	0,41 **	1

In der rechten Kieferhälfte sind sehr schwache bis mäßige Zusammenhänge der Angulationswinkel erkennbar. Es lagen für alle ermittelten Werte Signifikanzen vor, die aufgrund der geringen Fallzahlen aber nicht als aussagekräftig anzusehen waren.

Tab. 13: Darstellung der Korrelationwerte (r), mit Signifikanz; linke Kieferhälfte (eigene Darstellung)

Zahnregion	34	35	36	37
34	1	0,45 ***	0,39 **	0,42 **
35	0,45 ***	1	0,55 ****	0,27 *
36	0,39 **	0,55 ****	1	0,47 ****
37	0,42 **	0,27 *	0,47 ****	1

Die Zahnregionen der linken unteren Kieferhälfte zeigen ebenfalls sehr schwache bis mäßige Zusammenhänge zwischen den Angulationswinkeln antagonistischer Zähne. Für die ermittelten Werte liegen, mit Ausnahme von Region 35 zu Region 37, Signifikanzen vor, die aufgrund der geringen Fallzahlen kritisch zu betrachten sind.

Tab. 14: Darstellung der Korrelationwerte (r), mit Signifikanz; Vergleich rechte/linke Kieferhälfte (eigene Darstellung)

Zahnregion	34	35	36	37
44	0,43	0,28	0,32 *	0,75 ****
45	0,13	0,45 ***	0,27 **	0,37 **
46	0,40 **	0,28 **	0,26 **	0,40 ****
47	0,40 *	0,40 ***	0,26 **	0,28 **

Die Betrachtung gegenüberliegender Zahnregionen ergab ebenfalls nur sehr schwache bis mäßige Zusammenhänge der Angulationswinkel; mit zum Teil schwacher Signifikanz. Ausschließlich für die vergleichende Betrachtung von Region 44 mit Region 37 lag ein starker Zusammenhang vor, der mit $p \leq 0,001$ auch stark signifikant war.

Es erfolgte bei diesen Daten keine geschlechtsspezifische Trennung und Auswertung. Die Fallzahlen für die einzelnen Zahnregionen wären so gering, dass die Korrelationswerte keine Aussagekraft hätten.

5 Diskussion

Kritiker bemängeln heute im „Zeitalter der Dentalen Volumentomographie“, dass eine zweidimensionale Darstellung des dreidimensionalen Gesichtsschädels mittels der konventionellen 2D-Technik heute nicht mehr *lege artis*, ist da diese nur eine eingeschränkte Aussage über die räumlichen Verhältnisse zulässt (Haßfeld & Rother 2008). So kann es vor allem durch eine schlechte Aufnahmetechnik zu Unschärfen, Vergrößerungen, Doppelkonturen und Distorsionen kommen. Allerdings kann bis dato bei 2500 gemeldeten DVT-Geräten in zahnärztlichen Praxen in der gesamten BRD noch nicht von einem verfügbaren Standard gesprochen werden (72). In einfachen und Routinefällen kann das PSA in der Präoperativen Phase der Implantation im posterioren Bereich der Mandibular sicher eingesetzt werden (73). Daher hat auch die PSA als diagnostisches Tool zur Bestimmung dentofazialer Relationen bis heute noch nicht an Bedeutung verloren (72). Aus diesem Grunde versteht sich die vorliegende empirische Untersuchung als Entscheidungshilfe, die grundsätzliche Indikation von DVT Aufnahmen für die Therapieplanung von Implantat-Versorgungen zu diskutieren.

Insbesondere, da nur ein ausreichend dimensionierter Alveolarfortsatz die Grundvoraussetzungen für die optimale enossale Insertion eines Implantates darstellt.

5.1 Die Dimension des Alveolarfortsatzes

Der Verlust der Zähne führt im Alveolarfortsatz zu Umbauprozessen, die ihre höchste Resorptionsrate innerhalb des ersten Jahres haben. Es zeigen sich bereits 15 Wochen nach der Extraktion der Zähne ausgedehnte vertikale und transversale Resorptionen (69).

5.2 Zusammenhang zwischen Höhe und Breite des Alveolarfortsatzes

Nach der Extraktion der Zähne kommt es zu starken Veränderungen des Alveolarknochens. Unter anderem nehmen die Breite und die Höhe der bukkalen Knochenwand ab (74). Um eine erfolgreiche und langfristige Osseointegration in die Extraktionsalveole zu erreichen, ist oftmals eine Knochenaugmentation erforderlich. Die Dimensionen des Alveolarkammes vor der Extraktion sind für das Ausmaß der Knochenresorption nach der Extraktion prognostisch signifikant und wichtig für die Wahl der Therapie (75).

Dass die Kenntnis über die Alveolarkammdimension wichtig für die Implantation ist, wurde von Braut, Bornstein, Belser und Buser bereits 2011 in einer Studie belegt (76).

Der Hartgewebsverlust ist nach einer Zahnextraktion koronal am Alveolarkamm am ausgeprägtesten. Es geht sowohl von der Höhe als auch von der Breite des Alveolarfortsatzes Substanz verloren; ohne Linearität zwischen beiden Parametern.

Die für diese Dissertation erhobenen und ausgewerteten Daten bezüglich eventuell vorhandener Zusammenhänge zwischen Höhe und Breite des Alveolarfortsatzes der Mandibula zeigten ohne Limitierung von Alter und Geschlecht für die zweiten Molaren keine Zusammenhänge. Das gilt sowohl für den Bereich in direkter Nähe zum Nervus alveolaris inferior als auch für das Niveau des Sicherheitsabstandes von 2 mm kranial vom Mandibularkanal. Für die ersten Molaren war nur für den Bereich des Sicherheitsabstandes ein signifikanter Zusammenhang herzustellen, der sich in Nervennähe aber nicht mehr finden ließ. Die zweiten Prämolaren wiesen in Nervennähe ebenfalls keinen Zusammenhang auf. Für das Niveau des Sicherheitsabstandes ließ sich hingegen ein signifikanter Zusammenhang feststellen. Nur für die ersten Prämolaren ließ sich in beiden Messbereichen ein schwacher bis mäßiger Zusammenhang ermitteln. Eine Signifikanz bestand dabei allerdings nur im Bereich des Sicherheitsabstandes.

Die lediglich nur schwachen Zusammenhänge zwischen Höhe und Breite des Alveolararkammes in den einzelnen Zahnregionen zeigen deutlich, wie wichtig die genaue Diagnostik und Darstellung des Processus alveolaris vor Beginn einer implantologischen Therapie ist. Als Standardverfahren für die präimplantologische Diagnostik wird zumeist die Panoramaschichtaufnahme genutzt. Diese zweidimensionale Aufnahmetechnik gibt dem Chirurgen jedoch keine Informationen über die dritte Ebene. Eine Beurteilung der Breite des Alveolarfortsatzes ist nicht möglich. Aufgrund der Ergebnisse dieser Studie ist es nicht empfehlenswert von der ermittelbaren Höhe im PSA auf die Breite zu schließen. Dem implantierenden Zahnarzt wird bei der Betrachtung einer Panoramaschichtaufnahme eine für die Implantation genügend vorhandene Knochenhöhe „vorgegaukelt“. Er erhält keine Informationen über die vorhandene Breite. Sollte er sich darauf verlassen, dass ein augenscheinlich hoher Knochen auch breit genug ist, kann es schnell zu Perforationen der lateralen Kompakta kommen, welche mit starken Verletzungen der umgebenden Weichgewebe und/oder ungenügender Primärstabilität des Implantates einhergehen können. Bei einer Perforation der linguale Kortikalis des Unterkiefers kann es zur Verletzung der Gefäße des Mundbodens kommen. Diese können sich leicht zu lebensbedrohlichen Blutungen entwickeln (77). Derartige starke Blutungen

breiten sich sehr schnell im Mundboden aus und führen schlimmstenfalls zur Verlegung der Trachea. Sie können nur durch einen chirurgischen Eingriff wieder behoben werden. Deshalb ist es unabdingbar, dass jeder implantologisch tätige Chirurg und Zahnarzt Kenntnisse über diese Komplikationen und deren Handhabung hat (78). Solche traumatischen Komplikationen sind selten. Trotzdem werden einige Fälle in der Literatur beschrieben. Weibrich et al. berichten von einer lebensbedrohlichen intraoperativen Blutung aus der Arteria sublingualis. Ihr Verlauf ist sehr variantenreich und nicht immer zu diagnostizieren. Besonders gefährdet ist sie bei einer Perforation der linguale Korkalis des Processus alveolaris inferior im Unterkiefer (79).

Nur eine Betrachtung der dritten Dimension mittels einer DVT-Aufnahme gibt Aufschluss über die vorhandene Breite und Form des Processus alveolaris.

Die Ermittlung der Abmessungen des Alveolarfortsatzes mittels der DVT ist wertvoll und hilft entscheidend bei der präimplantologischen Behandlungsplanung und zur Vermeidung lebensbedrohlicher Komplikationen (75).

5.3 Altersabhängigkeit der Form des Alveolarfortsatzes

Eine schwere, wenn auch sehr seltene Komplikation ist die Fraktur der Mandibula nach der Insertion von Implantaten. Besonders ältere Menschen mit einer starken Atrophie des Knochens sind gefährdet (80) (81) (82). Als Ursachen solcher Frakturen werden falsche oder zu starke okklusale Belastungen im Bereich der noch nicht osseointegrierten Implantate diskutiert. Der Abbau des Unterkieferalveolarfortsatzes durch Osteomyelitis erhöht die Frakturgefahr bei Patienten mit geschwächtem Immunsystem (78) (83). Aber auch die Osseointegration der Implantate läuft im zunehmenden Alter verzögert ab. Sie ist jedoch die Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Implantatversorgung (84).

5.4 Geschlechtsabhängigkeit der Form des Alveolarfortsatzes

Eine selektive Betrachtung der Daten nach dem Geschlecht der gescannten Patienten zeigte folgendes Bild: Bei den Frauen fand sich in der rechten Kieferhälfte sowohl im Molar- als auch im Prämolarenbereich kein signifikanter Zusammenhang zwischen Höhe und Breite des Alveolarfortsatzes in direkter Nervennähe. In der linken Kieferhälfte waren in Nähe des N. alveolaris inferior nur sehr schwache bis schwache Zusammen-

hänge zu finden, die ebenfalls keine Signifikanz aufwiesen. Für den Bereich des Sicherheitsabstandes von 2mm kranial des Canalis mandibularis gab es mäßige, signifikante Zusammenhänge (Regio 46, 45, 35), sehr schwache bis schwache Zusammenhänge, die teilweise signifikant waren (Regio 47, 44, 34, 36) und keine Zusammenhänge, ohne Signifikanz (Regio 37).

Bei den Männern waren mäßige Zusammenhänge ohne Signifikanz im Bereich des ersten Prämolaren der rechten Seite in beiden Messbereichen zu finden. Für den ersten Prämolaren der linken Seite fanden sich keine Zusammenhänge. In allen anderen Regionen fanden sich sowohl auf der rechten als auch auf der linken Kieferseite entweder nur sehr schwache nicht signifikante Zusammenhänge, oder gar keine. Lediglich in der Region des Zahnes 36 zeigte sich auf dem Niveau des Sicherheitsabstandes, ein mäßiger, signifikanter Zusammenhang.

Diese Ergebnisse zeigen deutlich, dass für eine erfolgreiche Implantation eine genaue Diagnostik des Alveolarfortsatzes unerlässlich ist. Selbst bei direkt nebeneinanderliegenden Zahnregionen fanden sich zum Teil völlig unterschiedliche Ergebnisse. Die Beurteilung des Processus alveolaris lediglich anhand einer Panoramaschichtaufnahme erscheint bei Betrachtung der ermittelten Ergebnisse als äußerst fragwürdig. Die häufigste Komplikation und damit Quelle böser Überraschungen findet sich in der täglichen Praxis, wenn sich in der PSA scheinbar genügend vertikaler Knochen darstellt, dieser intraoperativ jedoch nicht vorhanden ist und kein Halt des Implantats gewährleistet werden kann (78) (83). Dann gerät nicht nur das ganze Therapiekonzept durcheinander, sondern es entstehen durch die Erweiterung des Eingriffes auch höhere Kosten für den Patienten. Um derartigen Komplikationen vorzubeugen, ist bei der Implantat-Planung eine dentale Volumetomographie zur genaueren Diagnostik der vorhandenen Knochenverhältnisse sinnvoll (85).

5.5 Die krestalen Knochendimensionen

Der krestale Knochen ist anatomisch der Teil des periimplantären Knochens, der am weitesten koronal liegt – also der marginale Rand. Die Beschaffenheit und Widerstandsfähigkeit dieses Knochens ist ein wichtiger Prognosefaktor für den Erfolg einer Insertion eines Implantates (86). In der vorliegenden Arbeit war der Verlust dieser Knochenstruktur im Prämolarenbereich des Unterkiefers im Verhältnis zum ursprünglich krestalen Knochenniveau mit mehr als 2 mm am ausgeprägtesten.

Die Atrophie-Tendenz des marginalen Knochenrandes und damit der potenzielle peri-implantäre Knochenabbau variiert in Abhängigkeit davon, welches Implantatsystem inseriert wird. Als Einfluss nehmende Faktoren werden die Position des Implantates, die Größe, die Geometrie und die bakterielle Besiedelung des Implantatspaltes beschrieben (87). Auch das Implantatdesign (der Übergang zwischen Implantat und Abutment) und die daraus resultierenden Belastungskräfte nehmen Einfluss auf die krestalen Knochenverhältnisse (88).

Bemerkenswert ist, dass den krestalen Knochenresorptionen zumeist keine Entzündungsreaktion vorausgeht (86).

5.6 Die Höhe des Alveolarfortsatzes in Abhängigkeit von Zahnregionen

Wenn in der zahnärztlichen Praxis eine prothetische Versorgung mittels eines Implantates zur Diskussion steht, so findet der Zahnmediziner in wenigen Fällen ein ideales Implantatlager vor. Aufgrund des Alters des Patienten und/oder einer parodontalen Vorschädigung ist das Knochenlager oftmals vertikal und horizontal reduziert (relative Kontraindikation). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit geben Hinweis darauf, dass die für eine Insertion erforderliche Höhe des Unterkieferalveolarfortsatzes vom Bereich der zweiten Molaren bis zu den ersten Prämolaren relativ kontinuierlich abnimmt. Vergleichbare Studien, die die Verhältnisse in beiden Kiefern einbeziehen, sehen eine besonders kritische Region im subantralen Kieferbereich im Oberkiefer. Eine aktuelle Studie der Autoren Schlichting et al. hat die Orthopantomogramm-Aufnahmen (OPG) von 2837 Patienten anhand von mehr als dreieinhalbtausend Messpunkten vermessen und ist zu dem Resultat gelangt, dass mehr als die Hälfte der Studienteilnehmer (57,43 %) eine subantrale Kieferkammhöhe von 4 mm oder sogar noch weniger aufweisen. Drei von vier Patienten erreichten eine Kieferkammhöhe im Normbereich (6 bis 10 mm) in dieser Region nicht. Die folgende Grafik veranschaulicht das Verteilungsmuster der Kieferkammhöhen nach Patientengruppen (s. Abb. 47).

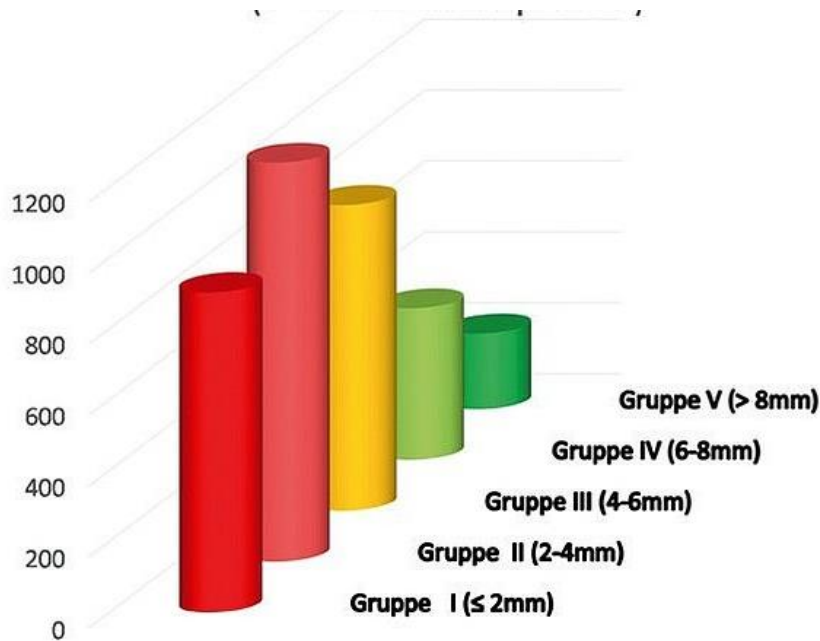


Abb. 36: Verteilungsmuster der Kieferkammhöhen in absoluten Zahlen (n = 3528 Messpunkte) (89 S. o. S.)

Dabei wird ersichtlich, dass die meisten Patienten eine subantrale Kieferkammhöhe von nur zwei bis vier Millimetern aufweisen. An zweiter Stelle steht die Gruppe mit einer Höhe von vier bis sechs Millimetern. Die zahlenmäßig starke Repräsentation der dritten Gruppe mit einer geringeren Kieferkammhöhe als zwei Millimetern verdeutlicht die Problematik.

5.7 Die Höhe des Alveolarfortsatzes in Abhängigkeit von der Querschnittsform des Knochens

Die vorliegende Arbeit unterscheidet hinsichtlich der Querschnittsform des Unterkieferalveolarfortsatzes die Formen: stufenförmig, stäbchenförmig und tropfenförmig. Die Unterteilung wurde aufgrund der Hypothese getroffen, dass sich aufgrund der Form des Knochens ableiten lassen könnte, ob mit einer ausreichenden Höhe des Knochens für eine Implantation zu rechnen sei. Es ergaben sich jedoch keine statistischen Beweise, die diese Korrelation bestätigten.

5.8 Die Stufenbildung im Molarbereich des Unterkiefers in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter

Die Ergebnisse der Zuordnung zu den drei Querschnitten des Alveolarfortsatzes geben bei den Formen des Unterkieferalveolarfortsatzes Hinweis darauf, dass die interindividuelle Variation sehr ausgeprägt ist. Dabei war die Stufenform in der Unterkiefer-Molarenregion für beide Geschlechter und in allen Altersgruppen die dominierende Form. Allerdings ließ sich aus der äußeren Form nicht automatisch ableiten, ob das vorhandene Knochenangebot für eine Insertion eines Implantates besser oder weniger gut geeignet war. Daher ist eine Indikationsstellung aufgrund des Knochenumrisses in einem zweidimensionalen Röntgenbild nicht zu empfehlen.

5.9 Die Lage des Nervus in Abhängigkeit von der Zahnregion

Eine mögliche Verletzung des Nervus alveolaris inferior stellt ein bekanntes Risiko bei Operationen im Unterkiefer dar. Iatrogene Läsionen des Nervs können durch Einwirkungen wie Schnitt-, Hebel-, Fräs-, und Bohrverletzungen entstehen; aber auch durch Traktion bzw. Kompression des Nerven (25).

Die Schädigung des Nervus alveolaris inferior kann von einer schmerzhaften Überempfindlichkeit, über eine Hypästhesie bis zum dauerhaften Ausfall der Sensibilität im Innervationsbereich führen; einschließlich des Kinnbereiches, der Unterlippe und des Lippenrotes. Aus diesen Gründen ist das Wissen über die genaue Lage des Nervus alveolaris inferior bei allen chirurgischen Maßnahmen im Unterkiefer extrem wichtig.

Der Verlauf des Nerven durch die Mandibula kann sowohl in der vestibulär-lingualen als auch in der superior-inferioren Position variieren.

Die in dieser Studie ausgewerteten Daten zeigen, dass es keine Verallgemeinerung für den Verlauf des Nervus alveolaris inferior geben kann. Es gibt vielmehr eine Vielzahl von Variationen im Verlauf des Nervus alveolaris und selbst zwischen direkt benachbarten Zahnregionen ist es nicht möglich auf den Verlauf des Nerven zu schließen. In den einzelnen Zahnregionen konnte meist nur ein schwacher bis mäßiger Zusammenhang, mit oder ohne Signifikanz in Bezug auf den Verlauf des Nerven festgestellt werden. Deshalb ist es für eine Implantation unabdingbar die genaue Lage des Nerven in jeder einzelnen Zahnregion zu ermitteln. Als Standardverfahren wird zumeist ein PSA angefertigt und mit anderen Aufnahmetechniken kombiniert. Eine Aufbißaufnahme bzw. die Aufnahme nach Clementschitsch kommen zur Darstellung des Nervus alveolaris inferior

in Betracht. Diese zweidimensionalen Aufnahmen dienen dazu, das ebenfalls zweidimensionale PSA um eine zweite Ebene zu ergänzen. Dreidimensionale anatomische Strukturen werden dabei durch den Summationseffekt überlagernd abgebildet (90). Darüber hinaus ist es in der Praxis oft schwierig, die Aufnahmen in der diagnostisch relevanten Position exakt zu treffen. Dadurch werden häufig Wiederholungs- oder Zusatzaufnahmen notwendig, die sowohl höhere Kosten als auch eine unnötige Strahlenexposition des Patienten verursachen (33).

Die DVT bietet eine gute dreidimensionale Darstellung, welche zudem Überlagerungs- und verzerrungsfrei ist. Laut Röntgenverordnung wird die DVT dem zahnärztlichen Röntgen zugeordnet. Dadurch besteht die Möglichkeit diese Technik in der Zahnarztpraxis zu implementieren. Zudem ist eine direkte Verfügbarkeit des Röntgenbildes nach erfolgter Aufnahme gegeben (90).

5.10 Knochen-und Zahnachsen in Abhängigkeit von der Zahnregion

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit belegen, dass eine Abwinkelung des Abutments im Unterkieferseitenzahnbereich notwendig ist, um eine Kongruenz von Knochen- und Zahnachsen zu erreichen.

Die standardmäßig verfügbaren Abwinkelungen variieren je nach Hersteller und Material und sind meist zwischen 0 Grad und 30 Grad verfügbar. Rein keramische Abutments haben jedoch bei allen Fabrikaten eine maximale Abwinkelung von 25° und daher einen eingeschränkten Indikationsbereich.

5.11 Diskussion der Methoden

5.11.1 Patientengut

Das Patientengut der vorliegenden Arbeit rekrutiert sich aus den Überweisungen von zahlreichen implantologisch tätigen Zahnärzten in ein dentalradiologisches Institut. Daher hat möglicherweise eine Selektion von Patienten dahingehend stattgefunden, dass die Zahnärzte nur diejenigen Fälle zum DVT überwiesen haben, bei denen die anatomischen Verhältnisse in der angestrebten Implantat-Region schwierig, grenzwertig und/oder strittig waren. Leider lässt sich diese Vermutung im Nachhinein aufgrund der fehlenden Informationen nicht mehr überprüfen. Obwohl die Verteilung der Geschlech-

ter nicht ausgeglichen war (42 männliche und 75 weibliche Studienteilnehmer) und auch die numerische Gruppengröße der Alterskategorien variierte, kann man davon ausgehen, dass das Patientengut in dieser Hinsicht repräsentativ für die Gruppe von Patienten gewertet werden kann, die typischerweise eine Implantat-Versorgung nachfragen. Die Entwicklung der oralen Implantologie ist in den letzten Jahrzehnten von einer kontinuierlichen Erweiterung der Indikationsstellung geprägt. Dies war zum einen durch die Optimierung der Implantat-Materialien, der Implantat-Formen und der augmentativen Verfahren möglich. Zum anderen erfolgte eine Indikationsausweitung hinsichtlich der für diese Versorgungsform in Frage kommenden Patienten und durch eine Schwerpunktverlagerung der Implantat-Anwendung von zahnlosen Patienten zu teilbezahnten Patienten (91). Daher entsprechen auch die Inklusionskriterien der vorliegenden Studie (einseitige oder beidseitige Freisituierungen, bzw. Schatlücken) den zu erwartenden häufigsten Diagnosen (40).

Das Durchschnittsalter der gesamten Patientenkohorte lag bei etwas über 60 Jahre. Dies entspricht der Tendenz, dass auch die Implantat-Patienten zunehmend älter und damit leider auch multimorbider werden (92). Bereits heute liegt der Anteil der Patienten in einer deutschen zahnärztlichen Durchschnittspraxis, die bei der Anamneseerhebung mindestens eine systemische Erkrankung angeben, bei über 50 Prozent (30). Unter Risikopatienten versteht man in der oralen Implantologie Patienten, bei denen aufgrund einer allgemeinmedizinischen Vorerkrankung und / oder einem reduzierten Gesundheitszustand des Kausystems trotz einer lege artis ausgeführten Behandlung eine hohe Komplikationsrate erwartet werden muss (93). Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Modellrechnung der Zunahme bestimmter chronischer Erkrankungen bis zum Jahr 2025 auf der Basis der Abrechnungsdiagnosen (94).

Krankheit	Patienten 2008 (abs.)	Zunahme 2008–2025
Demenz	124.162	33,9 %
Herzinsuffizienz	194.161	26,9 %
M. Parkinson	35.995	26,8 %
Niereninsuffizienz	128.305	22,8 %
Delir/Enzephalopathie	14.550	22,6 %
Vorhoffarrhythmie	136.178	22,2 %
Apoplex	131.220	21,4 %
Ischämische Herzkrankheit	446.189	21,1 %

Abb. 37: Prognostizierte Zunahme chronischer Erkrankungen (56, S. 182)

5.11.2 Systematische Fehler

Zu den methodischen Besonderheiten einer empirischen Untersuchung von DVT Aufnahmen gehören nicht nur patientenimmanente Faktoren, sondern auch systematische Fehlerquellen.

Die Anfertigung der in dieser Studie vermessenen DVTs erfolgte durch die DVT-Geräte „MESANTIS line“ (Sonderedition Fa. ISI, Inc., Hatfield, USA) und dem iCAT classic (Fa. ISI, Inc., Hatfield, USA). Die DVT- Aufnahmen wurden mit der 3D-Imaging-Software In vivo 5.0 (Anatomage Inc., San Jose, Californien) vermessen. Zur Bearbeitung der Aufnahmen wurde die Grafikworkstation Fujitsu Celsius mit NVIDIA Grafikkarte, mit der Software Invivo 5.0 genutzt und ein EIZO – Befundungsmonitor Radiforce MX240 mit einer Bildschirmauflösung von 1920 x 1200.

Kennzeichen von systematischen Fehlern ist, dass sie immer mit dem gleichen Wert auftreten, sofern die Bedingungen der Messung nicht verändert werden. Sie sind systemimmanent und damit objektiv nicht zu vermeiden. Eine Korrektur kann nur dann erfolgen, wenn die Messmethode verbessert wird (95).

Ein Maß für die Annäherung des gemessenen Wertes an den objektiven physikalischen Wert ist die Validität. Sie beschreibt, in wie weit die Messung und das Merkmal sich tatsächlich entsprechen (96). Wollte man die Validität einer DVT-Aufnahme überprüfen, so müsste man theoretisch die Messergebnisse der Aufnahme mit Messungen am knöchernen Schädel des jeweiligen Patienten vergleichen. Da dies beim lebenden Objekt

jedoch nicht möglich ist, kann die Validität der Messdaten der vorliegenden Arbeit streng genommen nicht beurteilt werden (95). Direkte Messungen werden lediglich im Rahmen von kranio-metrischen Studien im Fachbereich der Anthropologie, der Ethnologie und in der forensischen Medizin durchgeführt. Die dentale Volumentomographie ist jedoch ein indirektes Verfahren, welches die Daten nicht in situ erfasst und somit theoretisch mit einem systematischen Fehler behaftet ist (95).

Dieser Fehler bezieht sich in erster Linie auf die systemimmanente Rekonstruktion der Aufnahmen, die unvermeidlich zu Artefakten führen. „Typisch sind hierbei Auslöschungs- und Aufhärtungsartefakte bedingt durch hochdichte Strukturen (z. B. metallische Restaurationen) in Strahlengangsrichtung“ (68). Dadurch können nah beieinanderliegende Strukturen unter Umständen schlecht abgrenzbar sein und /oder es können pathologische Strukturen vorgetäuscht werden. Auch kann es zu Mustern oder Streifen im Bild kommen, die Allasing-Artefakte oder Moire-Muster genannt werden (97). Da die herkömmlichen Geräte bisher immer noch relativ lange Umlaufzeiten benötigen, kann es zu Verwacklungen kommen, die zunehmen, je höher die Ortsauflösung gewählt wird (68). Für die Planung eines Implantates sind in erster Linie lineare metrische Messungen notwendig. Ihre Genauigkeit korreliert mit der Orts- und der Kontrastauflösung und mit dem Signal-Rauschverhältnis. Aktuelle Studien weisen für die genutzten DVT Geräte maximale relative Fehler von nur 3 bis 8 Prozent aus (68). Umgerechnet heißt das, dass sich bei einer Strecke von 10 Millimetern ein Fehlerbereich von 0,5 Millimetern ergibt.

Allerdings wurde in zahlreichen Studien nachgewiesen, dass dieser Fehler im Vergleich zur konventionellen Röntgentechnik als sehr klein einzustufen ist. Der systematische Fehler kann durch die 3D-Kephalometrie extrem minimiert werden, da bei der Vermessung eines virtuellen Schädels im Raum kaum Projektionsfehler und Überlagerungseffekte auftreten (95).

Somit kann man davon ausgehen, dass die zum System passende Software Invivo 5.0 eine genaue Rekonstruktion der Datensätze in axialer, sagittaler und koronarer Ebene ermöglichte. Darüber hinaus war es mit dieser Software möglich, aus den erfassten 3D Volumen eine, beziehungsweise mehrere der Panoramaschichtaufnahme nachempfundenen Schicht(en) herauszurechnen. Da es sich bei dieser „errechneten“ PSA, um aus dem 3D-Volumen „herausgeschnittene“ Volumenpixel handelt, ist sie hinsichtlich Auflösung, Strahlenexposition, Artefakt-Anfälligkeit usw. völlig identisch mit der zugrunde liegenden 3D-Aufnahme (69).

5.11.3 Zufällige Fehler

Kennzeichen von zufälligen Fehlern sind, dass sie entweder durch eine Veränderung der Messbedingungen und/oder durch die fehlende Sachkenntnis des Ausführenden entstehen. Sie sind personenabhängig und damit zwar nicht gänzlich zu vermeiden – jedoch nach Möglichkeit zu minimieren.

Zur Beurteilung von zufälligen Fehlern werden Messungen mehrmals wiederholt und die Streuung der Ergebnisse um einen Mittelwert beurteilt. Zufällige Fehler können subjektbezogen immer von derselben Person produziert werden, oder von verschiedenen Ausführenden, die eine Messung vornehmen. Obwohl zufällige Fehler den Mittelwert einer ausreichend großen Stichprobengröße nicht beeinflussen, wird die Varianz vergrößert und damit auch die Standarddeviation. Bezogen auf die für die Studie genutzten DVT Aufnahmen gehört die Reproduzierbarkeit der Referenzpunkte für die Positionierung zu den möglichen Fehlerquellen. Probleme bei der Identifikation von Bezugspunkten und/oder Bezugsebenen wurden bereits in diversen kephalometrischen Studien beschrieben (96).

Eine Möglichkeit zur Abschätzung des systematischen Fehlers ist die Berechnung des Methodenfehlers nach Dahlberg. Der Dahlberg-Koeffizient ist ein Maß dafür, wie zuverlässig die einzelnen Messungen bei einer mehrmaligen Messung reproduziert werden können. Wenn dieser Koeffizient in keinem der Fälle größer als 1 ist, so ist der methodische Fehler sehr klein (98).

Die Ausrichtung der Patienten im DVT-Gerät erfolgte standardgemäß vertikal nach der Okklusionsebene und sagittal nach der Erfassung der Nasenspitze und der Referenzpunkte „Porion rechts und links“. Für die Bezugspunkte Nasenspitze und Porion wurde in früheren Studien bereits eine hohe Messgenauigkeit der Referenzpunkte ermittelt (99). Dies trifft für die Okklusionsebene nicht in gleichem Maße zu. Eine leichte Neigung dieser Ebene kann bereits zu einer differierenden Positionierung des Patienten führen. Da die DVT Aufnahmen nicht alle von der gleichen Person angefertigt wurden, ist es hier möglicherweise zu zufälligen Fehlern bei der standardmäßigen Ausrichtung der Patienten gekommen, die schlecht zu kalkulieren sind, da sie nicht systematisch erfolgten.

5.12 Fazit der Diskussion

Zusammenfassend lassen sich die ersten drei Arbeitshypothesen der vorliegenden empirischen Studie nicht bestätigen. Es wurden weder statistisch belegbare direkte Zusammenhänge zwischen der gemessenen Höhe und Breite des Alveolarfortsatzes noch seiner Form gefunden. Die gemessenen Höhen des Alveolarfortsatzes in Abhängigkeit von der Zahnregion im korrigierten PSA und im DVT stimmten nicht zuverlässig überein. Auch die Korrelationsuntersuchungen mit dem Alter und dem Geschlecht der Testpersonen lassen keine klaren Zuordnungen zu.

Die vierte Hypothese, dass die Lage des Nervus alveolaris inferior sich im Alveolarfortsatz einer Kieferhälfte in den einzelnen Zahnregionen unterscheidet, wurde in vollem Umfang bestätigt. Dieses Ergebnis unterstreicht die Kernaussage, dass eine dreidimensionale Darstellung dringend geboten ist, wenn man das Risiko einer Nervschädigung durch die Insertion eines Implantates minimieren möchte.

5.13 Schlussfolgerungen und Ausblick

In der Zusammenschau der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wird deutlich, dass die Anatomie des menschlichen Unterkiefers sehr komplex ist und interindividuell erheblich variiert. Sowohl die erforderliche Höhe als auch die Breite des Alveolarfortsatzes und auch der notwendige Sicherheitsabstand zum Verlauf des Nervus alveolaris lassen sich lediglich anhand von zweidimensionalen Darstellungen nicht mit der gebotenen Sicherheit diagnostizieren. Vor dem Hintergrund der potenziellen Schäden, die eine missglückte Insertion eines Implantates aufgrund eines mangelnden Knochenangebotes auslösen kann, ist daher die Anfertigung einer DVT in jedem Falle dringend anzuraten. Paragraph 23 der Röntgenverordnung (RöV) fordert im Wortlaut der rechtfertigenden Indikation, dass „der gesundheitliche Nutzen der Anwendung am Menschen gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegen sollte“. Im Rahmen der vorliegenden empirischen Studie wurde dieser Nutzen durch den Vergleich der diagnostischen Zuverlässigkeit und Aussagekraft von zweidimensionalen Darstellungen mit den erweiterten diagnostischen Möglichkeiten von DVT-Aufnahmen nachgewiesen. Es gibt bisher noch zu wenige Vergleichs-Studien, die den tatsächlichen diagnostischen Vorteil im Vergleich zu herkömmlichen zweidimensionalen Projektionsverfahren evidenzbasiert belegen (47). Hier sind

zukünftig noch entsprechende weitere Studien mit entsprechend größeren Patientenkohorten zu erwarten.

Die vorliegende Arbeit bestätigt die These, dass durch eine Implantatplanung mit Hilfe einer genauen dreidimensionalen Darstellung das vorhandene Knochenangebot bestmöglichst genutzt werden und ein individuell geeignetes Implantatdesign ausgesucht werden kann. Vor allem können so „Defizite im vorhandenen Gewebeangebot detektiert und die Notwendigkeit von Augmentationen/ Distractionen/ implantatbettvorbereitenden Maßnahmen vorausschauend erkannt sowie ggf. entsprechende Maßnahmen geplant werden“ (68 S. 8).

Die DVT-Technik bietet zudem, über eine präzise Diagnosemöglichkeit der knöchernen Ausgangssituation der angestrebten Region der Insertion hinaus, den entscheidenden Vorteil, dass eine dreidimensionale Visualisierung der Behandlungsplanung in Form von Planungsschablonen möglich wird. Hierdurch können die geplanten Maßnahmen bereits im Vorfeld softwarebasiert simuliert und auch evaluiert werden. Dafür werden computerbasiert Bohrschablonen gefertigt, die die dreidimensional erfassten anatomischen Verhältnisse in die Operationsrealität übertragen (68). Die ersten klinischen Erfahrungen mit dieser Technik sind sehr vielversprechend. Umfassende Studien, die die klinische Evidenz nachweisen, stehen jedoch noch aus.

6 Literaturverzeichnis

1. Özalp, Ö, et al. Comparing the precision of panoramic radiography and cone-beam computed tomography in avoiding anatomical structures critical to dental implant surgery: A retrospective study. *Imaging Science in Dentistry*. 2018, 48, S. 269-275.
2. Ali, S.A., et al. Implant rehabilitation for atrophic maxilla: a review. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*. 2014, 14, S. 196-207.
3. Jaju, P.P. und Jaju, S.P. Clinical utility of dental cone-beam computed tomography: current perspectives. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*. 2014, 6, S. 29-43.
4. Schwabl, Daniel. Evaluierung der Effektivdosis verschiedener zahnärztlich radiologischer Verfahren. *Diplomarbeit*. Graz : s.n., 2018. Medizinische Universität Graz.
5. Widmann, G. und Al-Ekrish, A.A. Ultralow Dose MSCT Imaging in Dental Implantology. *The Open Dentistry Journal*. 2018, 12, S. 87-93.
6. Misch, K. und Wang, H.L. Implant surgery complications: etiology and treatment. *International Journal of Implant Dentistry*. 2008, 17, S. 159-168.
7. Nedjat, Armin. Update VIP-ZM 2019 - Verein innovativ-praktizierender Zahnmediziner/innen. *Dental Barometer*. 2019, 2, S. 40-43.
8. Devita, R., et al. Multidisciplinary oral rehabilitation in partially edentulous adult patients with malocclusion: A cross-sectional survey study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. 2018, 10, S. 1177-1183.
9. Watanabe, H., et al. Mandible size and morphology determined with CT on a premise of dental implant operation. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2010, 32, S. 343-349.
10. Enders, T. Inaugural-Dissertation: Der atrophierte Unterkiefer – eine morphologische Studie im Hinblick auf eine mögliche Insertion bikortikaler bzw. kurzer Implantate im reduzierten Unterkieferknochenangebot mit Hilfe der digitalen Volumentomographie. 2017. S. 17.
11. Braut, V., et al. A Retrospective Radiographic Study Using Cone Beam Computed Tomography. Part 2 – Analysis of Edentulous Sites. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2014, 34, S. 639-647.
12. Chan, H.-L., et al. Risk Assessment of Lingual Plate Perforation in Posterior Mandibular Region: A Virtual Implant Placement Study Using Cone-Beam Computed Tomography. *Journal of Periodontology*. 1, 2011, 82, S. 129-135.

13. Hsun-Liang, C., et al. Cross-sectional analysis of the mandibular lingual concavity using cone beam computed tomography. *Clinical Oral Implants Research*. 2011, 22, S. 201-206.
14. Nickenig, H.J., et al. Lingual concavities in the mandible: a morphological study using cross-sectional analysis determined by CBCT. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2, 2015, 43, S. 254-259.
15. Moll, Karl-Josef und Moll, Michaela. *Kurzlehrbuch Anatomie*. 16.Auflage. München : Urban & Fischer Verlag München, 2000. S. 279.
16. Schumacher, G-H. *Repetitorium Anatomie für Zahnmediziner*. München : Urban & Schwarzenberg, 1996. S. 96 f.
17. Misawa, M., Lindhe, J. und Araújo, M.G. The alveolar process following single-tooth extraction: a study of maxillary incisor and premolar sites. *Clinical Oral Implants Research*. 2016, 27, S. 884-889.
18. Podaropoulos, L., et al. Bone reactions around dental implants subjected to progressive static load: an experimental study in dogs. *Clinical Oral Implants Research*. 2016, 27, S. 910-917.
19. Liu, J., et al. *Clinical Oral Implants Research*. 2016, 27, S. 762-770.
20. Schropp, L., Kostopoulos, L. und Wenzel, A. Bone healing following immediate versus delayed placement of titanium implants into extraction sockets: a prospective clinical study. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2003, 18, S. 189-199.
21. Schropp, L., et al. Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study. *International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry*. 2003, 23, S. 313-323.
22. Gutwald, Gellrich, Schmelzeisen. *Einführung in die zahnärztliche Chirurgie*. 1.Auflage. s.l. : Urban & Fischer, 2003. S. 356.
23. Nahles, S., et al. Bone physiology in human grafted and non-grafted extraction sockets--an immunohisto-chemical study. *Clinical Oral Implants Research*. 2013, 24, S. 812-819.
24. Rothamel, D., et al. Kieferkammveränderungen nach Versorgung frischer Extraktionsalveolen mit polyactidvernetzten β -TCP Wurzelreplikaten – eine histomorphometrische Tierstudie. *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*. 2007, 11, S. 88-97.

25. Reichart, P.A., et al. *Curriculum Mund-,Kiefer- und Gesichtschirurgie*. s.l. : Quintessenzverlag, 2003. S. 147-181. Bd. III.
26. Benic, G.I., Elmasry, M. und Hämmerle, C.H. Novel digital imaging techniques to assess the outcome in oral rehabilitation with dental implants: a narrative review. *Clinical Oral Implants Research*. 2015, 26, S. 86-96.
27. Harris, O., et al. E.A.O. guidelines for the use of diagnostic imaging in implant dentistry 2011. A consensus workshop organized by the European Association for Osseointegration at the Medical University of Warsaw. *Clinical Oral Implants Research*. 2012, 23, S. 1243-1253.
28. Rugani, P., et al. Cone beam computerized tomography: basics for digital planning in oral surgery and implantology. *International Journal of Computerized Dentistry*. 2009, 12, S. 131-145.
29. Schropp, L., et al. Implant image quality in dental radiographs recorded using a customized imaging guide or a standard film holder. *Clinical Oral Implants Research*. 2012, 23, S. 55-59.
30. Schulze, R., Schaldach, F. und d'Hoert, B. Auswirkung von Positionierungsfehlern auf Vergrößerungsfaktoren im Unterkiefer bei der digitalen Panoramaschichtaufnahme. *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*. 2000, 4839, S. 164-170.
31. BouSerhal, C., et al. Imaging technique selection for the preoperative planning of oral implants: a review of the literature. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2002, 4, S. 156-172.
32. Haßfeld, S. und Rother, U. Röntgendiagnostik in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. *MKG-Chirurgie 2008*. 2008, 1, S. 137-147.
33. Lemkamp, Michael, Filippi, Andreas und Berndt, Dorothea. Diagnostische Möglichkeiten der digitalen Volumentomografie. *Schweiz Monatsschrift Zahnmedizin*. 2006, Bd. 116, 6, S. 645-650.
34. Spitzer, W.K. und Binger, T. Röntgendiagnostik in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*. 2000, 4, S. 270-277.
35. Wriedt, S., et al. Impacted upper canines: examination and treatment proposal based on 3D versus 2D diagnosis. Beurteilung der Einstellbarkeit verlagertes oberer Canini – 3D- versus 2D-Diagnostik. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2011, 73, S. 28-40.

36. Al Borney, Majed. Verwendung des Fernröntgenseitenbildes des Kopfes und des Orthopantomogramms zur metrischen Analyse des Schädels in der Kieferorthopädie. Gießen : s.n., 1999.
37. Zunan, Tang, Xianchu, Liu und Kejia, Chen. Comparison of digital panoramic radiography versus cone beam computerized tomography for measuring alveolar bone. *Head & Face Medicine*. 2, 2017, 13.
38. Mehra, A. und Pai, K.M. Evaluation of Dimensional Accuracy of Panoramic Cross-Sectional Tomography, Its Ability to Identify the Inferior Alveolar Canal, and Its Impact on Estimation in the Mandibular Posterior Region. *Tomography in Implant Treatment Planning in Posterior Mandible*. 2009, S. 101-112.
39. Hahn, Tobias R. Navigierte Implantatinserktion - Vorstellung dreier Planungssysteme. *DIGITAL_DENTAL.NEWS*. 2009, 04, S. 36-41.
40. Lutz, R. und Neukam, F.W. Chirurgische Aspekte der Implantologie. In Hausamen, J.E. und Machtens, E. (Hrsg.). *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*. 2012, S. 95-119.
41. Farman, Allan G. ALARA still applies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. Oct 2005, 100 (4), S. 395-397.
42. Prashant, P. und Sushma, P. Cone-beam computed tomography: Time to move from ALARA to ALADA. *Imaging Science in Dentistry*. 2015, 45, S. 263-265.
43. Horner, K, et al. *European guidelines on radiation protection in dental radiology; the safe use of radiographs in dental practice*. Directorate- General for Energy and Transport: Radiation Protection, European Commission. 2004.
44. Ludlow, JB und Ivanovic, M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64 slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. Jul 2008, 106 (1), S. 106-114.
45. Schulze, R. Prof. Dr. s2k-Leitlinie. *Dentale digitale Volumentomographie*. Mainz : Arbeitsgemeinschaft für Röntgenologie, 2013. S. 7.
46. Feragalli, B., et al. Cone beam computed tomography for ental and maxillofacial imaging: technique improvement and low-dose protocols. *La radiologia medica*. 2017, 122, S. 581-588.
47. Horner, K. Cone-beam computed tomography: time for an evidence-based approach. *Primary Dental Journal*. 2013, 2(1), S. 22-31.
48. Rother, Uwe Jörg. *Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde*. 2.Auflage. München : Elsevier Urban& Fischer, 2006. S. 46.

49. Heidelberg, Universitätsklinikum. Toxcenter. www.toxcenter.org. [Online] <http://www.toxcenter.org/artikel/DVT-Digitale-Volumentomografie-Manual-zur-Eitersuche-im-Kiefer.pdf>.
50. Scarfe, W.C. und Farman, Allan G. What is cone-beam CT and how does it work? *Dental clinics of North America*. 2008, 52(4), S. 707-30 ff.
51. Hirsch, Edgar, Graf, H.-L. und Hemprich, A. *DVT-Digitale Volumentomographie zur präoperativen Darstellung verlagter Zähne*. Leipzig : s.n.
52. Kramme, Rüdiger. *Medizintechnik: Verfahren – Systeme – Informationsverarbeitung*. 4. s.l. : Springer, 2011. S. 23.
53. Kruse, C., et al. Cone beam computed tomography and periapical lesions: a systematic review analysing studies on diagnostic efficacy by a hierarchical model. *International Endodontic Journal*. 2015, 48(9), S. 815-828.
54. Shinoda K, Honda K, Matsumoto K, et al. [Hrsg.] International Congress Series. *Annual report of limited cone beam computed tomography (3D accu-I-Tomo) from 3000 cases at Nihon University dental hospital in 2003* . June 2004. Volume 1268, S. 1187-1191.
55. Yotsui, Yoritaka. Cone Beam CT for applications in the dental field. *Report of the 10th European Congress of Dentomaxillofacial Radiology*. Leuven – Belgien : s.n., May – June 2006. Article 10.7, S. 69,at. <http://www.kuleuven.be/dental/ecdmfr/PDF/Abstract%20bo>.
56. Ahmad, M., Jenny, J. und Downie, M. Application of cone beam computed tomography in oral and maxillofacial surgery. *Australian Dental Journal*. 2012, 57, S. 82-94.
57. Wiesend, M. Dr. Dr. und Hübinger-Wiesend, B. Dr. Einsatzmöglichkeiten der digitalen Volumentomografie. *Digitale Dentale Technologien Handbuch*. 1.Auflage. s.l. : Oemus-Verlag, 2010, S. 57.
58. Schulze, R. Prof. Dr. und Schulze, D. s2K Leitlinie „Dentale digitale Volumentomographie“. awmf.org. [Online] (z. Zeit in Überarbeitung). www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinie/083-005I_S2k_Dentale_Volumentomographie_2013-10.pdf.
59. Kobayashi, K., et al. Accuracy in measurement of distance using limited cone-beam computerized tomography. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2004, 19(2), S. 228-231.

60. Pinsky, H.M., et al. Accuracy of three-dimensional measurements using cone-beam CT. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2006, 35(6), S. 410-416.
61. Waltrick, K.B., et al. Accuracy of linear measurements and visibility of the mandibular canal of cone-beam computed tomography images with different voxel sizes: an in vitro study. *Journal of Periodontology*. 2013, 84, S. 68-77.
62. Kosalagood, P., et al. Linear Measurement Accuracy of Eight Cone Beam Computed Tomography Scanners. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2015, 17(6), S. 1217-1227.
63. Canger, E.M. und Celenk, P. Radiographic evaluation of alveolar ridge heights of dentate and edentulous patients. *Gerodontology*. 2012, 29, S. 17-23.
64. Panchbhai, A.S. Quantitative estimation of vertical heights of maxillary and mandibular jawbones in elderly dentate and edentulous subjects. *Special Care in Dentistry*. 2013, 33(2), S. 62-69.
65. Kovacic, I., Knezovic Zlataric, D. und Celebic, A. Residual ridge atrophy in complete denture wearers and relationship with densitometric values of a cervical spine: a hierarchical regression analysis. *Gerodontology*. 2012, 29(2), S. 935-947.
66. Bressan, E., et al. Ridge Dimensions of the Edentulous Mandible in Posterior Sextants: An Observational Study on Cone Beam Computed Tomography Radiographs. *Implant Dentistry*. 2017, 26, S. 66-72.
67. de Souza, L.A., et al. Assessment of mandibular posterior regional landmarks using cone-beam computed tomography in dental implant surgery. *Annals of Anatomy*. 2016, 205, S. 53-59.
68. S 1 Leitlinie. S 1 Leitlinie Dentale Volumentomographie DVT. http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/S1_Empfehlung_Dentale_Volumentomographie.pdf. [Online] 2015. [Zitat vom: 10. Februar 2017.]
69. Frank, Elmar. 3D-Bildgebung in der zahnärztlichen Praxis - Teil 2. *DENT IMPLANTOL*. 3, 2010, 14, S. 182 - 191.
70. Oestreich, M. und Romberg, O. *Keine Panik vor Statistik*. s.l. : Springer Spektrum, 2012. S. 112;268.
71. Eckelt, U. Zahnärztliche Implantate. [Buchverf.] N. Schwenzer und Ehrenfeld. *Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde: Zahnärztliche Chirurgie*. Stuttgart : Thieme, 2009.
72. Greiner, M., Greiner, A. und Hirschfelder, U. Variance of landmarks in digital evaluations: Comparison between CT-based and conventional lateral cephalometric radiographs. *J Orofac Orthop*. 2007, 68, S. 290-298.

73. Shoaleh, Shahidi, et al. Comparison of Dental Panoramic Radiography and CBCT for Measuring Vertical Bone Height in Different Horizontal Locations of Posterior Mandibular Alveolar Process. *Journal of Dentistry, Shiraz University of Medical Sciences*. 2018, 19, S. 83-91.
74. Ferrus, J, et al. Factors influencing ridge alterations following immediate implant placement into extraction sockets. *Clin Oral Res*. 2010, S. 22-29.
75. Braut, V. und Bornstein, M.M. Bone dimensions in the posterior mandible: a retrospective radiographic study using cone beam comput. *The international journal of periodontics & restorative dentistry*. 2012, 32/2, S. 175-184.
76. Braut, V., et al. Thickness of the anterior maxillary facial bone wall - A radiographic study using cone beam computed tomography. *Int. J Periodontic Restorative Dent*. 2011, 31, S. 125-131.
77. Laboda, G. Life-threatening hemorrhage after placement of an endosseous implant: report of case. *J Am Dent Assoc*. 121, 1990, 5, S. 599-600.
78. Mason, ME, et al. Mandibular fractures through endosseous cylinder implants: report of cases and review. *J Oral Maxillofac Surg*. 48, 1990, 3, S. 311-7.
79. Weibrich, G., Foitzik, C. und Kuffner, H. Life threatening oral hemorrhage after implantation into the distal right mandible. *Mund Kiefer Gesichtschirurg*. 6, 2002, 6, S. 442-5.
80. Naval-Gías, L., et al. Pathological mandibular fracture: A severe complication of periimplantitis. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. 2015, 7(2), S. 328-332.
81. Steiner, T., et al. Impairment of an atrophic mandible by preparation of the implant cavity: a biomechanical study. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2016, 54(6), S. 619-624.
82. Torsiglieri, T., et al. Stability of edentulous, atrophic mandibles after insertion of different dental implants. A biomechanical study. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2015, 43(5), S. 616-623.
83. Schug, T, Dumbach, J und Rodemer, H. Mandibular fracture. An unusual implantation complication. *Mund Kiefer Gesichtschirurg*. 3, 1999, Bd. 6, S. 335-7.
84. Esposito, M., et al. Histopathologic observation on early oral implant failures. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1999, S. 14: S. 798-810.
85. Wiesend, M. und Hübinger-Wiesend, B. Der Knochenaufbau im Rahmen der Implantation. *Implantologie Journal*. 15, 2011, 4, S. 8-12.

86. Emmerich, D. *Biologie und Pathologie der Weich- und Hartgewebe um Titanimplantate: Eine histologische, histometrische und histomorphometrische Studie am Menschen*. Freiburg i. Br. : Albert Ludwigs-Universität Freiburg, 2002.
87. Jung, R.E. The influence of non-matching implant and abutment diameters on radiographic crestal bone levels in dogs. *J Periodontol.*, 2008, Bd. 79, 2, S. 260-270.
88. Tarnow, D.P., Cho, S.C. und Wallace, S.S. The effect of inter-implant distance on the height of inter-implant bone crest. *J Periodontol.*, 2000, Bd. 71, 4, S. 546-549.
89. Schlichting, I., Lacina, D. und Fischak-Treitl, B. Sinuslift versus kurze Implantate. http://www.dimagazin-aktuell.de/implantologie/implantate/story/sinuslift-versus-kurze-implantate__4159.html. [Online] 14. Mai 2016. [Zitat vom: 11. August 2016.]
90. Hümmeke, S, Vosshans, J und Esser, E. Diagnostische Möglichkeiten der digitalen Volumentomographie. *Die Quintessenz*. 54, 2003, 10, S. 1105-1112.
91. Buch, R.S. und Weibrich, G. Criteria of success in implantology. *Mund Kiefer Gesichtschir.* 2003, S. 7 (1) ; S. 42-46.
92. Becker, W., et al. Dental Implants in an Aged Population: Evaluation of Periodontal Health, Bone Loss, Implant Survival, and Quality of Life. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2016, 18(3), S. 473-479.
93. Koeck, B. und Wahl, G. Indikationen, Kontraindikationen und Differentialindikationen. [Buchverf.] B. Koeck und W. Wagner. *Implantologie*. München, Jena : Urban & Fischer, , 2-7., 2006, S. 2-7.
94. Halling, F. Risiken für Implantatbehandlungen bei systemischen Erkrankungen und medikamentösen Therapien. *Zahn-Mund-und Kieferheilkunde*. April 2014, S. 30 (4) ; S. 181-191.
95. Bay. Zahnärzteblatt. Kephalometrie – Quo Vadis ? 3D-Kephalometrie – kritische Auseinandersetzung mit einem vielversprechenden Ansatz. <http://www.bzb-online.de/mai07/33.pdf>. [Online] 07. Mai 2008. [Zitat vom: 30. Oktober 2016.]
96. Houston, W.J. und Orth, D. The analysis of errors in orthodontic measurements. *Am. J. Orthodont.* 1983, S. 83 ; S. 382-390.
97. Mueller, K., Yagel, R. und Wheller, J.W. Fast Implementations of Algebraic Methods for 3 D Reconstruction from Cone-Beam Data. *IEEE Trans Med Imaging*. 18, 1999, S. 538-548.
98. Bock, F. Die Variabilität sagittaler und vertikaler Parameter im Fernröntgenseitbild beim lateralalen Kreuzbiss.

<http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/m/2002/pub/medizin/00H225/prom.pdf>. [Online] 01. November 2000. [Zitat vom: 30. Januar 2017.]

99. Schneck, S. 3D-Weichgewebsanalyse – Ermittlung von Durchschnittswerten und Korrelationen zur FRS-Analyse. https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/files/.../Doktorarbeit_Susanne_P._Schneck.p. [Online] Juli 2010. [Zitat vom: 02. November 2016.]

100. Zenóbio, E.G., et al. Absorbed radiation doses during tomographic examinations in dental implant planning: a study in humans. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2012, 14(3), S. 366-372.

7 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Birgit Oberhuber, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Vergleichende Untersuchung von 2D- und 3D-Befunden zur Prävalenz implantologisch relevanter Parameter im teilbezahnten Unterkiefer“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

8 Lebenslauf

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

9 Danksagung

Ich möchte mich bei Herrn Professor Dr. Axel Bumann für die freundliche Überlassung des Themas, die Möglichkeit der Durchführung dieser Arbeit in seinem Institut und seine unendliche Geduld bedanken.

Ebenso danke ich Frau Ulrike von Hehn (medistat) und Herrn Michael Stiemke für die großartige Unterstützung bei der Auswertung und Verarbeitung der statistischen Daten.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie und vor allem meinem Mann Johannes. Ohne eure Unterstützung, eurem Zuspruch, eure Geduld und Liebe wäre die Anfertigung dieser Arbeit nicht möglich gewesen.