

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereiches Medizin der Philipps-Universität Marburg
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Roland Frankenberger
Abteilung für Orofaziale Prothetik und Funktionslehre
Direktor: Prof. Dr. Ulrich Lotzmann

Einfluss der Ober- und Unterkiefermorphologie auf die Überlebensrate dentaler Implantate

2- bis 30-jährige Kohortenstudie an Patienten
mit parodontalen Vorerkrankungen

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Isabelle Sophie Zoe Margerie

aus Hannover

Marburg, 2024

Angenommen vom Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg am: 16.12.2024
Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin.
Dekanin: Prof. Dr. Denise Hilfiker-Kleiner
Referent: Prof. Dr. Reiner Mengel
1. Korreferent: Prof. Dr. Dr. Michael Stiller

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	3
1 Einleitung.....	5
2 Stand der Wissenschaft.....	7
2.1 Anatomie des Ober- und Unterkiefers.....	7
2.2 Histologie des Ober- und Unterkiefers	8
2.3 Skelettale Morphologie	10
2.3.1 Apikale Basis	11
2.3.2 Okklusion und Bisslage	11
2.3.3 Wachstumstypen	15
2.4 Skelettale Morphologie und Knochenabbau an Zähnen	16
2.5 Ziel der Studie.....	17
3 Material und Methode	18
3.1 Patienten.....	18
3.2 Implantation und prothetische Versorgung	20
3.3 Recall.....	20
3.4 Anamnese.....	21
3.5 Klinische Untersuchung	21
3.5.1 Knochenqualität und -quantität	22
3.5.2 Sondierungstiefe und Blüten nach Sondieren.....	22
3.5.3 Plaque-Index	23
3.5.4 Gingiva-Index	23
3.6 Zweidimensionale radiologische Untersuchung	24
3.7 Dreidimensionale radiologische Untersuchung	26
3.7.1 Messungen	26
3.7.2 Klassifizierung der Morphotypen	30
3.8 Zeitlicher Ablauf	30
3.9 Datenmanagement und Statistische Methoden	31
3.10 Eigenanteil an der vorliegenden Studie	32

4 Ergebnisse	33
4.1 Beobachtungszeitraum	33
4.2 Komplikationen	33
4.3 Einteilung in Morphotypen.....	34
4.4 Überlebensdauer der Implantate.....	34
4.5 Periimplantärer Knochenabbau.....	37
4.5.1 Alle Patienten	37
4.5.2 Einteilung in Morphotypen	38
5 Diskussion	44
5.1 Diskussion der Methoden.....	44
5.2 Diskussion der Ergebnisse.....	46
6 Konklusion	50
7 Zusammenfassung und Summary	51
7.1 Zusammenfassung	51
7.2 Summary.....	52
8 Literaturverzeichnis	53
10 Anhang	60
10.1 Abbildungen und Tabellen	60
10.2 Verzeichnis akademischer Lehrer/innen	62
10.3 Danksagung.....	63

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
A/I	Verbindungsstelle Abutment/Implantat
AAP	American Academy of Periodontology
Abb.	Abbildung
BLI	Bone Level Implant
BnS	Blutung nach Sondieren
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CT	Computertomographie
Diffbase	Differenz zur Baseline des BLIs
dKLI	distales Knochenlevel am Implantat
do	disto-oral
Dr.	Doktor
DVT	Digitale Volumentomographie
dv	disto-vestibulär
et al.	lat.: et alii = und andere
Fa.	Firma
FoV	Field of View
GCP	generalisierte chronische Parodontitis
GI	Gingival Index
IL	Implantatlänge
K/I	Kronen- Implantat- Längenverhältnis
KA	Knochenabbau
KKS	Koordinationszentrum für klinische Studien
KL	Kronenlänge
KLI	Knochenlevel am Implantat
kV	Kilovolt
mA	Milliampere
mKLI	mesiales Knochenlevel am Implantat

Abkürzungsverzeichnis

mm	Millimeter
mo	mesio-oral
MPa	Megapascal
mv	mesio-vestibulär
n	Anzahl
N	Newton
OK	Oberkiefer
OK-Front	Oberkiefer-Frontzahnbereich
OK-Seite	Oberkiefer-Seitenzahnbereich
p.a.	per annum
PA	Parodontitis
PI	Plaque Index
Prof.	Professor
proth.	prothetisch
p-Wert	Signifikanzwert
ST	Sondierungstiefe
SZ	Seitenzahnbereich
Tab.	Tabelle
UK	Unterkiefer
z.B.	zum Beispiel
zo	zentro-oral
zv	zentro-vestibulär
3D	dreidimensional
∅	im Durchschnitt/durchschnittlich/ arithmetisches Mittel

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: Schematische Darstellung einer Oberkiefer-Zahnreihe.....	11
Abb. 2: Angle-Klasse-1.....	12
Abb. 3: Angle-Klasse-II/1	12
Abb. 4: Angle-Klasse-II/2	12
Abb. 5: Angle Klasse-III	12
Abb. 6: Skelettale Klasse I.....	13
Abb. 7: skelettale Klasse II	14
Abb. 8: skelettale Klasse III	14
Abb. 9: Wachstumstypen.....	15
Abb. 10: Auswertung der radiologischen Daten	24
Abb. 11: Vermessung des Knochenlevels	25
Abb. 12: Skizze Oberkiefer-Front	27
Abb. 13: Messung Oberkiefer-Front	27
Abb. 14: Skizze Oberkiefer-Seitenzahnbereich	28
Abb. 15: Messung Oberkiefer-Seitenzahnbereich.....	28
Abb. 16: Skizze Unterkiefer	29
Abb. 17: Messung Unterkiefer	29
Abb. 18: Zeitlicher Ablauf	31
Abb. 19: Überlebensdauer aller Implantate	35
Abb. 20: Überlebensrate Implantate im OK-Seitenzahn nach Morphotypen	36
Abb. 21: Korrelation periimplantärer Knochenabbau mit Morphotyp (OK-SZ) ..	41
Abb. 22: Korrelation periimplantärer Knochenabbau mit Morphotyp (UK-SZ) ..	43
Abb. 23: Überlebensrate Implantate UK nach Morphotypen	60
Abb. 24: Überlebensrate Implantate OK-Front nach Morphotypen.....	60
Abb. 25: Korrelation periimplantärer Knochenabbau mit Morphotyp	61

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Patientenkollektiv	19
Tab. 2: Grenzwerte für die Einteilung in schmal/breit und hoch/tief.....	30
Tab. 3: Beobachtungszeitraum.....	33
Tab. 4: Patienteneinteilung in Morphotypen	34
Tab. 5: Überlebensdauer der Implantate nach Morphotypen	35
Tab. 6: Periimplantärer Knochenabbau (Implantatbezogen)	37
Tab. 7: Periimplantärer Knochenabbau (Patientenbezogen).....	38
Tab. 8: Korrelation periimplantärer Knochenabbau Morphotyp (OK-Front)	39
Tab. 9: Korrelation periimplantärer Knochenabbau Morphotyp (OK-SZ).....	40
Tab. 10: Korrelation periimplantärer Knochenabbau Morphotyp (UK-SZ)	42

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren haben dentale Implantate die Möglichkeiten der prothetischen Versorgung von zahnlosen und teilbezahnten Patienten deutlich erweitert. In klinischen Langzeitstudien konnten Überlebensraten von Implantaten festgestellt werden, die nach 10 Jahren bei über 95% und nach 20 Jahren bei 85% liegen (Howe et al., 2019; Rocuzzo et al., 2022). Bei diesen Angaben wurden allerdings 1-2% derjenigen Implantate nicht berücksichtigt, die einen Frühverlust darstellten (Chrcanovic et al., 2014). Die Angabe der Überlebensrate ist nur bedingt zur Bewertung des Erfolgs von Implantaten geeignet, da die periimplantäre Entzündung und der Knochenabbau nicht berücksichtigt werden. In einigen klinischen Studien hat sich gezeigt, dass mehr als 40% aller Implantate während der Belastungsphase periimplantäre Erkrankungen entwickeln und circa 20% zeigen mindestens einmal einen erhöhten Knochenabbau (Derks & Tomasi, 2015; Swierkot, et al., 2012). Insbesondere im ersten Jahr nach dem Einsetzen der prothetischen Versorgung kann der initiale, marginale Knochenverlust recht hoch sein ($\varnothing 1,2\text{mm}$) (Oh et al., 2002). Für den periimplantären Knochenabbau nach dem ersten Belastungsjahr wird zwischen entzündlichen (septischen) und nicht entzündlichen (aseptischen) Faktoren als Ursache unterschieden (Albrektsson et al., 2017). Als entzündliche Faktoren zählen die im periimplantären Weichgewebe befindlichen Bakterien, die durch Reste des Befestigungszements, Randspalte der prothetischen Versorgung, schlechte Mundhygiene und parodontale Vorerkrankungen des Patienten begünstigt werden. Die Bakterien lösen eine entzündliche Reaktion des Weichgewebes mit anschließendem Knochenabbau aus. Als nicht entzündliche Faktoren, die einen periimplantären Knochenabbau hervorrufen können, werden Fremdkörperreaktionen auf die Implantat- und Suprakonstruktionswerkstoffe und biomaterialadhärenten Endotoxine bezeichnet. Weiterhin können okklusale Überbelastungen von Implantaten zu Knochenverlust führen (Di Fiore et al., 2022). Welche Rolle die patientenspezifische, individuelle skelettale Morphologie des Ober- und Unterkiefers auf die Belastung von Implantaten hat, ist noch nicht ausreichend untersucht. Lediglich eine retrospektive Studie an 28 Patienten mit 54 Implantaten zeigte, dass Patienten mit erhöhtem periimplantären Knochenabbau und Rezessionen des Weichgewebes zu meist schmale skelettale Basen im Unterkiefer aufwiesen (Stiller et al. 2015).

In einer anderen retrospektiven Studie wurde anhand von 313 radiologischen Aufnahmen (Digitale Volumentomographie, DVT) eine anatomische Kategorisierung der Unterkiefermorphologie für die implantatprothetische Planung entwickelt. Dabei wurden 5 Querschnittskonfigurationen der Mandibula festgelegt: gerade, schräg, s-förmig, sanduhrförmig und basal. Es zeigte sich, dass S-, Sanduhr- und Basalform aufgrund mangelnden Knochenangebots mit einer erhöhten Schwierigkeit bei Planung und Implantatinsertion einhergingen (Gallucci et al., 2017). Ob die skelettale Morphologie einen Einfluss auf den periimplantären Knochen in der Belastungsphase von Implantaten hat, wurde in dieser Studie nicht untersucht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Einfluss der skelettalen Morphologie auf den Implantaterfolg noch nicht untersucht wurde. Um die Untersuchung der skelettalen Morphologie als diagnostisches Verfahren im Rahmen der Implantologie zu etablieren, ist es notwendig eine Klassifizierung des cephalometrischen Formenmusters vorzunehmen. Diese Einteilung kann dann dazu genutzt werden, eine mögliche Korrelation zwischen der skelettalen Morphologie und Mukositis, Periimplantitis, Knochenabbau und der Überlebensrate von dentalen Implantaten zu identifizieren.

2 Stand der Wissenschaft

2.1 Anatomie des Ober- und Unterkiefers

Die Form des Alveolarfortsatzes wird insbesondere durch Stellung, Größe, Form und Durchbruchrichtung der Zähne beeinflusst. Die Ausrichtung der Zahnwurzeln der Eck- und Schneidezähne in Ober- und Unterkiefer ist exzentrisch vestibulär. In posteriorer Richtung entwickelt sich aus einer exzentrischen Ausrichtung im Prämolarenbereich ab dem 2. Molaren eine orale Ausrichtung der Zahnwurzeln. Dadurch entstehen der Wurzelgröße und Form entsprechende Vorwölbungen im zahntragenden Kieferknochen, die sogenannten „Jugae alveolaria“. Hier ist der Knochen über dem Zahn nur etwa 0,1mm dünn und die Alveolenkompakta und der Alveolarknochen sind oftmals zu einer Schicht verschmolzen, Spongiosa kommt sehr selten vor. Auf der oralen Seite findet diese Verschmelzung nur im marginalen Alveolarfortsatzbereich statt. Bei stark exzentrischer Zahnstellung können Dehiszenzen vorkommen, Knocheneinziehungen, die mehr oder weniger weit apikal am Zahnhals enden (Nimigean et al., 2009). Im vestibulären Bereich des Oberkiefers und selten im lingualen Bereich der Unterkiefer-Front können zusätzlich längs-ovale Knochenfenster, Fenestrationen, auftreten. Diese sind als eine Konsequenz der exzentrischen Zahnstellung zu betrachten und nicht entzündlich bedingt. Sie liegen meist über den apikalen Wurzelabschnitten, wo nur die Alveolarschleimhaut die Wurzel bedeckt. Dadurch entstehen hauchdünne Knochenplättchen zwischen den Fenestrationen und dem zervikalen Knochenrand (Schroeder, 1986). Der Margo alveolaris verläuft beim gesunden Patienten girlandenförmig 1-2mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze. Die durch die Zahnwurzeln bedingte vestibuläre Wölbung des Alveolar-kamms ist im Frontzahnbereich stärker ausgeprägt als im Seitenzahnbereich. Interdental folgt der Margo alveolaris ebenfalls der Schmelz-Zement-Grenze, wodurch Knochensepten entstehen. Die oberen Schneidezahnwurzeln grenzen direkt an den Nasenhöhlenboden. Die Knochendicke zwischen Alveolen und Nasenhöhle kann zwischen 10mm dicker Spongiosaschicht und hauchdünner Knochenlamelle schwanken (Schroeder, 1986). Die Prämolaren- und Molarenwurzeln des Oberkiefers stehen in direktem Kontakt zur Kieferhöhle. Die Distanz der Wurzelapices zum Sinusboden wird im Alter immer geringer. Der Sinus maxillaris dehnt sich mit fortschreitendem Alter mehr und mehr bis in die Trifurkationen der

Molaren hinein aus. Die Wurzelapices sind oftmals nur noch durch eine 0,2-1,0mm dünne Knochenlamelle vom Sinusboden getrennt, wo im jugendlichen Alter noch eine bis zu 12mm dicke Spongiosaschicht zu finden ist. Im Unterkiefer nähern sich die Wurzelapices in anterior-posteriorer Richtung dem Canalis mandibulae an, sodass in der Regel nur der 3. Molar in direkten Kontakt mit der Kanalwand kommt. In seltenen Fällen enden auch die Wurzelapices der Molaren und Prämolaren an der kranialen Kanalwand. Der individuelle Verlauf des Canalis mandibulae beginnt im Prämolarenbereich bukkal der Alveolen und schmiegt sich dann im Molarenbereich der lingualen Kortikalis an. Das Foramen mentale befindet sich meist zwischen und unterhalb der Wurzeln des ersten und zweiten Prämolaren.

Ober- und Unterkiefer werden beide durch Äste der Arteria carotis externa mit Blut versorgt. Die Arteriae alveolares superiores, Äste der Arteria maxillaris (Abgang der Arteria carotis externa) und Arteria infraorbitalis (aus der Arteria maxillaris), perfundieren die Maxilla. Die Mandibula wird über Äste der Arteria alveolaris inferioris und Arteria buccalis (Ast der Arteria maxillaris) über die Arteria carotis externa und über die Arteria submentalis (Ast der Arteria facialis) versorgt.

2.2 Histologie des Ober- und Unterkiefers

Die Alveolarfortsätze des Ober- und Unterkieferknochens sind zahnabhängige Strukturen, die sich mit dem Durchbruch der Zähne aus- und durch Zahnverlust zurückbilden. Form, Größe und Stellung der einzelnen Zähne bestimmen die Belastungs- und Kraftverteilung auf den Alveolarfortsatz und nehmen somit großen Einfluss auf die Knochenmorphologie. Die histologische Struktur des Alveolarknochens besteht knochentypisch aus Osteonen und interstitiellen Lamellen sowie Bündelknochen. Bündelknochen ist der parallel zur Zahnoberfläche liegende Teil des Alveolarknochens, der die kollagenen Fasern senkrecht im Knochen verankert. Diese werden nach dem britischen Anatomen William Sharpey Sharpey-Fasern genannt. Die Alveolarwand wird von einer stark durchlöcherten Knochenplatte gebildet und deshalb auch Lamina cribriformis genannt. Diese geht aus der Alveole in die vestibuläre und orale Kortikalis über, eine von Periost bedeckte Knochenplatte. Die Lamina cribriformis ist siebartig aufgebaut, 0,1-0,4mm dick und an den Trabekeln der Spongiosa befestigt, die die Bereiche zwischen Kortikalis und Alveolarwand, interdental und interrädikulär ausfüllt (Schroeder, 1986). Die Foramina der Lamina cribriformis verbinden das Desmodont mit

den Knochenmarksräumen der Spongiosa und werden von Nervenfasern, Lymph- und Blutgefäßen durchzogen. Sie entsprechen den Volkmann-Kanälen und ihre Dichte nimmt nach posterior hin zu (Birn, 1966). Die Knochenbälkchen der Spongiosa sind in den vestibulären und oralen Abschnitten eher horizontal und interdental eher vertikal bis leiterförmig angeordnet. Die Trabekel können 0,2 bis 0,3mm dick sein und engmaschige bis grobmaschige Netze bilden. Anatomisch sind sie entlang von zahnstellungsabhängigen Trajektorien angeordnet, die als Kraftlinien die Wirkung des Kauendrucks auf den Knochen vorgeben (Seipel, 1948). Die Maxilla weist mehr Spongiosa auf als die Mandibula. Die Volumendichte des Spongiosaknochens ist dem Trockengewicht und dem Kalziumgehalt direkt proportional. Grundsätzlich ist die Kortikalis im Unterkiefer stärker ausgeprägt als im Oberkiefer und oral dicker als vestibulär. Dennoch ist ihre Ausprägung sehr variabel (Schroeder, 1986). Der Alveolarknochen besteht zu 67-70% aus den anorganischen Materialien Hydroxylapatit (60%) und amorphem Kalziumphosphat (40%). Zu 22-33% besteht er aus organischer Substanz und zu 8% aus Wasser. Kollagen macht mehr als 90% des organischen Materials aus (Cole & Eastoe, 2014; Jones & Boyde, 1974; Melcher & Eastoe, 1969; Schroeder 1997). Innerhalb des Alveolarknochens findet der Knochenstoffwechsel statt: Osteoblasten, junge und ältere Osteozyten sowie Osteoklasten sorgen für eine ständige Remodellierung. Die großen, kuboiden Osteoblasten produzieren die organische Knochenmatrix mit ihren kollagenen und nichtkollagenen Anteilen. Sie besitzen einen großen Zellkern und basophiles Zytoplasma. Mit ihren zahlreichen zytoplasmatischen Fortsätzen stehen sie mit benachbarten Zellen in Kontakt. Sie sind in regelmäßigen Reihen oberhalb des Osteoids an der Knochenoberfläche unter den Knochenhüllen Periost und Endost angesiedelt und noch nicht in Knochen eingemauert. Das von ihnen produzierte Osteoid lagern sie in Schichten auf bereits mineralisierter Matrix ab. Die Mineralisation und damit verbundene Entstehung von Hydroxylapatit wird durch die Osteoblasten gesteuert. Die Osteoblasten schnüren Vesikel mit Enzymen wie der alkalischen Phosphatase ab, die die lokale Phosphatkonzentration durch Spaltung von Pyrophosphat erhöhen. Die Vesikel enthalten zudem Calcium-bindende Moleküle, die als Kristallisationskerne dienen. Aus diesen Kristallisationskernen bilden sich Hydroxylapatitkristalle, die sich an die Kollagenfibrillen des frischen Osteoids anlagern. Durch die Produktion des Osteoids und das Steuern seiner Mineralisation, regulieren Oste-

oblasten direkt den Knochenumbau. Osteoblasten entwickeln sich aus Progenitorzellen, die strukturähnlich den Fibroblasten sind. Sie kommen vor allem im Knochenmark und an der Knochenoberfläche vor. Die jungen Osteozyten entwickeln sich direkt aus den Osteoblasten und grenzen an diese an. Sie bilden die oberste Schicht im neu gebildeten Knochen und sind an der Regulation von Ausreifung und Mineralisation der Knochenmatrix direkt beteiligt (Baud, 1968). Sie mauern sich in ihr Produkt ein und geraten in immer tiefere Knochenschichten je mehr Knochen aufgelagert wird. Dort reifen sie zu älteren Osteozyten heran. Ausgereifte Osteozyten besitzen noch immer die Fähigkeit zur Proteinsynthese, sind jedoch im Vergleich zu jungen Osteozyten weniger aktiv. 40-60% der Zellen weisen osteolytische Aktivität auf. Außerdem spielen sie eine Rolle für die Osteoplasie und sind am Mineralstoffwechsel beteiligt (Jande & Bélanger, 1971; Wysolmerski, 2012). Ähnlich den Osteoblasten stehen die Osteozyten über ihre zytoplasmatischen Fortsätze mit benachbarten Zellen in Kontakt. Die Zytosomata liegen in nichtmineralisierten Knochenlakunen, aus denen sich Fortsätze in nichtmineralisierten Kanälen zur Nachbarzelle ausbreiten. Die großen, mehrkernigen Osteoklasten befinden sich in den sogenannten Howship-Lakunen auf der nicht mit Osteoid bedeckten Knochenoberfläche. Ihr bürstenartiger Zytoplasmasaum begrenzt das Resorptionsgebiet. Osteoklasten sind eng mit Makrophagen verwandt und können sich wie diese amöboid fortbewegen. Ihr Zytoplasma ist acidophil und sie besitzen viele Mitochondrien und Lysosomen, einen Golgi-Apparat und wenig raues endoplasmatisches Retikulum. Osteoklasten entstehen durch Fusion von hämatopoetischen, mononukleären Vorläuferzellen (Loutit & Nisbet, 1982).

2.3 Skelettale Morphologie

Die skelettale Morphologie (griechisch „morphé“ = Form, Gestalt und „lógos“ = Lehre) bedeutet in der Medizin so viel wie die Lehre von Form, Gestalt und Struktur des Kieferknochens. In der Zahnmedizin findet die skelettale Morphologie besonders in der Kieferorthopädie Beachtung und ist die Grundlage zur Bestimmung der apikalen Basis, der Bisslage und dem Wachstumstyp.

2.3.1 Apikale Basis

Die apikale Basis beschreibt den Knochenabschnitt im Kiefer, in dem sich die Wurzelapices der Zähne befinden (Abb. 1). Die Größe der apikalen Basis ist abhängig von der Achsneigung der Zähne. Im normalen Kiefer nähern sich die Zähne apikal an, wodurch der apikale Bogen kleiner als der Zahnbogen, die koronale Basis, ist. Die koronale Basis beschreibt den Bereich oberhalb des Kieferknochens, in dem sich die Zahnkronen befinden (Schwarz, 1961).

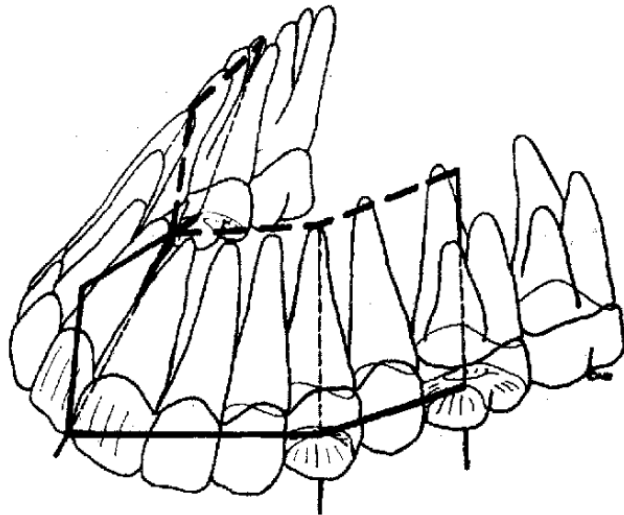


Abb. 1: Schematische Darstellung einer Oberkiefer-Zahnreihe

Gestrichelt = apikale Basis

Durchgezogen = koronale Basis

(Kinast, 1976)

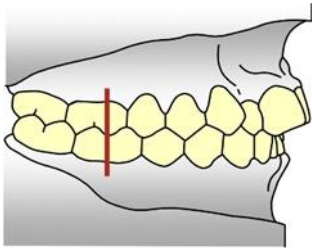
Das Verhältnis von apikaler zu koronaler Basis ist entscheidend für die kieferorthopädischen Bewegungsmöglichkeiten der Zähne. Ist die apikale Basis groß und die koronale Basis klein, so ist die Dehnung des Zahnbogens möglich.

Ist jedoch die apikale Basis klein und die koronale Basis groß, so ist die Dehnung des Zahnbogens kontraindiziert, da die Dehnung der Wurzeln nach vestibulär in der kleinen apikalen Basis einen bukkalen Knochenabbau (Dehiszenzen und Fenestrationen) verursachen kann.

2.3.2 Okklusion und Bisslage

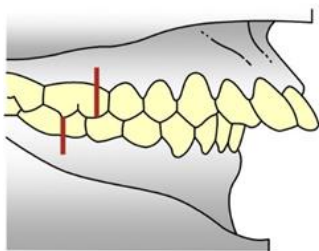
Eine Klassifizierung der Malokklusion als Dysgnathie wurde erstmals durch Edward Angle 1899 beschrieben und ist bis heute noch gültig (Angle, 1899) (Abb. 2-5). Die Angle-Klassen beziehen sich nur auf die Okklusion, das heißt die Lage-

beziehung zwischen Ober- und Unterkieferdentition (Neutral-, Distal-, Mesialokklusion). Die Angle-Klassifikation basiert auf der mesio-distalen Beziehung der Zähne, wobei die Beziehung zwischen den ersten permanenten Molaren in Ober- und Unterkiefer entscheidend ist. Die Klassifikation unterscheidet im Allgemeinen drei Klassen, die durch eine kieferorthopädische Modellanalyse oder intraoral am Patienten bestimmt werden:



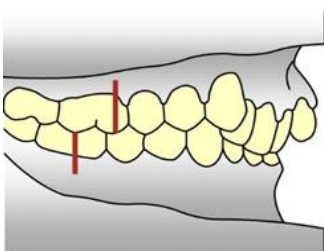
Angle-Klasse-I (Normalokklusion). Der mesio-bukkale Höcker des ersten bleibenden Molaren des Oberkiefers okkludiert in der bukkalen Einziehung des ersten bleibenden Molaren im Unterkiefer.

Abb. 2: Angle-Klasse-1 (Kahl-Nieke, 2009)



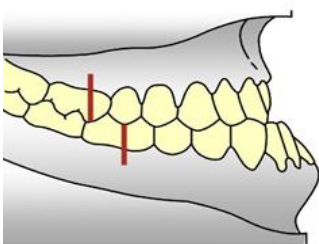
Angle-Klasse-II/1 (Distalokklusion). Der mesio-bukkale Höcker des ersten bleibenden Molaren des Oberkiefers okkludiert anterior der bukkalen Einziehung des ersten bleibenden Molaren des Unterkiefers. Es besteht eine protrudierte Oberkiefer-Front.

Abb. 3: Angle-Klasse-II/1 (Kahl-Nieke, 2009)



Angle-Klasse-II/2 (Distalokklusion). Der mesio-bukkale Höcker des ersten bleibenden Molaren des Oberkiefers okkludiert anterior der bukkalen Einziehung des ersten bleibenden Molaren des Unterkiefers. Es besteht eine retrudierte Oberkiefer-Front.

Abb. 4: Angle-Klasse-II/2 (Kahl-Nieke, 2009)



Angle Klasse-III (Mesialokklusion). Der mesio-bukkale Höcker des ersten bleibenden Molaren des Oberkiefers okkludiert zwischen ersten und zweiten Molaren des Unterkiefers.

Abb. 5: Angle Klasse-III (Kahl-Nieke, 2009)

Die Bisslage, also die skelettale Relation der Kieferbasen, wird durch die skelettale Lagebeziehung zwischen Ober- und Unterkiefer bestimmt (Neutral-, Distal-, Mesialbisslage (Abb. 6-8)). Die skelettale Lagebeziehung kann im Gegensatz zur Okklusion nur durch eine kephalometrische Auswertung identifiziert werden.

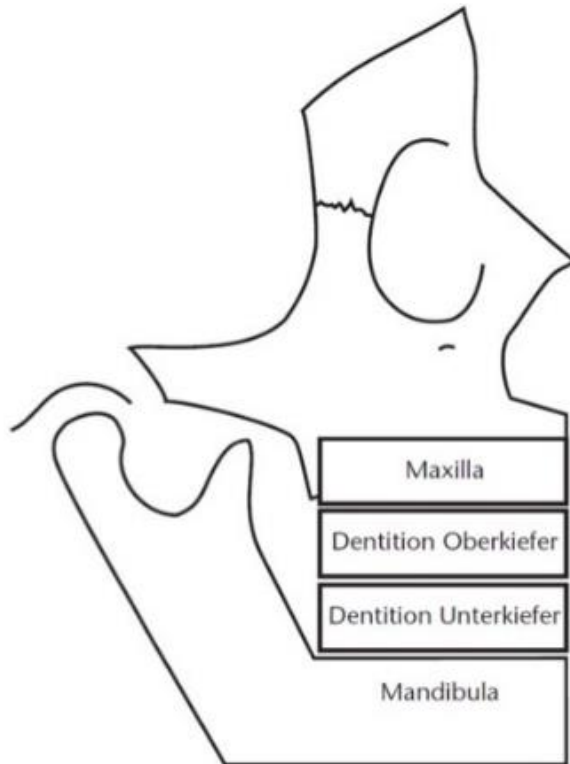


Abb. 6: Skelettale Klasse I: eugnather Ober- und Unterkiefer/ Neutralbisslage (Nötzel & Schultz, 2001)

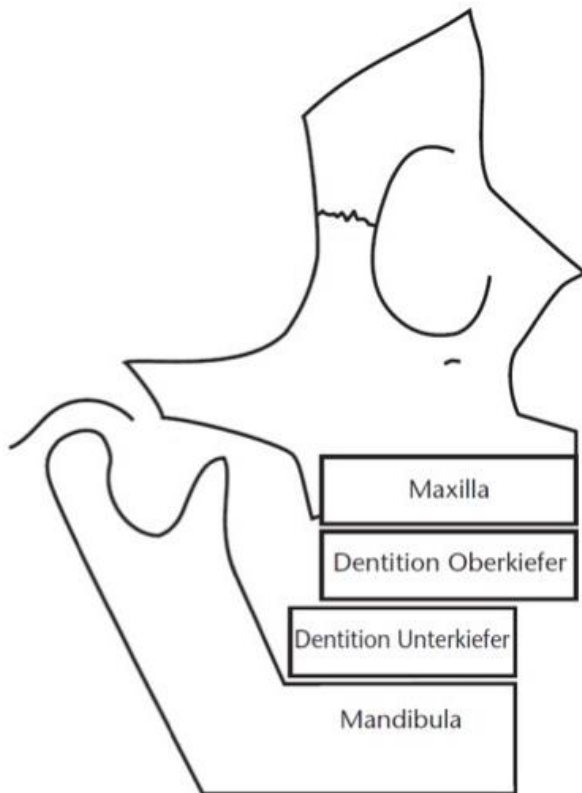


Abb. 7: skelettale Klasse II: prognather Oberkiefer und/ oder retrognather Unterkiefer/ Distalbisslage (Nötzel & Schultz, 2001)

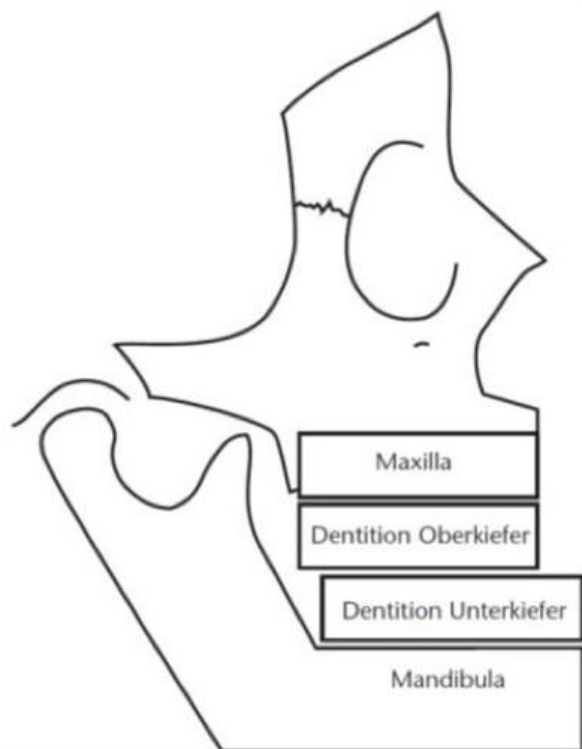


Abb. 8: skelettale Klasse III: retrognather Oberkiefer und/oder prognather Unterkiefer/ Mesialbisslage (Nötzel & Schultz, 2001)

2.3.3 Wachstumstypen

Der Wachstumstyp wird morphologisch in vertikal (hyperdivergent) und horizontal (hypodivergent) unterschieden (Björk, 1969) (Abb. 9). Hierbei werden die Neigung der Kondylen, der Verlauf des Canalis mandibularis, die Symphyse und der Kieferwinkel beurteilt. Eine anteriore Kondylenrotation, eine starke Krümmung des Mandibularkanals, ein kleiner Kieferwinkel und eine breite Symphyse deuten auf ein horizontales Wachstumsmuster, einen hypodivergenten Typ, hin. Umgekehrt weisen eine posteriore Kondylenrotation, ein flacher Verlauf des Mandibularkanals, ein großer Kieferwinkel und eine schmale Symphyse auf ein vertikales Wachstumsmuster, einen hyperdivergenten Typ, hin.

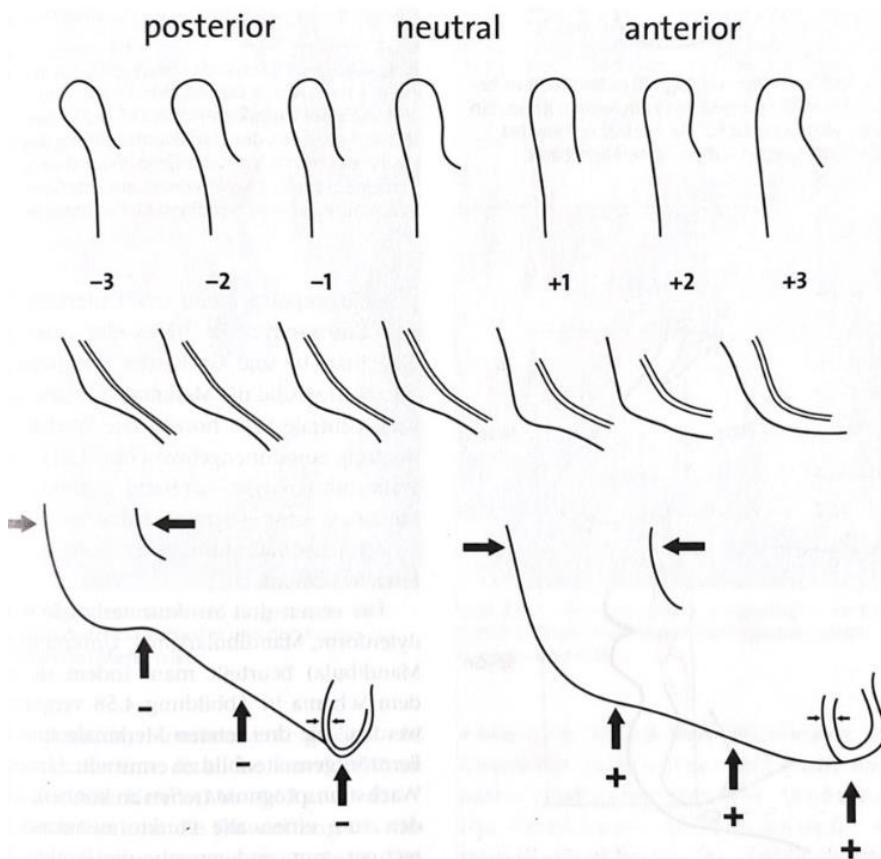


Abb. 9: Wachstumstypen
 links: hyperdivergent/vertikal
 rechts: hypodivergent/horizontal
 (Nötzel & Schultz, 2001)

2.4 Skelettale Morphologie und Knochenabbau an Zähnen

An Zähnen wurde der Einfluss der Bisslage auf das Auftreten von Fenestrationsen und Dehiszenzen bereits untersucht. In einer retrospektiven Studie an 123 DVT-Aufnahmen konnten Unterschiede zwischen den verschiedenen skelettalen Klassen identifiziert werden (Yagci et al., 2012). Es zeigte sich, dass Patienten mit einer skelettalen Klasse II eine größere Prävalenz für Fenestrationsen aufwiesen als Patienten mit einer skelettalen Klasse I und III. In einer anderen retrospektiven Studie mit 60 DVT-Aufnahmen traten Dehiszenzen häufiger in anterior-bukkalen als posterior-oralen Regionen auf (Coşkun & Kaya, 2019; Yagci et al., 2012).

Eine retrospektive Querschnittsstudie untersuchte die Prävalenz hyper-, hypo- und normodivergenter Wachstumstypen (n=78) für Dehiszenzen und Fenestrationsen (Enhos et al., 2012). Die hypodivergente Gruppe wies am wenigsten Dehiszenzen auf. Bei allen vertikalen Wachstumsmustern lag eine deutliche Prävalenz von Dehiszenz und Fenestration an den bukkalen Zahnflächen vor.

Eine weitere retrospektive Studie verglich den Knochenabbau und die Wurzelresorption bei erwachsenen Patienten (n=75) mit verschiedenen Wachstumstypen vor und nach kieferorthopädischer Behandlung (Hoang et al., 2016). Hyperdivergente Patienten wiesen eine größere posttherapeutische externe Wurzelresorption auf. Die bukkolinguale Knochenbreite war beim hypodivergenten Typ insgesamt größer als beim normo- und hyperdivergenten Typ.

In einer weiteren retrospektiven Studie wurde der Zusammenhang zwischen der Zahnbogenbreite und der Steilheit der Unterkieferebene, die hier der vertikalen Gesichtsmorphologie gleichgesetzt wurde, untersucht (Forster et al., 2008). Das Ergebnis zeigte, dass die Zahnbogenbreite mit steigendem Unterkieferwinkel abnahm. Außerdem hatten die männlichen Probanden (n=92) signifikant größere Zahnbogenbreiten als die weiblichen (n=93). Dies deutete darauf hin, dass die Breite des Zahnbogens mit dem Geschlecht und der vertikalen Gesichtsmorphologie zusammenhängt.

Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der craniofazialen Morphologie und klinischem Attachmentverlust an Zähnen zeigte eine 11-jährige, retrospektive Langzeitstudie (Salti et al., 2017). Lineare Regressionsmodelle dienten dazu, Zusammenhänge zwischen spezifischen Abständen im Gesicht und der gingivalen Rezession und Attachmentverlust zu untersuchen. Es wurde festgestellt, dass eine größere Schädelbreite mit einer geringeren gingivalen Rezession und

geringerem Attachmentverlust verbunden war, während ein langes, schmales Gesicht mit einem erhöhten Attachmentverlust einherging. Dieser war im anterioren Bereich an Schneide- und Eckzähnen besonders ausgeprägt. Insgesamt stellt die craniofaziale Morphologie, vor allem die Schädelbreite, einen möglichen Risikofaktor für gingivale Rezession und Attachmentverlust dar.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass an Zähnen die skelettale Morphologie (apikale Basis, skelettale Klasse und Wachstumstyp) einen Einfluss auf die Prävalenz von Knochenabbau (Dehiszenzen und Fenestrationen), Attachmentverlust und gingivale Rezession hat.

Aus diesem Grund spielt die skelettale Morphologie besonders in der Kieferorthopädie eine große Rolle. Die Morphologie des Alveolarknochens stellt einen limitierenden Faktor für die kieferorthopädische Bewegung dar und sollte bei der Behandlungsplanung individuell berücksichtigt werden. Insbesondere bukkolinguale Zahnbewegungen können die Zähne vom Alveolarknochen dezentralisieren und Knochendehiszenzen und Fenestrationen verursachen.

2.5 Ziel der Studie

Ziel dieser 2-30-jährigen Kohortenstudie an Patienten mit parodontalen Vorerkrankungen und dentalen Implantaten war der Nachweis eines Zusammenhangs zwischen Überlebensrate von Implantaten und Morphologie des Ober- und Unterkiefers.

3 Material und Methode

Alle Patienten wurden über Ablauf und Ziel der Studie aufgeklärt und haben ihr Einverständnis mit einer Unterschrift bestätigt. Die Ausrichtung der Studie erfolgte nach den Richtlinien der World Medical Association Declaration of Helsinki [Version VI, 2002]. Die Studie wurde durch die Ethikkommission Marburg (Aktenzeichen: ek_mr_11_07_2017_mengel) genehmigt.

3.1 Patienten

In dieser Kohortenstudie wurden insgesamt 68 Patienten (35 weiblich und 33 männlich) aus dem Patientenkollektiv des Medizinischen Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Marburg ausgewählt. Vor Implantation wurde bei allen Patienten eine systematische parodontale Behandlung durchgeführt. Im Anschluss daran startete ein 3-6-monatiges Recallprogramm über 2-4 Jahre. Die Kontrolltermine beinhalteten eine Mundhygienekontrolle, Motivation und Instruktion. Außerdem erhielten alle Zähne mit Sondierungstiefe (ST) >4mm und Blutung nach Sondieren (BnS) ein Scaling und Root Planing. Nicht erhaltungswürdige Zähne wurden entfernt und die Patienten nach umfangreicher prothetischer Beratung mit Implantaten versorgt. Die Implantate wurden nach Bedarf mit Einzelkronen, Brücken oder Doppelkronen versorgt. Die prothetische Versorgung erfolgte im medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Marburg. Alle an der Studie teilnehmenden Patienten wiesen zum Zeitpunkt der Implantation folgende Kriterien auf:

- Keine systemischen Erkrankungen (z.B. kardio-vaskuläre Erkrankungen, Diabetes, Osteoporose)
- Keine unbehandelte Karies
- Kein Bruxismus
- Keine Schwangerschaft
- Keine aktuelle kieferorthopädische Behandlung
- Kein Missbrauch von Drogen, Alkohol oder Medikamenten
- Keine psychischen Erkrankungen

Die Patienten wurden 2018 zu ihrem ersten Recalltermin gemäß der neuen Klassifikation in die entsprechenden Stadien (Schwere der Parodontitis) und Grade (Progression der Parodontitis) eingeteilt (Papapanou et al., 2018). Es wurden die Stadien I-IV unterschieden. Hierbei zählte vor allem der approximale röntgenologische Knochenverlust an der schlechtesten Stelle (Stadium I <15%, Stadium II 15-33% und Stadium III&IV >33%). Zusätzlich dazu wurden Taschentiefe, Furkationsbeteiligung und tiefe intraossäre Defekte berücksichtigt. Ergänzt wurde das Staging durch das Grading, das die zu erwartende Progression der Parodontitis definierte. Dabei diente das Verhältnis zwischen Prozentsatz des röntgenologischen Knochenabbaus und Alter des Patienten zur Einteilung in die Grade A-C (Grad A <0,25, Grad B 0,25-1,0, Grad C >1,0). 22 Patienten wurden Stadium I, 32 Patienten Stadium II und 14 Patienten Stadium III zugeordnet. Bezüglich des Grading wiesen 35 Patienten Grad A, 27 Patienten Grad B und 6 Patienten Grad C auf.

Tab. 1: Patientenkollektiv

Patienten	(n=68)	
Implantate	(n=269)	
Geschlecht	Frauen (n=35)	122
	Männer (n=33)	147
Rauchstatus	Raucher (n=7)	30
	Nichtraucher (n=61)	239
Alter bei Implantation	< 60 Jahre	190
	≥ 60 Jahre	79
Implantatsystem	aufgeraut	179
	maschinell glatt	90
Knochenaugmentation	ja	91
	nein	178
Suprakonstruktion	Einzelkronen	125
	Brücken	55
	Doppelkronen	89
Verankerungsart	verschraubt	105
	zementiert	164
Knochenqualität	1	17
	2	194
	3	58
Knochenquantität	A	17
	B	135
	C	83
	D	34

3.2 Implantation und prothetische Versorgung

Zwischen 1991 und 2021 wurden bei 68 Patienten insgesamt 269 Implantate inseriert (Tab.1). Der Implantatdurchmesser lag zwischen 3,3 und 5mm, die Implantatlänge zwischen 7 und 18mm. Es handelt sich um 90 Implantate mit maschinell glatter Oberfläche und Außensechskantverbindung und 179 Implantate mit aufgerauter Oberfläche und Dreikanalinnenverbindung. Sie wurden auf Knochenniveau inseriert. An 91 Implantaten wurde zusätzlich mit Knochenersatzmaterial (Bio-Oss®, Geistlich Pharma AG, Wolhusen, Schweiz), autologem Knochen und einer resorbierbaren, xenogenen Membran (Bio-Gide®, Geistlich Pharma AG, Wolhusen, Schweiz) eine Augmentation vorgenommen. Nach sechsmonatiger Einheilungszeit im Oberkiefer und dreimonatiger Einheilungszeit im Unterkiefer wurden die Implantate freigelegt. Hierbei erfolgte gemäß den Herstellerrichtlinien eine krestale Inzision und Lappenbildung. Prof. Dr. Reiner Mengel führte sowohl Implantation als auch Freilegung durch. Die endgültige prothetische Versorgung wurde nach circa 4 Wochen eingesetzt. Die Suprakonstruktionen (implantatgetragene Einzelzahnkronen (n=125), Brücken (n=55) und Doppelkronen (n=89)) aus hochgoldhaltigen Metallgerüsten mit Keramikverblendung wurden verschraubt (n=104) oder zementiert (n=146). Alle Suprakonstruktionen wurden im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Marburg angefertigt und eingegliedert.

3.3 Recall

Nach der prothetischen Versorgung erhielten alle Patienten in einem regelmäßigen 3 bis 6-monatigen Untersuchungsintervall (Recall) im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Marburg eine begleitende Erhaltungstherapie. In jeder Recall-Sitzung wurden ein vollständiger dentaler Befund, ein funktioneller Kurzcheck und klinische Parameter erhoben. Es erfolgte eine supra- und subgingivale (nur bei Indikation) Reinigung der Zähne und Implantate sowie eine eingehende Instruktion und Motivation zur Mundhygiene. Die subgingivale Reinigung erfolgte an Zähnen und Implantaten mit Taschentiepen >4mm und Bluten nach Sondieren. Radiologische Einzelzahnfilme der Zähne und Implantate wurden unmittelbar nach Eingliederung der Suprakonstruktion sowie nach 1, 3, 5, 10, 15 und 20 Jahren durchgeführt. Eine Funktionsanalyse erfolgte jährlich.

3.4 Anamnese

Zu Beginn der Behandlung wurde eine allgemeine und spezielle Anamnese der Patienten erhoben und jährlich in den Recall-Sitzungen überprüft und aktualisiert. Allgemeinerkrankungen wurden durch die entsprechenden Haus- und Fachärzte diagnostiziert und therapiert. Die angegebenen systemischen Erkrankungen wurden gemäß den Richtlinien der World Health Organization (WHO) in die "International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems" eingeteilt (Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte, 2023). Unter anderem wurden die Patienten anhand ihres Raucherstatus in zwei Gruppen eingeteilt: Nichtraucher und Raucher (Kinane & Radvar, 1997). Als Nichtraucher (n=61) galten jene Patienten, die nie geraucht oder vor mehr als 2 Jahren aufgehört hatten. Die Patienten, die innerhalb des Beobachtungszeitraumes 5 Jahre lang ≥ 10 Zigaretten täglich rauchten, wurden der Gruppe der Raucher (n=7) zugeordnet.

3.5 Klinische Untersuchung

Die klinischen Befunde wurden in einem Zeitraum von mindestens 5 bis 30 Jahren durch insgesamt 20 verschiedene Untersucher erhoben. Im Vorfeld der Studie wurden die verschiedenen Untersucher jeweils mittels Testmessungen auf ihre eigene und auf die Reproduzierbarkeit untereinander kalibriert. Die Kalibrierung erfolgte an 50 Zahnflächen an 5 verschiedenen Patienten. Dies wurde jährlich wiederholt, um die Reproduzierbarkeit und damit die Messgenauigkeit zu optimieren (Korrelationskoeffizient der klinischen Reproduzierbarkeit pro Untersucher: 0,91 bis 0,99; Korrelationskoeffizient im Vergleich zu anderen Untersuchern: 0,91 bis 0,95). Neben einem ausführlichen dentalen Befund und funktionellem Kurzcheck wurden an allen Zähnen und Implantaten folgende Parameter erhoben:

- Sondierungstiefen (ST) und Blutung nach Sondieren (BnS)
- Mukosale/ gingivale Rezessionen
- Breite der befestigten Mukosa/ Gingiva
- Plaque-Index (PI) (Silness & Loe, 1964)
- Gingiva-Index (GI) (Loe & Silness, 1963)

3.5.1 Knochenqualität und -quantität

Die Knochenqualität und -quantität wurden durch den Operateur zum Zeitpunkt der Implantation bestimmt. Die Knochenqualität wurde in vier Typen (I bis IV) eingeteilt (Lekholm & Zarb, 1985).

Typ I: Wenig Spongiosa, überwiegend homogene Kompakta.

Typ II: Engmaschige Spongiosa, breite Kompakta.

Typ III: Engmaschige Spongiosa, dünne Kompakta.

Typ IV: Weitmaschige Spongiosa, dünne Kompakta.

Die Knochenquantität wurde in Resorptionsklassen von Grad A bis E eingeteilt:

Grad A: Fast vollständiger Alveolarkamm.

Grad B: Geringfügige Resorption des Alveolarkamms.

Grad C: Fortgeschrittene Resorption des Alveolarkamms bis zum Basalbogen.

Grad D: Beginnende Resorption des Basalbogens.

Grad E: Extreme Resorption des Basalbogens.

3.5.2 Sondierungstiefe und Bluten nach Sondieren

Die ST dient dem Messen von Zahnfleischtaschen an Zähnen und Implantaten. Hierbei wird eine Parodontalsonde in axialer Richtung parallel zur Zahn- oder Implantatachse mit gleichmäßigem Druck von 0,25 N auf den Taschenboden gebracht (Chamberlain et al., 1985; van der Velden & Vries, 1980). Gemessen wird an 6 Stellen pro Zahn/Implantat (mv, zv, dv, mo, zo, do) die Strecke zwischen Taschenboden und koronalem Rand des Gingivasaums in Millimetern. Eine Blickkontrolle etwa 20 Sekunden nach dem Sondieren stellt fest, ob der Sulcus auf den Sondierungsreiz mit einer Blutung reagiert oder nicht (BnS positiv/negativ) (Ainamo & Bay, 1975; Lang et al., 1986). Nun wird eine Prozentangabe errechnet, die den Index der BnS-Stellen darstellt:

$$\text{BnS} = \frac{\text{Summe der positiven Messstellen}}{\text{Summe aller Messstellen}} * 100\%$$

3.5.3 Plaque-Index

Der Plaque-Index (PI) ist die objektive und quantitative Erfassung der Plaqueakkumulation an Zähnen und Implantaten (Silness & Loe, 1964). Es wird an 16, 11, 26, 36, 41, 46 (jeweils mv, zv, dv, mo, zo, do) gemessen. Fehlen die Indexzähne, wird an den nächsten Zähnen im selben Sextanten gemessen. Ist der Sextant zahnlos, wird dies mit einem „x“ gekennzeichnet. Zunächst werden die jeweiligen Zähne luftgetrocknet und der Sulcus mit einer Parodontalsonde ausgestrichen. Bei sich verändernder Plaquesituation entlang des Gingivarandes, wird die „schlimmste“ Stelle gewertet. Die gemessenen Flächen werden in die Grade 0 bis 3 eingeteilt:

Grad 0: Keine Plaque.

Grad 1: Es gibt keine sichtbaren Beläge auf der Zahn-/Implantatoberfläche.

Nach Ausstreichen des Sulcus wird eine dünne Plaqueschicht an der Sonde erkennbar.

Grad 2: Am Gingiva-/Mukosarand ist eine dünne bis moderate Plaqueschicht bereits mit dem Auge sichtbar.

Grad 3: Sulcus, Glattflächen und Interdentalräume von Zähnen und Implantaten weisen starke Plaqueakkumulationen und weiche Beläge auf.

Nach Erhebung der Messdaten wird die Summe der Bewertungsziffern durch die Anzahl der bewerteten Flächen geteilt und es ergibt sich der PI:

$$PI = \frac{\text{Summe der Bewertungsziffern}}{\text{Anzahl der bewerteten Flächen}}$$

3.5.4 Gingiva-Index

Der GI gibt den Entzündungsgrad der marginalen Gingiva/Mukosa an (Loe & Silness, 1963). Die Gradeinteilung erfolgt wie beim PI von 0 bis 3. Eine Parodontalsonde mit Millimetereinteilung (PCPUNC 15, HuFriedy, Frankfurt am Main, Deutschland) wird horizontal entlang des Zahnes/Implantates am oberen Gingivarand geführt. Es wird wie beim Plaque-Index an 16, 11, 26, 36, 41, 46 (jeweils mv, zv, dv, mo, zo, do) gemessen. Fehlen die Indexzähne, wird an den nächsten Zähnen im selben Sextanten gemessen. Ist der Sextant zahnlos, wird dies mit einem „x“ gekennzeichnet. Die Entzündungsreaktion wird wie folgt eingeteilt:

Grad 0: Keine Entzündungsreaktion oder Entzündungszeichen.

Grad 1: Leichte Entzündungsreaktion. Als Entzündungszeichen zeigt sich eine verstärkte Rötung von Gingiva/Mukosa.

Grad 2: Moderate Entzündungsreaktion mit gesteigerter Rötung und ödematöser, hypertropher Veränderung der Gingiva/Mukosa. Auf Manipulation mit der Sonde kann eine Blutung folgen.

Grad 3: Starke Entzündungsreaktion mit deutlichen Entzündungszeichen: Rötung und Hypertrophie. Die Gingiva/Mukosa blutet oder ulzeriert gegebenenfalls spontan.

3.6 Zweidimensionale radiologische Untersuchung

Die radiologische Untersuchung von Implantaten und Zähnen erfolgte im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Philipps Universität Marburg mittels standardisierter Paralleltechnik und Rinn-Filmhalter durch einen erfahrenen radiologischen Assistenten. Das erste Röntgenbild wurde zur Baseline angefertigt, dem Zeitpunkt der Eingliederung der Suprakonstruktion. Danach folgten Röntgenbilder in den Abständen 1, 3, 5, 10, 15 und 20 Jahre nach Baseline (Abb. 10).



Abb. 10: Auswertung der radiologischen Daten

Alle Röntgenbilder sind Einzelzahnfilme (Fa. Kodak, Stuttgart, Deutschland) und wurden bis 2005 analog und ab 2005 digital aufgenommen. Das Röntgengerät (Oralix 50, Fa. Phillips, Hamburg, Deutschland) wurde mit 50kV/5mA betrieben und die Röntgenbilder anschließend entwickelt. Die analogen Zahnfilme wurden digitalisiert. Der Knochenabbau an Implantaten und Zähnen wurde dann mithilfe der Planungssoftware Planmeca Romexis (Version 3.0.1, Planmeca, Helsinki, Finnland) vermessen und ausgewertet (Abb.11). Hierfür wurde die Programmfunktion „Abstandsmessung“ verwendet. Die bekannte Implantatlänge (IL) diene als Bezugswert. Die Vermessung des Knochenabbaus erfolgte standardisiert, die Messtechnik der Behandler wurde kalibriert. Gemessen wurde vertikal und in Millimetern (mm). Die Verbindung von Abutment und Implantat (A/I) zur krestalen Knochenkante wurde als „Knochenlevel Implantat“ (KLI) definiert.

Pro Implantat erfolgten zwei Messungen: mesiales und distales Knochenlevel (mKLI/dKLI). Das KLI ist der Mittelwert von mKLI und dKLI:

$$\text{KLI} = \frac{\text{mKLI} + \text{dKLI}}{2}$$

Der zu untersuchende periimplantäre Knochenabbau (KA) wird aus der Differenz des KLI zwischen den Untersuchungsintervallen (Baseline, 1, 3, 5, 10, 15 und 20 Jahre) gebildet und wurde dann pro Jahr notiert und in die zentrale Datenbank des Koordinierungszentrums für klinische Studien in Marburg implementiert.

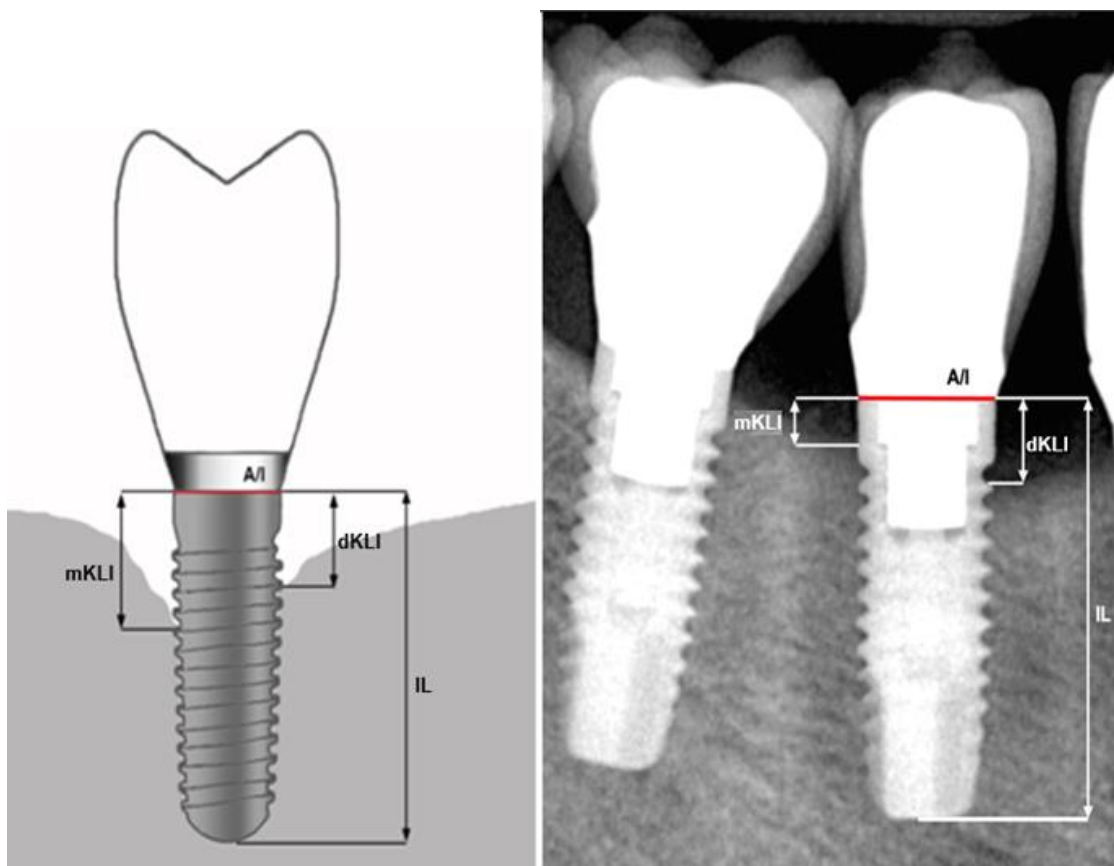


Abb. 11: Vermessung des Knochenlevels

mKLI: mesiales Knochenlevel

dKLI: distales Knochenlevel

IL: Implantatlänge

A/I: Abutment-Implantat-Übergang

Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Mengel

3.7 Dreidimensionale radiologische Untersuchung

Bei allen Patienten wurde zur routinemäßigen präimplantologischen Diagnostik eine DVT-Aufnahme mit dem „3D Accuitomo 170“ (MORITA, Kyoto, Japan) oder dem „Planmeca ProMax® 3D Plus“ (PLANMECA, Helsinki, Finnland) angefertigt (DVT=Digitale Volumetomographie). Alle DVT-Aufnahmen wurden mit den folgenden technischen Parametern erstellt:

- Röhrenspannung von 90-120 kV
- Röhrenstrom von 3-8 mA
- Belichtungszeit von 17,5ms
- 320 Scan-Schichten (1 Schicht = 0,3mm dick)
- Voxelgröße von 0,125-0,25mm

Die DVT-Aufnahmen wurden nur dann berücksichtigt, wenn die folgenden Kriterien erfüllt waren:

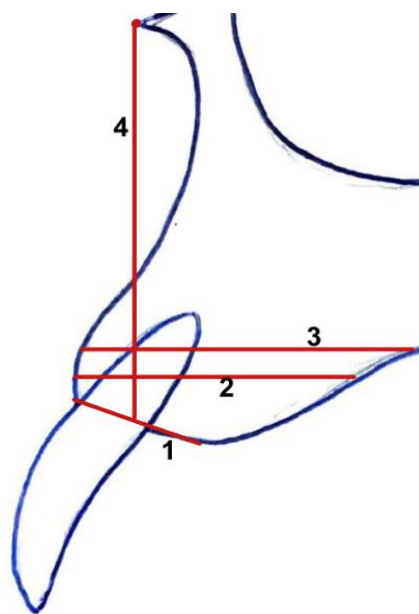
1. Field of View (FoV) musste mindestens einen Sextanten des Unter- und/oder Oberkiefers umfassen und dieser musste mindestens einen Zahn enthalten
2. Bildqualität durfte nicht durch Abschattungsartefakte wie beispielsweise restaurative Materialien gestört sein
3. Voxelgröße von mindestens 0,125mm

Insgesamt erfüllten die präimplantologischen DVT-Aufnahmen von 68 Patienten diese Kriterien. Das FoV von 39 DVT-Aufnahmen umfasste die Oberkiefer-Front. Ebenfalls 39 DVT-Aufnahmen ermöglichten die Vermessung des linken und/oder rechten Oberkiefer-Seitenzahnbereichs. Der Unterkiefer-Seitenzahnbereich war im FoV von 37 DVT-Aufnahmen enthalten. Die Unterkiefer-Front wurde ausgeschlossen, da die Stichprobenzahl zu gering war.

3.7.1 Messungen

Alle DVT-Aufnahmen wurden in die Software Planmeca Romexis® (Planmeca, Helsinki, Finnland) eingepflegt und dort mit der Funktion „Abstandsmessung“ vermessen. Die Vermessung der Knochenmorphologie erfolgte auf einem für die radiologische Befundung zugelassenen 27-Zoll Desktop-Computer (Barco®, Kortrijk, Belgien). Alle Messungen wurden von derselben Untersucherin durch-

geführt. Die Untersucherin wurde jeweils vor den Messungen mittels Testmessungen auf ihre eigene Reproduzierbarkeit an 25 verschiedenen DVT-Aufnahmen kalibriert (Korrelationskoeffizient der Reproduzierbarkeit im Vergleich zwei Wochen später: 0,95-0,99). Außerdem wurden die DVT-Aufnahmen zwei Wochen nach der ersten Messung erneut vermessen, um die Zuverlässigkeit der Methode zu überprüfen. Die Messungen der Alveolarfortsatzhöhe erfolgten in der Vertikalen. Die Messungen der Alveolarfortsatzbreite erfolgten in der Horizontalen. Im Frontzahnbereich wurde die sagittale Schicht und im Seitenzahnbereich die koronare Schicht für die Messungen gewählt (Abb. 12-17).



Alveolarfortsatzbreite:

- 1 = krestale Knochenbreite
- 2 = Orthogonale zu 4 (bei $\frac{1}{4}$ von 4)
- 3 = Orthogonale zu 4 (bei $\frac{1}{2}$ von 4)

Alveolarfortsatzhöhe:

- 4 = Verbindung Spina nasalis anterior zur Mitte von 1

Abb. 12: Skizze Oberkiefer-Front

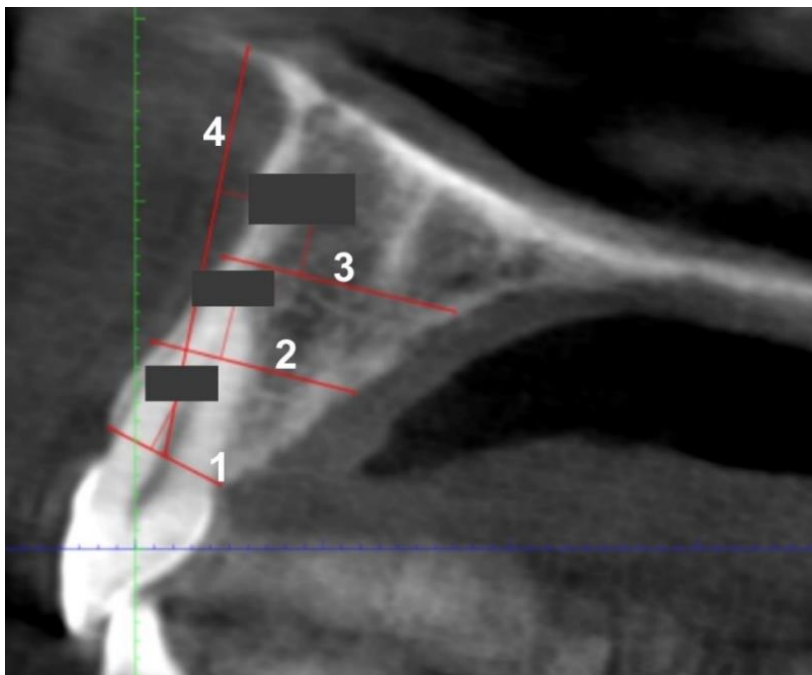
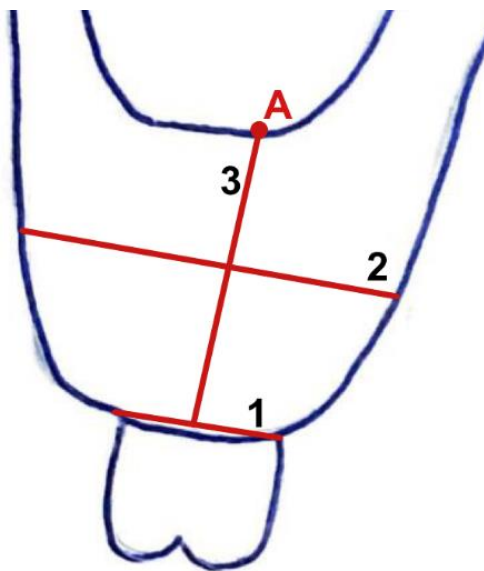


Abb. 13: Messung Oberkiefer-Front



A = tiefster Punkt der Kieferhöhle

Alveolarfortsatzbreite:

1 = krestale Knochenbreite

2 = Orthogonale zu 3 (bei $\frac{1}{2}$ von 3)

Alveolarfortsazhöhe:

3 = Verbindung **A** zur Mitte von 1

Abb. 14: Skizze Oberkiefer-Seitenzahnbereich

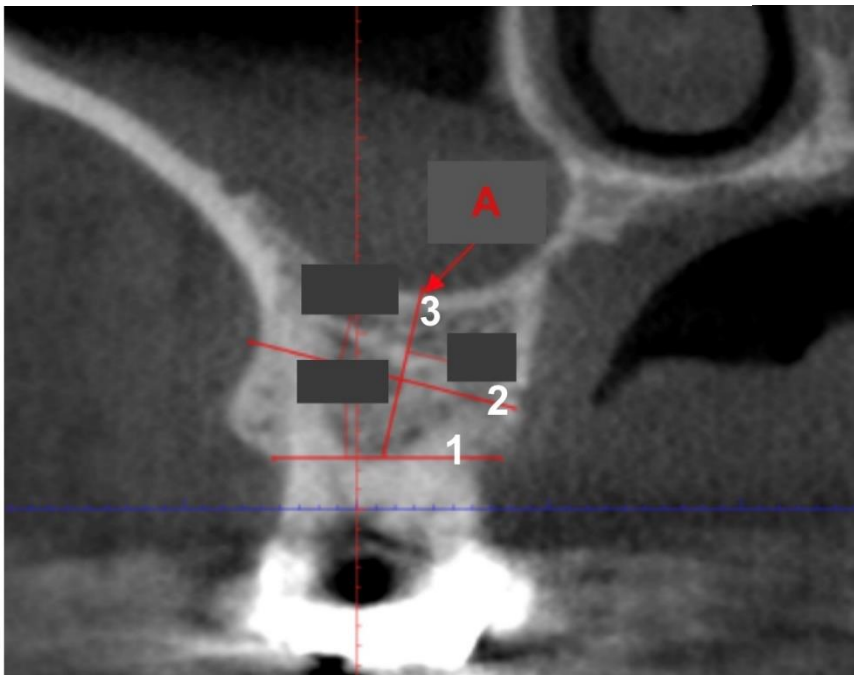
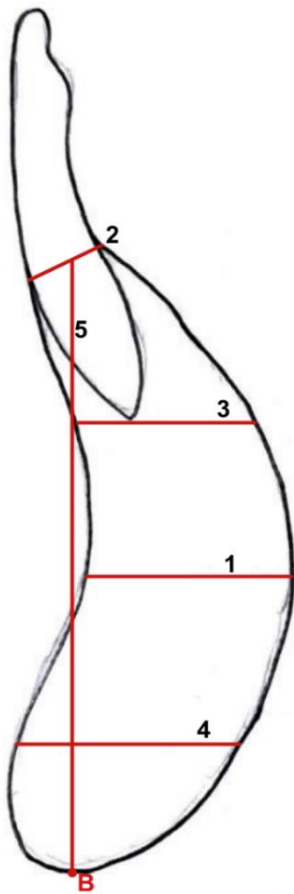


Abb. 15: Messung Oberkiefer-Seitenzahnbereich



B = tiefster Punkt des Unterkieferrandes

Alveolarfortsatzbreite:

1 = schmalste Stelle

2 = krestale Knochenbreite

3 = Orthogonale zu 5 (bei $\frac{1}{4}$ von 5)

4 = Orthogonale zu 5 (bei $\frac{3}{4}$ von 5)

Alveolarfortsatzhöhe:

5 = Verbindung **B** zur Mitte von 2

Abb. 16: Skizze Unterkiefer

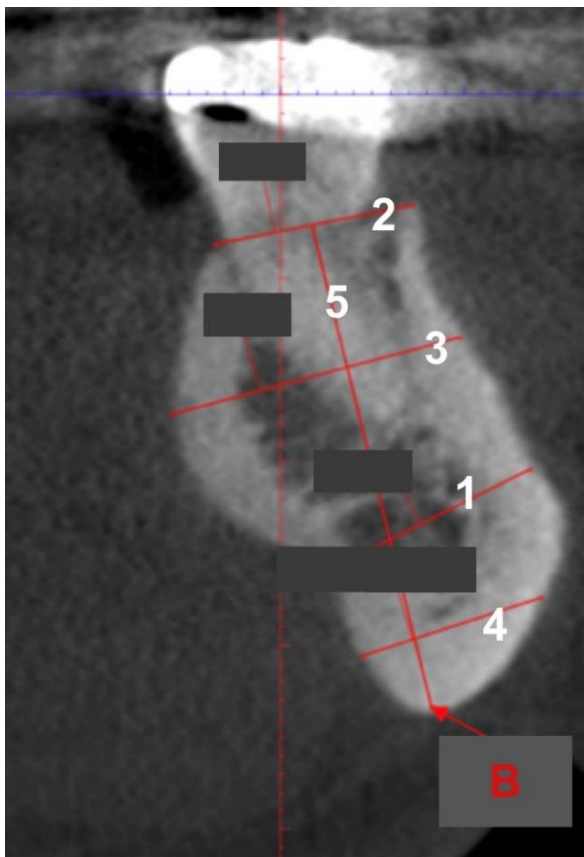


Abb. 17: Messung Unterkiefer

3.7.2 Klassifizierung der Morphotypen

Die Mittelwerte aller gemessenen Werte wurden errechnet und anhand dessen eine Klassifizierung entworfen. Waren die Werte kleiner als die zuvor errechneten Mittelwerte, so wurden die Patienten dem schmalen bzw. tiefen Typ zugeordnet. Waren die Werte größer, wurden sie dem breiten bzw. hohen Typ zugeordnet. Daraus ergab sich eine Einteilung in die vier folgenden Morphotypen:

Morphotyp 1 - Schmal und hoher Alveolarfortsatz

Morphotyp 2 - Schmal und tiefer Alveolarfortsatz

Morphotyp 3 - Breiter und hoher Alveolarfortsatz

Morphotyp 4 - Breiter und tiefer Alveolarfortsatz

Für die Einordnung der Alveolarfortsatzbreite wurden jeweils die Mittelwerte der „Breite“-Messungen eines jeden Patienten verwendet. Für die Alveolarfortsatzhöhe gab es pro Messung nur einen Wert, der für die Einteilung herangezogen wurde (Tab. 2).

Tab. 2: Grenzwerte für die Einteilung in schmal/breit und hoch/tief

	Alveolarfortsatzbreite	Alveolarfortsatzhöhe
Oberkiefer-Front	9,0mm	18,0mm
Oberkiefer-Seitenzahn	9,5mm	8,5mm
Unterkiefer-Seitenzahn	11,5mm	25,0mm

3.8 Zeitlicher Ablauf

Bei allen Patienten wurde eine systematische Parodontalbehandlung durchgeführt (Abb. 18). Im Anschluss erfolgte ein Recallprogramm über einen Zeitraum von 2- 4 Jahren. Nichterhaltungswürdige Zähne wurden extrahiert und die Heilungsphase der Extraktionsalveole von 6 Monaten bis zur Implantation abgewartet. Bei allen Patienten wurde zur routinemäßigen präimplantologischen Diagnostik eine DVT-Aufnahme angefertigt. Nach weiteren 3 Monaten (Unterkiefer) beziehungsweise 6 Monaten (Oberkiefer) erfolgte die Freilegung des Implantates. Die Suprakonstruktion wurde einen Monat später eingegliedert. Danach wurden alle Patienten in das 3-6-monatige Recallprogramm aufgenommen bei dem über

2-20 Jahre die klinischen Parameter gemessen und Zähne und Implantate gründlich gereinigt wurden. Radiologische Einzelzahnfilme der Zähne und Implantate wurden unmittelbar nach Eingliederung der Suprakonstruktion sowie nach 1, 3, 5, 10, 15 und 20 Jahren durchgeführt.

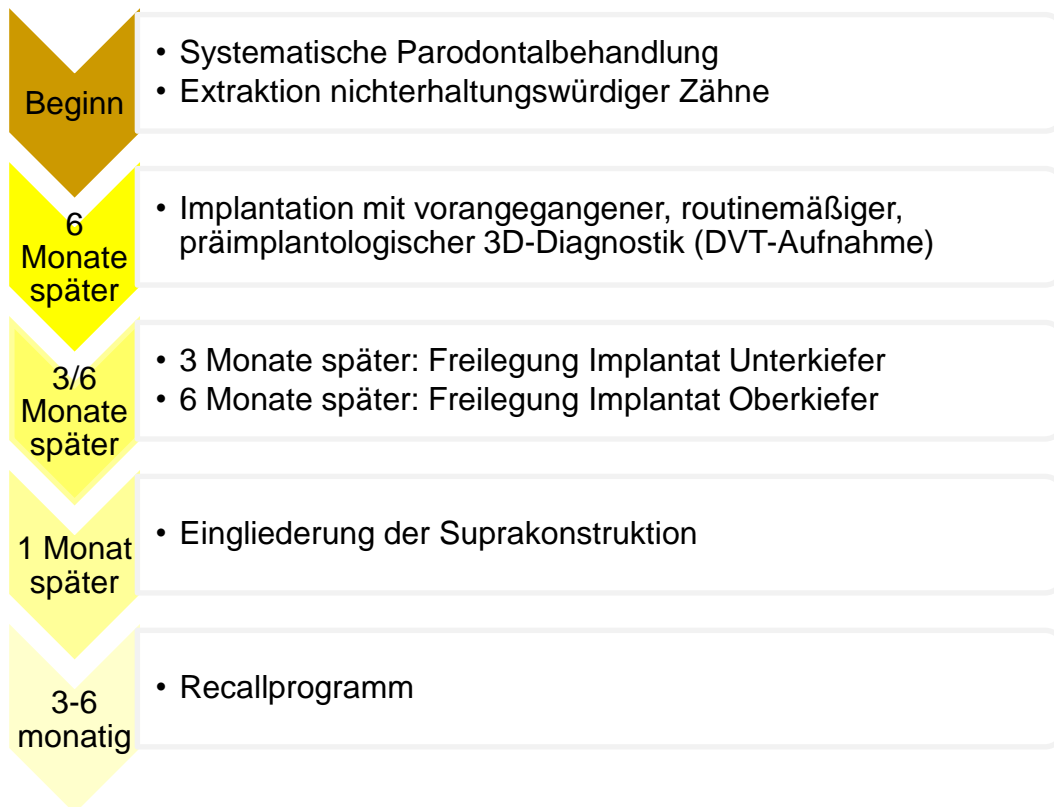


Abb. 18: Zeitlicher Ablauf

3.9 Datenmanagement und Statistische Methoden

Alle Daten entstammen der Datenbank NBImpant des Koordinierungszentrums für klinische Studien an der Philipps-Universität Marburg. Die statistische Auswertung erfolgte durch die Firma MoreData Gießen. Für jeden Untersuchungstermin wurden die Werte eines jeden Parameters gemittelt und als Jahresmittelwert zusammengefasst. Der Knochenabbau errechnete sich aus den Messungen der radiologischen Aufnahmen (2D). Die Auswertung erfolgte Implantat- und Patientenbezogen. Die deskriptive Darstellung der metrisch skalierten Parameter erfolgte tabellarisch mit der Darstellung des arithmetischen Mittelwertes, der Standardabweichung und eines 95%-Konfidenzintervalls für den Mittelwert. Als alternative Lage- und Streuungsmaße sind der Median (50%-Quartil) und der Interquartilbereich, das heißt das Intervall des 25% und 75% Quartils, angegeben.

Die Daten wurden mit Normal Q-Q Plots und dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung überprüft (Shapiro & Wilk, 1965). Die Überprüfung ergab in der Regel einen Widerspruch zur Hypothese der Normalverteilungsannahme.

Somit wurden Vergleiche zwischen den Morphotypen mit dem nichtparametrischen Kruskal-Wallis-Test durchgeführt (Kruskal & Wallis, 1952). Multiple Vergleiche wurden mit dem nichtparametrischen Dunn-Test durchgeführt. Qualitative Parameter wurden mit Kreuztabellen dargestellt und mit dem exakten Test nach Fisher auf Zusammenhänge überprüft. Die Überlebenszeiten der Implantate wurden anhand einer Kaplan-Meier-Analyse ermittelt. Dabei wird nichtparametrisch die Wahrscheinlichkeit getestet, dass ein bestimmtes Ereignis innerhalb eines Zeitintervalls nicht eintritt (Kaplan, 1958). Das Zielereignis dieser Studie war das Ende der Funktionsperiode von Implantaten. Trat dieses Ereignis nicht ein, so erfolgte eine Zensierung am Datum des letzten Klinikbesuches des Patienten. Die Überlebensdauern der verschiedenen Gruppen untereinander wurden statistisch mit dem Standardverfahren, dem Log-Rank-Test, verglichen. Zum Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$ ist der Unterschied zwischen den Überlebenszeiten nicht signifikant.

Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgte durch Boxplots.

Das Alpha-Niveau der Studie liegt bei $p=0.05$. Die Auswertung erfolgte mit dem Programm R für Windows Version 3.5.1.

3.10 Eigenanteil an der vorliegenden Studie

Von Januar-März 2023 sichtete die Doktorandin alle verfügbaren 196 DVT-Aufnahmen aus Professor Mengels Langzeit-Kohortenstudie an Patienten mit parodontalen Vorerkrankungen und legte die Kriterien (FOV, Bildqualität, Voxelgröße) zum Einschluss in die eigene Studie fest. Die Doktorandin entwarf eine Klassifizierung mit 4 Morphotypen und legte anhand von Skizzen die Messlinien fest. Die Vermessung und Klassifizierung von insgesamt 115 DVT-Aufnahmen der Studie sowie deren Einpflegen in die Software Planmeca Romexis wurden im April 2023 von der Doktorandin durchgeführt. Um die notwendige Genauigkeit beim Vermessen der DVT-Aufnahmen zu gewährleisten und die Zuverlässigkeit der Methode zu überprüfen, vermaß sie alle DVT-Aufnahmen zwei Wochen nach der ersten Messung erneut. Die erhobenen radiologischen Messwerte wurden von der Doktorandin in der Datenbank NBImpant des Koordinierungszentrums für Klinische Studien (KKS) der Philipps-Universität Marburg angelegt.

4 Ergebnisse

4.1 Beobachtungszeitraum

Insgesamt wurden 68 Patienten mit 269 Implantaten über einen Untersuchungszeitraum von 2-30 Jahren untersucht (Tab. 3).

Tab. 3: Beobachtungszeitraum

Jahr	Patienten	Implantate
1	68	266
2	55	215
3	33	93
4	42	139
5	46	124
6	50	144
7	52	179
8	55	188
9	51	172
≥ 10	45	159
≥ 15	24	60
≥ 20	19	61
≥ 25	7	27

4.2 Komplikationen

Im gesamten Beobachtungszeitraum traten die folgenden Komplikationen an Implantaten auf:

- Fraktur Suprakonstruktion oder Abplatzung Keramikverblendung (n=25)
- Lockerung Suprakonstruktion (n=24)
- Abszesse (n=11)
- Fraktur Implantat (n=7)
- Lockerung Abutment (n=6)
- Fraktur des Abutments (n=2)

4.3 Einteilung in Morphotypen

Von den Patienten deren OK-Front vermessen wurde (n=39), entsprechen 17,9% (n=7) Morphotyp 1, 25,6% (n=10) Morphotyp 2, 17,9% Morphotyp 3 (n=7) und 38,5% Morphotyp 4 (n=15) (Tab.4). Bei den Patienten deren OK-Seitenzahnbereich vermessen wurde (n=39), entsprechen 23,1% (n=9) Morphotyp 1, 25,6% (n=10) Morphotyp 2, 17,9% (n=7) Morphotyp 3 und 33,3% (n=13) Morphotyp 4. Die Patienten deren UK vermessen wurden (n=37) teilen sich wie folgt auf: 32,4% (n=12) Morphotyp 1, 32,4% (n=12) Morphotyp 2, 21,6% (n=8) Morphotyp 3 und 13,5% (n=5) Morphotyp 4.

Tab. 4: Patienteneinteilung in Morphotypen

	Morphotyp	n	Prozent
Oberkiefer-Front	1	7	17,9%
	2	10	25,6%
	3	7	17,9%
	4	15	38,5%
Oberkiefer-Seitenzahn	1	9	23,1%
	2	10	25,6%
	3	7	17,9%
	4	13	33,3%
Unterkiefer-Seitenzahn	1	12	32,4%
	2	12	32,4%
	3	8	21,6%
	4	5	13,5%

n = Patientenzahl

4.4 Überlebensdauer der Implantate

Von den 269 Implantaten wurden 19 (7,2%) im Verlauf der Beobachtungszeit explantiert (Abb. 19). 3 Implantate wurden bereits 6 Monate nach Implantation aufgrund von bindegewebiger Einheilung und der damit verbundenen fehlenden Osseointegration entfernt. Ein weiteres Implantat wurde nach knapp 3 Jahren aufgrund von Periimplantitis explantiert. 5 Jahre nach Implantation mussten aufgrund von Frakturen 2 weitere Implantate entfernt werden. Nach 10 Jahren wurden 4 Implantate aufgrund von Periimplantitis explantiert. 15 Jahre nach Implantation mussten 2 Implantate infolge einer Periimplantitis und 2 weitere aufgrund von Frakturen entfernt werden. Im Jahr 20 nach Implantation mussten 5 weitere Implantate infolge einer Periimplantitis explantiert werden.

Ergebnisse

Für alle Implantate beträgt die Überlebensrate nach 5 Jahren 97,7%, nach 10 Jahren 95,2% und nach 20 Jahren 90,3%.

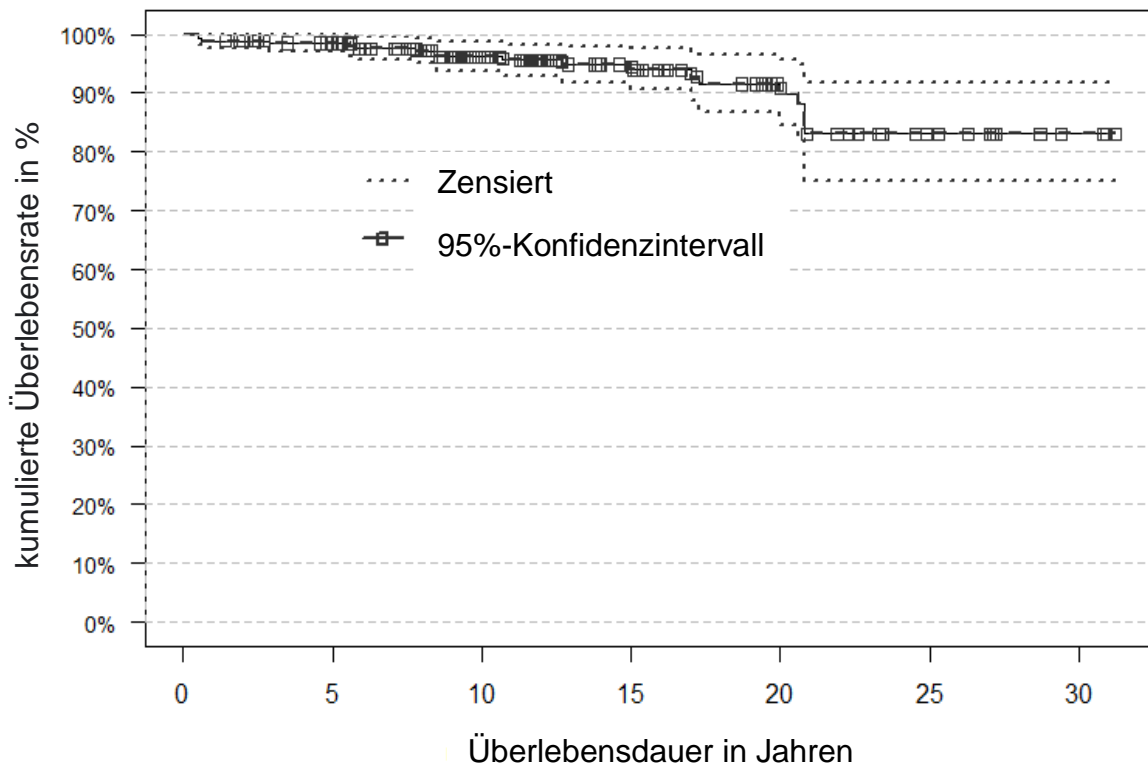


Abb. 19: Überlebensdauer aller Implantate

Zensiert = Das Ereignis ist nicht in seiner Gesamtheit erfasst, dadurch ist der genaue Zeitpunkt, zu dem das Ereignis eingetreten ist, unbekannt.

95%-Konfidenzintervall = der Bereich, in dem der wahre Mittelwert der Grundgesamtheit zu 95% liegt.

Tab. 5: Überlebensdauer der Implantate nach Morphotypen

	Typ	Mittlere Überlebensdauer in Jahren	Standardfehler	p-Wert
OK-Front	1	27,3	2,4	p=0,53
	2	28,7	1,1	
	3	31,2	0,0	
	4	28,1	1,2	
OK-SZ	1	27,9	1,2	p<0,01
	2	30,2	0,9	
	3	21,4	3,2	
	4	30,4	0,8	
UK	1	29,6	1,3	p=0,44
	2	27,2	1,3	
	3	28,3	1,5	
	4	30,9	0,0	

Überlebensdauer der Implantate berechnet mit Kaplan-Meier-Analyse

Typ = Morphotyp

p-Wert = Signifikanzwert des univariaten Vergleichs zwischen den Morphotypen

Ergebnisse

Im Vergleich der 4 Morphotypen in der OK-Front wurde kein signifikanter Unterschied ($p=0,53$) in Bezug auf die Überlebensrate festgestellt (Tab. 5). Ebenso konnte im UK-Seitenzahnbereich kein signifikanter Unterschied ($p=0,44$) festgestellt werden. Im OK-Seitenzahnbereich ergab sich für Morphotyp 1 eine mittlere Überlebensdauer von 27,9 Jahren, für Morphotyp 2 eine mittlere Überlebensdauer von 30,2 Jahren, für Morphotyp 3 eine mittlere Überlebensdauer von 21,4 Jahren und für Morphotyp 4 eine mittlere Überlebensdauer von 30,4 Jahren. Im Vergleich der Morphotypen konnte ein signifikanter Unterschied ($p<0,01$) in Bezug auf die Überlebensdauer festgestellt werden. Bei Morphotyp 3 lag die kumulierte Überlebensrate bei unter 40% (Abb. 20).

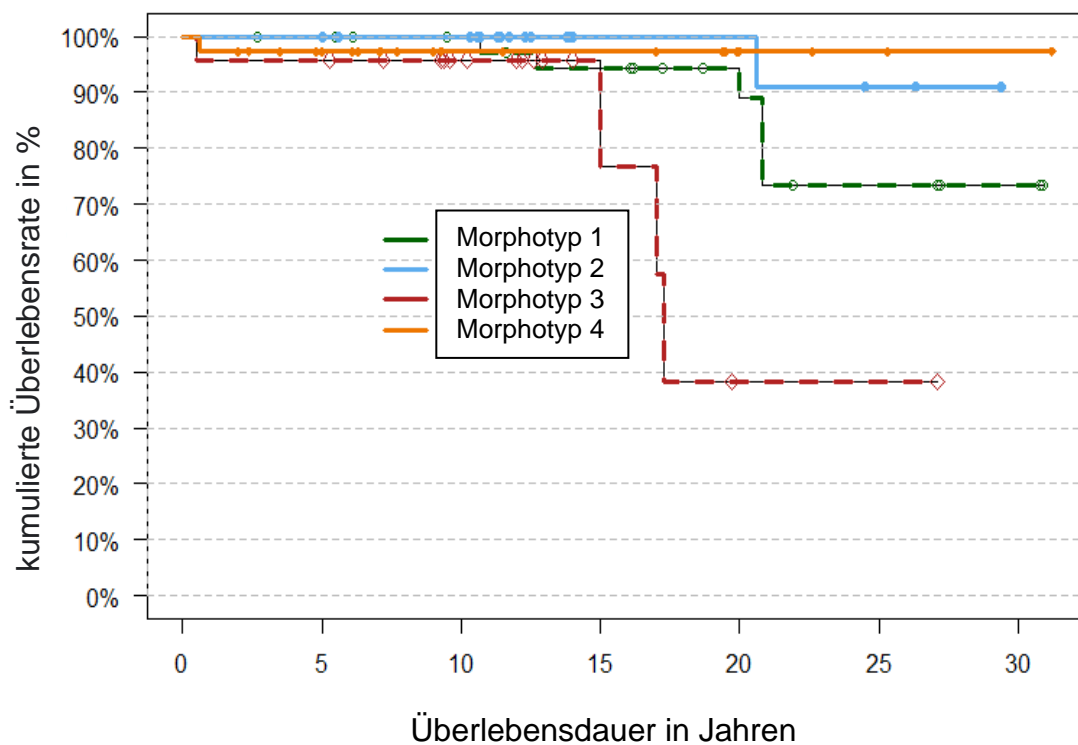


Abb. 20: Überlebensrate Implantate im OK-Seitenzahn nach Morphotypen (Kaplan-Meier-Analyse)

4.5 Periimplantärer Knochenabbau

4.5.1 Alle Patienten

Zur Baseline lag der mittlere KA (Knochenabbau) für alle Implantate bei $0,87 \pm 0,74$ mm, nach 1 Jahr bei $1,56 \pm 1,13$ mm, nach 3 Jahren bei $1,54 \pm 0,84$ mm, nach 5 Jahren bei $1,68 \pm 0,97$ mm, nach 10 Jahren bei $1,74 \pm 0,96$ mm, nach 15 Jahren bei $1,77 \pm 0,98$ mm, nach 20 Jahren bei $1,93 \pm 1,22$ mm und nach 25 Jahren bei $2,33 \pm 1,1$ mm (Tab.6).

Tab. 6: Periimplantärer Knochenabbau (Implantatbezogen)

Jahr	n	KA (mm)
Baseline	269	$0,87 \pm 0,74$
1	80	$1,56 \pm 1,13$
3	93	$1,54 \pm 0,84$
5	124	$1,68 \pm 0,97$
10	159	$1,74 \pm 0,96$
15	60	$1,77 \pm 0,98$
20	61	$1,93 \pm 1,22$
25	27	$2,33 \pm 1,10$

KA = Mittelwert und Standardabweichung des periimplantären Knochenabbaus

Zur Baseline lag der mittlere KA für alle Patienten bei $0,85 \pm 0,56$ mm, nach 1 Jahr bei $1,27 \pm 0,86$ mm, nach 3 Jahren bei $1,42 \pm 0,81$ mm, nach 5 Jahren bei $1,49 \pm 0,84$ mm, nach 10 Jahren bei $1,56 \pm 0,82$ mm, nach 15 Jahren bei $1,54 \pm 0,78$ mm, nach 20 Jahren bei $1,6 \pm 0,89$ mm und nach 25 Jahren bei $2,16 \pm 0,87$ mm (Tab.7).

Tab. 7: Periimplantärer Knochenabbau (Patientenbezogen)

Jahr	n	KA (mm)
Baseline	68	0,85 ± 0,56
1	31	1,27 ± 0,86
3	33	1,42 ± 0,81
5	46	1,49 ± 0,84
10	45	1,56 ± 0,82
15	24	1,54 ± 0,78
20	19	1,60 ± 0,89
25	7	2,16 ± 0,87

KA = Mittelwert und Standardabweichung des periimplantären Knochenabbaus

4.5.2 Einteilung in Morphotypen

Für die Implantate der OK-Front des Morphotyp 1 lag die mittlere KA-Baseline-Differenz nach 1 Jahr (n=6) bei $0,29 \pm 0,46\text{mm}$, nach 3 Jahren (n=9) bei $1,3 \pm 1,02\text{mm}$, nach 5 Jahren (n=18) bei $1,08 \pm 0,88\text{mm}$, nach 10 Jahren (n=16) bei $1,16 \pm 0,82\text{mm}$, nach 15 Jahren (n=1) bei $0,12\text{mm}$ und nach 20 Jahren (n=5) bei $0,28 \pm 0,57\text{mm}$. Die mittlere KA-Baseline-Differenz bei den Morphotyp-2-Implantaten betrug nach 1 Jahr (n=18) $1,2 \pm 1,71\text{mm}$, nach 3 Jahren (n=13) $0,41 \pm 0,37\text{mm}$, nach 5 Jahren (n=22) $1,24 \pm 1,74\text{mm}$, nach 10 Jahren (n=33) $1,42 \pm 1,46\text{mm}$, nach 15 Jahren (n=15) $1,14 \pm 1,71\text{mm}$, nach 20 Jahren (n=24) $1,5 \pm 1,49\text{mm}$ und nach 25 Jahren (n=12) $1,8 \pm 1,59\text{mm}$. Für die Implantate der OK-Front des Morphotyp 3 lag die mittlere KA-Baseline-Differenz nach 1 Jahr (n=9) bei $0,51 \pm 0,64\text{mm}$, nach 5 Jahren (n=11) bei $0,56 \pm 0,77\text{mm}$, nach 10 Jahren (n=10) bei $0,7 \pm 1,1\text{mm}$, nach 15 Jahren (n=2) bei $-0,17 \pm 0,25\text{mm}$, nach 20 Jahren (n=1) bei $-0,03\text{mm}$ und nach 25 Jahren (n=1) bei $0,04\text{mm}$. Die mittlere KA-Baseline-Differenz bei den Morphotyp-4-Implantaten betrug nach 1 Jahr (n=25) $0,64 \pm 0,86\text{mm}$, nach 3 Jahren (n=23) $0,73 \pm 0,73\text{mm}$, nach 5 Jahren (n=23) $0,56 \pm 1,08\text{mm}$, nach 10 Jahren (n=41) $0,88 \pm 1,05\text{mm}$, nach 15 Jahren (n=22) $0,62 \pm 0,79\text{mm}$, nach 20 Jahren (n=22) $0,34 \pm 0,77\text{mm}$ und nach 25 Jahren (n=11) $1,08 \pm 0,71\text{mm}$.

Zwischen den 4 Morphotypen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Differenz zur Baseline im periimplantären Knochenabbau (Tab. 8).

Tab. 8: Korrelation periimplantärer Knochenabbau Morphotyp (OK-Front)

Differenz	KA				p-Wert
	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	
1	0,29 ± 0,46	1,20 ± 1,71	0,51 ± 0,64	0,64 ± 0,86	p = 0.618
3	1,30 ± 1,02	0,41 ± 0,37	-	0,73 ± 0,73	-
5	1,08 ± 0,88	1,24 ± 1,74	0,56 ± 0,77	0,56 ± 1,08	p = 0.176
10	1,16 ± 0,82	1,42 ± 1,46	0,70 ± 1,10	0,88 ± 1,05	p = 0.255
15	0,12 ± 0,00	1,14 ± 1,71	-0,17 ± 0,25	0,62 ± 0,79	p = 0.458
20	0,28 ± 0,57	1,50 ± 1,49	-0,03 ± 0,00	0,34 ± 0,77	p = 0.025
25	-	1,80 ± 1,59	0,04 ± 0,00	1,08 ± 0,71	-

KA = Mittelwert und Standardabweichung des periimplantären Knochenabbaus (in mm)

Differenz = Zeitraum zwischen Baseline und Untersuchungstermin (in Jahren)

Typ = Morphotyp

p-Wert = Signifikanzwert des Vergleichs zwischen Morphotyp 1,2,3,4

Für die Implantate des OK-Seitenzahnbereichs des Morphotyp 1 lag die mittlere KA-Baseline-Differenz nach 1 Jahr (n=18) bei $0,5 \pm 0,56$ mm, nach 3 Jahren (n=9) bei $0,4 \pm 0,4$ mm, nach 5 Jahren (n=16) bei $0,31 \pm 0,78$ mm, nach 10 Jahren (n=28) bei $0,93 \pm 0,9$ mm, nach 15 Jahren (n=11) bei $0,82 \pm 0,84$ mm, nach 20 Jahren (n=24) bei $1,15 \pm 0,96$ mm und nach 25 Jahren (n=13) bei $1,06 \pm 0,76$ mm. Die mittlere KA-Baseline-Differenz bei den Morphotyp-2-Implantaten betrug nach 1 Jahr (n=14) $0,74 \pm 0,84$ mm, nach 3 Jahren (n=20) $1,08 \pm 0,84$ mm, nach 5 Jahren (n=33) $1,29 \pm 1,06$ mm, nach 10 Jahren (n=43) $1,34 \pm 1,11$ mm, nach 15 Jahren (n=5) $0,67 \pm 0,72$ mm, nach 20 Jahren (n=11) $0,14 \pm 0,58$ mm und nach 25 Jahren (n=6) $0,83 \pm 0,83$ mm. Für die Implantate des OK-Seitenzahnbereichs des Morphotyp 3 lag die mittlere KA-Baseline-Differenz nach 1 Jahr (n=14) bei $0,65 \pm 0,8$ mm, nach 3 Jahren (n=6) bei $1,03 \pm 0,9$ mm, nach 5 Jahren (n=9) bei $0,33 \pm 0,71$ mm, nach 10 Jahren (n=15) bei $0,42 \pm 0,73$ mm, nach 15 Jahren (n=5) bei $0,62 \pm 0,6$ mm und nach 20 Jahren (n=2) bei $0,5 \pm 0,92$ mm. Die mittlere KA-Baseline-Differenz bei den Morphotyp-4-Implantaten betrug nach 1 Jahr (n=8) $2,01 \pm 2,29$ mm, nach 3 Jahren (n=4) $0,06 \pm 0,18$ mm, nach 5 Jahren (n=11) $1,51 \pm 2,03$ mm, nach 10 Jahren (n=15) $1,33 \pm 1,82$ mm, nach 15 Jahren (n=11) $1,37 \pm 1,94$ mm, nach 20 Jahren (n=6) $2,61 \pm 2,04$ mm und nach 25 Jahren (n=5) $2,97 \pm 1,69$ mm (Tab. 9). Der Kruskal-Wallis-Test prüfte im Anschluss, ob zwischen den

4 Morphotypen Unterschiede zwischen den Differenzen zur Baseline im periimplantären Knochenabbau bestanden (Abb. 21). So ergaben sich beim periimplantären Knochenniveau signifikante Unterschiede zwischen den 4 Morphotypen im Oberkiefer-Seitenzahnbereich in der Differenz zur Baseline nach 3, 5, 10 und 20 Jahren. Um nun herauszufinden, zwischen welchen Gruppen Unterschiede bestanden, wurden paarweise Vergleiche durchgeführt. Die Ergebnisse der Differenz 3 Jahre zu Baseline zeigten keine paarweisen Unterschiede nach multipltem Ausschlussstest. Der paarweise Vergleich von Morphotyp 2 und 4 zeigte bei der Differenz zur Baseline nach 5 Jahren einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$). Der paarweise Vergleich von Morphotyp 2 und 3 zeigte bei der Differenz zur Baseline nach 10 Jahren einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$). Der paarweise Vergleich von Morphotyp 1 und 2 zeigte bei der Differenz zur Baseline nach 20 Jahren einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$).

Tab. 9: Korrelation periimplantärer Knochenabbau Morphotyp (OK-SZ)

Differenz	KA				p-Wert
	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	
1	0,50 ± 0,56	0,74 ± 0,84	0,65 ± 0,80	2,01 ± 2,29	p=0,691
3	0,40 ± 0,40	1,08 ± 0,84	1,03 ± 0,90	0,06 ± 0,18	p=0,046
5	0,31 ± 0,78	1,29 ± 1,06	0,33 ± 0,71	1,51 ± 2,03	p=0,007
10	0,93 ± 0,90	1,34 ± 1,11	0,42 ± 0,73	1,33 ± 1,82	p=0,039
15	0,82 ± 0,84	0,67 ± 0,72	0,62 ± 0,60	1,37 ± 1,94	p=0,988
20	1,15 ± 0,96	0,14 ± 0,58	0,50 ± 0,92	2,61 ± 2,04	p=0,013
25	1,06 ± 0,76	0,83 ± 0,83	-	2,97 ± 1,69	-

KA = Mittelwert und Standardabweichung des periimplantären Knochenabbaus (in mm)

Differenz = Zeitraum zwischen Baseline und Untersuchungstermin (in Jahren)

Typ = Morphotyp

p-Wert = Signifikanzwert des Vergleichs zwischen Morphotyp 1,2,3,4

Ergebnisse

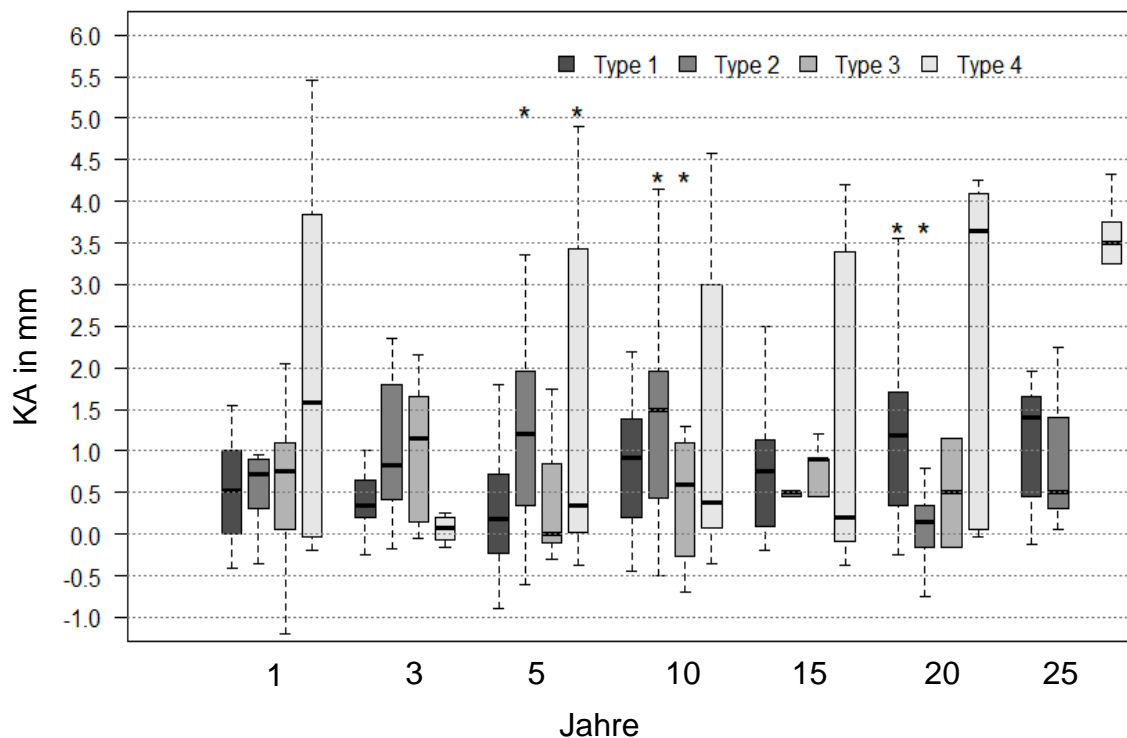


Abb. 21: Korrelation periimplantärer Knochenabbau mit Morphotyp (OK-SZ)

* = signifikanter Unterschied des univariaten Vergleichs der Morphotypen zum jeweiligen Zeitpunkt (Kruskal-Wallis-Test)

Für die Implantate des UK-Morphotyp 1 lag die mittlere KA-Baseline-Differenz nach 1 Jahr (n=11) bei $0,26 \pm 0,42\text{mm}$, nach 3 Jahren (n=13) bei $0,5 \pm 0,34\text{mm}$, nach 5 Jahren (n=12) bei $0,71 \pm 0,55\text{mm}$, nach 10 Jahren (n=19) bei $0,83 \pm 0,77\text{mm}$, nach 15 Jahren (n=2) bei $2,12 \pm 0,67\text{mm}$ und nach 20 Jahren (n=3) bei $2,48 \pm 0,45\text{mm}$. Die mittlere KA-Baseline-Differenz bei den Morphotyp-2-Implantaten betrug nach 1 Jahr (n=23) $0,59 \pm 0,73\text{mm}$, nach 3 Jahren (n=31) $0,58 \pm 0,8\text{mm}$, nach 5 Jahren (n=16) $0,19 \pm 0,71\text{mm}$, nach 10 Jahren (n=37) $0,45 \pm 0,64\text{mm}$, nach 15 Jahren (n=10) $0,27 \pm 0,39\text{mm}$, nach 20 Jahren (n=12) $0,58 \pm 0,76\text{mm}$ und nach 25 Jahren (n=11) $0,72 \pm 0,77\text{mm}$. Für die Implantate des UK-Morphotyp 3 lag die mittlere KA-Baseline-Differenz nach 1 Jahr (n=15) bei $0,65 \pm 0,77\text{mm}$, nach 3 Jahren (n=11) bei $0,69 \pm 0,74\text{mm}$, nach 5 Jahren (n=21) bei $1,04 \pm 1,12\text{mm}$, nach 10 Jahren (n=22) bei $1,24 \pm 1,01\text{mm}$, nach 15 Jahren (n=9) bei $0,57 \pm 1,03\text{mm}$, nach 20 Jahren (n=5) bei $0,17 \pm 0,36\text{mm}$ und nach 25 Jahren (n=1) bei $0,04\text{mm}$. Die mittlere KA-Baseline-Differenz bei den Morphotyp-4-Implantaten betrug nach 1 Jahr (n=2) $-0,1 \pm 0,14\text{mm}$, nach 3 Jahren (n=2) $1,25 \pm 0,07\text{mm}$, nach 5 Jahren (n=17) $1,43 \pm 1,3\text{mm}$, nach 10 Jahren (n=7) $1,22 \pm 0,67\text{mm}$ und nach 15 Jahren (n=5) $2 \pm 1,23\text{mm}$ (Tab. 10).

Ergebnisse

Zwischen den 4 Morphotypen bestanden signifikante Unterschiede beim periimplantären Knochenniveau in der Differenz zur Baseline nach 5 und 10 Jahren (Abb. 22). Um nun herauszufinden, zwischen welchen Gruppen Unterschiede bestanden, wurden Vergleiche durchgeführt. Der paarweise Vergleich von Morphotyp 2 und 4 zeigte bei der Differenz zur Baseline nach 5 Jahren einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$). Der paarweise Vergleich von Morphotyp 2 und 3 sowie der paarweise Vergleich zwischen Morphotyp 2 und 4 zeigten bei der Differenz zur Baseline nach 10 Jahren einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$).

Tab. 10: Korrelation periimplantärer Knochenabbau Morphotyp (UK-SZ)

Differenz	KA				p-Wert
	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	
1	0,26 ± 0,42	0,59 ± 0,73	0,65 ± 0,77	-0,10 ± 0,14	p=0,124
3	0,50 ± 0,34	0,58 ± 0,80	0,69 ± 0,74	1,25 ± 0,07	p=0,404
5	0,71 ± 0,55	0,19 ± 0,71	1,04 ± 1,12	1,43 ± 1,30	p=0,013
10	0,83 ± 0,77	0,45 ± 0,64	1,24 ± 1,01	1,22 ± 0,67	p=0,009
15	2,12 ± 0,67	0,27 ± 0,39	0,57 ± 1,03	2,00 ± 1,23	p=0,053
20	2,48 ± 0,45	0,58 ± 0,76	0,17 ± 0,36	-	-
25	-	0,72 ± 0,77	0,04 ± 0,00	-	-

KA = Mittelwert und Standardabweichung des periimplantären Knochenabbaus (in mm)

Differenz = Zeitraum zwischen Baseline und Untersuchungstermin (in Jahren)

Typ = Morphotyp

p-Wert = Signifikanzwert des Vergleichs zwischen Morphotyp 1,2,3,4

Ergebnisse

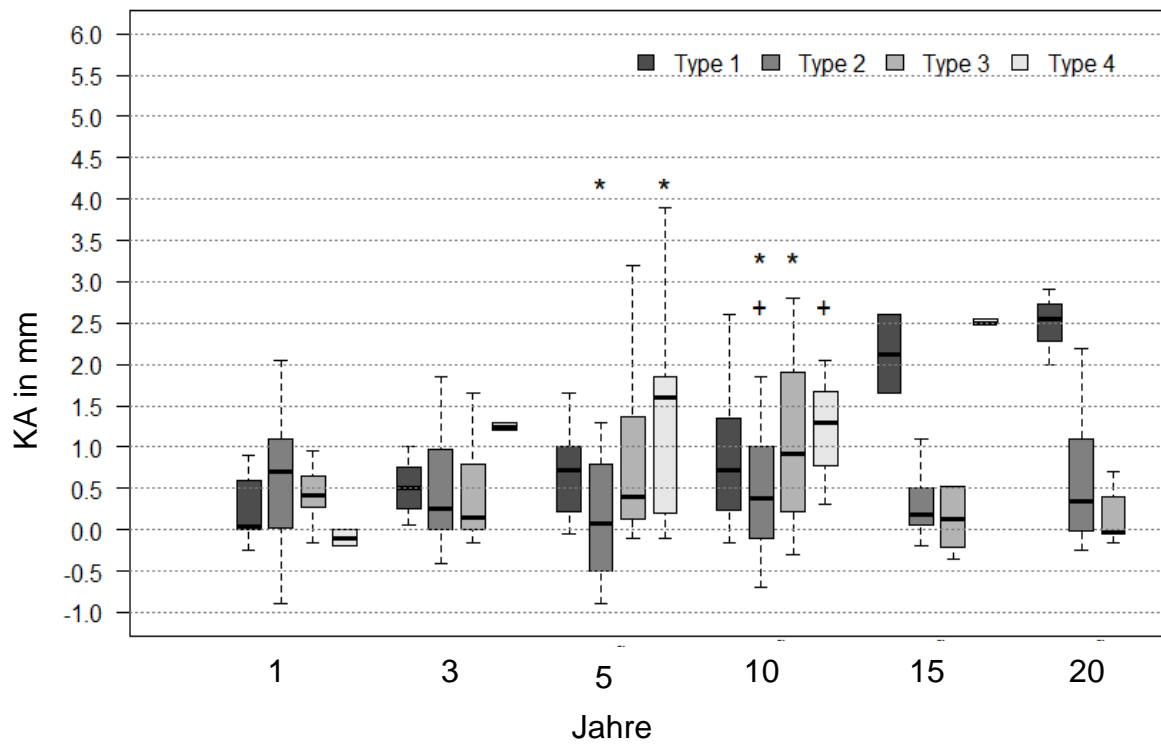


Abb. 22: Korrelation periimplantärer Knochenabbau mit Morphotyp (UK-SZ)

* = signifikanter Unterschied des univariaten Vergleichs der Morphotypen zum jeweiligen Zeitpunkt (Kruskal-Wallis-Test)

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Methoden

In der vorliegenden retrospektiven Studie wurde die Korrelation zwischen der Ober- und Unterkiefermorphologie und der Überlebensrate an Implantaten untersucht. Radiologische sowie klinische Untersuchungen in regelmäßigen Recall-Intervallen dienten dazu den periimplantären Knochenabbau im Verlauf zu beobachten. Durch eine retrospektive Analyse können Kausalzusammenhänge nahegelegt, aber nicht sicher nachgewiesen werden.

Eine konstante Qualität der zweizeitigen Implantation und prothetischen Versorgung wurde durch denselben Operateur und Behandler sichergestellt. Anders bei den klinischen Messungen während der Recall-Termine, die von wechselnden Behandlern durchgeführt wurden. Zwar wurde das Messverhalten der verschiedenen Behandler zugunsten einer maximalen Konstanz in der Befundaufnahme vor der ersten Befundaufnahme und dann jährlich kalibriert, individuelle Unterschiede in der Befundung könnten jedoch trotzdem zu leichten Abweichungen geführt haben. Der Knochenabbau am Implantat wurde durch Einzelfilmaufnahmen bestimmt, die in Paralleltechnik aufgenommen wurden. Dies ist eine anerkannte Methode zur Langzeituntersuchung periimplantärer Knochenveränderungen (Salvi & Lang, 2004). Dadurch, dass das Knochenlevel oral und lingual unterschiedlich war, bot jede Aufnahme 2 verschiedene Referenzpunkte an, die bei der Vermessung zu einer ungenauen Bestimmung des Knochenlevels geführt haben. Eine klinische Studie verglich die röntgenologischen Veränderungen des periimplantären Knochens von kurzen (6 mm, Testgruppe) und langen (10 mm, Kontrollgruppe) Einzelimplantaten fünf Jahre nach der Belastung miteinander (Sluka et al., 2020). Längere Implantate zeigten eine etwas stärkere Veränderung der Röntgenopazität des periimplantären Knochens (leichter Verlust an Dichte) als kurze Implantate (leicht erhöhte Dichte). Dies könnte auch bei den eigenen Messungen zu Ungenauigkeiten geführt haben.

In der vorliegenden Studie erfolgten radiologische Aufnahmen zum Zeitpunkt der Baseline, im ersten und dritten Jahr und anschließend in einem 5- Jahres-Intervall. Diese radiologische Verlaufskontrolle wird für klinische Studien dieser Länge empfohlen (Lang et al., 1999).

Ein Nachteil der Studie ist, dass die Anzahl der untersuchten Implantate jährlich sinkt, womit die statistische Aussagekraft der Ergebnisse abnimmt.

Die Vermessung der Ober- und Unterkiefermorphologie erfolgte an DVT-Aufnahmen. Die DVT ist eine anerkannte Methode zur prothetischen Implantatplanung, die sich vor allem wegen einer detailgetreuen Darstellung knöcherner Strukturen durchgesetzt hat (Mengel et al., 2005; Sun et al., 2015). Die für die Studie ausgewählten DVT-Aufnahmen erfüllten einen festgelegten Standard. Das FoV musste mindestens einen Sextanten des Ober- und/oder Unterkiefers umfassen. Um jedoch optimale Vergleichsmöglichkeiten für die skelettale Morphologie zu schaffen, wäre es sinnvoll, nur die gleichen Sextanten miteinzubeziehen. Hierbei war die geringe Patientenzahl der limitierende Faktor. Außerdem wurde das FoV durch das geltende ALARA-Prinzip ("As Low As Reasonably Achievable") festgelegt. Die vorliegende Studie wurde an medizinisch indizierten Röntgenbildern durchgeführt, die als FoV nur den Kieferausschnitt beinhalteten, der für die Behandlung notwendig war. Die Bildqualität durfte nicht durch Abschattungsartefakte wie beispielsweise restaurative Materialien gestört sein.

Das Vermessen der DVT-Aufnahmen erfolgte in der koronaren (OK-Seitenzahnbereich, UK) oder sagittalen (OK-Front) Schicht und umfasste Messungen in der Horizontalen und Vertikalen. Da die OK- und UK-Morphologie ein dreidimensionales Knochengestütze darstellt, wären für eine genauere Klassifizierung weitere Messungen in zusätzlichen Schichten notwendig.

Die Vermessung der Knochenmorphologie erfolgte mit der Funktion „Abstandsmessung“ in der Software Planmeca Romexis® (Planmeca, Helsinki, Finnland). Die Qualität der Messung wurde durch das subjektive Auge der Untersucherin sowie die Messgenauigkeit des Programms limitiert. Für eine objektive Vermessung und damit korrekte Klassifikation wären standardisierte DVT-Aufnahmen mit dem jeweils identischen FoV notwendig. Anhand dieser Aufnahmen könnte dann eine computerassistierte 3D-Formanalyse der skelettalen Morphologie statistische 3D Formmodelle erstellen. Die Erstellung eines 3D-Formmodells diene bereits als Grundlage für die Planung einer chirurgischen Rekonstruktion (Zachow et al., 2005). Weiterhin könnte diese computerassistierte und modellgestützte Methode der implantatprothetischen Behandlungsplanung dienen. Weiterführende Studien mit einer standardisierten Messschablone, die bei jeder DVT-Aufnahme das identische FoV vermisst, sind sinnvoll und könnten neue Erkenntnisse liefern.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

In klinischen Langzeitstudien konnte eine hohe Erfolgsrate von dentalen Implantaten festgestellt werden. Es wurden bereits Überlebensraten dokumentiert, die nach 10 Jahren bei über 95% und nach 20 Jahren bei 85% liegen (Howe et al., 2019; Rocuzzo et al., 2022). Dennoch entsteht bei über 40 % aller Implantate im Verlauf der Belastungsphase eine periimplantäre Erkrankung und durchschnittlich 1 von 5 Implantaten zeigt während der Belastungsphase mindestens einmal einen erhöhten Knochenabbau (Derks & Tomasi, 2015).

Die okklusale Überbelastung eines Implantates ist einer der häufigsten Gründe für periimplantären Knochenabbau und Implantatverlust (Di Fiore et al., 2022; Naert et al., 2012; Sheridan et al., 2016). Die Mechanismen der Lastübertragung vom Implantat auf den Knochen werden durch den Implantatkörper, die Suprakonstruktion sowie patientenabhängige Faktoren wie anatomische Gegebenheiten und Verhaltensmuster bestimmt. Ein Ungleichgewicht in der okklusalen Belastung des Implantates kann biomechanischen Stress am koronalen Erstkontaktpunkt zum Knochen erzeugen (Sheridan et al., 2016). Um dies zu vermeiden ist die Wahl des Okklusionskonzeptes von besonderer Wichtigkeit. Dabei gilt es die vier Merkmale der Okklusionskraft zu berücksichtigen: Richtung, Stärke, Dauer und Verteilung. Außerdem sollte eine Okklusion mit anteriorer Führung und gleichmäßig verteilten Kontakten angestrebt werden. Hilfreich zur Verringerung der okklusalen Last sind eine höhere Anzahl an Implantaten und Kontaktpunkten, die Überwachung parafunktioneller Gewohnheiten und die Verschmälerung des Okklusionstisches.

Um die Belastung des Knochens durch ein Implantat an einem virtuellen Modell zu untersuchen, wird die Finite-Elemente-Methode (FEM) angewandt (Baggi et al., 2008; Himmlová et al., 2004; Ramos Verri et al., 2015). In einer solchen Simulation wurde z.B. der Einfluss von Implantatdurchmesser (3,3-4,5mm) und -länge (7,5-12mm) auf die Spannungsverteilung und das Überlastungsrisiko des krestalen Knochens analysiert (Baggi et al., 2008). Die Ergebnisse zeigten, dass die maximale Belastung an der Implantatschulter lokalisiert war. Die Spannungswerte waren im kortikalen Knochen bei Implantaten mit größerem Durchmesser und in der Spongiosa bei Implantaten mit größerer Länge geringer. Eine weitere FEM-Studie untersuchte die Biomechanik zwischen implantatgetragenen Prothesen und unterschiedlichen Kronenhöhen bei axialer (200N) und schräger (100N)

Belastung (Ramos Verri et al., 2015). Sechs 3D-Modelle mit 3 verschiedenen Kronenhöhen (10, 12,5 und 15mm) wurden erstellt, die jeweils ein Implantat mit einer verschraubten Metallkeramikkrone im Unterkieferknochen enthielten. Es wurde festgestellt, dass die Erhöhung der Krone keinen Einfluss auf die Spannungsverteilung an der Schraubenprothese unter axialer Belastung hatte. An Implantaten mit höherer Krone zeigte sich unter schräger Kraftapplikation eine vermehrte Belastung der Abutmentschraube und des kortikalen Knochens. In einer klinischen Langzeitstudie wurde an Patienten mit generalisierter chronischer Parodontitis (n=39) der Einfluss des Kronen-Implantat-Längenverhältnisses auf den periimplantären Knochenabbau an Implantaten mit Einzelzahnkronen- und Brückenversorgungen untersucht. Es zeigte sich, dass Implantate mit einem höheren klinischen Kronen-Implantat-Längenverhältnis einen geringeren Knochenabbau aufwiesen (Hausmann, 2021). Neben dem Einfluss von Implantat und Suprakonstruktion, gibt es patientenabhängige Faktoren und Verhaltensmuster, die Einfluss auf die dentale Überlebensrate und den periimplantären Knochenabbau haben. Hierzu zählen unter anderem Parafunktionen wie Bruxismus, die mit einer höheren Implantatverlustrate korrelieren. Keramikabplatzungen oder Frakturen implantatgetragener Suprakonstruktionen sind weitere Komplikationen, die in Zusammenhang mit Bruxismus auftreten können. Des Weiteren sind auch anatomische Gegebenheiten wie Knochenqualität und -quantität des periimplantären Knochens Faktoren, die Einfluss auf die dentale Überlebensrate und den periimplantären Knochenabbau haben. Diese sollten als Einflussfaktoren auf dentale Überlebensrate und periimplantären Knochenabbau schon bei der Wahl von Implantaten, chirurgischen Verfahren und Okklusionskonzepten miteinbezogen werden (Cochran, 2000; Zarb & Schmitt, 1995). Die Knochenqualität beschreibt die Elastizität und mechanische Festigkeit des Knochengewebes, die stark variieren kann (Linetskiy et al., 2017). Sie ist abhängig von der Remodellierung, die für den Erhalt der Knochendichte und die Reparatur von Mikroschäden verantwortlich ist. Die Spannungen im Knochen sollten seine eigene, von der Knochendichte abhängige, Festigkeit nicht überschreiten (100-190MPa Kortikalis, 1-5MPa Spongiosa) (Baggi et al., 2014). Gesteigerte Knochenbelastung und geringe Implantatstabilität sind mit einer niedrigen Knochendichte verbunden. Eine hohe Knochendichte verbessert im Gegenzug die Übertragung und Verteilung der Belastung vom Implantat auf den angrenzenden Knochen (Sevimay et al., 2005).

Ein weiterer noch nicht ausreichend untersuchter Einflussfaktor für die Überlebensrate von Implantaten und den periimplantären Knochenabbau ist die individuelle OK- und UK-Morphologie des Patienten. In einer ersten retrospektiven Studie (n=28) konnte gezeigt werden, dass Patienten mit erhöhtem periimplantären Knochenabbau und Rezessionen des Weichgewebes zumeist schmale skelettale Basen im Unterkiefer aufwiesen (Stiller et al., 2015). Aus den Ergebnissen leitet sich die Hypothese ab, dass die Breite der apikalen Basis einen Einfluss auf den periimplantären Knochen in der Belastungsphase von Implantaten hat. In einer anderen Studie wurde eine Klassifikation der Morphologie des zahnlosen Kiefers an DVT-Aufnahmen zur Optimierung der implantatprothetischen Behandlungsplanung angewandt (Cawood & Howell, 1988). Auf der Grundlage einer randomisierten Querschnittsstudie an humanen Kadavern (n=300) wurde eine Klassifizierung zahnloser Kiefer mit dem Ziel entwickelt, die chirurgisch-prothetische Behandlungsplanung und Kommunikation zwischen den verschiedenen Behandlern zu optimieren. Es konnte festgestellt werden, dass die Form des Basalfortsatzes des Ober- und Unterkiefers stabil bleibt, während die Formveränderungen des Alveolarfortsatzes sowohl in der vertikalen als auch in der horizontalen Achse signifikant sind. Die Formveränderungen des Alveolarfortsatzes folgten einem vorhersehbaren Muster. Eine weitere Studie an zahnlosen Ober- und Unterkiefern (n=200) identifizierte anhand der Alveolarkammhöhe 4 Bogenmuster (C1-C4), die der prothetischen Planung dienten (Papadimitriou et al., 2014). Zusätzlich wurden die Kieferkambreiten in einen Typ A, keine horizontale Augmentation erforderlich, und Typ B, Augmentation erforderlich, eingeteilt. In einer weiteren retrospektiven Studie wurden an DVT-Aufnahmen (n=313) zahnlose, posteriore UK-Alveolarkämme in 5 verschiedene Formen eingeteilt („gerade, schräg, s-förmig, sanduhrförmig und Basalknochen“) (Gallucci et al., 2017). Die „S-“ und „Sanduhrform“ sowie der „Basalknochen“ gingen mit erschwerten Bedingungen bei der Implantatplanung einher. Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der anatomischen Kammmorphologie des Unterkiefers und der Notwendigkeit, ein Implantat mit Knochentransplantation zu setzen. In einer retrospektiven Querschnittsstudie wurden anhand von DVT-Bildern zahnlose UK-Kammformen (n=491) beurteilt und ein Zusammenhang mit dem Grad der Komplexität bei der Implantatplanung aufgezeigt. Die Auswertung sagittaler DVT-Bilder konnte klinische Informationen über die Kammform und den zu erwartenden chirurgischen Aufwand vor und zum Zeitpunkt der

Implantation liefern. Die chirurgische Komplexität ist an den posterioren zahnlosen Stellen des UKs am größten (Tözüm et al., 2022).

Zurzeit gibt es keine klinischen Langzeitstudien, die den Zusammenhang zwischen Ober- und Unterkiefermorphologie und der Überlebensrate dentaler Implantate und dem periimplantären Knochenabbau untersuchen. In der vorliegenden Langzeitstudie wurde erstmalig der Zusammenhang zwischen Ober- und Unterkiefermorphologie und der Überlebensrate dentaler Implantate und dem periimplantären Knochenabbau gezeigt. Die Patienten wurden anhand von dreidimensionalen Röntgenbildern in vier Morphotypen (schmaler/breiter Alveolarfortsatz und hoher/tiefer Alveolarfortsatz) eingeteilt. Im Vergleich zwischen den vier Morphotypen in OK-Front und UK-Seitenzahnbereich konnte kein signifikanter Unterschied in der Überlebensrate der Implantate festgestellt werden. Implantate bei Patienten mit dem Morphotyp 3 (Breiter und hoher Alveolarfortsatz) wiesen im OK-Seitenzahnbereich eine kürzere Überlebensdauer auf als die Implantate der Patienten mit den Morphotypen 1,2 und 4 ($p < 0,01$). Im OK- und UK-Seitenzahnbereich zeigte sich, dass der periimplantäre Knochenabbau bei Patienten mit dem Morphotyp 2 (Schmaler und tiefer Alveolarfortsatz) signifikant geringer war als der bei Patienten mit anderen Morphotypen.

Es bleibt zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse der vorliegenden Studie durch ihre geringe Patientenzahl, die unterschiedlichen Implantatsysteme, die verschiedenen Suprakonstruktionen und weitere patientenindividuelle Faktoren, die Einfluss auf Überlebensrate und Knochenabbau haben, nur eingeschränkt aussagefähig sind. Außerdem ist die Messgenauigkeit des Knochenabbaus an den Röntgenaufnahmen dadurch herabgesetzt, dass das Knochenlevel oral und lingual unterschiedlich war, wodurch jede Aufnahme 2 verschiedene Referenzpunkte anbot. Hinzu kamen jährlich wechselnde Untersucher, die zu einer Ungenauigkeit in der Befundung führten.

Trotz der Limitationen der vorliegenden Studie gibt es Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen OK- und UK-Morphologie und der Überlebensrate dentaler Implantate und dem periimplantären Knochenabbau.

Um den Einfluss des Morphotyps und die Validität der Klassifizierung der OK- und UK-Morphologie in Hinblick auf die Überlebensrate dentaler Implantate und den periimplantären Knochenabbau an Implantaten zu überprüfen, ist es notwendig die Klassifizierung an einer größeren Patientenzahl anzuwenden.

6 Konklusion

- In der Oberkiefer-Front wiesen 17,9% der Patienten Morphotyp 1 auf, 25,6% Morphotyp 2, 17,9% Morphotyp 3 und 38,5% Morphotyp 4.
- Im Oberkiefer-Seitenzahnbereich wiesen 23,1% der Patienten Morphotyp 1 auf, 25,6% Morphotyp 2, 17,9% Morphotyp 3 und 33,3% Morphotyp 4.
- Im Unterkiefer wiesen 32,4% der Patienten Morphotyp 1 auf, 32,4% Morphotyp 2, 21,6% Morphotyp 3 und 13,5% Morphotyp 4.
- Die Überlebensrate aller Implantate betrug nach 5 Jahren 97,7%, nach 10 Jahren 95,2% und nach 20 Jahren 90,3%.
- Implantate bei Patienten mit dem Morphotyp 3 wiesen im Oberkiefer-Seitenzahnbereich eine kürzere Überlebensdauer auf als die Implantate der Patienten mit den Morphotypen 1,2 und 4 ($p < 0,01$).
- Bei allen Patienten betrug der periimplantäre Knochenabbau nach 1 Jahr 1,27mm, nach 5 Jahren 1,49mm, nach 10 Jahren 1,56mm und nach 20 Jahren 1,60mm.
- Im Oberkiefer-Seitenzahnbereich zeigte sich, dass der periimplantäre Knochenabbau bei Patienten mit dem Morphotyp 2 nach 5 Jahren signifikant geringer war als bei Patienten mit Morphotyp 4 und nach 20 Jahren signifikant geringer als bei Patienten mit Morphotyp 1. Nach 10 Jahren war der periimplantäre Knochenabbau bei Patienten mit Morphotyp 2 signifikant größer als bei Patienten mit Morphotyp 3.
- Im Unterkiefer war der periimplantäre Knochenabbau bei Patienten mit Morphotyp 2 nach 5 Jahren signifikant geringer als bei Patienten mit Morphotyp 4 und nach 10 Jahren signifikant geringer als der periimplantäre Knochenabbau bei Patienten mit Morphotyp 3 oder 4.

7 Zusammenfassung und Summary

7.1 Zusammenfassung

Ziel: Ziel der 2- bis 30-jährigen Kohortenstudie an Patienten mit parodontalen Vorerkrankungen und dentalen Implantaten war der Nachweis eines Zusammenhangs zwischen Überlebensrate von Implantaten und Morphologie des Ober- und Unterkiefers.

Material und Methode: Insgesamt 68 parodontal behandelte Patienten mit implantatgetragenen Einzelkronen und Brücken wurden in Intervallen von 3 bis 6 Monaten über den Zeitraum von 5 bis 20 Jahren engmaschig nachbeobachtet. Bei allen Recall-Terminen wurden klinische Parameter an Implantaten erhoben. Zweidimensionale Röntgenbilder wurden nach Eingliederung der Suprakonstruktion (Baseline) sowie nach 1, 3, 5, 10, 15 und 20 Jahren aufgenommen. Es wurden 39 DVT-Aufnahmen für Oberkiefer-Front und Oberkiefer-Seitenzahnbereich sowie 37 DVT-Aufnahmen im Unterkiefer-Seitenzahnbereich vermessen. Entsprechend den Messungen wurde der Ober – und Unterkiefer in 4 Morphotypen eingeteilt: Morphotyp 1 mit schmalem und hohem Alveolarfortsatz, Morphotyp 2 mit schmalem und tiefem Alveolarfortsatz, Morphotyp 3 mit breitem und hohem Alveolarfortsatz, Morphotyp 4 mit breitem und tiefem Alveolarfortsatz. Die Überlebensraten der Implantate wurden anhand einer Kaplan-Meier Analyse ermittelt. Vergleiche zwischen den Morphotypen wurden mit dem nichtparametrischen Kruskal-Wallis-Test und multiple Vergleiche mit dem nichtparametrischen Dunn-Test durchgeführt.

Ergebnisse: Die Überlebensrate aller Implantate betrug nach 5 Jahren 97,7%, nach 10 Jahren 95,2% und nach 20 Jahren 90,3%. Patienten mit Morphotyp 3 im Oberkiefer-Seitenzahnbereich wiesen eine kürzere Überlebensrate der Implantate auf als Patienten mit Morphotyp 1, 2 und 4 ($p < 0,01$). Der periimplantäre Knochenabbau aller Implantate betrug nach 1 Jahr 1,56mm, nach 5 Jahren 1,68mm, nach 10 Jahren 1,74mm und nach 20 Jahren 1,93mm.

Im Oberkiefer-Seitenzahnbereich und Unterkiefer zeigte sich, dass der periimplantäre Knochenabbau bei Patienten mit dem Morphotyp 2 signifikant geringer war.

Schlussfolgerung: Implantate bei Patienten mit dem Morphotyp 3 (breiter und hoher Alveolarfortsatz) wiesen im Oberkiefer-Seitenzahnbereich eine kürzere

Überlebensdauer auf. Implantate bei Patienten mit Morphotyp 2 (Schmaler und tiefer Alveolarfortsatz) im Oberkiefer-Seitenzahnbereich und Unterkiefer wiesen einen geringeren Knochenabbau auf.

7.2 Summary

Background: The aim of the 2- to 30-year cohort study of patients with periodontal disease and dental implants was to demonstrate a correlation between the survival rate of implants and the morphology of the maxilla and mandible.

Materials and methods: A total of sixty-eight periodontally treated patients with implant-supported single crowns and bridges were closely monitored at intervals of 3 to 6 months over a period of 5 to 20 years. Clinical parameters of implants were measured at all recall appointments. Standardised two-dimensional radiographs were taken after insertion of the superstructure (baseline) and after 1, 3, 5, 10, 15 and 20 years. Three-dimensional radiographs (digital volume tomography, DVT) were taken in all patients for routine pre-implantological diagnostics. Thirty-nine CBCT images for the maxillary anterior and maxillary posterior regions and 37 CBCT images in the mandibular posterior region were measured. According to the measurements, the maxilla and mandible were categorised into four morphotypes: Morphotype 1 with narrow and high alveolar process, morphotype 2 with narrow and deep alveolar process, morphotype 3 with wide and high alveolar process, morphotype 4 with wide and deep alveolar process. The survival rates of the implants were determined using a Kaplan-Meier analysis. Comparisons between the morphotypes were conducted using the non-parametric Kruskal-Wallis-test and multiple comparisons using the non-parametric Dunn test.

Results: The survival rate of all implants was 97.7% after 5 years, 95.2% after 10 years and 90.3% after 20 years. Patients with morphotype 3 in the maxillary posterior region had a shorter implant survival rate than patients with morphotypes 1, 2 and 4 ($p < 0.01$). The peri-implant bone loss of all implants was 1.56mm after 1 year, 1.68mm after 5 years, 1.74mm after 10 years and 1.93mm after 20 years. In the maxillary posterior region and mandible, peri-implant bone loss was significantly lower in patients with morphotype 2.

Conclusion: Implants in patients with morphotype 3 (wide and high alveolar process) showed a shorter survival time in the maxillary posterior region. Implants in patients with morphotype 2 (narrow and deep alveolar process) in the maxillary posterior region and mandible showed less bone resorption.

8 Literaturverzeichnis

- Ainamo, J., & Bay, I. (1975). Problems and proposals for recording gingivitis and plaque. *International Dental Journal*, 25(4), 229–235.
- Albrektsson, T., Chrcanovic, B., Östman, P.-O., & Sennerby, L. (2017). Initial and long-term crestal bone responses to modern dental implants. *Periodontology 2000*, 73(1), 41–50. <https://doi.org/10.1111/prd.12176>
- Angle, Edward H., D.D.S. (1899). Classification of Malocclusion. *The Dental Cosmos; a Monthly Record of Dental Science: Vol. XLI*. (Volume: 41, Issue: 3, March, 1899, pp. 248-264).
- Baggi, L., Cappelloni, I., Di Girolamo, M., Maceri, F. & Vairo, G. (2008). The influence of implant diameter and length on stress distribution of osseointegrated implants related to crestal bone geometry: A three-dimensional finite element analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 100(6), 422–431. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(08\)60259-0](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(08)60259-0)
- Baggi, L., Di Girolamo, M., Vairo, G., & Sannino, G. (2014). Comparative Evaluation of Osseointegrated Dental Implants Based on Platform-Switching Concept: Influence of Diameter, Length, Thread Shape, and In-Bone Positioning Depth on Stress-Based Performance. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2013/250929>
- Baud, C. A. (1968). Submicroscopic structure and functional aspects of the osteocyte. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 56, 227–236.
- Birn, H. (1966). The vascular supply of the periodontal membrane. An investigation of the number and size of perforations in the alveolar wall. *Journal of Periodontal Research*, 1, 51–68. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.1966.tb01846.x>
- Björk, A. (1969). Prediction of mandibular growth rotation. *American Journal of Orthodontics*, 55(6), 585–599. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(69\)90036-0](https://doi.org/10.1016/0002-9416(69)90036-0)
- Cawood, J. I., & Howell, R. A. (1988). A classification of the edentulous jaws. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 17(4), 232–236. [https://doi.org/10.1016/s0901-5027\(88\)80047-x](https://doi.org/10.1016/s0901-5027(88)80047-x)
- Chamberlain, A. D., Renvert, S., Garrett, S., Nilvéus, R., & Egelberg, J. (1985). Significance of probing force for evaluation of healing following periodontal

- therapy. *Journal of Clinical Periodontology*, 12(4), 306–311.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.1985.tb02296.x>
- Chrcanovic, B. R., Albrektsson, T., & Wennerberg, A. (2014). Reasons for failures of oral implants. *Journal of Oral Rehabilitation*, 41(6), 443–476.
<https://doi.org/10.1111/joor.12157>
- Cochran, D. L. (2000). The scientific basis for and clinical experiences with Straumann implants including the ITI® Dental Implant System: A consensus report Note. *Clinical Oral Implants Research: Chapter 2*, 11, 33–58.
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.2000.011S1033.x>
- Cole, A. S., & Eastoe, J. E. (2014). *Biochemistry and Oral Biology*. Elsevier Science, 27, 406-424. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7236-1751-8.50034-X>
- Coşkun, İ., & Kaya, B. (2019). Appraisal of the relationship between tooth inclination, dehiscence, fenestration, and sagittal skeletal pattern with cone beam computed tomography. *The Angle Orthodontist*, 89(4), 544–551.
<https://doi.org/10.2319/050818-344.1>
- Derks, J., & Tomasi, C. (2015). Peri-implant health and disease. A systematic review of current epidemiology. *Journal of Clinical Periodontology*, 42 Suppl 16, S158-71. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12334>
- Di Fiore, A., Montagner, M., Sivoilella, S., Stellini, E., Yilmaz, B., & Brunello, G. (2022). Peri-Implant Bone Loss and Overload: A Systematic Review Focusing on Occlusal Analysis through Digital and Analogic Methods. *Journal of Clinical Medicine*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/jcm11164812>
- Enhos, S., Uysal, T., Yagci, A., Veli, İ., Ucar, F. I., & Ozer, T. (2012). Dehiscence and fenestration in patients with different vertical growth patterns assessed with cone-beam computed tomography. *The Angle Orthodontist*, 82(5), 868–874. <https://doi.org/10.2319/111211-702.1>
- Forster, C. M., Sunga, E., & Chung, C.-H. (2008). Relationship between dental arch width and vertical facial morphology in untreated adults. *European Journal of Orthodontics*, 30(3), 288–294. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjm113>
- Gallucci, G. O., Khoynzhad, S., Yansane, A. I., Taylor, J., Buser, D., & Friedland, B. (2017). Influence of the Posterior Mandible Ridge Morphology on Virtual Implant Planning. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 32(4), 801–806. <https://doi.org/10.11607/jomi.5546>

- Hausmann D.W., Hahmann M., Mogk M., Mengel R. (2023) The Influence of Crown-to-Implant Ratio on Crestal Bone Loss at Implants with Single Crowns and Bridges. *International Journal of Prosthodontics*. doi:10.11607/ijp.8447
- Himmlová, L., Tat'jana Dostálová, Alois Kácovský, & Svatava Konvičková (2004). Influence of implant length and diameter on stress distribution: A finite element analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 91(1), 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2003.08.008>
- Hoang, N., Nelson, G., Hatcher, D., & Oberoi, S. (2016). Evaluation of mandibular anterior alveolus in different skeletal patterns. *Progress in Orthodontics*, 17(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s40510-016-0135-z>
- Howe, M.-S., Keys, W., & Richards, D. (2019). Long-term (10-year) dental implant survival: A systematic review and sensitivity meta-analysis. *Journal of Dentistry*, 84, 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.03.008>
- Jande, S. S., & Bélanger, L. F. (1971). Electron microscopy of osteocytes and the pericellular matrix in rat trabecular bone. *Calcified Tissue Research*, 6(4), 280–289. <https://doi.org/10.1007/BF02196209>
- Jones, S.J., Boyde, A. (1974). The organization and gross mineralization patterns of the collagen fibres in sharpey fibre bone. *Cell Tissue Res.* 148, 83–96. <https://doi.org/10.1007/BF00224320>
- Kahl-Nieke B., Einführung in die Kieferorthopädie (2009), Deutscher Ärzteverlag, Köln, Kapitel 6, S.48-49 ISBN: 9783769136319
- Kaplan, E. L. (1958). *Monte Carlo methods for equilibrium solutions in neutron multiplication*. University of California Lawrence Radiation Laboratory.
- Kinane, D. F., & Radvar, M. (1997). The effect of smoking on mechanical and antimicrobial periodontal therapy. *Journal of Periodontology*, 68(5), 467–472. <https://doi.org/10.1902/jop.1997.68.5.467>
- Kinast, H. (1976). Die apikale Basis — eine meßbare „Größe“. *Fortschritte Der Kieferorthopädie*, 37(4), 445–457. <https://doi.org/10.1007/BF02200124>
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583–621. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>
- Lang, N. P., Joss, A., Orsanic, T., Gusberti, F. A., & Siegrist, B. E. (1986). Bleeding on probing. A predictor for the progression of periodontal disease?

- Journal of Clinical Periodontology*, 13(6), 590–596.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.1986.tb00852.x>
- Lang, N. P., Karring, T., & Lindhe, J. (1999). *Proceedings of the 3rd European Workshop on Periodontology: Implant Dentistry: Charter House at Ittingen Thurgau, Switzerland, January 30-February 3, 1999*. Quintessence.
- Lekholm, U., & Zarb, G. (1985). Patientenselektion und Aufklärung der Patienten in: Branemark PI (1985): Gewebeintegrierter Zahnersatz. *Quintessenz, Berlin- Chicago- London- Rio de Janeiro- Tokio*, 195-205.
- Linetskiy, I., Demenko, V., Linetska, L., & Yefremov, O. (2017). Impact of annual bone loss and different bone quality on dental implant success—A finite element study. *Computers in Biology and Medicine*, 91, 318–325.
- Löe, H., & Silness, J. (1963). Periodontal disease in Pregnancy. I. Prevalence and severity. *Acta Odontologica Scandinavica*, 21, 533–551.
<https://doi.org/10.3109/00016356309011240>
- Loutit, J. F., & Nisbet, N. W. (1982). The Origin of Osteoclasts. *Immunobiology*, 161(3), 193–203. [https://doi.org/10.1016/S0171-2985\(82\)80074-0](https://doi.org/10.1016/S0171-2985(82)80074-0)
- Melcher, A. H., & Eastoe J. E. (1969). The connective tissues of the periodontium. In: Melcher, A. H., Bowen, W. H., Hrg. *The biology of the periodontium*. London, New York: Academic Press, 1969: 167-343
- Mengel, R., Candir, M., Shiratori, K., & Flores-de-Jacoby, L. (2005). Digital volume tomography in the diagnosis of periodontal defects: An in vitro study on native pig and human mandibles. *Journal of Periodontology*, 76(5), 665–673.
<https://doi.org/10.1902/jop.2005.76.5.665>
- Naert, I., Duyck, J., & Vandamme, K. (2012). Occlusal overload and bone/implant loss. *Clinical Oral Implants Research*, 23, 95–107.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02550.x>
- Nimigean, V. R., Nimigean, V., Bencze, M. A., Dimcevic-Poesina, N., Cergan, R., & Moraru, S. (2009). Alveolar bone dehiscences and fenestrations: An anatomical study and review. *Romanian Journal of Morphology and Embryology*, 50(3), 391–397.
- Nötzel, F., & Schultz, C. (2001). *Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik: Analysen und Tabellen für die Praxis*. Dt. Zahnärzte-Verlag, DÄV-Hanser.
<https://books.google.de/books?id=1Wrs3rXHsTQC>

- Oh, T.-J., Yoon, J., Misch, C. E., & Wang, H.-L. (2002). The causes of early implant bone loss: Myth or science? *Journal of Periodontology*, *73*(3), 322–333. <https://doi.org/10.1902/jop.2002.73.3.322>
- Papadimitriou, D. E. V., Salari, S., Gannam, C., Gallucci, G. O., & Friedland, B. (2014). Implant-prosthetic classification of the edentulous jaw for treatment planning with fixed rehabilitations. *The International Journal of Prosthodontics*, *27*(4), 320–327. <https://doi.org/10.11607/ijp.3791>
- Papapanou, P. N., Sanz, M., Buduneli, N., Dietrich, T., Feres, M., Fine, D. H., Flemmig, T. F., Garcia, R., Giannobile, W. V., Graziani, F., Greenwell, H., Herrera, D., Kao, R. T., Kerschull, M., Kinane, D. F., Kirkwood, K. L., Kocher, T., Kornman, K. S., Kumar, P. S., ... Tonetti, M. S. (2018). Periodontitis: Consensus report of workgroup 2 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *Journal of Periodontology*, *89 Suppl 1*, S173-S182. <https://doi.org/10.1002/JPER.17-0721>
- Ramos Verri, F., Santiago Junior, J. F., Faria Almeida, D. A. de, Oliveira, G. B. B. de, Souza Batista, V. E. de, Marques Honório, H., Noritomi, P. Y. & Pellizzer, E. P. (2015). Biomechanical influence of crown-to-implant ratio on stress distribution over internal hexagon short implant: 3-D finite element analysis with statistical test. *Journal of biomechanics* *48*, 138–145. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.10.021>
- Roccuzzo, A., Imber, J.-C., Marruganti, C., Salvi, G. E., Ramieri, G., & Roccuzzo, M. (2022). Clinical outcomes of dental implants in patients with and without history of periodontitis: A 20-year prospective study. *Journal of Clinical Periodontology*, *49*(12), 1346–1356. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13716>
- Salti, L., Holtfreter, B., Pink, C., Habes, M., Biffar, R., Kiliaridis, S. et al. (2017). Estimating effects of craniofacial morphology on gingival recession and clinical attachment loss. *Journal of Clinical Periodontology*, *44*(4), 363–371. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12661>
- Salvi, G. E., & Lang, N. P. (2004). Diagnostic parameters for monitoring peri-implant conditions. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, *19 Suppl*:116-127.

- Schroeder, H.E. (1986). Development, Structure, and Function of Periodontal Tissues. In: *The Periodontium. Handbook of Microscopic Anatomy*, vol 5 / 5. Springer, Berlin, Heidelberg. pp 23-323. https://doi.org/10.1007/978-3-642-71261-6_4
- Schroeder, H.E., Listgarten, M.A. (1997), The gingival tissues: the architecture of periodontal protection. *Periodontology* 2000, 13: 91-120. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.1997.tb00097.x>
- Schwarz (1961). *Lehrgang der Gebissregelung Band 1, 3. Aufl. Urban & Schwarzenberg Wien-Innsbruck, 2, 2.*
- Seipel, C. M. (1948). Trajectories of the jaws. *Acta Odontologica Scandinavica*, 8(2), 81–191. <https://doi.org/10.3109/00016354809040430>
- Sevimay, M., F. Turhan, M.A. Kiliçarslan, & G. Eskitascioglu (2005). Three-dimensional finite element analysis of the effect of different bone quality on stress distribution in an implant-supported crown. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 93(3), 227–234. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2004.12.019>
- Shapiro, S. S., Wilk, M.B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples), *Biometrika*, Volume 52, Issue 3-4, Pages 591 611, <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Sheridan, R. A., Decker, A. M., Plonka, A. B., & Wang, H.-L. (2016). The Role of Occlusion in Implant Therapy: A Comprehensive Updated Review. *Implant Dentistry*, 25(6), 829–838. <https://doi.org/10.1097/ID.0000000000000488>
- Silness, J., & Løe, H. (1964). Periodontal disease in pregnancy. II. Correlation between oral hygiene and periodontal condition. *Acta Odontologica Scandinavica*, 22, 121–135. <https://doi.org/10.3109/00016356408993968>
- Sluka, B., Naenni, N., Jung, R. E., Attin, T., Schmidlin, P. R., & Sahrman, P. (2020). Changes of radiopacity around implants of different lengths: Five-year follow-up data of a randomized clinical trial. *Clinical Oral Implants Research*, 31(5), 488–494. <https://doi.org/10.1111/clr.13584>
- Stillner, M., Mengel, R., Becher, S., Brinkmann, B., Peleska, B., & Kluk, E. (2015). Soft-tissue grafting for peri-implantitis—a treatment option in case of unsuitable skeletal basic morphology of the alveolar bone and lack of keratinized mucosa: A retrospective clinical cohort study. *International Journal of Implant Dentistry*, 1(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s40729-015-0029-8>

- Sun, L., Zhang, L., Shen, G., Wang, B., & Fang, B. (2015). Accuracy of cone-beam computed tomography in detecting alveolar bone dehiscences and fenestrations. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 147(3), 313–323. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2014.10.032>
- Swierkot, K., Lottholz, P., Flores-de-Jacoby, L., & Mengel, R. (2012). Mucositis, peri-implantitis, implant success, and survival of implants in patients with treated generalized aggressive periodontitis: 3- to 16-year results of a prospective long-term cohort study. *Journal of Periodontology*, 83(10), 1213–1225. <https://doi.org/10.1902/jop.2012.110603>
- Tözüm, M. D., Ataman-Duruel, E. T., Duruel, O., Nares, S., & Tözüm, T. F. (2022). Association between ridge morphology and complexity of implant placement planning in the posterior mandible. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(3), 361–367. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.07.034>
- Van der Velden, U., & Vries, J. H. de (1980). The influence of probing force on the reproducibility of pocket depth measurements. *Journal of Clinical Periodontology*, 7(5), 414–420. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.1980.tb02014.x>
- Wysolmerski, J. J. (2012). Osteocytic osteolysis: Time for a second look? *BoneKey Reports*, 1, 229. <https://doi.org/10.1038/bonekey.2012.229>
- Yagci, A., Veli, I., Uysal, T., Ucar, F. I., Ozer, T., & Enhos, S. (2012). Dehiscence and fenestration in skeletal Class I, II, and III malocclusions assessed with cone-beam computed tomography. *The Angle Orthodontist*, 82(1), 67–74. <https://doi.org/10.2319/040811-250.1>
- Zachow, S., Lamecker, H., Elsholtz, B., & Stiller, M. (2005). Reconstruction of mandibular dysplasia using a statistical 3D shape model. *International Congress Series*, 1281, 1238–1243. <https://doi.org/10.1016/j.ics.2005.03.339>
- Zarb, G. A., & Schmitt, A. (1995). Implant prosthodontic treatment options for the edentulous patient. *Journal of Oral Rehabilitation*, 22(8), 661–671. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1995.tb01064.x>

10 Anhang

10.1 Abbildungen und Tabellen

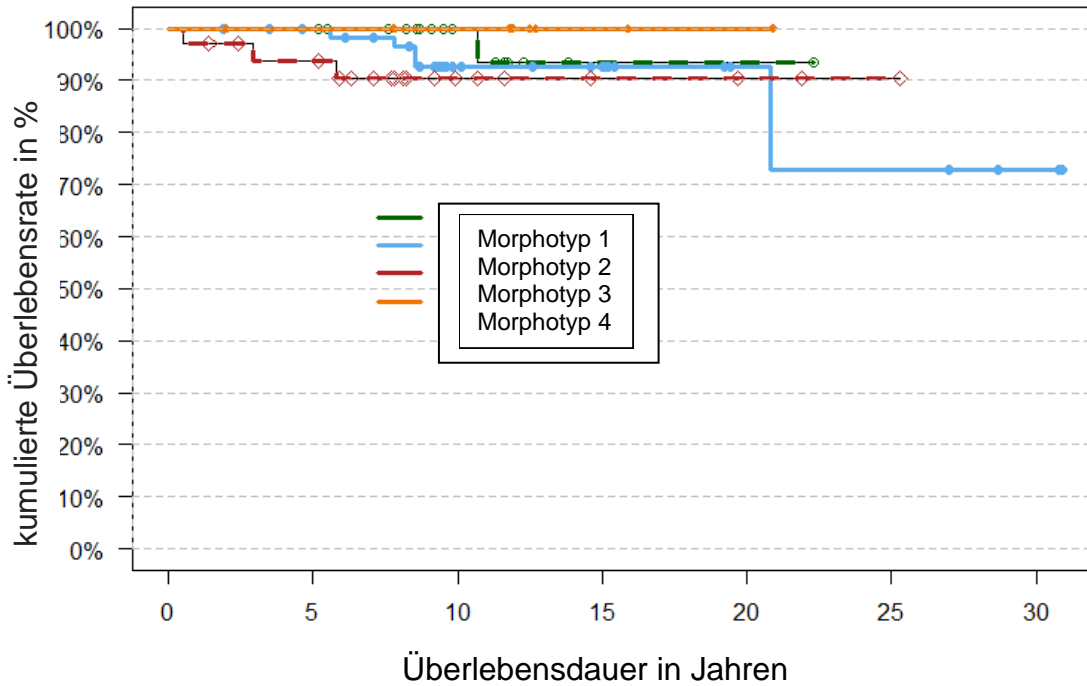


Abb. 23: Überlebensrate Implantate UK nach Morphotypen (Kaplan-Meier-Analyse)

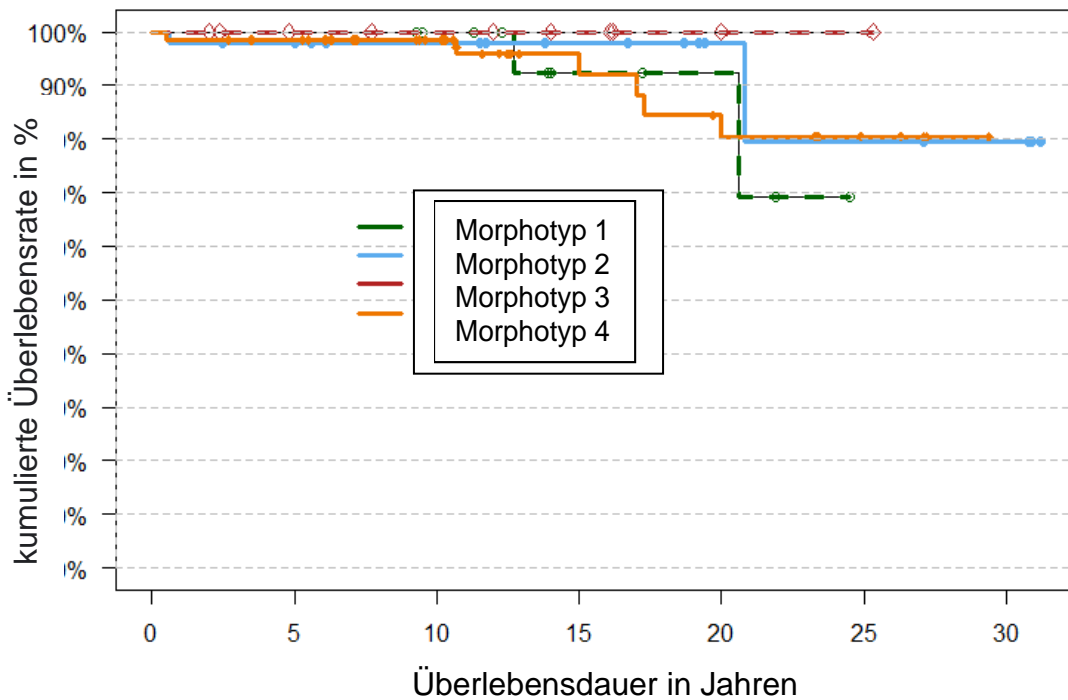


Abb. 24: Überlebensrate Implantate OK-Front nach Morphotypen (Kaplan-Meier-Analyse)

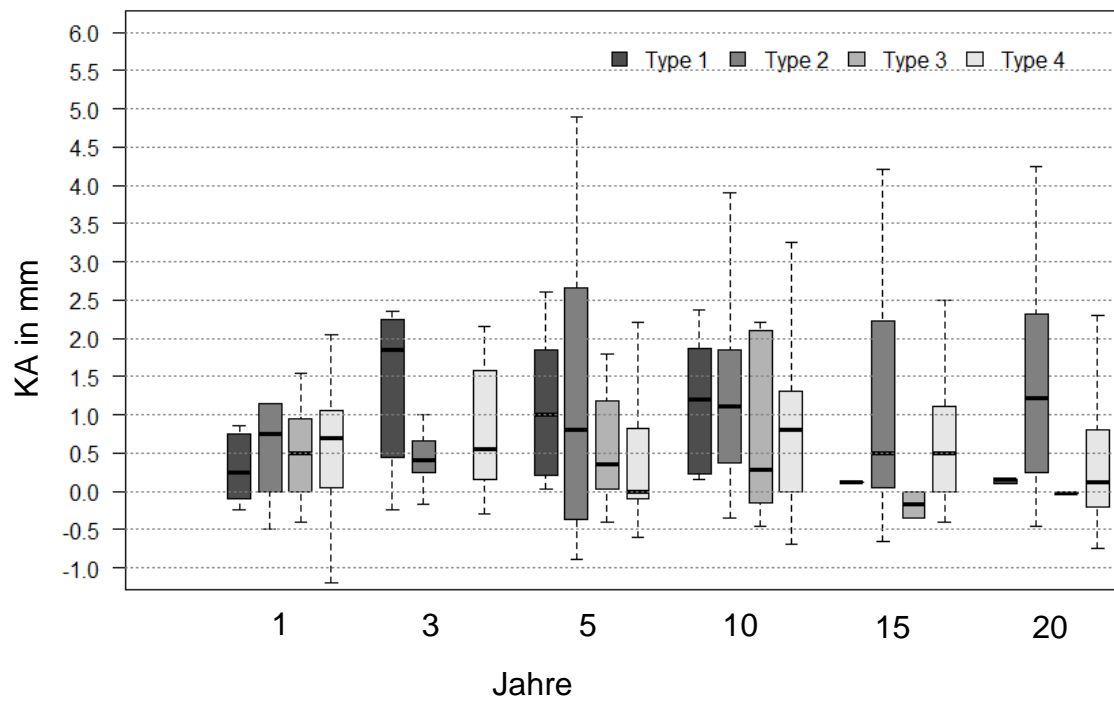


Abb. 25: Korrelation periimplantärer Knochenabbau mit Morphotyp (OK-Front)

* = signifikanter Unterschied des univariaten Vergleichs der Morphotypen zum jeweiligen Zeitpunkt (Kruskal-Wallis-Test)

10.2 Verzeichnis akademischer Lehrer/innen

Meine akademischen Lehrenden an der Philipps-Universität Marburg waren folgende Damen/Herren (in alphabetischer Reihenfolge ohne akademischen Grad): Althaus, Arweiler, Ausschill, Bette, Born, Cetin, Dudek, Feuser, Fischer, Frankenberger, Gente, Gloerfeld, Huster, Jablonski-Momeni, Kinscherf, Koch, Korbmacher-Steiner, Lill, Lotzmann, Mengel, Milani, Moll, Neff, Neumüller, Nonnenmacher, Peleska, Pieper, Roggendorf, Schramm, Schütz, Weber, Weihe, Westermann, Winter, Wrocklage, Ziebart.

10.3 Danksagung

Besonders danke ich Herrn Prof. Dr. Mengel für die umfassende Betreuung und Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit.

Außerdem danke ich Herrn Mogk für die kompetente Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Meinen Großeltern, Eltern und Geschwistern möchte ich für ihre Unterstützung und Ermutigung sowohl während des Studiums als auch darüber hinaus danken.

Außerdem bedanke ich mich bei allen Patienten, die an dieser Studie teilgenommen haben.