

Diplomarbeit

**Evaluierung der marginalen
Knochenhöheänderung nach Insertion von
NobelReplace Tapered Groovy Implantaten in
Abhängigkeit von sub-, äqui- oder suprakrestaler
Plattformpositionierung- eine retrospektive
Untersuchung.**

eingereicht von

Laura Ertl

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der Zahnmedizin

(Dr.ⁱⁿ med. dent.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheit

Klinische Abteilung für Zahnerhaltung und Zahnersatzkunde

unter der Anleitung von

OA Dr. med. dent. Susanne Vogl

Ao. Univ.-Prof. Dr.med.univ. Martin Lorenzoni

Graz, am 05.08.2021

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 05.08.2021

Laura Ertl eh

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei OA Dr. med. dent. Susanne Vogl und Ao. Univ.-Prof. Dr.med. univ. Martin Lorenzoni für die Ermöglichung dieser Arbeit, deren richtungsweisende Betreuung und wertvolle Unterstützung bei der Verfassung dieser Diplomarbeit bedanken.

Meinen Eltern gilt ein ganz besonderer Dank. Ohne sie wäre es mir nicht möglich gewesen dieses Studium zu absolvieren. Ich danke ihnen für die vielen „steakhaften“ Stärkungen und für die etlichen „Schwamm drüber“- Songs, auch für die frisch ausgepressten Orangensäfte und die Lektionen, immer nach den guten Orangen zu greifen. Ohne ihre immerwährende Motivation und Unterstützung, ihren Zuspruch und ihre Stütze wäre ich nicht da, wo ich jetzt stehe.

Meinen Großeltern danke ich für das Vererben ihrer Goldschmiede- und Schneiderei-Fingerfertigkeiten. Sie waren eine wichtige Grundlage für das Erlernen meines Berufs.

Ein großer Dank gebührt auch meinem Freund Niki für sein immer offenes Ohr, für die nie endenden Bestärkungen, für die Umpolung meiner Ängste und dafür, dass er mir beigebracht hat nicht zu viele Gedanken an kleine belanglose Dinge zu verschwenden. Zusätzlich möchte ich mich bei ihm und bei meinen besten Freunden dafür bedanken, dass sie Graz zu meiner zweiten Heimat gemacht haben. Ohne sie wären die letzten Jahre nicht so schön gewesen.

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abkürzungen und deren Erklärung	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Zusammenfassung	VIII
Abstract	X
1 Einleitung	1
1.1 Knochen	2
1.1.1 Knochenaufbau	2
1.1.2 Spannungsverhältnisse	3
1.1.3 Charakteristika und Qualität von knöchernen Schichten	4
1.1.4 Knochenatrophie nach einer Zahnextraktion	5
1.1.5 Resorptionsklassen	7
1.1.6 Einheilung eines Implantates	7
1.1.7 Osseointegration	8
1.1.8 Remodeling	10
1.2 Weichgewebe	12
1.3 Material	12
1.3.1 Titan	12
1.3.2 Zirkoniumdioxid	13
1.4 Oberfläche und Anatomie eines Implantates	13
1.4.1 Beschichtung	14
1.4.2 Implantatanatomie	15
1.5 Platform Switching	15
1.6 Implantationszeitpunkt	17
1.6.1 Sofortimplantation	18
1.6.2 Frühe Implantatinsertion mit Weichgewebsheilung	20
1.6.3 Frühe Implantatinsertion mit teilweiser Knochenheilung	20
1.6.4 Spätimplantation	21
1.7 Belastungszeitpunkt	22
1.8 Erfolgskriterien und Versagen	23
1.8.1 Überlebensraten	23
1.8.2 Komplikationen	24
1.8.3 Beurteilung des Erfolges	25
1.9 Studienziel	28
2 Material und Methoden	29

2.1	Patientenkollektiv	30
2.2	Ein- und Ausschlusskriterien	31
2.3	Radiologische Vermessung.....	32
2.4	Einteilung der Implantate	33
2.5	Statistische Auswertung	34
2.6	Berechnung der Stichprobengrößen	35
3	<i>Ergebnisse</i>	36
3.1	Zeitraumen der klinischen Prüfung.....	36
3.2	Implantatdimensionen	36
3.3	Implantatpositionen	37
3.4	Knochenneiwerte.....	39
3.5	Implantateinteilung hinsichtlich der Insertionstiefe	40
4	<i>Diskussion</i>	44
4.1	Periimplantäre Zellakkumulation	44
4.2	Minimierung des marginalen Knochenverlustes durch suprakrestale Implantatpositionierung	45
4.3	Subkrestal versus äquikrestal.....	51
4.4	Einteilige versus zweiteilige Implantate.....	53
4.4.1	Mikrospalt.....	53
4.5	Gingivadicke.....	54
4.6	Schlussfolgerungen.....	55
5	<i>Konklusion</i>	56
6	<i>Literaturverzeichnis</i>	57

Abkürzungen und deren Erklärung

- BIC Bone to Implant Contact
- ICOI International Congress of Oral Implantologists
- ISQ Implantatstabilitätsquotient
- IT Eindrehmoment
- ITI International Team for Implantology
- mm Millimeter
- μm Mikrometer
- mm^2 Quadratmillimeter
- N Number
- Ncm Newtonzentimeter
- NP Narrow Platform
- PS Platform Switched
- RFA Resonanzfrequenzanalyse
- RP Regular Platform
- WP Wide Platform

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: KLASSIFIKATION DES KNOCHENGEWEBES NACH LEKHOLM UND ZARB (RIBEIRO-ROTTA <i>ET AL.</i> , 2011)	4
ABBILDUNG 2: KLASSIFIKATION DES ATROPHISCHEN UNTERKIEFERS NACH CAWOOD UND HOWELL (BLAHOUT <i>ET AL.</i> , 2007)	7
ABBILDUNG 3: VARIANTEN DER ABUTMENTANATOMIE: A) PLATFORM MATCHED IMPLANTATAUFBAU; B) PLATFORM SWITCHED IMPLANTATAUFBAU (PAN <i>ET AL.</i> , 2019)	16
ABBILDUNG 4: ALLGEMEINE INFORMATIONEN.....	29
ABBILDUNG 5: VERSCHIEDENE DURCHMESSER DER NOBELREPLACE TAPERED GROOVY IMPLANTATE	30
ABBILDUNG 6: ERLÄUTERUNG DER EINZELNEN IMPLANTATVARIANTEN.....	30
ABBILDUNG 7: REFERENZPUNKT DER MESSUNG	32
ABBILDUNG 8: VERMESSUNG EINES IMPLANTATES (GRÜN = IMPLANTATSCHULTER; ROT = BIC; BLAU = KIEFERKAMM).....	34
ABBILDUNG 9: EINTEILUNG DER IMPLANTATE HINSICHTLICH DER INSERTIONSTIEFEN ..	40
ABBILDUNG 10: ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS TESTS UND MANN-WHITNEY-U- TESTS	43

Die Abbildungen 5, 6, 7 und 8 wurden dankenswerterweise von der Firma Nobel Biocare™ (Göteborg, Schweden) zur Verfügung gestellt.

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: AUFTEILUNG DER LÄNDER	36
TABELLE 2: DIMENSIONEN DER ANALYSIERTEN INSERierten IMPLANTATE	37
TABELLE 3: IMPLANTATPOSITION DER ANALYSIERTEN INSERierten IMPLANTATE	38
TABELLE 4: ZEITPUNKT DES FOLLOW-UPS	38
TABELLE 5: GEMESSENE KNOCHENNIVEAUWERTE BEI DER ERSTUNTERSUCHUNG UND BEIM FOLLOW-UP SOWIE WERTE DES KNOCHENUMBAUS	39
TABELLE 6: ANALYSE DER UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DEN ZENTREN	40
TABELLE 7: ANALYSE DES KNOCHENNIVEAUS ZU BEGINN DER STUDIE	41
TABELLE 8: ANALYSE DES KNOCHENNIVEAUS BEIM FOLLOW-UP	42
TABELLE 9: ANALYSE DES BONE REMODELINGS IM ZEITRAUM ZWISCHEN DER ERSTUNTERSUCHUNG UND DEM FOLLOW-UP	42
TABELLE 10: AUFLISTUNG VON DEN ERGEBNISSEN DER VERGLEICHSTUDIEN	50

Zusammenfassung

Einleitung

Implantate werden häufig auf Knochenniveau inseriert, jedoch ist die optimale Positionierung der Plattform nicht gänzlich geklärt. Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um eine retrospektive Multicenterstudie. Ziel der Studie ist es, den Einfluss der Insertionshöhe auf das Bone Remodeling im ersten Jahr nach der Insertion zu ermitteln. Die Nullhypothese besagt, dass die Insertionshöhe keinen Einfluss auf das Bone Remodeling nimmt, die Alternativhypothese, dass die Höhe einen Einfluss auf die marginalen Knochenveränderungen hat.

Methode

In drei Studienzentren wurden per Handsuche die Patientenakten auf ihre Eignung hin überprüft und nur in die Studie miteinbezogen, wenn sie den Einschlusskriterien entsprachen. Um einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Bone Remodeling und der Insertionstiefe zu untersuchen, sind retrospektiv bereits vorhandene Röntgenbilder zu Behandlungsbeginn und mindestens zwölf Monate danach evaluiert worden. Diese wurden anonymisiert an unabhängige Radiolog*innen zur Beurteilung des röntgenologischen initialen Knochen-Implantat-Kontaktes (Knochenniveau) übermittelt. Die Daten wurden gepoolt und statistisch ausgewertet. In einem zweiten Schritt wurden die Röntgenbilder von zwei geschulten Zahnärzt*innen unabhängig voneinander makroskopisch in drei Kategorien eingeordnet: Implantatschulter koronal zum Kieferkamm (suprakrestal), Implantatschulter auf Kieferkammniveau (äquikrestal) und Implantatschulter apikal zum Kieferkamm (subkrestal). Bei abweichenden Beurteilungen durch die Zahnärzt*innen wurde so lang diskutiert, bis ein Konsens erzielt wurde.

Ergebnisse

90 Patient*innen mit insgesamt 182 Implantaten erfüllten die Einschlusskriterien mit einer mittleren Nachbeobachtungszeit von 22,6 (SD 11,0; 12-53) Monaten. Die mittlere Knochenniveauveränderung betrug -1,08 (SD 1,68) mm. Die Subanalyse in

Bezug auf die Insertionstiefe ergab, dass Implantate mit einer suprakrestalen Positionierung einen mittleren Knochenumbau von -0,05 (SD 1,05; n = 15) mm aufwiesen, Implantate mit einer äquikrestalen Positionierung lösten einen mittleren marginalen Knochenumbau von -1,05 (SD 1,75; n = 125) mm aus und bei Implantaten mit einer subkrestalen Insertionstiefe wurde ein marginaler Knochenumbau von -2,51 (SD 1,49; n = 42) mm festgestellt. Die statistische Analyse zeigte einen signifikanten Einfluss der Insertionstiefe auf das Bone Remodeling ($p = 0,005$; Kruskal-Wallis-Test). Die Post-hoc-Analyse (Mann-Whitney-U-Test) ergab, dass die suprakrestale Implantatinsertion im Vergleich zur äquikrestalen ($p = 0,011$) und subkrestalen Implantatpositionierung ($p = 0,001$) zu einem statistisch signifikant geringeren marginalen Knochenumbau führte.

Konklusion

Eine leicht suprakrestale Positionierung von NobelReplace Tapered Groovy Implantaten führte im Vergleich zu einer sub- oder äquikrestalen Insertionstiefe zu einem statistisch signifikant geringeren marginalen Knochenumbau. Allerdings handelt es sich hierbei um eine retrospektive Studie mit Studiengruppen unterschiedlicher Stichprobengröße. Eine Verifizierung der Beobachtungen in einer größeren, prospektiven Studie wird empfohlen.

Abstract

Introduction

Bone level implants are common, however it is unknown if an implant shall be placed slightly sub-, supracrestal or exactly flush with bone. The present investigation is a retrospective multi-center study. The objective of the study is the impact of insertion height in marginal bone remodeling in the first year after insertion. The null hypothesis was that the insertion height does not have any impact on the marginal bone remodeling and the alternative hypothesis was that height does have any impact on the marginal bone remodeling.

Methods

In three study centers the charts of patients were reviewed for suitability and only included in the study if they met the inclusion criteria. In order to investigate a possible relationship between bone remodeling and insertion depth, existing radiographs at baseline and at least twelve months later were retrospectively evaluated. These were anonymously transmitted to independent radiologists for evaluation of the radiographic initial bone to implant contact (bone level). The data were pooled and statistically analysed. In a second step, the radiographs were categorized macroscopically by two trained dentists independently in three categories: top of implant coronal of crest (supracrestal), top of implant flush with crest (equicrestal) and top of implant apical of crest (subcrestal). In case of deviation of the judgement by the dentists there was a discussion until a consensus was reached.

Results

90 patients with a total of 182 implants met the inclusion criteria with a mean follow-up time of 22.6 (SD 11.0; 12-53) months. The mean bone level change was -1.08 (SD 1.68) mm. Subanalysis with regard to placement depth showed that implants with a supracrestal placement showed a mean bone remodeling of -0.05 (SD 1.05; n = 15) mm, implants with an equicrestal placement exhibited a mean marginal bone remodeling of -1.05 (SD 1.75; n = 125) mm and implants with a subcrestal

placement experienced a marginal bone remodeling of -2.51 (SD 1.49; n = 42) mm. Statistical analysis showed a significant influence of placement depth on bone remodeling ($p = 0.005$; Kruskal-Wallis-test). Post hoc analysis (Mann-Whitney-U-test) indicated that supracrestal implant placement leads to statistically significant less marginal bone remodeling compared to equicrestal implant placement ($p = 0.011$) and subcrestal implant placement ($p = 0.001$).

Conclusion

Slight supracrestal placement of NobelReplace tapered groovy implants resulted in statistically significant less marginal bone remodeling compared to sub- or equicrestal placement. However, this is a retrospective study with study groups of different sample sizes. A verification of the observations in a larger, prospective study is recommended.

1 Einleitung

Dentale Implantate, welche aus alloplastischen Materialien bestehen, werden als künstliche Zahnwurzeln in den Knochen inseriert. Im Gegensatz zum desmodontalen Halt eines Zahnes ergibt sich die Verankerung eines dentalen Implantates mit dem Knochen als rein ankylotische, bindegewebsfreie Verbindung (Gutwald, Gellrich and Schmelzeisen, 2018).

Die Anwendung von dentalen Implantaten bei teilbezahnten oder zahnlosen Patient*innen hat zusätzliche Behandlungsalternativen geschaffen (Steigenga *et al.*, 2003). Die Implantologie bietet Möglichkeiten der zahnärztlichen Rehabilitation, die zuvor als unrealistisch galten (Covani, Cornelini and Barone, 2003).

Mitentscheidend für die Wahl implantatprothetischer Behandlungskonzepte sind der Gesundheitszustand, die Erwartungen, das Alter und der Anspruch der Patient*innen, der intraorale Befund, die bis dato bestehende prothetische Versorgung und die finanziellen Mittel der Patient*innen.

Zwischen zwei Implantaten soll eine Mindestdistanz von 3 mm eingehalten werden. Zwischen dem Implantat und der Nachbarzahnwurzel ein Abstand von 1,5 mm (Gutwald, Gellrich and Schmelzeisen, 2018). Ein Implantat kann aus einem einzigen oder zwei Teilen aufgebaut sein. Das zweiteilige Implantat besteht aus der Implantatschraube und ihrem Aufbau, welches Abutment genannt wird. Das Abutment wird in den Implantatkörper verschraubt. Darauf kann die Suprakonstruktion entweder zementiert oder ebenfalls verschraubt werden. Bei den einteiligen Implantaten bilden die Implantatschraube und das Abutment eine Einheit (Strub *et al.*, 2010).

1.1 Knochen

1.1.1 Knochenaufbau

Der Knochen besteht aus Zellen, welche in eine mineralisierte extrazelluläre Matrix eingebettet sind (Davies, 2007). Das Knochengewebe besteht zu 90% aus Typ-I-Kollagen, Thrombospondin, Osteopontin, Fibronectin, Osteocalcin und Proteoglykanen. Weitere Bestandteile sind Mineralien, unter anderem alkalische Salze wie Kalzium, Phosphat, Natrium, Magnesium, Kalium und Fluor sowie Osteozyten, Osteoblasten und Osteoklasten. Osteozyten verfügen über eine Mechanosensitivität und adaptieren die Knochenneubildung durch Einflussnahme auf Osteoblasten- und klasten. Wachstumsfaktoren wie TGF β , FGF, PDGF oder IGF aktivieren die Osteoblasten. Diese bilden die alkalische Phosphatase, welche eine Mineralisierung anregt. Osteoklasten sind für den Knochenabbau durch Proteinase und der Sekretion von H⁺ verantwortlich. Die Plasmakonzentration von Typ-I-Kollagen-Abbauprodukten spiegelt die Aktivität der Osteoklasten wider (Silbernagl and Lang, 2013).

Das Knochengewebe passt sich an die mechanischen Gegebenheiten an, dementsprechend sind ständige Umbauvorgänge zu vermerken. Die Knochenmineralisierung und der Knochenaufbau wird durch Kalzium, die Konzentration des Phosphatplasmas sowie durch Hormone reguliert (Davies, 2007). Durch die Demineralisierung und Bildung von Osteoblasten und Osteoklasten steigert das Parathormon den Knochenumbau. Bei längerfristigem Überschuss überwiegt jedoch der Knochenabbau. Auch Calcitriol wirkt bei den Auf- und Abbauvorgängen des Knochens mit. Glucocorticoide hemmen wiederum die Bildung von Calcitriol und Typ-I-Kollagen und sind somit am Knochenabbau beteiligt (Silbernagl and Lang, 2013). Knochenumbau wird durch die resorptiv wirkenden Osteoklasten und die synthetische Aktivität der Osteoblasten erreicht. Diese Zellen sind für den dauerhaften Umbau von circa 3-5% des menschlichen Skeletts federführend. Bei Vorliegen einer Störung dieser Zellen kann es durch ein Ungleichgewicht der zellulären Aktivität beispielsweise zu einer Knochenatrophie

kommen. Die Resorption durch Osteoklasten ist ein zweiphasiger Prozess. Hierbei wird einerseits die anorganische Matrix aufgelöst und andererseits die organischen Bestandteile enzymatisch abgebaut. Durch diesen Prozess wird eine demineralisierte knöchernen Matrix gebildet, von welcher die Knochenneubildung ausgeht. In diese resorbierte Knochenfläche wird neue Knochenmatrix eingelagert (Davies, 2007). Im Gegensatz zum Knorpelgewebe, welches nur einen geringen Anteil von Vaskularität benötigt, muss der Knochen von einem reichhaltigen Gefäßangebot umgeben sein (Esposito *et al.*, 1998b).

Es gibt drei Arten von Knochengewebe: den Geflechtknochen, den Lamellenknochen sowie den Bündel- und Faserknochen. Zu Beginn der Knochenentwicklung sowie nach Knochenverletzungen wird der Geflechtknochen gebildet. Dieser Knochen ist entscheidend für die initiale Einheilphase der Implantate, weist jedoch eine geringe mechanische Festigkeit auf. Der Geflechtknochen wird folgend in den Lamellenknochen umgebaut, welcher sich durch einen höheren Mineralgehalt und Robustheit auszeichnet. Der lamelläre Knochen bildet den größten Anteil der Kompakta und Spongiosa der Erwachsenen. Bündel- und Faserknochen kommen bei Ansätzen von Bändern, Sehnen und Gelenkkapseln vor. Daher bildet diese Art, sowohl am Zahnzement als auch an der Innenseite der Kortikalis des Alveolarknochens, eine Ansatzzone für das parodontale Ligament (Schwenzer and Ehrenfeld, 2019).

1.1.2 Spannungsverhältnisse

Der kortikale Anteil des Knochens besitzt ein 10-mal höheres Elastizitätsmodul als die Spongiosa. Durch diese Eigenschaft ist die Kortikalis resistenter gegenüber vertikalen und horizontalen Belastungen. Dadurch entstehen im Bereich um den Implantat Hals hohe Druckspannungen, welche zu Knochenresorptionen führen können. Durch spezielle Designs und Materialien der Implantate, welche später noch genauer beschrieben werden, versucht man diese Spannungen zu reduzieren (Schwenzer and Ehrenfeld, 2019).

1.1.3 Charakteristika und Qualität von knöchernen Schichten

Die Knochenqualität ist laut Ribeiro-Rotta ein Überbegriff für folgende drei Bezeichnungen: die strukturelle Knochenqualität, welche sich auf die Menge der Kortikalis und auf die trabekuläre Knochenverteilung bezieht, die Knochendichte, bezogen auf das Ausmaß der Mineralisierung des Knochens, und die Knochenmenge, welche das verfügbare Volumen beschreibt (Ribeiro-Rotta *et al.*, 2011). Der Knochen an der Implantatposition muss hinsichtlich seiner Morphologie und Qualität noch vor der Implantatinsertion radiologisch bewertet werden, um Behandlungspläne aufzustellen und um die Erfolgsrate der Implantation zu erhöhen (Jeong *et al.*, 2013).

1.1.3.1 Einteilung nach Knochenqualität in vier verschiedene Typen

Das Knochengewebe kann anhand der Lekholm und Zarb Klassifikation in vier verschiedene Typen unterschieden werden. Die Klassifikation basiert auf dem Mengenverhältnis von kortikalem und spongiösem Knochen, welches radiologisch beurteilt werden kann (Jeong *et al.*, 2013).

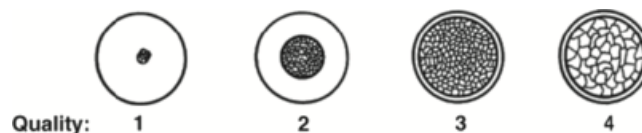


Abbildung 1: Klassifikation des Knochengewebes nach Lekholm und Zarb (Ribeiro-Rotta *et al.*, 2011)

Knochen Typ 1 zeichnet sich dadurch aus, dass der gesamte Knochen aus einer sehr dicken Kortikalis besteht. Bei Typ 2 liegt eine dicke kortikale Knochenschicht vor, welche einen dichten spongiösen Knochen umgibt. Der Knochen nach Typ 3 besteht aus einer dünneren Schicht von kortikalem Knochen und einer dichten Schicht von spongiösem Knochen. Knochen Typ 4 beschreibt einen kortikalen und spongiösen Knochen mit geringer Dichte (Jeong *et al.*, 2013; Al-Ekrish, Widmann and Alfadda, 2018; Alghamdi, 2018).

Bei Knochen mit geringer Qualität ist die Erfolgsrate und der Kontakt zwischen Implantat und Knochen geringer (Martinez *et al.*, 2001). Die Knochendichte ist im anterioren Bereich des Unterkiefers am höchsten, gefolgt von der posterioren Region der Mandibula, dem vorderen Bereich der Maxilla und der hinteren Oberkieferregion. Die höchste Primärstabilität ist bei Implantaten feststellbar, welche in dichten Knochenregionen inseriert werden (Farré-Pagès *et al.*, 2011). Knochen Typ 4 weist im Vergleich zu den anderen Knochentypen eine geringere Primärstabilität des Implantates auf (Dias *et al.*, 2015; Triches *et al.*, 2019). Nach erfolgter Osseointegration zeigen sich in allen vier Knochentypen ähnliche Werte der Implantatstabilität (Dias *et al.*, 2015). Daraus lässt sich schließen, dass der Knochentyp, aber auch die Implantatlänge und der Implantatdurchmesser nur geringen Einfluss auf die Sekundärstabilität bei osseointegrierten Implantaten nehmen (Gómez-Polo *et al.*, 2016).

1.1.4 Knochenatrophie nach einer Zahnextraktion

Die senile Osteoporose beschreibt die physiologische altersabhängige Atrophie, welche unter anderem auch im bezahnten Kiefer stattfindet. Viel häufiger liegt eine pathologische Atrophie nach dem Verlust eines Zahnes vor (Schwenzer and Ehrenfeld, 2019).

Nachdem ein Zahn extrahiert wurde, füllt sich die Extraktionsalveole mit Blut und es kommt zur Bildung eines Koagulums. Nachdem inflammatorische Zellen in dieses Gerinnsel eingedrungen sind, wird die Alveole durch das Phagozytieren des nekrotischen Gewebes gereinigt. Mesenchymale Zellen und neu gebildete Gefäße bilden das Granulationsgewebe. Nachdem dieses in temporäres Bindegewebe umgebaut worden ist, kommt es zur Einlagerung von Geflechtknochen. Dieser Übergang zum Knochengewebe erfolgt entlang der Gefäßstrukturen. Der Bündelknochen, welcher die Hartgewebswände der Alveole bildet, wird schrittweise resorbiert. In der Extraktionsalveole nimmt der Anteil des Geflechtknochens zu, bevor dieser in lamellären Knochen umgebaut wird. Der marginale Eingang wird

durch die Bildung einer Hartgewebsskappe verschlossen. Diese Kappe, welche anfangs aus Geflechtknochen besteht, wird ebenso durch lamellaren Knochen ersetzt. Dieser Vorgang wird Kortikalisierung genannt (Araújo and Lindhe, 2005; Lang and Lindhe, 2015).

Die Resorption der Knochenoberfläche und der Verlust des Bündelknochens führen in den ersten acht Wochen zu einer Reduzierung der bukkalen Knochenwanddicke sowie zu einer Verminderung der Knochenhöhe (Schropp *et al.*, 2003; Araújo and Lindhe, 2005; Araújo *et al.*, 2005). Araújo und Lindhe zufolge hängt der Unterschied zwischen den Veränderungen der bukkalen und lingualen Knochenwände von dem frühen Verschwinden des Bündelknochens ab, welcher bei Vorhandensein eines Zahnes in der bukkalen Region stärker ausgeprägt ist als im lingualen Bereich. Demnach reagiert der bukkale Knochen empfindlicher auf die Oberflächenresorption als die linguale Knochenwand (Araújo and Lindhe, 2005). Bei einer ursprünglichen bukkalen Breite von unter 1 mm kommt es zu einer stärkeren Knochenresorption als bei breiteren Knochenverhältnissen (Sanz *et al.*, 2010; Tomasi *et al.*, 2010).

Nach einer Zahnextraktion kommt es in den ersten sechs Monaten durch Veränderungen des Hart- und Weichgewebes rund um die Extraktionsalveole zu einer krestalen Resorption des Knochens (Schropp, 2004). Es ist deshalb von besonderer Bedeutung, die Veränderung des Knochenvolumens und des Weichgewebes im Frontbereich so gering wie möglich zu halten, da sonst Einbußen in der Ästhetik verzeichnet werden müssen (Bilhan *et al.*, 2011).

1.1.5 Resorptionsklassen

Cawood und Howell unterscheiden sechs verschiedene Resorptionsgrade, um einen atrophischen Unterkiefer zu klassifizieren. Grad 1 beschreibt den knöchernen Zustand vor einer Extraktion, Grad 2 den nach einer Extraktion. Wenn ein hoher abgerundeter Kamm vorliegt, teilen Cawood und Howell diese Gegebenheit in Grad 3 ein. Grad 4 bezeichnet einen messerscharfen Kamm, Grad 5 beschreibt einen niedrigen abgerundeten Kamm und ein abgesenkter Kamm wird als Grad 6 klassifiziert (Blahout *et al.*, 2007).

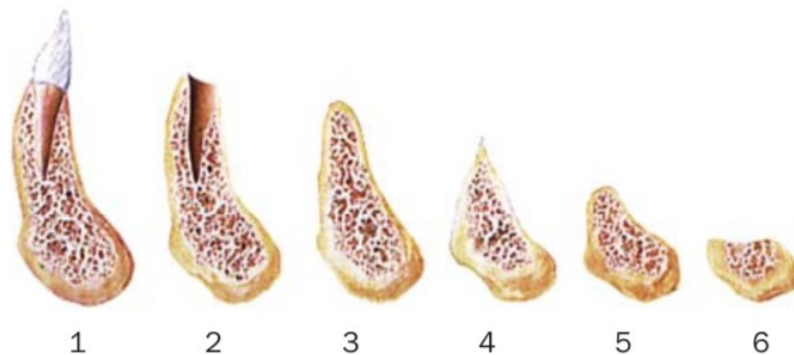


Abbildung 2: Klassifikation des atrophischen Unterkiefers nach Cawood und Howell (Blahout *et al.*, 2007)

1.1.6 Einheilung eines Implantates

Anfänglich kommt es nach der Implantatinserion und der Bildung eines Blutkoagulums zu einer Fremdkörperreaktion im Bereich der Implantatschraube. In der zweiten Woche bildet sich allmählich der Geflechtknochen. Zeitgleich finden die ersten Resorptionsvorgänge statt. Der Geflechtknochen verdichtet sich durch Auflagerung von Osteoblasten. Dies führt zur Implantatstabilisierung und zur Neubildung von Knochen. Darauf folgt eine Phase der Reifung und Anpassung des periimplantären Knochens, welche zwölf bis 18 Wochen andauert. Bei Vorliegen einer Überbelastung kommt es zu einer periimplantären Knochenresorption (Schwenzer and Ehrenfeld, 2019). Eine physiologische Beanspruchung des Implantates ist desiderabel, damit ein Knochenabbau verhindert werden kann und

um eine entsprechende Knochenverdichtung um das inserierte Implantat gewährleisten zu können (Strub *et al.*, 2010).

In der Implantologie unterscheidet man die Primärstabilität von der Sekundärstabilität. Die primäre Implantatstabilität ist von der Knochenqualität abhängig (Martinez *et al.*, 2001; Dias *et al.*, 2015). Sie entsteht durch die Verankerung des Implantates im Knochen. Während dem Bone Remodeling nimmt die Primärstabilität kurzzeitig ab. Durch die Knochenneubildung festigt sich das Implantat wieder. Es kommt zu einer biologischen Fixierung, welche als Sekundärstabilität bezeichnet wird (Gómez-Polo *et al.*, 2016). Die Überhitzung des Knochens während der Implantatinsertion oder die Abwesenheit der Primärstabilität verhindern die Osseointegration und können ebenso zu einer Weichgewebsverkapselung führen. Wenn ein Implantat fibroossär einheilt, kann dies als Abwehrmechanismus gegen einen chemischen oder mechanischen Reiz interpretiert werden (Esposito *et al.*, 1998b). Durch die bindegewebige Interaktion zwischen Knochen und Implantat kommt es zu einer erhöhten Infektionsanfälligkeit. Aus diesem Grund zählt die fibroossäre Einheilung als Implantatmisserfolg und folglich ist die Entfernung des Implantates indiziert (Schwenzer and Ehrenfeld, 2019).

1.1.7 Osseointegration

Der Begriff der Osseointegration wurde erstmals von Brånemark beschrieben (Brånemark, 1983). Die Osseointegration beschreibt die mechanische Verankerung eines Implantates im Kieferknochen (Alghamdi, 2018). Es stellt die Basis für eine erfolgreiche Implantation dar (Mendonça *et al.*, 2008). Um eine ausreichende Osseointegration zu erreichen, müssen ein quantitativ und qualitativ suffizientes Knochenlager vorliegen, das Implantatlager möglichst atraumatisch präpariert werden, ein geeignetes Implantatdesign sowie ein geeigneter Implantatdurchmesser verwendet werden (Martinez *et al.*, 2001), der Bohrer ständig gekühlt werden und eine geringe Rotationsgeschwindigkeit eingestellt sein (Schwenzer and Ehrenfeld, 2019).

Für den Implantaterfolg ist eine ausreichende Festigkeit des Implantates entscheidend. Hierfür muss das Implantat problemlos im umgebenden Knochen einheilen sowie eine ausreichende Knochenneubildung stattfinden (Meredith, 1998). Um diese Festigkeit zu erreichen, wird bei Einzelimplantaten ein Drehmoment von circa 35 Ncm empfohlen. Bei sehr hohen Drehmomenten kann es zu Verformungen des Implantates kommen (Cannizzaro *et al.*, 2012; Mitsias *et al.*, 2018).

Durch die Implantation wird das Weich- und Hartgewebe im implantierten Bereich verletzt, wodurch die Wundheilung beginnt. Bevor es im kortikalen Knochensegment zu einer Knochenneubildung kommt, müssen zunächst die abgestorbenen Knochenteile resorbiert werden. In der Spongiosa führt der chirurgische Ablauf einer Implantation zu einer lokalen Blutung und dadurch zur Bildung eines Blutkoagulums. Das Koagulum wird durch Granulationsgewebe, Blutgefäße, Leukozyten und Mesenchymzellen modifiziert, dadurch wird schlussendlich das Osteoid gebildet, wodurch unreifer Geflechtknochen gebildet wird. Durch diesen Heilungsprozess wird das Implantat osseointegriert (Lang and Lindhe, 2015).

Die Primärstabilität eines Implantates ist unter anderem abhängig von der Knochenmorphologie. Bei einer geringen Knochenqualität ist eine limitierte Primärstabilität des Implantates feststellbar. Nur mit ausreichender Primärstabilität wird das Implantat osseointegriert (Martinez *et al.*, 2001; Filho *et al.*, 2014). Das Ausmaß der Primärstabilität wird durch den Kontakt zwischen Knochen und Implantat sowie durch die Druckspannungen in der periimplantären Region beeinflusst. Wenn bei der Aufbereitung des Implantatbettes ein kleinerer Durchmesser als der des Implantates verwendet wird, kommt es bei der Implantatinsertion zu einer Kompression und folglich zu Mikrofrakturen des Knochens. Wenn die Kompression zu stark ausgeprägt ist, können die dabei entstehenden Spannungen eine Nekrose oder eine lokale Ischämie des periimplantären Knochens auslösen, da die Blutgefäße, vor allem in der Kortikalis,

kollabieren, der Knochen unterernährt und das betroffene Gewebe dadurch devital wird (Lang and Lindhe, 2015).

Die Implantatstabilität lässt sich mit verschiedenen Verfahren wie dem Periotest (Nedir *et al.*, 2004) oder der Resonanzfrequenzanalyse (RFA) messen. Die RFA ist eine nicht invasive, diagnostische Methode und in der Lage, die Primär- und Sekundärstabilität eines Implantates zu messen, indem durch eine ausgesandte Vibration die Resonanzfrequenz zwischen dem Implantat und dem Knochen gemessen wird. Je höher der am Ostell-Gerät angezeigte Implantatstabilitätsquotient (ISQ) ist, desto höher ist die Implantatstabilität. Dieser Wert divergiert normalerweise zwischen 40 und 80 und ist für unterschiedliche Implantatsysteme systemtypisch (Bischof *et al.*, 2004; Nedir *et al.*, 2004; von Wilmowsky *et al.*, 2014).

Das Eindrehmoment (IT) misst die Primärstabilität während der Operation. Das Eindrehmoment ist eine Momentaufnahme während der Implantatinsertion und kann daher nur bedingt zur Einschätzung der Sekundärstabilität verwendet werden (Gómez-Polo *et al.*, 2016).

Eine periimplantäre Radioluzenz und Implantatbeweglichkeit sind klinische Faktoren, welche den Verlust der Osseointegration widerspiegeln (Esposito *et al.*, 1998a).

1.1.8 Remodeling

In den ersten drei bis sechs Wochen nach einer Implantatinsertion nimmt die Anfangsstabilität aufgrund des Knochenumbaus und der Verhältnisänderung des Geflechtknochens zu lamellärem Knochen ab. (Al-Sawai and Labib, 2016).

Aufgrund des Heilungsprozesses befinden sich nach der Implantatinsertion mesenchymale Zellen an der Grenzfläche des neu eingesetzten Implantates. Diese Zellen müssen den sich ständig verändernden Belastungen standhalten. Dadurch modifizieren sich die biomechanischen Gewebszustände kontinuierlich. Wenn eine Kraft auf einen Knochen einwirkt, reagiert dieser darauf mit auf- oder abbauenden

Maßnahmen, um die Spannungen zu minimieren. Dabei kann man zwischen dem internen Remodeling, bei dem es zu einer Veränderung des Mineralstoffgehalts kommt, und dem externen Remodeling mit Oberflächenveränderungen unterscheiden (Schwenzer and Ehrenfeld, 2019).

Aufgrund des lamellären Remodelings regeneriert sich der kortikale periimplantäre Knochen nach der Implantatinsertion vergleichsweise langsam. Die Bildung eines trabekulären periimplantären Knochens hängt jedoch nicht nur von der Remodelierung bestehender lamellärer Trabekelstrukturen ab, sondern auch von der Neubildung der Trabekel durch die Gewinnung neuer osteogenetischer Zellen (Davies, 2003).

Lazzara und Porter sind der Meinung, dass die anfänglichen Knochenveränderungen nicht von der Belastung eines Implantates abhängig sind, sondern erst bei der Eröffnung des Implantates und seiner Exposition mit der oralen Umgebung beginnen und dadurch eine Veränderung des krestalen Knochens an der koronalen Seite des gesetzten Implantates auftritt. Diese krestale Knochenreduzierung erfolgt 1,5 bis 2,0 mm apikal, circa bis zum ersten Gewindegang des Implantates, ausgehend von der Implantat-Abutment-Verbindung (Lazzara and Porter, 2006). Je apikaler ein Implantat inseriert wird, je tiefer also die Verbindungsstelle des Implantates mit dem Abutment positioniert ist, desto höher ist der Verlust der vertikalen krestalen Knochenhöhe (Hermann, Schoolfield, Nummikoski *et al.*, 2001; Piattelli *et al.*, 2003). Weitere Gründe für den krestalen Knochenabbau sind auf die Belastung und die Kräfteverteilung auf ein Implantat, die lokalen Weichgewebsentzündungen, die Weichgewebsmindestdicke von 3 mm und die Implantatoberfläche zurückzuführen (Lazzara and Porter, 2006). Das krestale Knocheniveau steht im Zusammenhang mit der Verbindung des Implantates und des Abutments und dessen Lage zum Kieferkamm. Bei zweiteiligen Implantaten kommt es aufgrund des Mikrospaltes zu einem stärkeren Knochenverlust als bei einteiligen Implantaten. Dies kann zu einem negativen ästhetischen Ergebnis führen, da der Gingivarand dadurch in einer weiter apikalen Position zu liegen kommt (Hermann, Schoolfield, Nummikoski *et al.*, 2001).

1.2 Weichgewebe

Im Gegensatz zum natürlichen Zahn strahlen die Bindegewebsfasern parallel zur Oberfläche des Implantates ein. Durch die Abwesenheit der Zementoberfläche am Implantat verankern sich diese Fasern durch Klebung von Desmosomen auf der Implantatoberfläche. Dies ergibt eine qualitativ minderwertigere Isolierung als beim natürlichen Zahn, woraus sich eine geringere Resistenz gegenüber bakteriellen und mechanischen Reizen ergibt (Schwenzer and Ehrenfeld, 2019). Die Bakterien können sich direkt um den periimplantären Knochen ausbreiten. Als Resultat ist ein Knochenverlust feststellbar (Singla *et al.*, 2015). Die Verteilung der Kaukräfte hängt beim natürlichen Zahn von dessen Mikrobewegungen ab, welche durch das parodontale Ligament induziert werden. Im Gegensatz zu natürlichen Zähnen weisen osseointegrierte Implantate keine mit der Kraftverteilung gekoppelten Mikrobewegungen auf. Durch die Abwesenheit dieser Bewegungen am Implantat wirkt ein Großteil der Kaukraft auf den Kieferkamm (Steigenga *et al.*, 2003).

1.3 Material

Dentale Implantate kommen intraoral mit verschiedenen Umgebungen in Kontakt. Sie müssen sowohl korrosionschemischen als auch mechanischen Erfordernissen gerecht werden, also biokompatibel sein (Strub *et al.*, 2010; Schwenzer and Ehrenfeld, 2019). Für die Biokompatibilität wird vorausgesetzt, dass das verwendete Material nicht aufgrund von Korrosion freigesetzt wird oder vom Organismus abgebaut wird (Strub *et al.*, 2010).

1.3.1 Titan

Mittel der Wahl in Bezug auf das Material der Implantate ist Titan. Dieser Werkstoff qualifiziert sich durch seine stabile Oxidschicht sowie die hohe Schmelzbarkeit. Durch die daraus resultierende hohe Biokompatibilität löst dieses Material sehr selten allergische oder abstoßende Reaktionen aus (Schwenzer and Ehrenfeld,

2019). Zudem weist Titan eine hohe Bruchfestigkeit, Korrosionsstabilität und Steifigkeit auf (Hanawa, 2020).

1.3.2 Zirkoniumdioxid

Ein anderes Material stellt Zirkoniumdioxid dar. Dieses Material ähnelt der Farbe der Zähne und ist sehr resistent gegenüber hohen Temperaturen sowie Abnutzung (Hanawa, 2020). Jedoch kann sich dieses Material durch die Anwesenheit von Feuchtigkeit von der tetragonalen in die weniger stabile monokline Phase umwandeln. Dies führt zu einer schnelleren Alterung des Materials und dadurch zu einer erhöhten Frakturgefahr des Implantates (Andreiotelli and Kohal, 2009; Kawai *et al.*, 2011). Die prothetische Anwendung mit Implantaten aus Zirkoniumdioxid erweist sich als komplex und sollte vereinfacht werden, damit die Häufigkeit der Verwendung dieses Materials steigt. Ebenso werden erst Langzeitergebnisse eine endgültige Schlussfolgerung über die Materialtauglichkeit erlauben (Payer *et al.*, 2015).

1.4 Oberfläche und Anatomie eines Implantates

Die Oberflächenbeschaffenheit und das Design eines Implantates sind zwei unabhängige Faktoren, welche sich in der Erfolgsquote widerspiegeln (Steigenga *et al.*, 2003). Die Oberflächenstruktur wird durch die Eigenschaften des Werkstoffes bedingt. Diese kann aber durch die Gestaltung der Oberfläche sowie durch verschiedene mechanische oder chemische Bearbeitungstechniken verändert werden (Strub *et al.*, 2010). Unter dem Implantatdesign versteht man die dreidimensionale Struktur eines Implantates. Dazu zählt die Form eines Implantates sowie das Vorhandensein von Gewinden oder zusätzlichen Makroirregularitäten (Steigenga *et al.*, 2003).

Die Qualität und Quantität eines Knochens sind für die Wahl der Beschichtung und des Designs eines Implantates entscheidend (Farré-Pagès *et al.*, 2011)

1.4.1 Beschichtung

Durch die Modifizierung der Oberflächentextur eines Implantates können Effekte wie der Kontakt des Knochens mit dem Implantat (BIC), die Gewebsreaktion oder die Biokompatibilität beeinflusst werden (Jemat *et al.*, 2015). Ziel der Oberflächenbehandlung ist die Bildung einer dicken Titanoxidschicht sowie die Schaffung einer Oberflächentopografie, welche die Adhäsion, Differenzierung und Aktivität von Osteoblasten erleichtert (Pellegrini *et al.*, 2018). Dadurch wird der Mechanismus der Osseointegration begünstigt und eine positive Auswirkung auf die periimplantäre Knochenneubildung ist die Folge (Steigenga *et al.*, 2003; Meng, Chien and Chien, 2016).

Um die Mikrorauigkeit und Nanorauigkeit einer Implantatoberfläche zu modifizieren, finden maschinell subtraktive und additive Verfahren Anwendung. Sandstrahlung, Säureätzung, Elektropolierung, mechanisches Polieren und die Lasermikrotexturierung gehören zur Gruppe der subtraktiven Verfahren. Durch Titanplasmaspraybeschichtung, Hydroxylapatit- und Kalziumphosphatbeschichtung, Ionendeposition, Oxidation oder Sintern von Titanpulver wird das Implantat additiv bearbeitet (Pellegrini *et al.*, 2018).

Implantate mit einer rauen Oberfläche vergrößern die Kontaktfläche zwischen dem Implantat und dem umgebenden Knochen. Dies ist ein wichtiger Faktor für die Verankerung der Zellen sowie die Verbindung des Implantates mit dem Knochen, da dadurch die periimplantäre Osteogenese gefördert wird (Schneider *et al.*, 2003). Um eine gute Oberfläche für die Osseointegration zu schaffen, bevorzugt man heutzutage beschichtete oder säuregeätzte Implantate. Hierbei sollte die Oberflächenrauigkeit zwischen 0,44 und 8,68 μm liegen (Jemat *et al.*, 2015). Bei Vorliegen einer geringen Knochendichte zeigen Implantate mit rauer Oberfläche einen besseren Kontakt zwischen Implantat und Knochen, als diejenigen mit maschinierter Oberfläche (Schwenzer and Ehrenfeld, 2019).

1.4.2 Implantatanatomie

Implantate bestehen meist aus einem zylindrischen oder konischen Gewinde (Alghamdi, 2018). Laut Martinez et al. weisen konische Implantate eine höhere Primärstabilität als zylindrische Formen auf (Martinez *et al.*, 2001). Glatte zylindrische Implantate führen zu Scherkräften am Übergang zwischen dem Implantat und dem Knochen. Um dies zu verhindern, werden Gewinde in das Implantat integriert und so der Widerstand gegen diese Scherkräfte erhöht. Je mehr Gewindegänge vorhanden sind und je tiefer die Gewindegänge gestaltet sind, desto größer ist die Fläche des Implantates. Diese Gestaltung hat Einfluss auf die primäre Stabilität sowie den biomechanischen Halt des Implantates nach der Einheilungsphase (Steigenga *et al.*, 2003).

1.5 Platform Switching

Bei dieser modifizierten Plattform ist der Durchmesser des Abutments kleiner als der des Implantatkörpers. Dadurch wird die Implantat-Abutment-Verbindung und somit der Mikropalt nach innen positioniert und weiter vom Knochen und der Implantatschulter entfernt. Durch diese Methode kann der vertikale Verlust der krestalen Knochenhöhe bei zweiteiligen Implantaten minimiert oder sogar vollkommen verhindert werden (Lazzara and Porter, 2006; Cappiello *et al.*, 2008; Cumbo *et al.*, 2013; Singla *et al.*, 2015), da bei subkrestal inserierten Implantaten durch den nach innen verlagerten Mikropalt ein geringeres Risiko für eine bakterielle Undichtigkeit oder für Mikrobewegungen direkt im Bereich der Implantat-Knochen-Verbindung zu verzeichnen ist (Pan *et al.*, 2019). Durch den Erhalt des krestalen Knochens kommt es zu ästhetisch verbesserten Ergebnissen, welche vor allem im Frontzahnbereich von Vorteil sind (Cumbo *et al.*, 2013; Singla *et al.*, 2015).

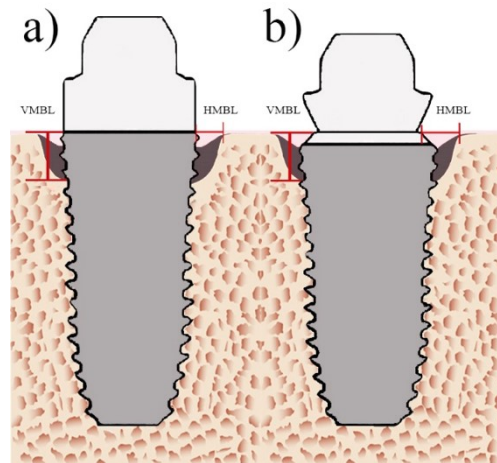


Abbildung 3: Varianten der Abutmentanatomie: a) platform matched Implantataufbau; b) platform switched Implantataufbau (Pan *et al.*, 2019)

Wenn man zu einem späteren Zeitpunkt dieses modifizierte Prinzip anwendet, wird der krestale Knochen, nachdem er remodelliert wurde, nicht mehr auf sein präoperatives Niveau umgebaut. Der Grund dafür ist der Beginn der Formierung der biologischen Breite, sobald das Implantat der oralen Umgebung ausgesetzt wird. Daher sollte die erste auf das Implantat positionierte Komponente einen im Vergleich zum Implantat kleineren Durchmesser aufweisen, damit eine horizontal ausgerichtete biologische Breite erreicht werden kann (Lazzara and Porter, 2006). Wenn der Knochen mit der Mundhöhle in Verbindung kommt, wird die biologische Breite durch die Bedeckung des Knochens mit Periost und Bindegewebe gebildet. Dieses Bindegewebe wird zusätzlich mit einer Epithelschicht überdeckt (Cappiello *et al.*, 2008).

Durch das Prinzip des Platform Switchings wird die okklusale Belastung von der Kontaktfläche des Implantates mit dem krestalen Knochen zum Zentrum des Implantates verlagert. Dadurch wird das Stresslevel im zervikalen Bereich des Knochens reduziert. Dieser Stress kann sich aber im Abutment oder in der Abutmentschraube auswirken. Dadurch kann es zu Verformungen oder Brüchen der Abutmentschraube kommen (Maeda *et al.*, 2007).

1.6 Implantationszeitpunkt

Man unterscheidet die Sofortimplantation, die frühe Implantation mit Weichgewebsheilung, die frühe Implantation mit Knochenheilung und die Spätimplantation. Abhängig für die Wahl des Zeitpunktes ist das Risikoprofil der Patient*innen sowie die präoperativen klinischen und radiologischen anatomischen Informationen (Buser *et al.*, 2017) wie zum Beispiel die Position des Zahnes, die Knochen- und Weichgewebsanatomie sowie die knöchernen Veränderungen der Extraktionsalveole (Lang and Lindhe, 2015).

Grundsätzlich strebt man zur Verminderung der Resorption des Alveolarknochens eine möglichst baldige Implantation nach der Zahnextraktion an. Darauf wies auch das International Team for Implantology (ITI) in der ITI- Konsenskonferenz 2013 hin. Diese empfehlen, dass eine Implantation im frühen Zeitslot nach einer Extraktion stattfinden sollte, also entweder als Sofort- oder frühzeitige Implantation (Buser *et al.*, 2017).

Anhand der Studienergebnisse von Schropp *et al.* konnte gezeigt werden, dass innerhalb von drei Monaten nach einer Zahnextraktion fast ein gesamter Höhenverlust und ein Rückgang von circa zwei Drittel der Knochenbreite zu verzeichnen ist. Sie empfehlen daher, dass ein Implantat nach der Extraktion eines Zahnes so schnell wie möglich inseriert werden sollte, damit möglichst viel Knochen erhalten werden kann (Schropp, 2004).

1.6.1 Sofortimplantation

Hier wird das Implantat unmittelbar nach der Extraktion eines Zahnes in demselben chirurgischen Setting inseriert. Diese Art der Implantation ist nur bei optimalen klinischen Bedingungen indiziert. Hierzu zählen eine entzündungsfreie Alveole, intakte Knochenwand und Patient*innen, die über einen dicken Gingivatyp verfügen. Dadurch kann die Wahrscheinlichkeit einer ästhetisch unzufriedenstellenden Rezession der Schleimhaut minimiert werden. Überdies sollten putride Infektionsgeschehen ausgeschlossen werden und ein umfangreiches Knochenlager vorhanden sein, um eine ausreichende Primärstabilität des Implantates zu erreichen (Buser *et al.*, 2017).

Die Vorteile der Sofortimplantation sind mannigfaltig. Einerseits kann dadurch ein Großteil des Knochenabbaus vermieden werden, andererseits sind weniger chirurgische Eingriffe notwendig, wodurch die Behandlungsdauer verkürzt wird.

Es ist jedoch zu beachten, dass häufig ein Restknochendefekt zwischen der Implantatschulter und den restlichen Knochenwänden bestehen bleibt (Covani, Cornelini und Barone, 2003) und eine Sofortimplantation zu einer Rezession der Schleimhaut führen kann. Deswegen wird empfohlen dieses Verfahren in erster Linie bei Prämolaren mit geringer ästhetischer Bedeutung und günstiger Anatomie anzuwenden (Hämmerle, Araújo und Simion, 2012).

Fragwürdig ist, ob der Einsatz von regenerativen Verfahren wie zum Beispiel Membranen und Knochenersatzmaterialien vorteilhaft für eine Sofortimplantation sind, da diese die Migration der Zellen aus dem Binde- und Epithelgewebe in den Spalt zwischen dem Implantat und den es umgebenden Knochenwänden verhindert, wodurch osteogene Zellen den Knochen besser regenerieren können. Demgegenüber weist die Exposition von Membranen in der Mundhöhle ein Risiko für eine bakterielle Besiedelung auf, welche ein positives Ergebnis beeinflussen könnte (Covani, Cornelini und Barone, 2003).

Paolantonio *et al.* beschreiben in ihrer Studie, dass sich das klinische Ergebnis und das Ausmaß der Osseointegration eines Implantates nach Sofortimplantation ohne

Verwendung von regenerativen Materialien nicht von Implantaten unterscheiden, die in verheilten, reifen Knochen inseriert werden (Paolantonio *et al.*, 2001).

Die Intaktheit der Knochenwände, die Primärstabilität des Implantates und der primäre Lappenverschluss sind Faktoren, die bei einer Sofortimplantation ausreichen, um eine spontane Knochenheilung zu bewirken. Hierbei darf kein größerer zirkumferentieller periimplantärer Knochendefekt von mehr als 2 mm bestehen. Darüber hinaus wurde beobachtet, dass durch den koronalen Knochenumbau eine Verengung der Kieferkambbreite von durchschnittlich 3,7 mm nach sechs Monaten festzustellen war (Covani, Cornelini und Barone, 2003). Die Behandlung von großen periimplantären Defekten, Knochenfenestrationen und Knochendehiszenzen erfordert jedoch größtenteils die Verwendung einer Barriermembran mit oder ohne Knochentransplantatmaterial (Covani *et al.*, 2004).

Bilhan *et al.* verzeichneten in ihrer Studie eine Überlebensrate der Implantate nach einer Sofortimplantation von 93,94% bei einem Beobachtungszeitraum von 36 Monaten. Die meisten Misserfolge traten in der frühen Phase des Heilungsverlaufs auf. Zudem wurde in dieser Studie beobachtet, dass ein Großteil der Veränderung des Knochenniveaus im ersten Jahr nach der Implantation auftritt. Der marginale Knochenverlust war in der Prämolarenregion des Oberkiefers am höchsten (Bilhan *et al.*, 2011).

In der Studie von Villa und Rangert wird eine Überlebensrate von 100% beschrieben, obwohl alle extrahierten Zähne endodontisch und parodontal geschädigt waren (Villa and Rangert, 2005).

Araújo *et al.* konnten in ihrer Studie zeigen, dass im Bereich des bukkalen Knochens im Gegensatz zum lingualen Anteil, nach einer Einheilungsphase von drei Monaten status post extractionem mit Sofortimplantation eine vertikale Resorption von 2,6 mm zu beobachten war. Dies war der Beweis, dass die sofortige Implantatinsertion in die frische Extraktionsalveole den Prozess des Bone Remodelings, der in den bukkalen und lingualen Knochenwänden der Alveole erfolgt, nicht beeinflusst. (Araújo *et al.*, 2005).

1.6.2 Frühe Implantatinsertion mit Weichgewebsheilung

Diese Behandlungsmodalität findet nach 4-8 Wochen post extractionem statt. Nach diesem Zeitraum der Einheilung nimmt im Bereich der Zahnextraktion die Dicke der keratinisierten Schleimhaut um 3-5 mm zu. Des Weiteren minimiert sich rund um das Implantationsbett das bakterielle Risiko, da nach 1-2 Monaten ein vom extrahierten Zahn ausgehendes Infektionsgeschehen abgeklungen ist. Zusätzlich findet eine Resorption des Bündelknochens in der Extraktionsalveole während der initialen Heilungsphase statt. Im apikalen Bereich kommt es zu einer geringen Knochenneubildung. Dies führt einerseits zu einer vereinfachten chirurgischen Ausgangslage für die Insertion eines Implantates, andererseits ist mit weniger postoperativen Komplikationen, verglichen mit der Sofortimplantation, zu rechnen. Die Verdickung der Gingiva ermöglicht durch die Bildung eines Schleimhautlappens eine vorteilbringende Weichgewebsheilung (Lang and Lindhe, 2015; Buser *et al.*, 2017).

Wenn ein Zahn aufgrund einer Infektion extrahiert wird, empfehlen Esposito *et al.* abzuwarten, bis das pathologische Geschehen nicht mehr existent ist (Esposito *et al.*, 1998b). Die retrospektive Studie von Belser *et al.* zeigte, dass gemäß dem Konzept der frühen Implantatinsertion eine Einzelzahnimplantation im frontalen Oberkiefer aus ästhetischer Sicht eine vielversprechende Behandlungsmodalität ist (Belser *et al.*, 2009), da gingivale Rezessionen vermieden werden können und dieses Procedere gute ästhetische und regenerative Ergebnisse bietet (Buser *et al.*, 2017).

1.6.3 Frühe Implantatinsertion mit teilweiser Knochenheilung

Diese Variante, welche 12-16 Wochen nach der Entfernung eines Zahnes Anwendung findet, wird bei mehrwurzeligen Zähnen mit einer ausgedehnten periapikalen Knochenläsion eingesetzt. Diese im Vergleich zur frühen Implantatinsertion mit Weichgewebsheilung längeren Phase der Einheilung ermöglicht auch bei massiven knöchernen Läsionen eine Knochenneubildung und dadurch eine gute Ausgangslage für die Präparation des Implantatbettes (Buser *et al.*, 2017). Dadurch kommt es zu einer Erleichterung der prothetischen

Behandlungsphase, jedoch ist mit einer zusätzlichen Knochenresorption, Verminderung des Weichgewebsvolumens und mit einer längeren Behandlungsdauer zu rechnen (Lang and Lindhe, 2015).

1.6.4 Spätimplantation

Bei der Spätimplantation wird das Implantat nach über sechs Monaten in den ausgeheilten Knochen inseriert. Nach diesem Zeitraum ist nur mit einer geringen weiteren Veränderung des Kieferkammes zu rechnen. Wenn zum Zeitpunkt der Behandlungsplanung der zu ersetzende Zahn noch vorhanden ist, wird von dieser Variante meistens abgeraten, da durch die Verringerung des Knochenangebotes im Zeitraum von über sechs Monaten nach der Extraktion eines Zahnes dieses Verfahren eine eher unattraktive Behandlungsmöglichkeit darstellt (Lang and Lindhe, 2015). Buser et al. raten daher nur dann zu einer verspäteten Implantation, wenn standort- oder patientenspezifische Gründe vorliegen. Diese beinhalten zum einen sehr große apikale knöcherne Läsionen, wie zum Beispiel Zysten, oder ein insuffizientes Knochenlager, welches bei einer früheren Insertion des Implantates zu einer zu geringen Primärstabilität führen könnte. Zum anderen gehören zu den patientenspezifischen Gründen jene Patient*innen, deren Alter unter der Implantationsindikation liegt, schwangere Frauen oder Patient*innen, welche aus verschiedenen Gründen erst nach einem halben Jahr oder mehr implantiert werden können (Buser *et al.*, 2017).

In ästhetisch wichtigen Bereichen wie dem Frontzahnbereich tendiert man zu einer Sofortimplantation, im Seitenzahnbereich eher zu einer weniger risikoreichen Frühimplantation (Strub *et al.*, 2010), da die Ästhetik im Frontbereich durch eine Instabilität der dortigen Hart- und Weichgewebe nach einer Zahnextraktion gefährdet sein kann (Buser *et al.*, 2017).

1.7 Belastungszeitpunkt

Man unterscheidet zwischen Sofort-, Früh- und einer konventionellen Spätbelastung. Wenn ein Implantat weniger als eine Woche nach der Insertion belastet wird, spricht man von einer Sofortbelastung. Bei einem Belastungszeitraum zwischen einer Woche und zwei Monaten liegt eine Frühbelastung vor (Zhu *et al.*, 2015).

Durch die vorteilhafte Verkürzung der Behandlungsdauer und die ästhetische Komponente findet die Sofortbelastung heutzutage immer häufiger Anwendung (Chen *et al.*, 2019). Turkyilmaz und Kollegen kamen in ihrer Untersuchung zu dem Ergebnis, dass sich eine frühe Belastung nicht negativ auf die Implantatstabilität oder auf das marginale Knochenniveau auswirkt (Turkyilmaz *et al.*, 2006). Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Vogl *et al.*, welche nach 36 Monaten post implantationem keine klinisch relevanten Unterschiede hinsichtlich des marginalen Knochendefekts bei okklusal belasteten oder nicht belasteten sofortversorgten Implantaten beobachteten (Vogl *et al.*, 2019).

Chen *et al.*, welche über 30 Studien zu diesem Thema verglichen, kamen zu dem Ergebnis, dass spätbelastete Implantate die höchste Überlebensrate aufweisen und Implantate, welche sofort und früh belastet werden, eine geringere Überlebensrate aufzeigen. Hinsichtlich der Implantatstabilität, der Sondierungstiefe und der Veränderung des marginalen Knochenniveaus wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Belastungsmethoden festgestellt (Chen *et al.*, 2019).

1.8 Erfolgskriterien und Versagen

Die Evaluierung einer Implantattherapie wird oft mit Überlebens- und Erfolgsraten des Implantates angegeben (Berglundh, Persson and Klinge, 2002). Wenn das Implantat mit oder ohne Modifikationen in situ ist, spricht man von Implantatüberleben. Der Begriff Implantaterfolg ist zur Beschreibung idealer klinischer Verhältnisse gebräuchlich, wenn also das Implantat komplikationsfrei in situ über einen gewissen Beobachtungszeitraum verweilt (Pjetursson *et al.*, 2004). Ein früher Implantaterfolg wird für eine Zeitspanne von ein bis drei Jahren, der mittlere Implantaterfolg für einen Zeitraum von drei bis sieben Jahren und ein langzeitiger Erfolg für mehr als sieben Jahren angegeben (Misch *et al.*, 2008). Für eine aussagekräftige Auswertung ist eine Nachbeobachtungszeit von mindestens fünf Jahren wünschenswert (Pjetursson *et al.*, 2004).

Wichtige Faktoren für den Erfolg einer Implantation ist die Implantatposition, die Patientenselektion (Steigenga *et al.*, 2003), die Weiterentwicklung des Implantatdesigns und eine angepasste Operationstechnik. Jang *et al.* sind der Auffassung, dass, auch wenn ein qualitativ minderwertiger Knochen vorliegt, durch die Wahl des richtigen Durchmessers, der Länge, der Oberfläche und der Form des Implantates sowie durch verbesserte operative Methoden die primäre Stabilität verbessert werden kann (Jang *et al.*, 2011).

1.8.1 Überlebensraten

Die Forschungsgruppe rund um Jang verzeichnete in ihrer Untersuchung eine Überlebensrate von insgesamt 96,33%. Zudem konnte festgestellt werden, dass im Unterkiefer (95,15%) um 1,11% mehr Implantate überlebten als im Oberkiefer (94,04%). Sie sind der Meinung, dass die dünnere Kortikalis und die geringere Dichte der Spongiosa im Oberkiefer Grund für dieses Ergebnis sind. Die Überlebensrate war bei über 79-Jährigen (66,67%), bei Frauen (93,61%), bei Implantaten kürzer als 10 mm (95,11%) und bei einem Knochen Typ 3 (94,45%) gering (Jang *et al.*, 2011).

Nach fünf Jahren ist die Überlebensrate von implantatgestützten Einzelzahnkronen (96,8%) größer als von implantatgetragenen fixierten Teilprothesen (95,4%). Ebenso konnte von Jung et al. gezeigt werden, dass Metallkeramikronen mit einem Prozentsatz von 95,4%, im Gegensatz zu Vollkeramikronen mit 91,2%, tendenziell länger überleben (Jung, Pjetursson *et al.*, 2008).

1.8.2 Komplikationen

In der Implantattherapie können biologische von technischen Komplikationen unterschieden werden. Erstere sind durch biologische Vorgänge bedingte Funktionsstörungen des Implantates, diese beeinflussen die implantattragenden Gewebe. Ein Implantatverlust wird zu den biologischen Komplikationen gezählt. Mechanische Schädigungen einschließlich Brüche von Implantaten, Verbindungsschrauben und Prothesen werden zu den technischen Komplikationen gezählt (Berglundh, Persson and Klinge, 2002). Zu den häufigsten technischen Komplikationen zählen die Lockerung des Abutments oder der Schraube beziehungsweise eine gelockerte zementierte Suprakonstruktion (Jung, Pjetursson *et al.*, 2008). Des Weiteren kann ein Implantat inkorrekt positioniert werden, sodass anatomische Strukturen verletzt werden. Persistierende psychologische, ästhetische oder phonetische Probleme lassen auf eine unzureichende oder ungenügende Adaptation der Patient*innen schließen (Esposito *et al.*, 1998a).

Der Verlust eines Implantates ist von vielen verschiedenen Faktoren wie zum Beispiel von patientenbezogenen, örtlichen, chirurgischen, implantatfixationsbezogenen oder implantat-prothesenbezogenen Faktoren abhängig (Jang *et al.*, 2011). Schmerzen, vertikale Mobilität oder verstärkt fortschreitender Knochenverlust rechtfertigen eine Implantatentfernung (Misch *et al.*, 2008).

Die Studie von Pjetursson et al. kam zu dem Ergebnis, dass bei 38,7% aller implantatgetragenen fixierten Teilprothesen innerhalb eines Beobachtungszeitraums von fünf Jahren Komplikationen verschiedener Art

auftreten. Dieses Ergebnis zeigt die Wichtigkeit der Einbeziehung prothetischer Ergebnisse für den Implantatenerfolg (Pjetursson *et al.*, 2007).

1.8.3 Beurteilung des Erfolges

Um den Erfolg von Implantaten zu bewerten, können entweder allgemeingültige Erfolgskriterien wie zum Beispiel jene nach Albrektsson *et al.* (1986) oder nach Buser, Weber und Lang (1990) verwendet werden, oder es werden eigene Parameter zur Beurteilung eines Implantatenerfolges definiert.

Die Erfolgskriterien nach Misch *et al.* (Misch *et al.*, 2008)

Auf der ICOI-Konsenskonferenz von Pisa wurden drei Hauptkategorien bestimmt: Erfolg, Überleben und Misserfolg. Die Erfolgskategorie beinhaltet optimale Bedingungen, die Kategorie des Überlebens beschreibt nicht ideal situierte Implantate und einen Misserfolg repräsentiert ein Implantat, welches nicht mehr erhaltungswürdig ist oder bereits entfernt wurde. Für die Beschreibung dieser Kategorien definierte die Konferenz vier Implantatgruppen:

1. Erfolg (optimale Gesundheit)
 - Abwesenheit von Schmerzen und Funktionsempfindlichkeiten
 - keine Mobilität
 - röntgenologischer Knochenverlust < 2 mm nach erster Operation
 - kein Pusaustritt
2. Zufriedenstellender Erfolg
 - keine Funktionsschmerzen
 - keine Mobilität
 - röntgenologischer Knochenverlust 2-4 mm
 - kein Pusaustritt
3. Beeinträchtigter Erfolg
 - bei Funktionsaufnahme potentiell auftretende Sensitivität
 - keine Mobilität
 - röntgenologischer Knochenverlust > 4 mm

- über 7 mm Sondierungstiefe
- eventuell Pusaustritt

4. Misserfolg (klinische oder absolute Fehler)

- Funktionsschmerzen
- Mobilität
- röntgenologischer Knochenverlust über die Hälfte der Implantatlänge
- Pusaustritt unkontrollierbar
- Implantat nicht mehr in situ

Buch, Weibrich und Wagner (2003) verglichen in ihrer Studie verschiedene Erfolgskriterien an ihrem eigenen Patientenkollektiv. Die Kriterien lauteten unter anderem wie folgt:

Erfolgskriterien nach Albrektsson *et al.* (1986)

- Das Implantat sollte in situ lokalisiert sein.
- Das nicht verblockte Implantat sollte klinisch fest im Knochen situiert sein.
- Nach fünfjähriger Belastung sollte die Überlebensrate mindestens 85%, nach zehnjähriger Belastung mindestens 80% betragen.
- Röntgenologisch sollte ein periimplantäres Geschehen ausgeschlossen werden können (keine Entzündungszeichen).
- Ein Jahr nach Insertion sollte der vertikale Knochenabbau unter 0,2 mm/Jahr liegen.
- Nichtvorhandensein von reversiblen oder irreversiblen Symptomen wie Schmerz, Infektion, Neuropathie, Parästhesie oder Verletzung des Mandibularkanals

Misch *et al.* kritisieren an Albrektssons Erfolgskriterien, dass diese die Menge an krestalem Knochen, der während des ersten Jahres verloren geht, nicht berücksichtigen. Darüber hinaus beziehen sich diese Kriterien nicht auf einzelne

Implantate, welche nach einem kurzen Zeitraum des Knochenverlustes wieder stabil im Mund vorzufinden sind (Misch *et al.*, 2008).

Die Erfolgskriterien nach Buser, Weber und Lang (1990)

- Das Implantat sollte in situ lokalisiert sein.
- Nichtvorhandensein von anhaltenden Beschwerden wie Schmerz, Dysästhesie oder Fremdkörpergefühl
- Das Implantat sollte nicht mobil sein.
- Ausbleiben einer periimplantären Infektion mit Pusaustritt
- Im Röntgenbild sind keine periimplantären Transluzenzen sichtbar.

Die Erfolgskriterien nach Naert *et al.* (1992)

- Das Implantat sollte in situ lokalisiert sein.
- Periotestwert < +8
- röntgenologisch keine periimplantäre Transluzenzen
- keine implantatinduzierten Infektionen, Parästhesien oder Schmerzen
- keine Fraktur des Implantates
- Das Implantat sollte zum prothetischen Ersatz herangezogen worden sein.

Die Erfolgskriterien nach Jahn und d'Hoedt (1992)

- Das Implantat sollte in situ lokalisiert sein.
- Sulkustiefe von ≤ 4 mm bei den letzten beiden Kontrollen
- Klinische Mobilität soll den Lockerungsgrad I nicht überschreiten.
- Im Röntgen kein zweiseitig durchgehender Spalt von einer Breite > 0,5 mm
- subjektive Bewertung nicht schlechter als 3 (1-6)

Vorschlag kombinierter Kriterien (Lorenzoni, 1999)

- Das Implantat ist in situ lokalisiert.
- keine periimplantäre Aufhellung
- vertikaler Knochenabbau $< 1/3$ der Implantatlänge oder < 2 mm innerhalb von zwei Jahren (letzten drei Kontrollen) in Kombination mit PTV < 04 oder PTV Anstieg um vier Einheiten
- frei von: Schmerz, Infektion, Schädigung der Nachbarzähne, Anästhesien, Parästhesien, Verletzung des Mandibularkanals oder des Sinus maxillaris oder der Nasenhöhle
- subjektive Bewertung besser als 3 (1-5)
- Erfolgsrate 85% nach 5 Jahren und 80% nach 10 Jahren

Die am häufigsten dargestellten Kriterien für den Implantaterfolg sind Schmerz, Mobilität, Radioluzenz und periimplantärer Knochenverlust von mehr als 1,5 mm (Papaspolidakos *et al.*, 2012).

Die Beurteilung des Implantaterfolgs kann mit weiteren Parametern beschrieben werden. Diese beinhalten den Gesundheitszustand und das Aussehen des periimplantären Weichgewebes sowie prothetische Parameter, Ästhetik und Patientenzufriedenheit (Fürhauser *et al.*, 2005; Meijer *et al.*, 2005; Annibaldi *et al.*, 2012; Papaspolidakos *et al.*, 2012).

1.9 Studienziel

Ziel dieser Studie war es, die Einflussnahme der Insertionstiefe eines Implantates auf das Bone Remodeling im ersten Jahr nach einer Implantation zu ermitteln. Bevor die Studie durchgeführt worden ist, lag die Hypothese vor, dass die Insertionstiefe keinen Einfluss auf den marginalen Knochenumbau ausübt.

2 Material und Methoden

Die Studie wurde in Übereinstimmung mit den ICH-GCP-Richtlinien für klinische Studien und der Deklaration von Helsinki in der Fassung von 2008 durchgeführt. Die institutionelle Genehmigung wurde von der lokalen Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz eingeholt (Ref: 23-448 ex 10/11).

Es handelt sich um eine retrospektive Multicenter Studie, an welcher drei Zentren teilnahmen:

- Ao. Univ.-Prof. Dr. med. univ. Martin Lorenzoni (Abteilung für Zahnerhaltung und Zahnersatzkunde an der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Graz; Auenbruggerplatz 12, 8036 Graz, Österreich)
- Dr. Priamo Mura (Via Torino 41, 00184 Rom, Italien)
- Dr. David Gelb (836 Farmington Ave., Suite 131; West Hartford, CT 06119 USA)

Clinical Investigation Plan

Center	City, Country	Date of submission	Date of approval
Austria	Graz, Austria	22 June 2011	26 June 2011
Italy & USA		N/A	

List of ethical committees & IRBs

Center	Name	Address	Number (if applicable)
Austria	Ethikkommission Medizinische Universität Graz	Auenbruggerplatz 2 A-8036 Graz Austria	23-447 ex 10/11

Abbildung 4: Allgemeine Informationen

Alle in dieser Studie ausgewerteten Daten wurden vollständig anonymisiert und es wurden zu keinem Zeitpunkt personenbezogene Daten der erfassten Personen preisgegeben. In dieser Studie wurden Röntgenbilder von Patient*innen anonymisiert betrachtet und vermessen.

Bei der in dieser Studie verwendeten Implantate handelt es sich ausschließlich um NobelReplace Tapered Groovy Implantate der Firma Nobel Biocare (Göteborg, Schweden). Diese kaltverarbeiteten konischen Implantate bestehen aus Reintitan mit einer zusätzlichen TiUnite-Oberfläche.

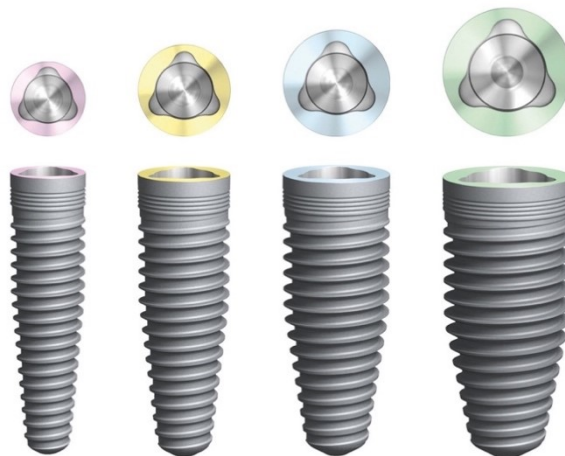


Abbildung 5: verschiedene Durchmesser der NobelReplace Tapered Groovy Implantate

NobelReplace™ Tapered Groovy and Replace® Select Tapered





Platform	Platform diameter	Lengths
	∅ 3.5mm	8mm, 10mm, 11.5mm, 13mm, 16mm
	∅ 4.3mm	8mm, 10mm, 11.5mm, 13mm, 16mm
	∅ 5.0mm	8mm, 10mm, 11.5mm, 13mm, 16mm
	∅ 6.0mm	8mm, 10mm, 11.5mm, 13mm, 16mm*

Abbildung 6: Erläuterung der einzelnen Implantatvarianten

2.1 Patientenkollektiv

Es wurden insgesamt 182 Implantate von 90 Patient*innen zwischen 2005 und 2010 in die Studie miteinbezogen. Retrospektiv wurden Röntgenbilder der in drei verschiedenen Zentren inserierten Implantate hinsichtlich der Insertionstiefe und dem Resorptionsverhalten evaluiert.

2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Per Handsuche wurden Patientenakten an den drei angeführten Standorten gesichtet und auf die folgenden Ein- und Ausschlusskriterien evaluiert.

Es wurden nur erwachsene Personen berücksichtigt, die ein NobelReplace Tapered Groovy Implantat erhalten hatten, welches über ein CE-Zeichen und die FDA-Zulassung verfügt, und im Zeitraum zwischen 2005 und 2010 an den genannten Zentren inseriert wurde. Ebenso wurden nur diejenigen Personen miteingeschlossen, bei denen eine auswertbare Röntgenaufnahme des Implantates zu Beginn der Therapie, das heißt am Tag der Implantatinsertion oder maximal eine Woche später, und eine Röntgenaufnahme dieses spezifischen Implantates ein Jahr später (plus/minus sechs Wochen) vorliegt.

Studienteilnehmer*innen wurden nicht in die Untersuchung miteinbezogen, wenn ein Nachbeobachtungszeitraum von weniger als zwölf Monaten zu verzeichnen war, kein auswertbares Röntgenbild vorhanden war, die Personen einen anderen Implantattyp als den NobelReplace Tapered Groovy erhalten hatten oder wenn die Röntgenaufnahmen identifizierbare Daten, zum Beispiel die Namen der Patient*innen, die nicht entfernt werden können, enthielten.

Erfüllten die Studienteilnehmer*innen diese Einschlusskriterien, wurden die betreffenden Röntgenbilder, das Ausgangsbild und das 1-Jahr-Follow-up, gesammelt und an unabhängige Radiolog*innen versendet.

Alle Patientenakten und Röntgenbilder wurden anonym ausgewertet. Nach dem Entfernen der personenbezogenen Daten wurde jedem Röntgenbild ein eindeutiger Code zugewiesen, um eine explizite und anonyme Zuordnung von Informationen zu ermöglichen.

2.3 Radiologische Vermessung

Alle Röntgenbilder wurden in Form eines Kleinbildröntgens (in Graz: Sirona Heliodont) in Rechtwinkeltechnik angefertigt und an unabhängige Radiolog*innen digital übermittelt.

Die Veränderung des marginalen Knochenniveaus im Laufe der Zeit wurde durch den Vergleich der intraoralen Röntgenaufnahmen ermittelt, die zu Studienbeginn und ein Jahr später erstellt wurden. Das marginale Knochenniveau wurde sowohl am mesialen als auch am distalen Rand jedes Implantates gemessen.

Das Knochenniveau wurde von der Implantatschulter (Referenzlinie) bis zum koronalen Knochen-Implantat-Kontaktniveau mit Adobe® Photoshop Software (Adobe System Incorporated, California, USA) gemessen. Die Messungen wurden zunächst im Pixelformat durchgeführt. Lineare Messungen (mm) wurden, nach der Kalibrierung der Bilder (zweifache Vergrößerung) entsprechend dem jeweiligen Durchmesser und der Länge des Implantates, vorgenommen.

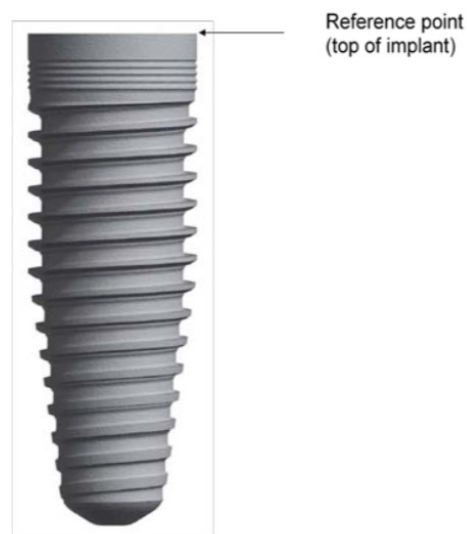


Abbildung 7: Referenzpunkt der Messung

2.4 Einteilung der Implantate

Für jede Röntgenaufnahme wurde das marginale Knochenniveau, also der Abstand der am weitesten koronal liegenden Knochenkante zur Implantatschulter, in Millimetern gemessen und die Differenz zwischen dem Ausgangsbild und dem 1-Jahres-Follow-up berechnet. Diese Differenz wurde als „marginal bone remodeling“ bezeichnet.

Die Messung des Ausgangsröntgenbildes wurde dazu genutzt, die Implantate in drei Kategorien zu unterteilen, abhängig von der Platzierung der Implantatschulter zur Knochenkante.

Die Kategorisierung erfolgte wie folgt:

- Suprakrestal (Implantatschulter oberhalb der Knochenkante)
- Äquikrestal (Implantatschulter auf Höhe der Knochenkante)
- Subkrestal (Implantatschulter unterhalb der Knochenkante)

Da röntgenologisch betrachtet das Knochenniveau nicht unbedingt mit der Positionierung des Kieferkammes identisch sein muss, wurden alle Implantate in einem zweiten Schritt makroskopisch kategorisiert, indem die initialen Röntgenaufnahmen von zwei ausgebildeten Zahnärzt*innen begutachtet wurden. Im Falle einer Meinungsverschiedenheit wurde so lang diskutiert, bis ein Konsens erzielt wurde.

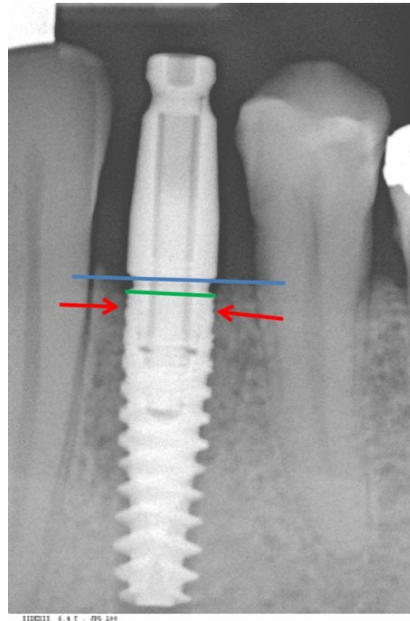


Abbildung 8: Vermessung eines Implantates (grün = Implantatschulter; rot = BIC; blau = Kieferkamm)

Die Abbildung 8 spiegelt eine Röntgenaufnahme eines Implantates (nicht Teil dieser Studie) wider, welche die Implantatschulter (grün), den Knochen-Implantat-Kontakt (rot) und den makroskopisch sichtbaren Kieferkamm (blau) zeigt. Somit handelt es sich um ein subkrestal inseriertes Implantat, auch wenn der gemessene Wert ein negativer ist.

2.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit nicht identifizierbaren Daten durchgeführt. Zur Darstellung der Ergebnisse wurden deskriptive Statistiken einschließlich der Mittelwerte und Standardabweichungen herangezogen, um das gesamte Bone Remodeling zu errechnen und um festzustellen, ob es einen Zusammenhang zwischen der Implantatplatzierung und dem Ausmaß der Knochenveränderung gibt.

Eine Analyse der Unterschiede bezüglich des marginalen Knochenumbaus zwischen supra-, äqui- und subkrestal gesetzten Implantaten wurde mit einem Kruskal-Wallis-Test durchgeführt, gefolgt von Vergleichen mit Gruppen durch den

Mann-Whitney-U-Test. Für die Signifikanz wurde ein $\alpha = 0,05/3$ für Mehrfachvergleiche verwendet.

2.6 Berechnung der Stichprobengrößen

Da es sich um eine retrospektive Studie handelt, bei welcher Röntgenbilder von Studienteilnehmer*innen, die ein NobelReplace Tapered Groovy Implantat erhalten haben, anonym ausgewertet wurden, sind alle Patient*innen, die die Einschlusskriterien erfüllten, miteinbezogen worden.

3 Ergebnisse

Es wurden Röntgenaufnahmen von insgesamt 291 Implantaten gesammelt, von denen 182 Implantate von 90 Patient*innen in die Studie miteinbezogen und statistisch analysiert wurden (AT: 8 Patient*innen/20 Implantate; IT: 58/113; USA: 24/49; siehe Tabelle 1). Die Übrigen entsprachen nicht den Einschlusskriterien.

	Austria	Italy	USA	Total
Patients	8	58	24	90
Implants	20	113	49	182

Tabelle 1: Aufteilung der Länder

3.1 Zeitrahmen der klinischen Prüfung

Alle Implantate wurden zwischen dem 13. Juni 2005 und dem 24. Februar 2010 inseriert. Follow-ups wurden zwischen dem 19. Juli 2006 und dem 01. März 2011 durchgeführt.

3.2 Implantatdimensionen

Die Implantate hatten einen Durchmesser von 3,5 bis 6,0 mm und eine Länge von 8 bis 16 mm. Implantate mit 10 mm Länge und 4,3 mm (RP) Durchmesser wurden sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer am häufigsten verwendet.

Platform	Length (mm)	Maxilla	Mandible
NP	8	0	1
	10	1	2
	13	2	2
	16	0	0
Total		3	5
RP	8	0	2
	10	27	25
	13	9	5
	16	13	1
Total		49	33
WP	8	0	3
	10	22	15
	13	9	3
	16	7	0
Total		38	21
6mm	10	15	10
	13	5	1
	16	1	1
Total		21	12
Grand total		111	71

Tabelle 2: Dimensionen der analysierten inserierten Implantate

3.3 Implantatpositionen

Von 182 Implantaten wurden 111 in den Oberkiefer (anterior: 30; posterior 81) und 71 in den Unterkiefer (anterior: 4; posterior 67) inseriert. Detaillierte Informationen über die Implantatpositionen sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Maxilla																Ant	Post	Total	
Position FDI	18	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	28			
Number	2	6	14	10	6	3	3	11	7	5	1	8	8	18	8	1	30	81	111

Mandible																Ant	Post	Total	
Position FDI	48	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	38			
Number	2	8	13	6	3	0	2	0	0	2	0	2	8	13	10	2	4	67	71

																	34	148	182
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----------	------------	------------

Tabelle 3: Implantatposition der analysierten inserierten Implantate

Die mittlere Nachbeobachtungszeit lag bei 22,64 (SD 11,0; min. 12; max. 53) Monaten.

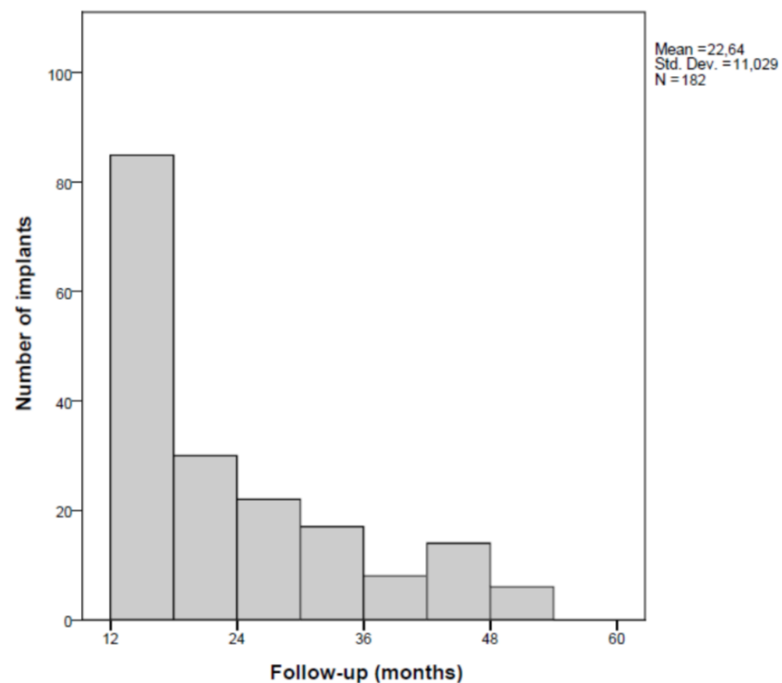


Tabelle 4: Zeitpunkt des Follow-ups

3.4 Knochenniveauewerte

Die Werte des Knochenniveaus zu Beginn der Studie (baseline), beim Follow-up und die Werte des Knochenumbaus (bone remodeling) sind in Tabelle 5 dargestellt. Diese spiegeln die Durchschnittswerte der mesialen und distalen Messungen an jedem Implantat anhand des Röntgenbildes wider. Negative Zahlen lassen sich durch das apikal zum Referenzpunkt (Implantat-Abutment-Verbindung) gelegene Knochenniveau erklären.

	Bone level (mm)		Bone level (mm)		Bone remodeling (mm)	
	baseline		follow-up		baseline to follow-up	
Mean value (mm)	-1.06		-2.13		-1.08	
Standard deviation (mm)	1.69		1.29		1.68	
N	182		182		182	
	n	%	n	%	n	%
>3.0 mm	1	0.5	0	0.0	3	1.6
2.1 – 3.0 mm	5	2.7	0	0.0	4	2.2
1.1 – 2.0 mm	9	4.9	1	0.5	7	3.8
0.1 – 1.0 mm	29	15.9	4	2.2	26	14.3
0.0 mm	5	2.7	0	0.0	2	1.1
-1.0 – -0.1 mm	47	25.8	23	12.6	53	29.1
-2.0 – -1.1 mm	42	23.1	63	34.6	43	23.6
-3.0 – -2.1 mm	18	9.9	59	32.4	21	11.5
-4.0 – -3.1 mm	15	8.2	22	12.1	13	7.1
< -4.0 mm	11	6.0	10	5.5	10	5.5

Tabelle 5: Gemessene Knochenniveauewerte bei der Erstuntersuchung und beim Follow-up sowie Werte des Knochenumbaus

Das mittlere initiale Knochenniveau lag bei $-1,06 \pm 1,69$ mm. Bei der Nachuntersuchung wurde ein durchschnittliches Knochenniveau von $-2,13 \pm 1,29$ mm gemessen, was einer Veränderung des Knochenniveaus von $-1,08 \pm 1,68$ mm entspricht. Die Standardabweichung reduzierte sich von 1,69 mm auf 1,29 mm, basierend auf der Ausgangssituation bis zum Follow-up.

Ein möglicher Unterschied zwischen den Zentren wurde durch einen Signifikanztest (Kruskal-Wallis-Test) ausgeschlossen. Dieser zeigte, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Ergebnissen der Zentren weder zu Beginn der Studie ($p = 0,547$), noch beim Follow-up ($p = 0,230$), noch beim Bone Remodeling ($p = 0,493$) gibt.

	Significance test	Interpretation
Bone level, baseline	$p=0.547$	No significant difference between centers
Bone level, follow-up	$p=0.230$	No significant difference between centers
Bone level, baseline to follow-up	$p=0.493$	No significant difference between centers

Tabelle 6: Analyse der Unterschiede zwischen den Zentren

3.5 Implantateinteilung hinsichtlich der Insertionstiefe

Für die weitere Analyse wurden die Implantate in drei Gruppen (suprakrestal, äquikrestal und subkrestal) eingeteilt, je nach ihrer Position zu Beginn der Studie. Die Analyse zeigt, dass die meisten Implantate äquikrestal ($n = 125$) inseriert wurden, mit einem mittleren Knochenniveau von $-1,19 \pm 1,66$ mm, gefolgt von subkrestal inserierten Implantaten ($n = 42$) mit $-0,49 \pm 1,79$ mm und suprakrestal gesetzten Implantaten ($n = 15$) mit einer Insertionstiefe von $-1,60 \pm 1,3$ mm.

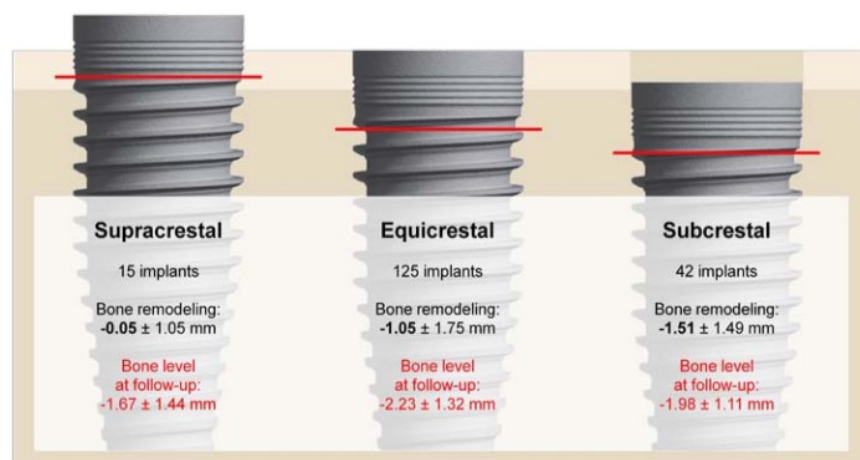


Abbildung 9: Einteilung der Implantate hinsichtlich der Insertionstiefen

	Supracrestal		Equicrestal		Subcrestal	
Mean value (mm)	-1.60		-1.19		-0.49	
Standard deviation (mm)	1.30		1.66		1.79	
N	15		125		42	
	n	%	n	%	N	%
>3.0 mm	0	0.0	0	0.0	1	2.4
2.1 – 3.0 mm	0	0.0	2	1.6	3	7.1
1.1 – 2.0 mm	0	6.7	7	5.6	2	4.8
0.1 – 1.0 mm	1	6.7	18	14.4	10	23.8
0.0 mm	0	0.0	3	2.4	2	4.8
-1.0 – -0.1 mm	5	33.3	34	27.2	8	19.0
-2.0 – -1.1 mm	4	26.7	28	22.4	10	23.8
-3.0 – -2.1 mm	3	20.0	13	10.4	2	4.8
-4.0 – -3.1 mm	1	6.7	11	8.8	3	7.1
< -4.0 mm	1	6.7	9	7.2	1	2.4

Tabelle 7: Analyse des Knochenniveaus zu Beginn der Studie

Die Knochenniveauwerte bei der Nachuntersuchung sind in Tabelle 8 aufgelistet. Die Analyse in Bezug auf die Insertionstiefe zeigte, dass bei suprakrestal gesetzten Implantaten der mittlere marginale Knochenumbau $-0,05 \pm 1,05$ mm betrug. Implantate mit einer äquikrestalen Platzierung zeigten einen mittleren marginalen Knochenumbau von $-1,05 \pm 1,75$ mm und Implantate mit subkrestaler Insertion erfuhren ein Bone Remodeling von $-1,51 \pm 1,49$ mm (Tabelle 9).

	Supracrestal		Equicrestal		Subcrestal	
Mean value (mm)	-1.67		-2.23		-1.98	
Standard deviation (mm)	1.44		1.32		1.11	
N	15		125		42	
	n	%	n	%	n	%
>3.0 mm	0	0.0	0	0.0	0	0.0
2.1 – 3.0 mm	0	0.0	0	0.0	0	0.0
1.1 – 2.0 mm	1	6.7	0	0.0	0	0.0
0.1 – 1.0 mm	0	0.0	3	2.4	1	2.4
0.0 mm	0	0.0	0	0.0	0	0.0
-1.0 – -0.1 mm	4	26.7	14	11.2	5	11.9
-2.0 – -1.1 mm	3	20.0	45	36.0	15	35.7
-3.0 – -2.1 mm	5	33.3	39	31.2	15	35.7
-4.0 – -3.1 mm	2	13.3	16	12.8	4	9.5
< -4.0 mm	0	0.0	8	6.4	2	4.8

Tabelle 8: Analyse des Knochenniveaus beim Follow-up

	Supracrestal		Equicrestal		Subcrestal	
Mean value (mm)	-0.05		-1.05		-1.51	
Standard deviation (mm)	1.05		1.75		1.49	
N	15		125		42	
	n	%	n	%	n	%
>3.0 mm	0	0.0	3	2.4	0	0.0
2.1 – 3.0 mm	1	6.7	3	2.4	0	0.0
1.1 – 2.0 mm	1	6.7	5	4.0	1	2.4
0.1 – 1.0 mm	5	33.3	17	13.6	4	9.5
0.0 mm	1	6.7	1	0.8	0	0.0
-1.0 – -0.1 mm	4	26.7	37	29.6	12	28.6
-2.0 – -1.1 mm	3	20.0	29	23.2	11	26.2
-3.0 – -2.1 mm	0	0.0	14	11.2	7	16.7
-4.0 – -3.1 mm	0	0.0	9	7.2	4	9.5
< -4.0 mm	0	0.0	7	5.6	3	7.1

Tabelle 9: Analyse des Bone Remodelings im Zeitraum zwischen der Erstuntersuchung und dem Follow-up

Eine statistische Analyse ergab einen signifikanten Einfluss der Insertionstiefe auf das Bone Remodeling ($p = 0,005$; Kruskal-Wallis-Test). Es wurde durch eine Post-Hoc-Analyse mit einer Mann-Whitney-U-Analyse darauf hingewiesen, dass die suprakrestale Implantatplatzierung im Vergleich zur äquikrestalen Platzierung ($p = 0,011$) und subkrestalen Implantatinsertion ($p = 0,001$) zu einem statistisch signifikant geringeren marginalen Knochenumbau führt.

	Sign. test^a	Post-hoc test^b	Interpretation
Bone level, follow-up	$p = 0.379$	N/A	No significant difference in bone level at follow-up between implant placed at different depths.
Bone remodeling, baseline to follow-up	$p = 0.005^*$	Supracrestal vs. Equicrestal: $p = 0.011^*$ Supracrestal vs. Subcrestal: $p = 0.001^*$ Equicrestal vs. Subcrestal: $p = 0.105$	Significantly less bone remodeling in the supracrestal group than in the other two groups.

^a Kruskal-Wallis test, significance level $\alpha = 0.05$.
^b Mann-Whitney U test, Bonferroni corrected $\alpha = 0.05/3$.
* Significant difference.

Abbildung 10: Ergebnisse des Kruskal-Wallis Tests und Mann-Whitney-U-Tests

4 Diskussion

Eines der wichtigsten Kriterien zur Erfolgsbewertung eines Implantates ist das Niveau des krestalen Knochens um das inserierte Implantat. Ein zweiteiliges Implantat mit maschinierter Oberfläche gilt bei einem durchschnittlichen Knochenverlust von nicht mehr als 1,5 mm nach dem ersten Jahr der Implantatversorgung, gefolgt von einem durchschnittlichen jährlichen Knochenrückgang von $\leq 0,2$ mm, als erfolgreich (Albrektsson *et al.*, 1986).

Dias *et al.* konnten zeigen, dass der marginale Knochenverlust im Zeitraum zwischen der Implantatfreilegung und der Belastung des Implantates höher war als zwischen der Implantatbelastung und dem 1-Jahres-Follow-up (Dias *et al.*, 2014), also der größte Verlust des krestalen Knochenlevels in den ersten Monaten nach einer Implantation beobachtbar ist (de Siqueira *et al.*, 2020).

Faktoren wie die Implantatposition, das chirurgische Vorgehen, die Oberflächenbeschaffenheit eines Implantates, die Breite des Alveolarkammes (Calvo-Guirado *et al.*, 2014) oder der Grad der Verkleinerung des Abutments (platform switch/shift) können das Ausmaß des krestalen Knochenverlustes beeinflussen (Veis *et al.*, 2010).

4.1 Periimplantäre Zellakkumulation

Broggini *et al.* untersuchten in ihrer Studie den Einfluss der Position der Implantat-Abutment-Verbindung auf das Ausmaß der Entzündungsreaktion des Kieferknochens und folglich auf dessen Rückgang. Im Rahmen der Untersuchung kamen sie zu dem Ergebnis, dass sich die meisten Entzündungszellen an der Verbindungsstelle des Implantatkörpers mit dem Aufbau ansiedeln. Periimplantär ansässige neutrophile Granulozyten wurden mit einer Signifikanz von $p < 0,005$ am häufigsten bei subkrestal inserierten Implantaten gefunden (5934 ± 998 Neutrophile), gefolgt von äquikrestal gesetzten Implantaten (2968 ± 280 Neutrophile). Bei den suprakrestal positionierten Implantaten überwog die Anzahl der mononukleären Zellen. Die Position des Mikrospaltes nimmt also Einfluss auf

die Akkumulation der Entzündungszellen apikal des ursprünglichen Knochenkammes.

Die maximale Dichte von neutrophilen Zellen war bei suprakrestalen Implantaten mit einer Anzahl von 2398 ± 1077 Zellen/ mm^2 signifikant geringer als bei äquikrestal (8276 ± 1031 Zellen/ mm^2) und subkrestal (10.512 ± 691 Zellen/ mm^2) inserierten Implantaten.

Daraus lässt sich folgern, dass im Vergleich zu subkrestalen Implantaten ($2,45 \pm 0,20$ mm) und äquikrestalen Implantaten ($1,60 \pm 0,17$ mm) der geringste Knochenverlust bei suprakrestal inserierten Implantaten zu verzeichnen ist ($1,40 \pm 0,12$ mm). Brogginini et al. postulieren in ihrer Studie, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Entzündungszellakkumulation und dem Knochenverlust oberhalb der primär gemessenen Knochenhöhe gibt. Apikal des ursprünglichen Knochenkammes liegt eine hohe Signifikanz von $p < 0,0001$ vor. Dies bezieht sich auf den Zusammenhang von Entzündungszellansammlung und Knochenverlust (Brogginini *et al.*, 2006).

4.2 Minimierung des marginalen Knochenverlustes durch suprakrestale Implantatpositionierung

Es gibt mehrere Studien, die sich mit der Auswirkung der Implantatinsertionstiefe auf das marginale Knocheniveau auseinandersetzen.

In der vorliegenden Studie kam man zu dem Ergebnis, dass das Bone Remodeling bei suprakrestal inserierten Implantaten am geringsten ausfiel ($-0,05 \pm 1,05$ mm), gefolgt von der äquikrestalen Platzierung ($-1,05 \pm 1,75$ mm). Den höchsten anfänglichen Knochenumbau mit $-1,51 \pm 1,49$ mm verzeichneten subkrestal inserierte Implantate.

Yi et al. evaluierten ebenso die krestalen Knochenveränderungen in Bezug auf verschiedene vertikale Implantatpositionen. Indem sie die Distanz des Mikrospaltes bis zum BIC von 200 inserierten Implantaten maßen, stellten sie fest, dass Implantate, welche unter dem Alveolarkamm inseriert wurden, die größten Knochenveränderungen ($2,25$ mm) auslösten. Implantate, welche auf

Knochniveau platziert wurden, verzeichneten ein Bone Remodeling von 1,47 mm, und bei oberhalb des Kieferkammes inserierten Implantaten veränderte sich der krestale Knochen um 0,89 mm (Yi *et al.*, 2010). Dies stimmt mit den Ergebnissen von Kim *et al.* überein, welche einen marginalen Knochenverlust von 0,71 mm bei suprakrestal inserierten Implantaten, 0,93 mm bei äquikrestaler Platzierung und 1,47 mm bei subkrestaler Insertion beobachteten (Kim *et al.*, 2017). Obwohl das Ausmaß dieser Werte recht unterschiedlich ist, stehen sie im Einklang mit den Resultaten in der vorliegenden Studie.

Hartman und Cochran untersuchten in ihrer Studie die röntgenologischen Knochniveauveränderungen vom Zeitpunkt der Insertion einteiliger Implantate bis fünf Jahre danach. Sie platzierten die Implantate in unterschiedlichen Tiefen in Bezug auf den ursprünglichen Kieferkamm. Als Referenzpunkt diente die Implantatschulter. Sie stellten fest, dass im Unterkiefer die meisten Implantate suprakrestal gesetzt wurden. Bei diesen Implantaten war nach sechs Monaten ein Bone Remodeling von durchschnittlich 0,68 mm zu erkennen. Dies führte zu einem durchschnittlichen Abstand von 3,4 mm zwischen der Implantatschulter und dem Kieferkamm. Im Oberkiefer wurden die Implantate weiter apikal positioniert. Als Resultat war ein verstärkter anfänglicher Knochenumbau von durchschnittlich 1,72 mm beobachtbar. Bei darauffolgenden Messungen des Kieferkammniveaus im Ober- und Unterkieferknochen in einem Zeitrahmen von bis zu 60 Monaten nach erfolgter Implantatinsertion wurden keine bis minimale Veränderungen der Höhe beschrieben. Diese Ergebnisse zeigen, dass das Ausmaß des Bone Remodelings innerhalb von sechs Monaten in direktem Zusammenhang mit der Implantationstiefe in apiko-coronaler Ausrichtung steht (Hartman and Cochran, 2004). Laut einer experimentellen Studie von Hermann *et al.* verzeichnen einteilige Implantatsysteme einen signifikant geringeren krestalen Knochenverlust als zweiteilige Implantate. Dadurch kommt es bei zweiteiligen Implantaten zu einer apikaleren Position des krestalen Knochens und des Gingivalrandes. Dies lässt sich mit der vermehrten Entzündung im periimplantären Gewebe bei zweiteiligen Implantaten begründen (Hermann, Buser *et al.*, 2001). Der BIC und somit der Knochenverlust bei einteiligen

Implantaten ist abhängig von der Lage des Überganges der rauhen zur glatten Implantatoberfläche (Hermann *et al.*, 2000).

Hermann und Kollegen konnten in Studien zeigen, dass zweiteilige Implantate bei einer subkrestalen Position von 1 mm die höchste Knochenresorption auslösen. Wenn der Mikrospace 1 mm oberhalb des Kieferknochens positioniert wurde, trat der geringste Knochenverlust auf. Sie beobachteten den ersten Kontakt des Knochens mit dem Implantat bei suprakrestal inserierten Implantaten im Bereich des Überganges von der rauhen zur glatten Implantatoberfläche (Hermann *et al.*, 2000; Hermann, Schoolfield, Schenk *et al.*, 2001).

Becker und Kollegen untersuchten in deren Studie das Ausmaß des Knochenverlustes in Zusammenhang mit der Insertionstiefe und unterschiedlichen Durchmessern der Abutments. Bei den suprakrestal inserierten Implantaten kam es zu einem Knochengewinn von 0,2 mm mit den durchmesserreduzierten maschinieren Abutments und 0,5 mm mit den mikrogerillten Abutments. Ein Knochenrückgang war bei den äquikrestal gesetzten Implantaten zu verzeichnen. Dieser Verlust war für beide Abutments vergleichbar. Bei den subkrestal inserierten Implantaten konnte gezeigt werden, dass ein höherer Knochenverlust bei den durchmesserreduzierten Abutments vorstättengeht (Becker *et al.*, 2017).

Cochran *et al.* untersuchten am Tiermodell die krestalen Knochenveränderungen an in verschiedenen Tiefen inserierten durchmesserreduzierten Implantaten (1 mm über dem Alveolarkamm, am Alveolarkamm und 1 mm unter dem Alveolarkamm). Sie unterteilten die Gruppen zusätzlich in eine gedeckte und eine offene Einheilung. In der Subgruppe der gedeckten Implantateinheilung verzeichneten sie bei äquikrestal positionierten Implantaten einen Knochenrückgang von 0,34 mm und von 1,29 mm bei subkrestalen Implantaten. Die Messungen ergaben bei suprakrestal inserierten Implantaten einen Knochengewinn von 0,04 mm. Bei offener Implantateinheilung war das Ergebnis ähnlich (-0,38 mm äquikrestal; -1,13 mm subkrestal; +0,19 mm suprakrestal) (Cochran *et al.*, 2009). In einer vergleichbaren Untersuchung stellten Jung *et al.* einen geringeren marginalen

Knochenverlust bei der krestalen und 1 mm suprakrestalen Implantatpositionierung fest (Jung, Jones *et al.*, 2008).

Unsere Beobachtungen dieser Studie ergeben ein ähnliches Bild, allerdings ohne einen periimplantären Knochengewinn bei suprakrestal gesetzten Implantaten.

Veis *et al.* werteten den krestalen Knochenabbau von insgesamt 282 zweiteiligen Implantaten aus. 193 Implantate waren gerade und 89 Implantate waren PS (platform switched) Abutmentverbindungen. Weiters unterteilten sie die Implantate abhängig von deren Insertionstiefe in drei Subgruppen (supra-, äqui- und subkrestal). Die Messungen des krestalen Knochenniveaus wurden zum Implantationszeitpunkt und zwei Jahre nach erfolgter Insertion durchgeführt. In der vorliegenden Studie wurde eine Beobachtungszeit von einem Jahr post extractionem eingeräumt. Im Rahmen der Auswertung von Veis *et al.* wurde die größte Knochenresorption unabhängig von der Abutmentverbindung im krestalen Bereich des Knochens beschrieben. Bei suprakrestal inserierten Implantaten fand eine Resorption von $0,60 \pm 0,67$ mm bei geraden Abutments und $0,69 \pm 0,47$ mm bei PS-Abutments statt. Bei subkrestalen Implantaten resorbierte der Knochen $0,81 \pm 0,79$ mm bei geraden Abutments, $0,39 \pm 0,52$ mm bei PS-Abutments und $1,23 \pm 0,96$ mm beziehungsweise $1,13 \pm 0,42$ mm bei äquikrestal gesetzten Implantaten. Daraus lässt sich folgern, dass bei einer normalen Implantat-Abutment-Verbindung der geringste Knochenverlust bei suprakrestalen Implantaten und bei Implantaten mit durchmesserreduzierten Abutments die geringste Resorption bei subkrestal inserierten Implantaten zu beobachten ist. Sie vertreten daher die Meinung, dass das Konzept der durchmesserreduzierten Abutments nur bei subkrestaler Positionierung des Implantates vorteilhaft sei. Des Weiteren wurde postuliert, dass bei einer supra- und äquikrestalen Implantatpositionierung keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich der marginalen Knochenresorption zwischen geraden und PS-Abutmentverbindungen feststellbar waren. Nur bei subkrestal inserierten PS-Implantaten wurde der krestale Knochen signifikant geringer resorbiert (Veis *et al.*, 2010).

Im Gegensatz dazu kamen Cochran und Kollegen zu dem Ergebnis, dass bei äquikrestal inserierten Implantaten ein durchmesserreduziertes Abutment

verglichen mit einem übereinstimmendem Durchmesser des Abutments zu einem geringeren Knochenverlust (0,4 mm gegenüber 1,5 bis 2,0 mm) führt (Cochran *et al.*, 2009).

Alonso-González *et al.* stellten in ihrer Übersichtsarbeit einen geringeren Knochenverlust bei suprakrestal inserierten Implantaten als bei subkrestal inserierten Implantaten fest. Diesbezüglich war aber keine statistische Signifikanz erkennbar. Daher wurde eine äqui- oder subkrestale Positionierung von 1 bis 2 mm empfohlen. Die fehlende Übereinstimmung der idealen Insertionstiefe ergibt sich ihrer Meinung nach aufgrund der unterschiedlichen Ergebnisse der einzelnen Studien und des Vorhandenseins verschiedener Störfaktoren (Alonso-González *et al.*, 2012).

Die Beobachtungen von van Eekeren und Kollegen zeigen einen größeren Knochenverlust bei Implantaten, welche auf Höhe des krestalen Knochniveaus inseriert wurden, als wenn der Mikropalt 2,5 mm über dem krestalen Knochen zu liegen kommt (van Eekeren, Tahmaseb und Wismeijer, 2016). Eine andere Studie findet keinen Zusammenhang zwischen dem marginalen Knochenumbau und einer äqui- oder suprakrestalen Insertion von zweiteiligen Implantaten (de Moraes Rego *et al.*, 2015).

Widersprüchlich zu den oben genannten Studien stehen die Erkenntnisse verschiedener Autoren, welche beschreiben, dass das Ausmaß des krestalen Knochenverlustes unabhängig von der Implantationstiefe ist (Lombardo *et al.*, 2014; de Moraes Rego *et al.*, 2015; Ercoli *et al.*, 2017). Keiner dieser Autoren gibt eine Begründung für deren Ergebnisse an.

Autoren	suprakrestal	äquikrestal	subkrestal
Unsere Studie	-0,05 ± 1,05 mm	-1,05 ± 1,75 mm	-1,51 ± 1,49 mm
Yi et al., 2010	-0,89 mm	-1,47 mm	-2,25 mm
Kim et al., 2017	-0,71 mm	-0,93 mm	-1,47 mm
Broggini et al., 2006	-1,40 ± 0,12 mm	-1,60 ± 0,17 mm	-2,45 ± 0,20 mm
Veis et al., 2010 (platform matched Abutmentverbindung)	-0,60 ± 0,67 mm	-1,23 ± 0,96 mm	-0,81 ± 0,79 mm
Veis et al., 2010 (platform switched Abutmentverbindungen)	-0,69 ± 0,47 mm	-1,13 ± 0,42 mm	-0,39 ± 0,52 mm
Cochran et al., 2009 (submerged)	+0,04 mm	-0,34 mm	-1,29 mm
Cochran et al., 2009 (merged)	+0,19 mm	-0,38 mm	-1,13 mm

Tabelle 10: Auflistung von den Ergebnissen der Vergleichsstudien

Eine suprakrestale Implantatpositionierung ist empfehlenswert, da die Entwicklung einer biologischen Breite begünstigt wird und der Mikrospalt sowie die bakterielle Kontamination vom krestalen Knochen weiter entfernt sind. Dadurch kann die Wahrscheinlichkeit eines entzündlichen Geschehens reduziert werden (de Moraes Rego *et al.*, 2015).

4.3 Subkrestal versus äquikrestal

Bei subkrestal inserierten Implantaten ist im Vergleich zu äquikrestal positionierten Implantaten ein geringerer Knochenverlust zu verzeichnen (Pontes *et al.*, 2008; Weng *et al.*, 2008; Degidi *et al.*, 2011; Koutouzis *et al.*, 2013; Calvo-Guirado *et al.*, 2014; Saleh *et al.*, 2018; de Siqueira *et al.*, 2020). In dieser Hinsicht widersprechen diese vorliegenden Daten zahlreichen anderen Publikationen, welche einer subkrestalen Insertion einen negativen Einfluss auf den marginalen Knochenumbau zuschreiben (Hermann *et al.*, 2000; Pontes *et al.*, 2008; Jung, Jones *et al.*, 2008; Kütan *et al.*, 2015). In einer systematischen Überblicksarbeit von 2019 wurden 16 Studien hinsichtlich der Unterschiede des marginalen Knochenrückgangs in sub- oder äquikrestaler Positionierung verglichen. Diese besagt, dass der Großteil der in der Literatur beschriebenen Studien keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf den krestalen Knochenverlust zwischen subkrestaler und äquikrestaler Insertionstiefe aufweisen (Palacios-Garzón, Velasco-Ortega und López-López, 2019).

Betrachtet man also die Ergebnisse in der Literatur, ist ein Widerspruch in den einzelnen Resultaten der Untersuchungen erkennbar. Dieser könnte laut Palacios-Garzón und Kollegen auf der Wichtigkeit der Einbeziehung unterschiedlich gewichteter Faktoren beruhen. Ähnlich wie die vertikale Positionierung eines Implantates, können diese Faktoren abhängig voneinander Einfluss auf den krestalen Knochenverlust nehmen (Palacios-Garzón, Velasco-Ortega and López-López, 2019).

Valles *et al.* nahmen nur Studien in ihre Untersuchung auf, welche die periimplantären Veränderungen der Knochenhöhe von der Implantatschulter ausgehend bis zum ersten Knochenkontakt mit dem Implantat maßen. Sie verglichen 14 Studien, je sieben Studien am Menschen und Tieren, hinsichtlich der Tiefe der Implantatinsertion und dem daraus resultierenden Knochenabbau. Sie konnten beobachten, dass die Studien an Menschen verschiedene Messvarianten hinsichtlich der Insertionstiefen benützten. Eine Studie kategorisierte ein Implantat als subkrestal, wenn das Implantat auf der mesialen oder der distalen Seite

mindestens 0,5 mm unter dem krestalen Knochenniveau inseriert wurde (Romanos *et al.*, 2015). Andere Studien platzierten die Implantate 1 mm subkrestal (Kütan *et al.*, 2015), 1-2 mm subkrestal (Veis *et al.*, 2010), 2 mm unter dem krestalen Knochenniveau (Al Amri *et al.*, 2017), 1-3 mm subkrestal (de Siqueira *et al.*, 2017) oder 1 beziehungsweise 2 mm subkrestal (Koutouzis *et al.*, 2013). Eine andere Studie führte keine Angaben dazu an (Pellicer-Chover *et al.*, 2016). Bis auf die Studie von Romanos *et al.*, welche das Knochenniveau mesial und distal des Implantates getrennt voneinander beurteilte, wurden, wie auch in dieser Studie, die Messungen auf der mesialen und distalen Implantatseite durchgeführt und diese Werte im Anschluss gemittelt. Valles *et al.* kamen in ihrer Untersuchung zu dem Ergebnis, dass subkrestal gesetzte platform-switched Implantat-Abutment-Verbindungen, im Vergleich zu äquikrestal positionierten Implantaten, ein geringeres Bone Remodeling aufweisen. Sie deuteten aber darauf hin, dass nur in den Tierstudien signifikante Unterschiede diesbezüglich ersichtlich waren. Des Weiteren beobachteten sie eine dickere periimplantäre Schleimhaut bei subkrestal inserierten PS Implantatverbindungen als bei äquikrestal platzierten Implantaten (Valles *et al.*, 2018).

Durch die subkrestale Position des Implantates wird das Risiko der Exposition der rauhen Oberfläche des Metallgewindes und damit verbundene mögliche biologische Komplikationen reduziert (Negri *et al.*, 2012; Ercoli *et al.*, 2017; de Siqueira *et al.*, 2020) sowie ein früherer BIC am Implantat ermöglicht (Calvo-Guirado *et al.*, 2014). Ebenso ist genügend Platz für die Entwicklung eines harmonischen Emergenzprofils vorhanden (Hermann, Schoolfield, Schenk *et al.*, 2001).

Pellicer-Chover *et al.* untersuchten die Auswirkung einer sub- und äquikrestalen Implantatplatzierung auf das Bone Remodeling bei einem Follow-up von zwölf Monaten. Sie empfehlen eine subkrestale Positionierung, da ihren Ergebnissen zufolge ein subkrestal inseriertes Implantat nach erfolgter Einheilungszeit weniger freiliegende bearbeitete Oberfläche aufweist (0,57 mm) als ein Implantat, welches direkt auf Knochenniveau (1,13 mm) inseriert wurde (Pellicer-Chover *et al.*, 2016).

4.4 Einteilige versus zweiteilige Implantate

Bei einteiligen Implantaten hängt der erste BIC von der Position des Überganges der rauhen zur glatten Implantatoberfläche, bei zweiteiligen von der Lage des Mikrospaltes ab (Hermann *et al.*, 2000).

4.4.1 Mikrospalt

Mitverantwortlich für den Knochenabbau um zweiteilige Implantatsysteme scheinen die Größe des Mikrospaltes und die Bewegungen innerhalb dieses Spaltes zu sein. Zu diesem Resultat kamen Forscher, welche das Ausmaß des Knochenverlustes von zweiteiligen Implantaten mit unterschiedlich großen Dimensionen des Mikrospaltes untersuchten. Die Ergebnisse zeigten, dass auch bei einer Passgenauigkeit von $<10\ \mu\text{m}$ zwischen den Implantatkomponenten ein krestaler Knochenverlust um das Implantat aufgrund von Mikrobewegungen nicht zu verhindern ist (Hermann, Schoolfield, Schenk *et al.*, 2001).

Bei zweiteiligen Implantaten gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Niveau des krestalen Knochens und der Position des Mikrospaltes. Wenn also ein Implantat auf der Höhe des Knochens oder darunter inseriert wird, kann eine erhöhte Knochenresorption beobachtet werden (Hermann *et al.*, 2000; Hermann, Schoolfield, Schenk *et al.*, 2001; Piattelli *et al.*, 2003), da sich im Bereich des Mikrospaltes Entzündungszellen sammeln. Je tiefer also ein Implantat inseriert wird, desto mehr Entzündungszellen sammeln sich apikal des Kieferkammes an und desto größer ist das Ausmaß des Knochenverlustes. Durch den anhaltenden chemotaktischen Stimulus, welcher durch eine apikale Implantatplatzierung zunimmt, vermehren sich laufend neutrophile Zellen im Bereich des Mikrospaltes (Broggini *et al.*, 2006).

Einteilige Implantate reduzieren die Entzündungsreaktion, indem kein Mikrospalt und somit keine erhöhte periimplantäre bakterielle Ansiedelung vorhanden sind. Dadurch findet keine Stimulierung der Zellrekrutierung statt und es kommt zu keiner Osteoklastogenese und folgend zu keiner Knochenresorption.

Bei der Verwendung von zweiteiligen Implantaten kann eine entzündliche knöcherne Reaktion mit einer koronalen Verschiebung der Implantat-Abutment-Verbindung vermieden werden und somit geringere Knochenverluste verzeichnet werden (Broggini *et al.*, 2003; Cochran *et al.*, 2009). Diese Ergebnisse können einen Implantologen dazu motivieren, ein einteiliges Implantat zu verwenden oder das Implantat suprakrestal zu platzieren, um mögliche Entzündungsreaktionen und damit verbundene Knochenverluste zu vermeiden.

4.5 Gingivadicke

Die Gewebedicke zum Zeitpunkt der Implantation spielt bei der Ätiologie des initialen krestalen Knochenabbaus eine wichtige Rolle (Linkevicius *et al.*, 2009a). Bei Implantaten mit periimplantär dünner Schleimhaut ist ein größerer Knochenverlust zu verzeichnen als bei dicken Gingivatypen. Linkevicius *et al.* stellten in deren Untersuchung bei fast 70% der Implantate, welche in periimplantär dünnem Weichgewebe inseriert wurden, nach einem Jahr einen Knochenverlust von mehr als 1 mm fest. Im Gegensatz dazu wiesen fast 85% der Implantate in dickem Schleimhautgewebe einen Knochenverlust von höchstens 0,5 mm auf (Linkevicius *et al.*, 2015). Insbesondere bei einer suprakrestalen Implantatpositionierung ist, im Vergleich zu einer äquikrestalen Positionierung, bei einem dicken Gingivatyp ein geringerer marginaler Knochenverlust sichtbar. Dies lässt sich durch die unterschiedliche Lage des Mikropaltes und somit der bakteriellen Belastung des periimplantären Gewebes erklären (Suárez-López del Amo *et al.*, 2016; Díaz-Sánchez *et al.*, 2019). In einer Studie von Linkevicius *et al.* wurden Implantate suprakrestal in dünnes und dickes Weichgewebe inseriert. Nach einem Jahr wurde bei den Implantaten, welche in periimplantär dünnem Weichgewebe inseriert wurden, ein Knochenverlust von 1,35 mm festgestellt. Bei dicken Gingivatypen wurde ein krestaler Knochenabbau von 0,19 mm verzeichnet (Linkevicius *et al.*, 2009b).

Pico *et al.* empfehlen bei Vorhandensein einer dünnen Schleimhaut in der Implantationsregion, zur Vermeidung von ästhetischen Komplikationen und zur

Etablierung der biologischen Breite, das Implantat krestal oder subkrestal zu positionieren (Pico *et al.*, 2019).

4.6 Schlussfolgerungen

Der gesamte marginale Knochenumbau betrug -1,08 mm (SD 1,68 mm) nach einem Zeitraum von mindestens einem Jahr.

Aufgrund des retrospektiven Charakters der Studie wurde eine Beurteilung der Implantationstiefe zum Zeitpunkt der Insertion nicht klinisch vorgenommen. Stattdessen basierte die Definition von sub-, äqui- oder suprakrestaler Implantatinsertion auf einer röntgenologischen Beurteilung, die von zwei geschulten Zahnärzt*innen unabhängig voneinander durchgeführt wurde.

Betrachtet man die Auswertungen in der Literatur, ist eine Diskrepanz der berichteten Ergebnisse ersichtlich.

Zusammenfassend lässt sich aber feststellen, dass die Verwendung einteiliger Implantate das Ausmaß des Knochenverlustes minimiert (Cochran *et al.*, 2009) oder bei Verwendung zweiteiliger Implantate eine suprakrestale Positionierung zu favorisieren ist (Hermann, Schoolfield, Schenk *et al.*, 2001; Piattelli *et al.*, 2003). Ebenso sollte eine mikrobefreie Gestaltung der Implantat-Abutment-Verbindung angestrebt werden (Broggini *et al.*, 2006). Weiters ist es von besonderer Bedeutung, die Insertionstiefe abhängig vom Biotyp der Gingiva, der Morphologie des Alveolarknochens und der Position des Implantatbettes zu wählen (Yi *et al.*, 2010). Folglich kann mit einem besseren Verständnis für das Ausmaß der Knochenveränderungen nach erfolgter Implantation und mit der daraus resultierenden präziseren Positionierung des Implantates das ästhetische Ergebnis vorhergesagt und, durch die richtige Wahl der Insertionstiefe, dieses verbessert werden (Hartman und Cochran, 2004).

Diese retrospektive Studie weist einige Einschränkungen auf. Einerseits war die Stichprobengröße vergleichsweise klein, andererseits wurden die Röntgenbilder an

verschiedenen Zentren angefertigt, was zu einer Streuung der Ergebnisse aufgrund möglicher Verwendung von verschiedenen röntgenologischen Hilfsmitteln und verschiedenen Winkeln führen kann. In dieser Studie wurde nur das mesiale und distale krestale Knochenniveau bewertet, nicht aber die Höhe des bukkalen und lingualen Knochens. Ein Nachteil ist, dass Implantate, die klinisch sub-, äqui- oder suprakrestal inseriert sind, auf einem Röntgenbild unterschiedlich klassifiziert werden könnten. Weitere Einschränkungen in dieser Studie sind das retrospektive Design und die unterschiedlichen Stichprobengrößen nach der Kategorisierung. Der Mechanismus des verstärkten krestalen Knochenabbaus bei subkrestal inserierten Implantaten konnte in dieser Studie nicht erklärt werden. Ein Grund dafür könnte das Ausbleiben einer klinisch postoperativen Untersuchung sein, da weder das Bleeding on Probing, die Sondierungstiefe, der Plaqueindex noch die Mobilität des Implantates gemessen wurden.

5 Konklusion

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um eine Analyse von Röntgendaten, die im Rahmen einer retrospektiven Studie mit Studiengruppen unterschiedlicher Stichprobengrößen gewonnen wurden.

Trotz der Einschränkungen dieser Studie zeigte die Analyse, dass eine leicht suprakrestale Platzierung von NobelReplace Tapered Groovy Implantaten im Vergleich zu einer sub- oder äquikrestalen Platzierung zu einem statistisch signifikant geringeren Bone Remodeling führte.

Da es sich um eine retrospektive Studie mit Untersuchungsgruppen unterschiedlicher Stichprobengrößen handelt, ist eine Verifizierung der Ergebnisse in einer prospektiven randomisierten klinischen Studie empfohlen.

6 Literaturverzeichnis

1. Al-Ekrish, A. A., Widmann, G. and Alfadda, S. A. (2018) 'Revised, Computed Tomography-Based Lekholm and Zarb Jawbone Quality Classification.', *The International journal of prosthodontics*. United States, 31(4), pp. 342–345. doi: 10.11607/ijp.5714.
2. Al-Sawai, A.-A. and Labib, H. (2016) 'Success of immediate loading implants compared to conventionally-loaded implants: a literature review.', *Journal of investigative and clinical dentistry*. Australia, 7(3), pp. 217–224. doi: 10.1111/jicd.12152.
3. Albrektsson, T. *et al.* (1986) 'The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success.', *The International journal of oral & maxillofacial implants*, 1(1), pp. 11–25. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3527955>.
4. Alghamdi, H. S. (2018) 'Methods to Improve Osseointegration of Dental Implants in Low Quality (Type-IV) Bone: An Overview.', *Journal of functional biomaterials*, 9(1). doi: 10.3390/jfb9010007.
5. Alonso-González, R. *et al.* (2012) 'Marginal bone loss in relation to platform switching implant insertion depth: An update.', *Journal of clinical and experimental dentistry*, 4(3), pp. e173-9. doi: 10.4317/jced.50743.
6. Al Amri, M. D. *et al.* (2017) 'Soft tissue changes and crestal bone loss around platform-switched implants placed at crestal and subcrestal levels: 36-month results from a prospective split-mouth clinical trial', *Clinical Oral Implants Research*, 28(11), pp. 1342–1347. doi: 10.1111/clr.12990.
7. Andreiotelli, M. and Kohal, R.-J. (2009) 'Fracture strength of zirconia implants after artificial aging.', *Clinical implant dentistry and related research*. United States, 11(2), pp. 158–166. doi: 10.1111/j.1708-8208.2008.00105.x.
8. Annibali, S. *et al.* (2012) 'Usefulness of the aesthetic result as a success criterion for implant therapy: a review.', *Clinical implant dentistry and related research*. United States, 14(1), pp. 3–40. doi: 10.1111/j.1708-

8208.2009.00234.x.

9. Araújo, M. G. *et al.* (2005) 'Ridge alterations following implant placement in fresh extraction sockets: an experimental study in the dog.', *Journal of clinical periodontology*. United States, 32(6), pp. 645–652. doi: 10.1111/j.1600-051X.2005.00726.x.
10. Araújo, M. G. and Lindhe, J. (2005) 'Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog.', *Journal of clinical periodontology*. United States, 32(2), pp. 212–218. doi: 10.1111/j.1600-051X.2005.00642.x.
11. Becker, K. *et al.* (2017) 'Three-dimensional assessment of crestal bone levels at titanium implants with different abutment microstructures and insertion depths using micro-computed tomography', *Clinical Oral Implants Research*, 28(6), pp. 671–676. doi: 10.1111/clr.12860.
12. Belser, U. C. *et al.* (2009) 'Outcome evaluation of early placed maxillary anterior single-tooth implants using objective esthetic criteria: a cross-sectional, retrospective study in 45 patients with a 2- to 4-year follow-up using pink and white esthetic scores.', *Journal of periodontology*. United States, 80(1), pp. 140–151. doi: 10.1902/jop.2009.080435.
13. Berglundh, T., Persson, L. and Klinge, B. (2002) 'A systematic review of the incidence of biological and technical complications in implant dentistry reported in prospective longitudinal studies of at least 5 years.', *Journal of clinical periodontology*. United States, 29 Suppl 3, pp. 193–197. doi: 10.1034/j.1600-051x.29.s3.12.x.
14. Bilhan, H. *et al.* (2011) 'The evaluation of the success of immediately placed single implants: A retrospective clinical study', *Implant Dentistry*, 20(3), pp. 215–225. doi: 10.1097/ID.0b013e3182181ee6.
15. Bischof, M. *et al.* (2004) 'Implant stability measurement of delayed and immediately loaded implants during healing.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 15(5), pp. 529–539. doi: 10.1111/j.1600-0501.2004.01042.x.
16. Blahout, R. M. S. *et al.* (2007) 'Quantification of bone resorption in the interforaminal region of the atrophic mandible.', *The International journal of*

- oral & maxillofacial implants*. United States, 22(4), pp. 609–615.
17. Brånemark, P. I. (1983) 'Osseointegration and its experimental background.', *The Journal of prosthetic dentistry*. United States, 50(3), pp. 399–410. doi: 10.1016/s0022-3913(83)80101-2.
 18. Broggin, N. *et al.* (2003) 'Persistent acute inflammation at the implant-abutment interface.', *Journal of dental research*. United States, 82(3), pp. 232–237. doi: 10.1177/154405910308200316.
 19. Broggin, N. *et al.* (2006) 'Peri-implant inflammation defined by the implant-abutment interface.', *Journal of dental research*. United States, 85(5), pp. 473–478. doi: 10.1177/154405910608500515.
 20. Buch, R. S., Weibrich, G. and Wagner, W. (2003) 'Criteria of success in implantology', *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie : MKG*, 7(1), pp. 42–46. doi: 10.1007/s10006-002-0432-1.
 21. Buser, D. *et al.* (2017) 'Implant placement post extraction in esthetic single tooth sites: when immediate, when early, when late?', *Periodontology 2000*, 73(1), pp. 84–102. doi: 10.1111/prd.12170.
 22. Buser, D., Weber, H. P. and Lang, N. P. (1990) 'Tissue integration of non-submerged implants. 1-year results of a prospective study with 100 ITI hollow-cylinder and hollow-screw implants.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 1(1), pp. 33–40. doi: 10.1034/j.1600-0501.1990.010105.x.
 23. Calvo-Guirado, J. L. *et al.* (2014) 'Crestal bone loss related to immediate implants in crestal and subcrestal position: A pilot study in dogs', *Clinical Oral Implants Research*, 25(11), pp. 1286–1294. doi: 10.1111/clr.12267.
 24. Cannizzaro, G. *et al.* (2012) 'Immediate loading of single implants inserted flapless with medium or high insertion torque: a 6-month follow-up of a split-mouth randomised controlled trial.', *European journal of oral implantology*. England, 5(4), pp. 333–342.
 25. Cappiello, M. *et al.* (2008) 'Evaluation of peri-implant bone loss around platform-switched implants.', *The International journal of periodontics & restorative dentistry*. United States, 28(4), pp. 347–355.
 26. Chen, J. *et al.* (2019) 'Immediate versus early or conventional loading dental implants with fixed prostheses: A systematic review and meta-

- analysis of randomized controlled clinical trials', *Journal of Prosthetic Dentistry*. The Authors, 122(6), pp. 516–536. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.05.013.
27. Cochran, D. L. *et al.* (2009) 'Bone response to loaded implants with non-matching implant-abutment diameters in the canine mandible.', *Journal of periodontology*. United States, 80(4), pp. 609–617. doi: 10.1902/jop.2009.080323.
 28. Covani, U. *et al.* (2004) 'Immediate implants supporting single crown restoration: a 4-year prospective study.', *Journal of periodontology*. United States, 75(7), pp. 982–988. doi: 10.1902/jop.2004.75.7.982.
 29. Covani, U., Cornelini, R. and Barone, A. (2003) 'Bucco-lingual bone remodeling around implants placed into immediate extraction sockets: a case series.', *Journal of periodontology*. United States, 74(2), pp. 268–273. doi: 10.1902/jop.2003.74.2.268.
 30. Cumbo, C. *et al.* (2013) 'Implant platform switching concept: a literature review.', *European review for medical and pharmacological sciences*. Italy, 17(3), pp. 392–397.
 31. Davies, J. E. (2003) 'Understanding peri-implant endosseous healing.', *Journal of dental education*. United States, 67(8), pp. 932–949.
 32. Davies, J. E. (2007) 'Bone bonding at natural and biomaterial surfaces.', *Biomaterials*. Netherlands, 28(34), pp. 5058–5067. doi: 10.1016/j.biomaterials.2007.07.049.
 33. Degidi, M. *et al.* (2011) 'Equicrestal and subcrestal dental implants: a histologic and histomorphometric evaluation of nine retrieved human implants.', *Journal of periodontology*. United States, 82(5), pp. 708–715. doi: 10.1902/jop.2010.100450.
 34. Dias, D. R. *et al.* (2015) 'The effect of marginal bone level changes on the stability of dental implants in a short-term evaluation.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 26(10), pp. 1185–1190. doi: 10.1111/clr.12426.
 35. Díaz-Sánchez, M. *et al.* (2019) 'Influence of supracrestal tissue attachment thickness on radiographic bone level around dental implants: A systematic review and meta-analysis.', *Journal of periodontal research*. United States,

- 54(6), pp. 573–588. doi: 10.1111/jre.12663.
36. van Eekeren, P., Tahmaseb, A. and Wismeijer, D. (2016) 'Crestal bone changes in macrogeometrically similar implants with the implant-abutment connection at the crestal bone level or 2.5 mm above: a prospective randomized clinical trial.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 27(12), pp. 1479–1484. doi: 10.1111/clr.12581.
 37. Ercoli, C. *et al.* (2017) 'Influence of Apico-Coronal Implant Placement on Post-Surgical Crestal Bone Loss in Humans.', *Journal of periodontology*. United States, 88(8), pp. 762–770. doi: 10.1902/jop.2017.160802.
 38. Esposito, M. *et al.* (1998a) 'Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants. (I). Success criteria and epidemiology.', *European journal of oral sciences*. England, 106(1), pp. 527–551. doi: 10.1046/j.0909-8836..t01-2-.x.
 39. Esposito, M. *et al.* (1998b) 'Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants. (II). Etiopathogenesis.', *European journal of oral sciences*. England, 106(3), pp. 721–764. doi: 10.1046/j.0909-8836..t01-6-.x.
 40. Farré-Pagès, N. *et al.* (2011) 'Relation between bone density and primary implant stability', *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 16(1), pp. 62–67. doi: 10.4317/medoral.16.e62.
 41. Filho, L. C. M. *et al.* (2014) 'Assessment of the correlation between insertion torque and resonance frequency analysis of implants placed in bone tissue of different densities.', *The Journal of oral implantology*. United States, 40(3), pp. 259–262. doi: 10.1563/AAID-JOI-D-11-00183.
 42. Fürhauser, R. *et al.* (2005) 'Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 16(6), pp. 639–644. doi: 10.1111/j.1600-0501.2005.01193.x.
 43. Gómez-Polo, M. *et al.* (2016) 'Does Length, Diameter, or Bone Quality Affect Primary and Secondary Stability in Self-Tapping Dental Implants?', *Journal of oral and maxillofacial surgery: official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*. United States, 74(7), pp. 1344–1353. doi: 10.1016/j.joms.2016.03.011.

44. Gutwald, R., Gellrich, N.-C. and Schmelzeisen, R. (2018) *Zahnärztliche Chirurgie und Implantologie*. 3. überarb. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag.
45. Hämmerle, C. H. F., Araújo, M. G. and Simion, M. (2012) 'Evidence-based knowledge on the biology and treatment of extraction sockets.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 23 Suppl 5, pp. 80–82. doi: 10.1111/j.1600-0501.2011.02370.x.
46. Hanawa, T. (2020) 'Zirconia versus titanium in dentistry: A review.', *Dental materials journal*. Japan, 39(1), pp. 24–36. doi: 10.4012/dmj.2019-172.
47. Hartman, G. A. and Cochran, D. L. (2004) 'Initial implant position determines the magnitude of crestal bone remodeling.', *Journal of periodontology*. United States, 75(4), pp. 572–577. doi: 10.1902/jop.2004.75.4.572.
48. Hermann, J. S. *et al.* (2000) 'Crestal bone changes around titanium implants. A histometric evaluation of unloaded non-submerged and submerged implants in the canine mandible.', *Journal of periodontology*. United States, 71(9), pp. 1412–1424. doi: 10.1902/jop.2000.71.9.1412.
49. Hermann, J. S., Buser, D., *et al.* (2001) 'Biologic Width around one- and two-piece titanium implants.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 12(6), pp. 559–571. doi: 10.1034/j.1600-0501.2001.120603.x.
50. Hermann, J. S., Schoolfield, J. D., Nummikoski, P. V., *et al.* (2001) 'Crestal bone changes around titanium implants: a methodologic study comparing linear radiographic with histometric measurements.', *The International journal of oral & maxillofacial implants*. United States, 16(4), pp. 475–485.
51. Hermann, J. S., Schoolfield, J. D., Schenk, R. K., *et al.* (2001) 'Influence of the size of the microgap on crestal bone changes around titanium implants. A histometric evaluation of unloaded non-submerged implants in the canine mandible.', *Journal of periodontology*. United States, 72(10), pp. 1372–1383. doi: 10.1902/jop.2001.72.10.1372.
52. Jahn, M. and D'Hoedt, B. (1992) 'Zur Definition des Erfolges bei dentalen Implantaten. Ein Vergleich verschiedener Kriterien.', *Zahnärztliche Implantologie*, 8, pp. 221–226.
53. Jang, H.-W. *et al.* (2011) 'A retrospective study on related factors affecting

- the survival rate of dental implants.', *The journal of advanced prosthodontics*, 3(4), pp. 204–215. doi: 10.4047/jap.2011.3.4.204.
54. Jemat, A. *et al.* (2015) 'Surface Modifications and Their Effects on Titanium Dental Implants.', *BioMed research international*, 2015, p. 791725. doi: 10.1155/2015/791725.
 55. Jeong, K.-I. *et al.* (2013) 'Consideration of various bone quality evaluation methods.', *Implant dentistry*. United States, 22(1), pp. 55–59. doi: 10.1097/ID.0b013e31827778d9.
 56. Jung, R., Pjetursson, B., *et al.* (2008) 'A systematic review of the 5-year survival and complication rates of implant-supported single crowns', *Clinical Oral Implants Research*, 19(2), pp. 119–130. doi: 10.1111/j.1600-0501.2007.01453.x.
 57. Jung, R., Jones, A. A., *et al.* (2008) 'The influence of non-matching implant and abutment diameters on radiographic crestal bone levels in dogs.', *Journal of periodontology*. United States, 79(2), pp. 260–270. doi: 10.1902/jop.2008.070132.
 58. Kawai, Y. *et al.* (2011) 'Phase transformation of zirconia ceramics by hydrothermal degradation.', *Dental materials journal*. Japan, 30(3), pp. 286–292. doi: 10.4012/dmj.2010-175.
 59. Kim, Y.-T. *et al.* (2017) 'Marginal bone level changes in association with different vertical implant positions: a 3-year retrospective study.', *Journal of periodontal & implant science*, 47(4), pp. 231–239. doi: 10.5051/jpis.2017.47.4.231.
 60. Koutouzis, T. *et al.* (2013) 'Placement of implants with platform-switched Morse taper connections with the implant-abutment interface at different levels in relation to the alveolar crest: a short-term (1-year) randomized prospective controlled clinical trial.', *The International journal of oral & maxillofacial implants*. United States, 28(6), pp. 1553–1563. doi: 10.11607/jomi.3184.
 61. Kütan, E. *et al.* (2015) 'Clinical and Radiographic Evaluation of Marginal Bone Changes around Platform-Switching Implants Placed in Crestal or Subcrestal Positions: A Randomized Controlled Clinical Trial', *Clinical*

- Implant Dentistry and Related Research*, 17, pp. e364–e375. doi: 10.1111/cid.12248.
62. Lang, N. P. and Lindhe, J. (2015) *Clinical Periodontology and Implant Dentistry*. 6. Auflage. Chichester: Wiley Blackwell.
 63. Lazzara, R. J. and Porter, S. S. (2006) 'Platform switching: a new concept in implant dentistry for controlling postrestorative crestal bone levels.', *The International journal of periodontics & restorative dentistry*. United States, 26(1), pp. 9–17.
 64. Linkevicius, T. *et al.* (2009a) 'Reaction of crestal bone around implants depending on mucosal tissue thickness. A 1-year prospective clinical study.', *Stomatologija*. Lithuania, 11(3), pp. 83–91.
 65. Linkevicius, T. *et al.* (2009b) 'The influence of soft tissue thickness on crestal bone changes around implants: a 1-year prospective controlled clinical trial.', *The International journal of oral & maxillofacial implants*. United States, 24(4), pp. 712–719.
 66. Linkevicius, T. *et al.* (2015) 'Influence of Vertical Soft Tissue Thickness on Crestal Bone Changes Around Implants with Platform Switching: A Comparative Clinical Study.', *Clinical implant dentistry and related research*. United States, 17(6), pp. 1228–1236. doi: 10.1111/cid.12222.
 67. Lombardo, G. *et al.* (2014) 'The impact of subcrestal placement on short locking-taper implants placed in posterior maxilla and mandible: a retrospective evaluation on hard and soft tissues stability after 2 years of loading.', *Minerva stomatologica*. Italy, 63(11–12), pp. 391–402.
 68. Lorenzoni, M. (1999) *Die implantatprothetische Versorgung des Oberkieferseitenzahnbereiches unter besonderer Berücksichtigung der Sinus Augmentation*. Karl-Franzens-Universität.
 69. Maeda, Y. *et al.* (2007) 'Biomechanical analysis on platform switching: is there any biomechanical rationale?', *Clinical oral implants research*. Denmark, 18(5), pp. 581–584. doi: 10.1111/j.1600-0501.2007.01398.x.
 70. Martinez, H. *et al.* (2001) 'Optimal implant stabilization in low density bone.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 12(5), pp. 423–432. doi: 10.1034/j.1600-0501.2001.120501.x.

71. Meijer, H. J. A. *et al.* (2005) 'A new index for rating aesthetics of implant-supported single crowns and adjacent soft tissues--the Implant Crown Aesthetic Index.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 16(6), pp. 645–649. doi: 10.1111/j.1600-0501.2005.01128.x.
72. Mendonça, G. *et al.* (2008) 'Advancing dental implant surface technology - From micron- to nanotopography', *Biomaterials*, 29(28), pp. 3822–3835. doi: 10.1016/j.biomaterials.2008.05.012.
73. Meng, H.-W., Chien, E. Y. and Chien, H.-H. (2016) 'Dental implant bioactive surface modifications and their effects on osseointegration: a review.', *Biomarker research*, 4, p. 24. doi: 10.1186/s40364-016-0078-z.
74. Meredith, N. (1998) 'Stability as a Prognostic', *The International Journal of Prosthodontics*, 11(5), pp. 491–502.
75. Misch, C. E. *et al.* (2008) 'Implant success, survival, and failure: the International Congress of Oral Implantologists (ICOI) Pisa Consensus Conference.', *Implant dentistry*. United States, 17(1), pp. 5–15. doi: 10.1097/ID.0b013e3181676059.
76. Mitsias, M. *et al.* (2018) 'Immediate, early (6 weeks) and delayed loading (3 months) of single, partial and full fixed implant supported prostheses: 1-year post-loading data from a multicentre randomised controlled trial.', *European journal of oral implantology*. England, 11(1), pp. 63–75.
77. de Moraes Rego, M. R. *et al.* (2015) 'Osseointegrated implants placed at supracrestal level may harbour higher counts of *A. gerencseriae* and *S. constellatus* - a randomized, controlled pilot study.', *Journal of oral microbiology*, 7, p. 27685. doi: 10.3402/jom.v7.27685.
78. Naert, I. *et al.* (1992) 'A six-year prosthodontic study of 509 consecutively inserted implants for the treatment of partial edentulism.', *The Journal of prosthetic dentistry*. United States, 67(2), pp. 236–245. doi: 10.1016/0022-3913(92)90461-i.
79. Nedir, R. *et al.* (2004) 'Predicting osseointegration by means of implant primary stability.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 15(5), pp. 520–528. doi: 10.1111/j.1600-0501.2004.01059.x.
80. Negri, B. *et al.* (2012) 'Peri-implant bone reactions to immediate implants

- placed at different levels in relation to crestal bone. Part I: a pilot study in dogs.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 23(2), pp. 228–235. doi: 10.1111/j.1600-0501.2011.02158.x.
81. Palacios-Garzón, N., Velasco-Ortega, E. and López-López, J. (2019) 'Bone Loss in Implants Placed at Subcrestal and Crestal Level: A Systematic Review and Meta-Analysis.', *Materials (Basel, Switzerland)*, 12(1). doi: 10.3390/ma12010154.
 82. Pan, Y. H. *et al.* (2019) 'Evaluation of the Peri-Implant Bone Level around Platform-Switched Dental Implants: A Retrospective 3-Year Radiographic Study.', *International journal of environmental research and public health*, 16(14). doi: 10.3390/ijerph16142570.
 83. Paolantonio, M. *et al.* (2001) 'and Histological Study in Man', *Journal Periodontology*, 72(11), pp. 1560–1571.
 84. Papaspyridakos, P. *et al.* (2012) 'Success criteria in implant dentistry: A systematic review', *Journal of Dental Research*, 91(3), pp. 242–248. doi: 10.1177/0022034511431252.
 85. Payer, M. *et al.* (2015) 'All-ceramic restoration of zirconia two-piece implants--a randomized controlled clinical trial.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 26(4), pp. 371–376. doi: 10.1111/clr.12342.
 86. Pellegrini, G. *et al.* (2018) 'Novel surfaces and osseointegration in implant dentistry.', *Journal of investigative and clinical dentistry*. Australia, 9(4), p. e12349. doi: 10.1111/jicd.12349.
 87. Pellicer-Chover, H. *et al.* (2016) 'Impact of crestal and subcrestal implant placement in peri-implant bone: A prospective comparative study.', *Medicina oral, patología oral y cirugía bucal*, 21(1), pp. e103-10. doi: 10.4317/medoral.20747.
 88. Piattelli, A. *et al.* (2003) 'Role of the Microgap Between Implant and Abutment: A Retrospective Histologic Evaluation in Monkeys', *Journal of Periodontology*, 74(3), pp. 346–352. doi: 10.1902/jop.2003.74.3.346.
 89. Pico, A. *et al.* (2019) 'Influence of abutment height and implant depth position on interproximal peri-implant bone in sites with thin mucosa: A 1-year randomized clinical trial.', *Clinical oral implants research*. Denmark,

- 30(7), pp. 595–602. doi: 10.1111/clr.13443.
90. Pjetursson, B. E. *et al.* (2004) 'A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years IV. Cantilever or extension FPDs', *Clinical Oral Implants Research*, 15(6), pp. 667–676. doi: 10.1111/j.1600-0501.2004.01120.x.
 91. Pjetursson, B. E. *et al.* (2007) 'A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part I: Single crowns.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 18 Suppl 3, pp. 73–85. doi: 10.1111/j.1600-0501.2007.01467.x.
 92. Pontes, A. E. F. *et al.* (2008) 'Biologic width changes around loaded implants inserted in different levels in relation to crestal bone: histometric evaluation in canine mandible.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 19(5), pp. 483–490. doi: 10.1111/j.1600-0501.2007.01506.x.
 93. Ribeiro-Rotta, R. F. *et al.* (2011) 'Ambiguity in bone tissue characteristics as presented in studies on dental implant planning and placement: a systematic review.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 22(8), pp. 789–801. doi: 10.1111/j.1600-0501.2010.02041.x.
 94. Romanos, G. E. *et al.* (2015) 'Long-term results after subcrestal or crestal placement of delayed loaded implants', *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 17(1), pp. 133–141. doi: 10.1111/cid.12084.
 95. Saleh, M. H. A. *et al.* (2018) 'The effect of implant-abutment junction position on crestal bone loss: A systematic review and meta-analysis.', *Clinical implant dentistry and related research*. United States, 20(4), pp. 617–633. doi: 10.1111/cid.12600.
 96. Sanz, M. *et al.* (2010) 'A prospective, randomized-controlled clinical trial to evaluate bone preservation using implants with different geometry placed into extraction sockets in the maxilla.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 21(1), pp. 13–21. doi: 10.1111/j.1600-0501.2009.01824.x.
 97. Schneider, G. B. *et al.* (2003) 'Implant surface roughness affects osteoblast gene expression.', *Journal of dental research*. United States, 82(5), pp.

- 372–376. doi: 10.1177/154405910308200509.
98. Schropp, L. *et al.* (2003) 'Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study.', *The International journal of periodontics & restorative dentistry*. United States, 23(4), pp. 313–323.
99. Schropp, L. (2004) 'Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: A clinical and radiographic 12-month prospective study', *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 91(1), p. 92. doi: 10.1016/j.prosdent.2003.10.022.
100. Schwenzer, N. and Ehrenfeld, M. (2019) *Zahnärztliche Chirurgie*. 5. unverän. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
101. Silbernagl, S. and Lang, F. (2013) *Taschenatlas Pathophysiologie*. 4. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
102. Singla, S. *et al.* (2015) 'Platform switching : A step away from the gap', 3(1), pp. 1–9.
103. de Siqueira, R. A. C. *et al.* (2017) 'Effect of different implant placement depths on crestal bone levels and soft tissue behavior: a randomized clinical trial.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 28(10), pp. 1227–1233. doi: 10.1111/clr.12946.
104. de Siqueira, R. A. C. *et al.* (2020) 'Effect of different implant placement depths on crestal bone levels and soft tissue behavior: A 5-year randomized clinical trial', *Clinical Oral Implants Research*, 31(3), pp. 282–293. doi: 10.1111/clr.13569.
105. Steigenga, J. T. *et al.* (2003) 'Dental implant design and its relationship to long-term implant success.', *Implant dentistry*. United States, 12(4), pp. 306–317. doi: 10.1097/01.id.0000091140.76130.a1.
106. Strub, J. R. *et al.* (2010) *Curriculum Prothetik Band 3*. 4. überarb. Berlin: Quintessenz Verlag.
107. Suárez-López del Amo, F. *et al.* (2016) 'Influence of Soft Tissue Thickness on Peri-Implant Marginal Bone Loss: A Systematic Review and Meta-Analysis', *Journal of Periodontology*, 87(6), pp. 690–699. doi: 10.1902/jop.2016.150571.

108. Tomasi, C. *et al.* (2010) 'Bone dimensional variations at implants placed in fresh extraction sockets: a multilevel multivariate analysis.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 21(1), pp. 30–36. doi: 10.1111/j.1600-0501.2009.01848.x.
109. Triches, D. F. *et al.* (2019) 'Relation between insertion torque and tactile, visual, and rescaled gray value measures of bone quality: a cross-sectional clinical study with short implants.', *International journal of implant dentistry*, 5(1), p. 9. doi: 10.1186/s40729-019-0158-6.
110. Turkyilmaz, I. *et al.* (2006) 'Stability and marginal bone level measurements of unsplinted implants used for mandibular overdentures: a 1-year randomized prospective clinical study comparing early and conventional loading protocols.', *Clinical oral implants research*. Denmark, 17(5), pp. 501–505. doi: 10.1111/j.1600-0501.2006.01261.x.
111. Valles, C. *et al.* (2018) 'Influence of subcrestal implant placement compared with equicrestal position on the peri-implant hard and soft tissues around platform-switched implants: a systematic review and meta-analysis', *Clinical Oral Investigations*. Clinical Oral Investigations, 22(2), pp. 555–570. doi: 10.1007/s00784-017-2301-1.
112. Veis, A. *et al.* (2010) 'Evaluation of peri-implant marginal bone loss using modified abutment connections at various crestal level placements.', *The International journal of periodontics & restorative dentistry*, 30(6), pp. 609–17. doi: 10.11607/prd.00.0952.
113. Villa, R. and Rangert, B. (2005) 'Early Loading of Interforaminal Implants Immediately Installed after Extraction of Teeth Presenting Endodontic and Periodontal Lesions', *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 7(s1), pp. s28–s35. doi: 10.1111/j.1708-8208.2005.tb00072.x.
114. Vogl, S. *et al.* (2019) 'Immediate occlusal vs nonocclusal loading of implants: A randomized prospective clinical pilot study and patient centered outcome after 36 months', *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 21(4), pp. 766–774. doi: 10.1111/cid.12770.
115. Weng, D. *et al.* (2008) 'Influence of microgap location and configuration on the periimplant bone morphology in submerged implants. An experimental

- study in dogs.’, *Clinical oral implants research*. Denmark, 19(11), pp. 1141–1147. doi: 10.1111/j.1600-0501.2008.01564.x.
116. von Wilmsky, C. *et al.* (2014) ‘Implants in bone: Part II. Research on implant osseointegration: Material testing, mechanical testing, imaging and histoanalytical methods’, *Oral and Maxillofacial Surgery*, 18(4), pp. 355–372. doi: 10.1007/s10006-013-0397-2.
117. Yi, J.-M. *et al.* (2010) ‘Marginal bony changes in relation to different vertical positions of dental implants.’, *Journal of periodontal & implant science*, 40(5), pp. 244–248. doi: 10.5051/jpis.2010.40.5.244.
118. Zhu, Y. *et al.* (2015) ‘Clinical efficacy of early loading versus conventional loading of dental implants’, *Scientific Reports*, 5, pp. 1–10. doi: 10.1038/srep15995.