

Aus der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
- Plastische Operationen -
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

OsseoSpeed™ Profile EV Implantate
im schräg atrophierten Kieferkamm

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Marissa Anna Heßler
aus Mainz

Mainz, 2021

Tag der Promotion:

07. Dezember 2021

Meinen Eltern in großer Dankbarkeit

Inhaltsverzeichnis

I	Abkürzungsverzeichnis.....	6
II	Abbildungsverzeichnis.....	6
III	Tabellenverzeichnis.....	7
1	Einleitung.....	8
1.1	Fragestellung	10
2	Literaturdiskussion.....	11
2.1	Historischer Überblick der Implantologie	11
2.2	Knochenheilung nach Zahnextraktion.....	13
2.3	Implantationszeitpunkte und Auswirkungen auf die Kammresorption	16
2.4	Problematik der Implantation im schräg atrophierten Kieferkamm	17
2.5	Literaturübersicht zu nicht rotationssymmetrischen Implantatsystemen..	18
2.5.1	Tübinger Sofortimplantat	18
2.5.2	Nobel Perfect™ (Nobel Biocare)	19
2.5.3	BPI Implantat (BPI GmbH & Co. KG)	20
2.5.4	ATIS OsseoSpeed™ Profile (Dentsply Sirona Implants).....	21
2.6	Eigenschaften von OsseoSpeed™ Profile EV Implantaten	22
2.6.1	OsseoSpeed™ Oberfläche.....	22
2.6.2	MicroThreads™	24
2.6.3	Conical Seal Design™.....	25
2.6.4	Connective Contour™	26
2.6.5	Dimensionen der OsseoSpeed™ Profile EV Implantate	27
3	Material und Methoden	29
3.1	Ein- und Ausschlusskriterien.....	29

3.2	Behandlungsprotokoll	30
3.3	Untersuchungsparameter	35
4	Ergebnisse	39
4.1	Deskriptive Statistik.....	39
4.2	Implantatüberleben	41
4.3	Marginales Knochenniveau.....	41
4.4	Weichgewebeästhetik.....	43
4.5	Breite der keratinisierten Mukosa	43
4.6	Hygieneindices.....	44
4.7	Implantaterfolgsrate	45
4.8	Korrelationen zwischen den Parametern	46
4.9	Subgruppenanalysen	48
5	Klinische Fallbeispiele	51
6	Diskussion	54
6.1	Studiendesign	54
6.2	Ergebnisse	57
6.3	Schlussfolgerung	69
7	Zusammenfassung	70
8	Literaturverzeichnis.....	71

I Abkürzungsverzeichnis

API	Approximaler Plaqueindex
BOP	Bleeding-on-probing (Blutungsindex)
CBCT	Cone Beam Computertomographie
DVT	Digitale Volumentomographie
KM	Keratinisierte Mukosa
Min	Minimum
Max	Maximum
Mdn	Median
mm	Millimeter
Ncm	Newtonzentimeter
PES	Pink Esthetic Score
SBI	Sulkusblutungsindex
SD	Standard Deviation (Standardabweichung)
SLA	Sandblasting with large grit followed by acid etching
ST	Sondierungstiefe

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Tübinger Sofortimplantat; Quelle: Prof. Dr. Dr. Wagner, Mainz (links), Albrektsson et al. (Albrektsson T, Zarb G et al. 1986) (rechts).....	18
Abbildung 2 Schematische Darstellung der girlandenförmigen Implantatschulter des Nobel Perfect™ Implantates; Quelle: Kan et al. (Kan, Rungcharassaeng et al. 2007).....	19
Abbildung 3 BPI Implantat; Quelle: https://www.spotimplant.com/fr/implants-dentaire/bpi-biologisch-physikalische-implantate/csl (SpotImplant 2020)	20
Abbildung 4 Schematische Darstellung der unterschiedlichen Generationen des OsseoSpeed™ Profile Implantates. Quellen: (Noelken, Oberhansl et al. 2016) und Broschüren des Herstellers	21
Abbildung 5 Schematische Darstellung der unterschiedlichen Höhendifferenzen der Implantatschulter je nach Durchmesser und Form des Implantates; Quelle: Broschüre des Herstellers	28
Abbildung 6 Vergleich der Innenverbindungen im OsseoSpeed™ TX (links) und OsseoSpeed™ Profile EV Implantat (rechts); Quelle: Dr. Nölken, Lindau.....	28
Abbildung 7 Flussdiagramm zur Auswahl der in die Untersuchung eingeschlossenen Implantate	30
Abbildung 8 Variablen des Pink Esthetic Score nach Fürhauser; Quelle: Fürhauser et al. (Fürhauser, Florescu et al. 2005).....	36

Abbildung 9 Veränderung des marginalen Knochenniveaus in Relation zur Implantatschulter zu den verschiedenen Nachuntersuchungszeitpunkten (\pm 3 Monate)	42
Abbildung 10 Breite der keratinisierten Mukosa zu den verschiedenen Kontrollintervallen.....	43
Abbildung 11 Kumulative Erfolgsrate (in %) nach den erweiterten Erfolgskriterien nach Buser (125) .	45
Abbildung 12 Streudiagramm zur Korrelation von Zeitverlauf bis zur Kontrolle und marginalem Knochenniveau in Relation zur Implantatschulter; Gerade zeigt die lineare Regression	47
Abbildung 13 Streudiagramm zur Korrelation von Zeitverlauf bis zur Kontrolle und Pink Esthetic Score (PES); Gerade zeigt die lineare Regression.....	47
Abbildung 14 Streudiagramm zur Korrelation von Zeitverlauf bis zur Kontrolle und Breite der befestigten Gingiva; Gerade zeigt die lineare Regression	47
Abbildung 15 Streudiagramm zur Korrelation von marginalem Knochenniveau in Relation zur Implantatschulter und Pink Esthetic Score (PES); Gerade zeigt die lineare Regression	48
Abbildung 16 Vergleich des marginalen Knochenniveaus in Relation zur Implantatschulter bei Rauchern und Nichtrauchern	49
Abbildung 17 Vergleich der Verteilung des PES bei Rauchern und Nichtrauchern	49

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Dimensionen der OsseoSpeed™ Profile EV Implantate	28
Tabelle 2 Erläuterung des Pink Esthetic Score (PES)	36
Tabelle 3 Verteilung der Implantatlokalisierung	39
Tabelle 4 Verteilung der Indikation pro Implantat und Patient	40
Tabelle 5 Verteilung der Implantatlängen und -durchmesser	40
Tabelle 6 Marginales Knochenniveau (in mm) nach Implantation versus bei finaler Kontrolle	42
Tabelle 7 Durchschnittliche Variablen des PES	43
Tabelle 8 Vergleich der Sondierungstiefen nach Messpunkten	45
Tabelle 9 Korrelationskoeffizienten und p-Werte nach Pearson	46

1 Einleitung

Das Einsetzen von dentalen Implantaten in den Kieferknochen ermöglicht die Verankerung von herausnehmbarem oder feststehendem Zahnersatz. Um einen Langzeiterfolg zu erzielen sollte der vorhandene ortsständige Knochen erhalten und durch das Implantatdesign unterstützt werden. Daher ist präoperativ die intraorale und radiologische Evaluierung des vertikalen und horizontalen Knochenangebots für die Implantatplanung entscheidend. Häufig wird hier eine Reduktion des Alveolarknochens beobachtet, die durch verschiedene Faktoren beeinflusst wird.

Ein Knochendefekt oder -abbau kann bereits vor der Zahnextraktion vorhanden oder auch der Grund für die Zahnentfernung gewesen sein. Hierzu gehören der Kiefersubstanzverlust durch ein Zahntrauma oder durch periradikuläre Entzündungen, die durch endodontische oder parodontale Erkrankungen ausgelöst wurden. Weiter ist häufig in der Frontzahnregion auch beim gesunden Zahn an der fazialen Seite nur eine sehr dünne oder gar keine Knochenlamelle vorhanden. Aber auch im Rahmen der chirurgischen Zahnentfernung kann es zur Reduktion des Alveolarkammes oder zu traumatischen Schäden des Kieferknochens kommen. Bei der Luxation des Zahnes kann z. B. die bukkale Knochenlamelle frakturieren oder bei der operativen Zahnentfernung chirurgisch herausgelöst werden.

Nach der Zahnentfernung zeichnet sich im Verlauf der Heilung eine weitere, durch den Funktionsverlust des Alveolarfortsatzes bedingte Knochenresorption ab (Cardaropoli, Araujo et al. 2003). Diese Knochenresorption ist bukkal ausgeprägter als lingual (Pietrokovski and Massler 1967, Schropp, Kostopoulos et al. 2003, Araujo and Lindhe 2005). Initial wird der dünne bukkale Bündelknochen, der für die funktionelle Verankerung des Zahnes verantwortlich war, vertikal resorbiert. In einer zweiten Phase wird das Gesamtvolumen des Alveolarkammes von außen vermindert. Die Resorption erfolgt meist rasch in den ersten drei bis sechs Monaten und verlangsamt sich danach (Tan, Wong et al. 2012). Hierdurch kann ein erheblicher Volumenverlust bis zu 50% des Kieferkammes entstehen (Schropp, Wenzel et al. 2003). Durch die Resorption, die bukkal in vertikaler und orovestibulärer Richtung ausgeprägter ist, resultiert oft ein von oral nach vestibulär abgesschrägter Kieferkamm mit einem durchschnittlichen Niveauunterschied von etwa 2 mm (Araujo and Lindhe 2005).

Der Großteil der am Markt befindlichen Implantate weist eine rotationssymmetrische Geometrie mit einer planen Implantatschulter auf. Dies mag zwar produktions- und ggf. auch behandlungstechnisch einfacher erscheinen, entspricht aber nicht der natürlichen Topographie des ausgeheilten und oft abgeschrägten Kieferkammes. Der Behandler steht oft vor der Herausforderung ein Implantat mit einer flachen Schulter in einem schräg abgeheilten Kieferkamm zu positionieren. Richtet er dazu die Implantatschulter auf das bukkale Knochenniveau aus, befindet sich das Implantat lingual subkrestal zum Kieferknochen. Dieser linguale Knochen wird in der Folge resorbieren, da hier keine funktionellen Kräfte eingeleitet werden. Richtet man das Implantat auf das linguale Knochenniveau aus, wird vestibulär Titanoberfläche exponiert sein und ggf. durch die Mukosa schimmern. Alternativ kann mit chirurgischem Mehraufwand Knochen in diesem Bereich augmentiert werden (Carmagnola, Araujo et al. 1999, Welander, Abrahamsson et al. 2009).

Um dieser Problematik und der natürlichen Topographie des Alveolarkammes gerecht zu werden, wurde ein abgeschrägtes Implantatdesign entwickelt, das auf der Grundform des Astra Tech Implantat System (ATIS) OsseoSpeed™ Implantates beruht und eine abgeschrägte Schulter mit ca. 1,5 mm Niveauunterschied aufweist. Dieses als OsseoSpeed™ Profile bezeichnete Implantat verfolgt das Ziel, sich an die natürliche Topographie des atrophierten Kieferkamms anzupassen. Dieses Implantatdesign wurde seit 2006 in tierexperimentellen und seit 2008 in klinischen Studien untersucht und 2011 in den Markt eingeführt. In den Studien konnte nachgewiesen werden, dass dieses Implantat in der Lage ist die natürliche abschrägte Topographie des Alveolarkammes zu erhalten (Abrahamsson, Welander et al. 2014, Noelken, Donati et al. 2014, Schiegnitz, Noelken et al. 2016).

Zur Optimierung der Primärstabilität und der Anwendbarkeit wurde das Implantatdesign in den letzten zehn Jahren weiterentwickelt. Die neueste Modifikation dieses Implantatdesigns trägt die Zusatzbezeichnung „Evolution“ (ATIS OsseoSpeed™ Profile EV). Der Durchmesser des Implantatkörpers, die Innenverbindung, das apikale Implantatdesign und die Breite des Platform Switches wurden verändert. Die Oberfläche, die konische Innenverbindung, die Art des Platform Switches und die marginalen Mikrorillen blieben als wichtige Systemmerkmale unverändert.

1.1 Fragestellung

Ziel dieser retrospektiven Untersuchung war es, den klinischen und radiologischen Erfolg von ATIS OsseoSpeed™ Profile EV Implantaten in einem Nachuntersuchungszeitraum von bis zu zwei Jahren nach Insertion in einen ausgeheilten, abgeschrägten Alveolarkamm zu untersuchen. Hierzu wurden die Überlebens- sowie Erfolgswahrscheinlichkeit, die marginale Knochenstabilität und die periimplantäre Weichgewebesituation betrachtet. Weiter sollten Einflüsse durch Rauchen und Versorgungsform (Einzelzahn- versus mehrgliedrige Versorgungen) evaluiert werden.

2 Literaturdiskussion

2.1 Historischer Überblick der Implantologie

In den Anfängen der Medizin waren die Behandlungsmöglichkeiten von Zähnen aufgrund von unzureichendem Wissen und mangelnder suffizienter Werkzeuge limitiert. Häufig war die einzige Therapieoption die Extraktion. Antike Funde bezeugen, dass schon sehr früh versucht wurde die resultierende Lücke künstlich zu versorgen. Hauptgrund für Zahnersatz war zunächst der Wunsch nach Ästhetik. Eine Wiederherstellung der Kaufunktion wurde erst viel später angestrebt.

Das erste medizingeschichtlich bekannte Zahnimplantat fanden Archäologen 1931 in einem Grab auf der Playa de Los Muertos im Ulloa Balley von Honduras (Sprang 2006). Das etwa 1400 Jahre alte Schädelfragment stammt von einer jungen Frau aus der Mayakultur. In der Unterkieferfrontzahnregion waren Muschelschalen als künstliche Zähne in die Alveolen eingesetzt worden. Zunächst wurde angenommen, dass dieser Zahnersatz im Sinne eines Begräbnisrituals inseriert worden war. Jedoch konnte Amadeo Bobbio, ein Professor für Implantologie an der Universität von Santos (Brasilien), 1972 röntgenologisch nachweisen, dass ein knöcherner Verbund zwischen Muschelimplantat und Knochen vorlag. Dies deutete darauf hin, dass die Muscheln zu Lebzeiten eingesetzt worden waren (Bobbio 1972). Andere Versuche fehlende Zähne zu ersetzen waren nicht als wirkliche Implantationen zu bezeichnen. Es handelte sich hauptsächlich um Trans- und Reimplantationen. Als Zahnersatz fanden neben menschlichen auch tierische Zähne und anorganische Materialien wie Elfenbein, Porzellan oder Perlmutter Verwendung (Strub 1994).

Gewindeförmige Implantate, wie sie noch heute klassischerweise inseriert werden, wurden erstmals von Strock 1939 entworfen (Strock 1939). Er entwickelte ein Implantat aus einer Cobalt-Chrom-Molybdän-Legierung, das einer Holzschraube sehr ähnlich war. Formiggini entwickelte diese als Heliokolloidal-Schrauben aus Tantal weiter und gilt seitdem als Vorreiter der modernen Implantologie (Formiggini 1947, Sprang 2006). Neben den Implantatschrauben entstand eine große Vielfalt von modifizierten Implantaten in verschiedenen Formen, welche einen verbesserten Halt zu erzielen versuchten (Weibrich and Al-Nawas 2001). Zunächst wurden nur schmale Blätter oder Schrauben mit geringem Durchmesser entwickelt, um die problematische Breite des stark resorbierten, schmalen Kieferkamms über die Länge zu kompensieren. Dazu gehörten unter anderem dreibeinige Nadelimplantate nach

Scialom (Scialom 1965) und das 1966 von Linkow propagierte Blattimplantat (Linkow and Mahler 1974). Letzteres erwies sich jedoch aufgrund der extendierten Kontaktfläche als entzündungsanfällig und hinterließ bei Entfernung einen großen Knochendefekt (Schwenzer 2000). Es wurde deshalb weitestgehend von zahnwurzelförmigen Implantaten wieder verdrängt.

Die wissenschaftliche Anerkennung und damit der große Durchbruch für die zahnärztliche Implantologie erfolgte durch Per-Ingvar Brånemark. Der Orthopäde entdeckte die Gewebeverträglichkeit von Titan im Rahmen von histologischen Untersuchungen am Kaninchenknochen, als ein Titanzylinder, der als Knochenfenster diente, nach einigen Monaten mit dem Knochen verwachsen war. In seiner Publikation von 1983 definierte er dieses Phänomen als Osseointegration (Brånemark 1983). Der Begriff beschreibt den „unter dem Lichtmikroskop sichtbaren, direkten funktionellen und strukturellen Verbund zwischen der Knochenmatrix und dem Titanimplantat“ (Brånemark, Zarb et al. 1985). André Schroeder konnte diesen Vorgang in histologischen Analysen von tierexperimentellen Studien ebenfalls nachweisen und beschrieb ihn als „funktionelle Ankylose“ (Wagner and Al-Nawas 2004). Zu den notwendigen Faktoren, welche eine verlässliche Osseointegration gewährleisten sollen, gehören die Biokompatibilität des Materials, das Implantatdesign, die Oberfläche, die Empfängerstelle, die chirurgische Operationstechnik sowie Zeitpunkt und Ausmaß der Belastung des Implantates (Albrektsson, Brånemark et al. 1981). Weiterhin entwickelte Brånemark ein weltweit anerkanntes, zweiphasiges Therapiekonzept zur Insertion von sterilen, zylindrischen Titanimplantaten mit genormtem Bohrinstrumentarium. 1965 wurde das Implantat erstmals klinisch eingesetzt (Watzek and Mailath-Pokorny 2000). Auch heute noch fertigt die Firma Nobel Biocare die nach dem Entwickler benannten Brånemark Implantate.

Parallel zu den neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen zum Werkstoff Titan forschten Prof. Schulte sowie Prof. Brinkmann Ende der 1980er Jahre an Aluminiumoxid-Keramiken als Werkstoff für das Implantat (Palti 2003). Bekannt als das Konzept der Tübinger Sofortimplantate, plädierte Schulte dafür möglichst direkt nach der Extraktion ein Implantat zu inserieren, um der Knochenresorption entgegenzuwirken (Schulte and Heimke 1976). Aufgrund der geringen Zugfestigkeit und deshalb höheren Frakturgefahr wurden die Keramikimplantate zunächst verdrängt. Jedoch sind sie seit dem Einsatz von Zirkoniumdioxid als Werkstoff heute

in Form von einteiligen oder zweiteiligen Zirkonoxidkeramik-Implantaten wieder zunehmend in Verwendung.

2.2 Knochenheilung nach Zahnextraktion

Nach Extraktion einzelner oder mehrerer Zähne treten ausgeprägte Resorptionen des Alveolarkammes sowohl in der Höhe als auch in der Breite auf. Dies wurde durch Tierexperimente und in klinischen Studien belegt.

In einer retrospektiven Studie beschrieben Pietrokovski und Massler (1967) die Alveolarkammresorption nach Einzelzahnextraktion beim Menschen. Mittels Überlagerung von Fotos von 149 Kiefermodellen konnten sie visuell die bukkolinguale Breite des ausgeheilten Alveolarkammes vermessen und mit der korrespondierenden bezahnten Seite vergleichen. Dabei stellten sie fest, dass der durchschnittliche Substanzverlust im Unterkiefer bukkal 3,5 mm, lingual hingegen nur 1,7 mm betrug. Im Oberkiefer betrug die bukkale Resorption 4,5 mm im Gegensatz zu 2,0 mm palatinal. Demnach war sowohl im Unter- als auch im Oberkiefer die bukkale Knochenresorption um etwa 2 mm ausgeprägter als im Bereich der oralen Kieferabschnitte (Pietrokovski and Massler 1967).

Den bukkal und oral unterschiedlich stark ausgeprägten Resorptionsgrad am Alveolarkamm nach Zahnextraktion konnten auch Araújo und Lindhe (2005) in einem Tierexperiment belegen. Dafür wurden bei zwölf Mischlingshunden nach Lappenmobilisation Prämolaren hemiseziert, die mesialen Wurzeln wurzelkanalbehandelt und die distalen Wurzeln entfernt. Die Wundränder der Extraktionsalveolen wurden chirurgisch mit Nähten adaptiert. Nach ein, zwei, vier oder acht Wochen wurden die Hunde geopfert und die entsprechenden Bereiche histologisch untersucht. Die Autoren zeigten, dass die Heilung der Extraktionsalveole in zwei Phasen abläuft. In der ersten Phase kam es zur einer vertikalen Resorption des bukkalen Bündelknochens, in dem der parodontale Faserapparat inseriert hatte und der der Verankerung des Zahnes diente. Ohne den funktionellen Reiz des Zahnes verlor dieser seine Funktion und wurde abgebaut. Da der bukkale Anteil der Extraktionsalveole ausschließlich aus Bündelknochen besteht, resultierte hier im Vergleich zum lingualen Alveolarkamm ein vertikaler Höhenverlust von circa 2 mm. Die linguale Knochen enthält hingegen keinen Bündelknochen, sondern nur Geflecht- und Lamellenknochen. Dort kam es zunächst zu keinem Knochenverlust. In der

zweiten Phase folgte eine Resorption der Außenflächen des Alveolarkammes sowohl auf der bukkalen als auch auf der lingualen Seite mit einer Reduktion des Gesamtvolumens des Alveolarkammes. Als Ursache für diese weitere Resorption wurde zum einen die mangelnde Blutversorgung, aber auch ein mögliches Adaptationsphänomen diskutiert (Araujo and Lindhe 2005).

Das Ausmaß und die Geschwindigkeit der Resorption des Alveolarkammes nach Zahnextraktion beim Menschen wurde von Schropp et al. (2003) untersucht. Deren prospektive Studie schloss 46 Patienten mit geplanter Einzelzahnextraktion von Prämolaren beziehungsweise Molaren ein, bei denen im Anschluss an die Heilungsphase eine Implantation geplant war. Während der Ausheilung der Extraktionsalveole durften die Probanden keinen Zahnersatz in Form einer Prothese tragen, um das Gewebe nicht zu belasten. Ziel der Studie war zum einen die Messung von Profilveränderungen des Alveolarfortsatzes mittels intraoraler Einzelzahnaufnahmen zu verschiedenen Zeitpunkten, zum anderen die klinische Messung der Höhe der bukkalen und oralen Wand des Alveolarkammes sowie der orobukkalen Kammbreite. Zum Zeitpunkt der Extraktion lag die bukkale Lamelle durchschnittlich 1,3 mm weiter apikal als die orale Lamelle. Im Gegensatz zu anderen Studien beobachteten die Autoren, dass die Höhendifferenz zwischen beiden Seiten aufgrund einer Knochenzunahme bukkal und einem gleichzeitigen lingualen Knochenverlust sank. Nach der zwölfmonatigen Einheilungsphase verringerte sich die Differenz von 1,3 mm auf 0,2 mm. Die orobukkale Breite des Alveolarkammes reduzierte sich innerhalb von zwölf Monaten um etwa 50% von 12 mm auf 5,9 mm. Davon fanden zwei Drittel des Rückgangs innerhalb der ersten drei Monate statt (Schropp, Kostopoulos et al. 2003). Dies ist der Zeitraum, der normalerweise abgewartet wird, bis die knöchernen Heilung der Extraktionsalveole abgeschlossen ist, um eine Implantation in den ausgeheilten Knochen durchzuführen.

Tan et al. publizierten 2012 eine Metaanalyse von randomisierten, kontrollierten und prospektiven klinischen Studien, die die Hart- und Weichgewebeveränderungen bis zu zwölf Monate nach Zahnextraktion beim Menschen untersuchten. Eingeschlossen wurden ausschließlich Studien, die auf Englisch publiziert wurden und klinische sowie radiologische Beurteilung des Alveolarknochens vorwiesen. Es mussten ungestörte Heilungsphasen gewährleistet und ein fester Referenzpunkt zur Bestimmung der Gewebeveränderungen definiert sein. Als Ausschlusskriterien galten retrospektive

Studien sowie Einzelfallstudien. Nur 20 Studien erfüllten diese Einschlusskriterien. Die mittlere horizontale Kammresorption war mit $3,79 \pm 0,23$ mm (29 – 63% der Ausgangshöhe) nach sechs Monaten größer als die vertikale bukkale Resorption mit $1,24 \pm 0,11$ mm (11 – 22% der Ausgangshöhe). Wie auch bei Schropp et al. (2003) wurde in der Metaanalyse in den ersten drei bis sechs Monaten eine rasche Resorption, gefolgt von einer späteren langsameren Reduktion dokumentiert (Tan, Wong et al. 2012).

Mit der Technik der digitalen Volumentomographie (DVT) konnten Chappius et al. (2013) eine dreidimensionale Analyse der Veränderungen der fazialen Knochenwand acht Wochen nach Zahnextraktion durchführen. Diese prospektive Studie schloss 39 Patienten mit Einzelzahnextraktionen in der ästhetischen Zone ein. Im DVT wurden variierende Lamellendicken unterschiedlich kodiert. Probanden mit einer Lamellenbreite kleiner als 1 mm wurden als dünnwandiger Phänotyp definiert. Dickwandige Phänotypen wiesen eine faziale Lamelle größer oder gleich 1 mm auf. Die durchschnittliche Dicke betrug 0,7 mm. Die Ergebnisse zeigten beim dünnwandigen Phänotyp eine weitaus ausgeprägtere vertikale Resorption von 7,5 mm (62,3%) und horizontal von 0,8 mm (10,5%) als bei dickwandigen Phänotypen. Bei diesen lag der mittlere vertikale Knochenverlust bei 1,1 mm (9,1%) und der horizontale bei 0 mm (0%). Je dünner die faziale Lamelle initial war, desto größer war der nachfolgende Knochenverlust. Eine weitere Erkenntnis dieser Studie war, dass die Gewebetrophie um Faktor 2 bis 3,5 höher war als bei den Tierversuchen von Cardaropoli sowie Araújo und Lindhe (Chappuis, Engel et al. 2013).

Ähnliche Ergebnisse lieferte die klinische Studie von Misawa et al. (2015), in welcher ebenfalls mittels DVT die Kieferkammresorption nach Extraktion im Frontzahn- und Prämolarenbereich gemessen wurde. Der Messzeitpunkt wurde nach zwölf Monaten gewählt, da zu diesem Zeitpunkt der knöcherne Verschluss der Alveole weitestgehend abgeschlossen und keine weitere Resorption zu erwarten war (Schropp, Wenzel et al. 2003). Die Abnahme des Knochenvolumens wurde im Heilungsverlauf in mehreren vertikalen Ebenen nachgewiesen. Am prominentesten war diese marginal, aber auch weiter apikal zu beobachten (Misawa, Lindhe et al. 2016).

2.3 Implantationszeitpunkte und Auswirkungen auf die Kammresorption

Um das Ausmaß der Knochenresorption, insbesondere des bukkalen Bündelknochens, im Rahmen der Heilung der Extraktionsalveole zu reduzieren, wurde das Konzept der Sofortimplantation in wissenschaftlichen Publikationen von Schulte und Heimke Anfang der 1970er Jahre beschrieben (Schulte and Heimke 1976). Bei dieser Behandlungstechnik wird das Implantat in die frische Extraktionsalveole inseriert mit der Annahme, dass der Festkörper „Implantat“ die Extraktionsalveole stützt und den alveolären Knochen funktionell reizt, um ihn vor der Resorption zu bewahren. Man differenziert bei diesem Verfahren zwischen der unmittelbaren Sofortimplantation und der verzögerten Sofortimplantation, welche auch als Frühimplantation bezeichnet wird. Letztere erfolgt nach einer sechs- bis achtwöchigen Heilungsphase, in welcher die Weichgeweberegeneration abgewartet wird. Bei der unmittelbaren Sofortimplantation wird in der Regel in der Sitzung der Zahnentfernung oder spätestens binnen 24 Stunden implantiert. Jedoch galten die Sofortimplantate lange Zeit aufgrund hoher Misserfolgsraten sowie funktioneller oder ästhetischer Probleme als klinisch untauglich.

Mittlerweile wurden diverse klinische Studien und Metaanalysen publiziert, welche aufzeigten, dass Sofortimplantationen bei richtiger Indikationsstellung im Vergleich zu Spätimplantationen im ausgeheilten Kiefer ähnlich gute Erfolgsraten und Langzeitergebnisse erreichen (Noelken, Kunkel et al. 2011, Kim, Cho et al. 2018). Dennoch kann auch bei diesem Therapieansatz die ungewollte Atrophie nicht vermieden werden, wie humane Studien zur Sofortimplantation in Extraktionsalveolen im Oberkiefer Prämolaren- und Frontzahnbereich belegen (Botticelli, Berglundh et al. 2004, Sanz, Cecchinato et al. 2010). Die tierexperimentellen Studien von Araújo et al. (2005, 2006) zeigen, dass Titanimplantate, die unmittelbar in die Extraktionsalveolen inseriert wurden, den Knochenabbau der lingualen und bukkalen Knochenlamellen nicht vermindern konnten (Araujo, Sukekava et al. 2005, Araujo, Sukekava et al. 2006). Allerdings ist das Ausmaß der Resorption, das in dieser Studie beschrieben wird, kritisch zu betrachten, da aus den klinischen und histologischen Bildern hervorgeht, dass die Implantate zu weit bukkal positioniert und in Relation zur Extraktionsalveole zu große Implantatdurchmesser gewählt wurden.

Neben der anspruchsvollen, risikobehafteten Sofortimplantation hat sich die konventionelle Spätimplantation trotz der problematischen Alveolarkammatrophy

aufgrund berechenbarer Ergebnisse und hoher Erfolgsraten in der Praxis als Goldstandard-Implantationsverfahren bewährt. Die Voraussetzung ist eine zwei- bis dreimonatige Heilungsphase der Extraktionsalveole. Dies garantiert, dass das Knochenfach den bereits von Cardaropoli beschriebenen Umbauprozess von Granulationsgewebe über Geflechtknochen bis hin zu Lamellenknochen weitestgehend abgeschlossen hat (Cardaropoli, Araujo et al. 2003). Ein weiterer Vorteil dieser Art der Implantation liegt darin, dass dem Kieferknochen genug Zeit gegeben wird, eventuelle Entzündungsreaktionen oder andere Defekte zu beseitigen. Die Implantation kann nun mit verringerter Komplikationsgefahr durchgeführt werden. Im komplett ausgeheilten, mit Knochengewebe durchsetzten Zahnfach kann in der Regel auch eine höhere Primärstabilität erreicht werden.

2.4 Problematik der Implantation im schräg atrophierten Kieferkamm

Durch die Resorption des Alveolarkammes vorrangig von vestibulär entsteht häufig ein schräg atrophiertes Kamm mit einem hohen oralen, meist kompakteren knöchernen Alveolarkamm. Im Tierexperiment stellten Carmagnola et al. (1999) fest, dass nach Insertion von Implantaten in resorbierten Kieferkammabschnitten erneute Knochenumbauprozesse eintraten. Bei der untersuchten Testgruppe wurde im Rahmen der Extraktion ein bukkaler Knochendefekt künstlich erzeugt. Die Implantate wurden acht Wochen später auf Höhe der lingualen Knochenwand gesetzt, sodass bukkal und approximal bis zu drei Gewindegänge frei lagen. Histologisch konnte nach sieben Monaten Einheilphase neben erfolgreicher Osseointegration ein Zugewinn an Knochenmatrix auf der bukkalen Seite festgestellt werden, während lingual Resorptionen und periimplantäre Rezessionen auftraten (Carmagnola, Araujo et al. 1999). Welander et al. (2009) wählten in ihrer Studie mit ähnlichem Versuchsaufbau hingegen die bukkale Knochenwand als Referenzpunkt, sodass das OsseoSpeed™ Implantat lingual in einer subkrestalen Position platziert war. Sieben Monate nach Implantation blieb bei der Testgruppe, deren Abutments eine modifizierte Oberfläche aufwies, eine bukkolinguale Höhendiskrepanz bestehen. Bei der Kontrollgruppe mit regulären Abutments war der periimplantäre Knochen auf Höhe der planen Implantatschulter bukkal und lingual gleich hoch (Welander, Abrahamsson et al. 2009).

Ziel der Implantologie ist es, zirkulär den vorhandenen Knochen zu erhalten und zu unterstützen. Eine Insertion von konventionellen Implantaten mit einer flachen

Schultergeometrie in einen schräg atrophierten Kamm, beginnend vom höchsten Punkt des Kammes, führt hier meist zu einer zu weit nach lingual abgerichteten Implantatachse. Um ein faciales Durchschimmern des Implantates zu vermeiden, muss eine leicht subkrestale Position unterhalb des vestibulären Knochenniveaus gewählt werden. Aufgrund der mangelnden funktionellen Unterstützung des marginalen lingualen Knochens durch die Schultergeometrie kommt es zu vertikalen Knochenresorptionen. Wird das Implantat auf das Niveau des höheren lingualen Knochens inseriert, wird Titanoberfläche vestibulär exponiert sein und möglicherweise durch die Mukosa durchschimmern.

2.5 Literaturübersicht zu nicht rotationssymmetrischen Implantatsystemen

Als potentielle Lösung für die zuvor beschriebene Problematik bei der Insertion von Implantaten mit flacher Schulter in ein abgeschrägtes Knochenprofil entstand die Idee, den koronalen Teil des Implantates an die natürliche Topographie des Kieferknochens anzupassen. Dieses Konzept wurde nicht nur bei Spätimplantationen in den ausgeheilten atrophierten Kieferkamm, sondern auch bei Sofortimplantationen angewendet.

2.5.1 Tübinger Sofortimplantat

Die Idee der Anpassung vom Implantatprofil an die vorgegebene Topographie des Alveolarkammes ist nicht neu. Schon das einteilige Tübinger Sofortimplantat (1976) wies eine Abschrägung der Implantatschulter auf, die mit den Niveauunterschieden des marginalen Knochens der Extraktionsalveole korrespondieren sollte (Abbildung 1).

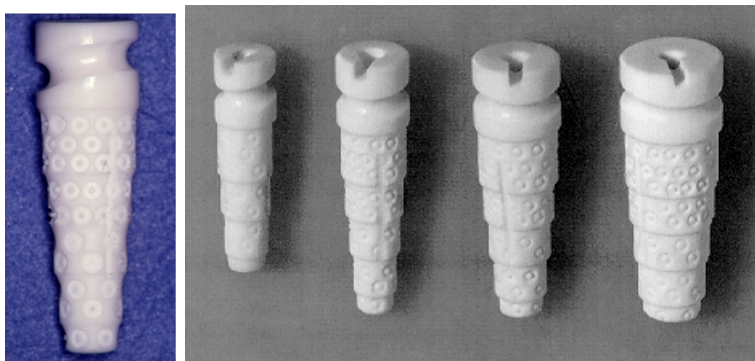


Abbildung 1 Tübinger Sofortimplantat; Quelle: Prof. Dr. Dr. Wagner, Mainz (links), Albrektsson et al. (Albrektsson T, Zarb G et al. 1986) (rechts)

Zum einen sollte das Implantat bei Insertion dem Volumen der Extraktionsalveole bestmöglich entsprechen, um diese funktionell auszufüllen. Zum anderen wies das Implantat oberhalb der abgeschrägten Implantatschulter eine Rille auf, die zur Einlagerung der periimplantären Fasern dienen und so einen bündigen Abschluss des umgebenden Weichgewebes gewährleisten sollte. Neben der apikal wurzelförmigen Konfiguration besaß das Aluminiumoxidkeramikimplantat statt eines Schraubengewindes lakunenartige Vertiefungen. Einige experimentelle Studien von Zetterqvist et al. erkannten, dass das Material einen osseointegrativen Verbund im Knochen erreichen konnte (Zetterqvist L, Anneroth G et al. 1991, Zetterqvist L, Anneroth G et al. 1995). Laut Albrektsson et al. (1986) berichteten verschiedene Untersuchungen von d'Hoedt und Lukas scheinbar unterschiedliche Implantaterfolgsraten zwischen 69 – 91% (Albrektsson T, Zarb G et al. 1986). Schulte hingegen konnte mit diesem Sofortimplantationskonzept in einem Beobachtungszeitraum von bis zu zwölf Jahren den Erhalt der periimplantären Hart- und Weichgewebestabilität dokumentieren (Wagner, Tetsch et al. 1981).

2.5.2 Nobel Perfect™ (Nobel Biocare)

Der ausgeprägte, girlandenförmige Verlauf der marginalen Knochenkontur bei anterioren Oberkieferextraktionsalveolen (Becker, Ochsenbein et al. 1997) führte zur Entwicklung eines Implantates mit einer girlandenförmigen Implantatschulter, welche im Jahr 2003 unter dem Namen Nobel Perfect™ auf dem Markt vorgestellt wurde. Ziel des Implantatdesigns war es, durch die natürliche Schulterform eine zirkuläre marginale Knochenstabilität zu erreichen. Das zweiteilige Schraubenimplantat war konisch geformt. Die girlandenförmige Implantatschulter wies eine 1,5 mm breite, maschinerte Oberfläche und apikal davon eine TiUnite™-Oberfläche auf (siehe Abbildung 2). Die prothetische Versorgung wurde auf einem Abutment, welches in einer parallelen internen Verbindung fixiert wurde, zementiert.

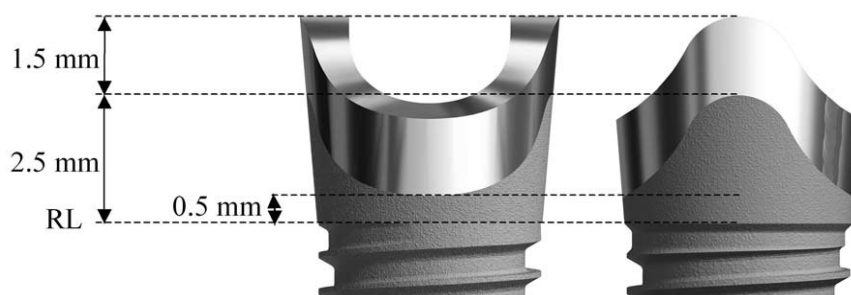


Abbildung 2 Schematische Darstellung der girlandenförmigen Implantatschulter des Nobel Perfect™ Implantates; Quelle: Kan et al. (Kan, Rungcharassaeng et al. 2007)

Im Jahr 2005 wurde das Nobel Perfect™ Implantat im Halsbereich modifiziert und zur Verbesserung der marginalen Knochenstabilität mit zusätzlichen Rillen und komplett bis nach koronal mit der TiUnite-Oberflächenstruktur versehen. Diese Modifikation erhielt die Bezeichnung Nobel Perfect™ Groovy. Die nächste Weiterentwicklung des Nobel Perfect™ Implantates, welche nie in den Markt eingeführt wurde, bestand in der Integration einer konischen Innenverbindung. Neben den marginalen Mikrorillen und der TiUnite™-Oberfläche bis zur Schulter wurde es mit einer asymmetrischen, girlandenförmigen Implantatschulter mit vestibulär tieferer Abschrägung und einem Platform Switching ausgestattet. Das girlandenförmige Implantatdesign konnte allerdings in einer 5-Jahresnachuntersuchung das marginale Knochenniveau trotz der konischen Innenverbindung nicht auf dem Niveau der Implantatschulter erhalten (Janssen-Brockelmann and Nölken 2017). Neuere Untersuchungen zu diesem Implantattyp sind nicht mehr zu erwarten, da die Firma Nobel Biocare Nobel Perfect™ Implantate nicht mehr vertreibt.

2.5.3 BPI Implantat (BPI GmbH & Co. KG)

Das BPI Implantat des Biologisch Physikalischen Implantatsystems (BPI GmbH & Co. KG), entworfen von Dr. Wolfgang Dinkelacker, umfasst eine Reihe von zweiteiligen Schraubenimplantaten mit dachgiebelförmiger Gestaltung der Implantatschulter. Dabei handelt es sich um eine symmetrische Abschrägung, welche von zentral nach bukkal und nach lingual verläuft. Dadurch entstand eine giebelförmige Implantatschulter, die den natürlichen Verlauf des Alveolarfortsatzes bzw. der Schmelz-Zement-Grenze nachahmen und so eine zirkuläre Unterstützung des periimplantären Knochens ohne Augmentationsmaßnahmen erreichen sollte (Hanisch 2004). Die Oberflächen des Implantates sind unterschiedlich gestaltet, um den jeweiligen Bereichen der Morphologie des Alveolarknochens gerecht zu werden. Während der Schraubenkörper für die Osseointegration sandgestrahlt ist, ist der Bereich der Implantatschulter für die Adaptation des Weichgewebes maschinert (Dinkelacker and Manthee 2008).



Abbildung 3 BPI Implantat; Quelle: <https://www.spotimplant.com/fr/implants-dentaire/bpi-biologisch-physikalische-implantate/csl> (SpotImplant 2020)

2.5.4 ATIS OsseoSpeed™ Profile (Dentsply Sirona Implants)

Das OsseoSpeed™ Profile Implantat basiert auf der Form des seit vielen Jahren bewährten OsseoSpeed™ Implantates (Astra Tech Implant System, Dentsply Sirona Implants, Mölndal, Schweden). Das Charakteristikum des „Profile“ Implantates ist eine um 30 Grad abgeschrägte Implantatschulter, die bei einer bukkolingualen Höhendiskrepanz des atrophierten Alveolarkammes oder der Extraktionsalveolen den marginalen Knochen zirkulär unterstützen soll. Eine zusätzliche Augmentation, Kammglättung oder nachfolgende Knochenresorption soll damit vermieden werden. Die Implantatform basiert auf einer Erfindung und Patentierung des amerikanischen Zahnarztes Dr. Richard Cotrell, der ein Anwender des ATIS OsseoSpeed™ Implantates war und bemerkte, dass es viel schwieriger war, ein Implantat mit einer flachen Schulter in einen abgeschrägten Kieferkamm zu inserieren, als wenn die Implantatschulter um 30 Grad abgeschrägt wäre. Das OsseoSpeed™ Profile Implantat wurde dann in tierexperimentellen und klinischen Studien untersucht (Abrahamsson, Welander et al. 2014, Noelken, Donati et al. 2014) und im Jahre 2011 als OsseoSpeed™ TX Profile in den Markt eingeführt. TX steht für „tapered apex“ und sollte durch eine Anspitzung der Implantatschulter und eine unterdimensionierte Aufbereitung für mehr Primärstabilität sorgen. Die neueste Weiterentwicklung, die die apikale Implantatgeometrie, die Innenverbindung und die Implantatdurchmesser, aber nicht die Abschrägung der Schulter betrifft, wird als OsseoSpeed™ Profile EV (für Evolution) bezeichnet. Abbildung 4 zeigt die unterschiedlichen Generationen der Profile Implantate im Vergleich.

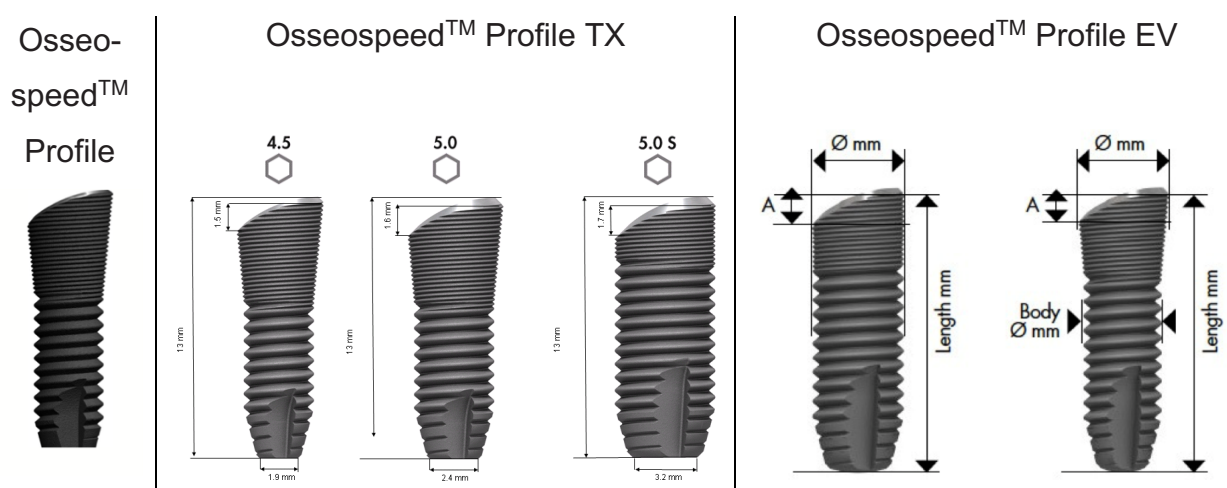


Abbildung 4 Schematische Darstellung der unterschiedlichen Generationen des OsseoSpeed™ Profile Implantates.

Quellen: (Noelken, Oberhansl et al. 2016) und Broschüren des Herstellers

2.6 Eigenschaften von OsseoSpeed™ Profile EV Implantaten

Das in dieser Nachuntersuchung verwendete ATIS OsseoSpeed™ Profile EV Implantat wurde 2014 in den Markt eingeführt. Wie auch alle vorherigen Versionen des Profile Implantates ist die neue Generation durch den sogenannten BioManagement Complex™ geprägt. Die Bezeichnung fasst eine Reihe von Eigenschaften zusammen, welche im Zusammenspiel zwischen Osseointegration, marginalem Knochenerhalt und periimplantärer Weichgewebestabilität zum Implantaterfolg beitragen sollen. Hierzu gehören die fluoridmodifizierte raue Oberfläche (OsseoSpeed™), die marginalen Mikrogewindgänge (MicroThreads™) im Bereich des konischen oder parallelwandigen Implantathalses, eine konische Innenverbindung (Conical Seal Design™) und ein Platform Switch (Connective Contour™). Folgende Kapitel geben eine Übersicht über die in der Literatur beschriebenen einzelnen Komponenten des BioManagement Complex™.

2.6.1 OsseoSpeed™ Oberfläche

Schon früh hat man erkannt, dass die Qualität und das Ausmaß der Osseointegration von Titanimplantaten neben der Primärstabilität und der Beschaffenheit des ortsständigen Knochens (Entzündungsfreiheit, Durchblutung, osteoinduktive morphogene Faktoren) auch von der Oberflächenbeschaffenheit der Implantate abhängen. Diese kann begünstigen, dass frühzeitig eine Knochenapposition an der Implantatoberfläche induziert wird. Entgegen der anfänglichen Annahme, dass maschinerte Titanoberflächen die Osseointegration begünstigten, zeigte Jaffin in seiner Publikation von 1991, dass maschinerte, in der Oberkieferseitenzahnregion inserierte Implantate eine 40 prozentige Verlustrate aufwiesen (Jaffin and Berman 1991). Zahlreiche Autoren konnten auch histologisch bestätigen, dass raue Titanoberflächen die mechanische Verbindung zwischen Implantat und Knochen signifikant verbessern konnten (Thomas, Kay et al. 1987, Carlsson, Rostlund et al. 1988, Buser, Schenk et al. 1991, Wong, Eulenberger et al. 1995, Sullivan, Sherwood et al. 1997, Cochran, Schenk et al. 1998, Piattelli, Corigliano et al. 1998).

Zwar belegten Studien für additive und subtraktive Verfahren zur Vergrößerung der Implantatoberfläche erhöhte Torquewerte, vermehrten Knochenkontakt sowie eine bessere Osseointegration (Vercaigne, Wolke et al. 1998), jedoch erwiesen sich die additiven Verfahren zum Teil durch die ungleichmäßige globuläre Struktur als

plaqueanfällig und führten in Kombination mit erosiver Freisetzung von allergenen Mikropartikeln zu periimplantärer Entzündung (Bleier, Kirsch et al. 1991).

1990 wurde das Astra Tech Implantat (Astra Tech, Mölndal, Schweden) auf dem Markt vorgestellt. Die TiOblast™ Oberfläche des Astra Tech Implantates wurde mittels Abstrahlung mit Titandioxidpartikeln frei von Fremdkontaminationen aufgeraut und durch eine Ätzung der Oberfläche gereinigt. Die mikrotopographischen Krater begünstigten eine ausreichende Retention der Fibrinmatrix und somit die Kontaktosteogenese. Gegenüber der glatten Oberflächen des Brånemark Implantatsystems konnte eine schnellere Osseointegration erreicht werden (Rasmusson, Kahnberg et al. 2001) und gleichzeitig durch das subtraktive Verfahren das Korrosionsrisiko und damit entzündliche Reaktionen durch Partikelfreisetzung vermieden werden. Durch den Zusatz von osteokonduktiven Biomaterialien in der Implantatoberfläche sollte die Osseointegration zusätzlich gesteigert werden (Albrektsson, Johansson et al. 1994, Cheang and Khor 1996, Ong, Bessho et al. 2002). Frühe in vitro Experimente dazu berichteten von möglichen Zusammenhängen zwischen dem Knochenstoffwechsel und künstlich eingebrachten Fluoridionen. Dabei wurde den Molekülen sowohl der positive Einfluss auf die Knochendichte, der vermehrte Einbau von Kollagen in die Knochenmatrix als auch die erhöhte Aktivität der alkalischen Phosphatase zugeschrieben (Shteyer, Liberman et al. 1977, Farley, Wergedal et al. 1983, Anderson, Copenhaver et al. 1991). Aufgrund dieser in vitro Ergebnisse entstand die These, dass die Oberflächenmodifikation von Implantaten mit Fluoridionen eine verbesserte mechanische Retention im Knochen bewirken könnte.

Ellingsen zeigte 1995 bei in vivo Versuchen an Kaninchen, dass nach vier bis acht Wochen Einheilungsphase ein signifikant erhöhter Widerstand bei Ausdrehversuchen von Titanimplantaten erreicht wurde, welche mit Natriumfluorid Lösungen vorbehandelt worden waren (Ellingsen 1995). In einer ähnlichen Studie von 2004 wurden bei fluoridmodifizierten Implantaten im Vergleich zur Kontrollgruppe höhere Ausdrehmomente und größere Flächenanteile mit Implantat-Knochen-Kontakt gemessen (Ellingsen, Johansson et al. 2004). Vor diesem Hintergrund entwickelte Astra Tech in Zusammenarbeit mit der Universität Oslo unter Leitung von Stig Hansson mittels chemischer Oberflächenbearbeitung die seit 2004 vermarktete OsseoSpeed™ Implantatoberfläche, die bis heute in unveränderter Form angewendet wird. Berglundh et al. konnten mit ihrer tierexperimentellen Studie 2007 nachweisen, dass der Kontakt

zwischen Knochen und Implantat bei den fluoridmodifizierten OsseoSpeed™ Oberflächen nach zwei Wochen Einheilungszeit signifikant höher war als bei den ausschließlich aufgerauten TiOblast™ Implantaten (Berglundh, Abrahamsson et al. 2007).

2.6.2 MicroThreads™

Für die Stabilität und Osseointegration eines Implantates ist nicht nur die Oberflächenstruktur, sondern auch die dreidimensionale Gestaltung insbesondere im marginalen Bereich des Implantates relevant. Die sogenannten MicroThreads™ kennzeichnen einen 5,4 mm langen, koronalen Bereich am Implantatthals, in dem der Abstand zwischen den Gewindegängen nur 0,185 mm beträgt. Der biomechanische Vorteil liegt zum einen in der Oberflächenvergrößerung, welcher für bessere Verankerung des Gewindes im Knochen sorgt, zum anderen werden funktionelle Kräfte auf das Implantat gleichmäßig auf den marginalen kortikalen Knochen übertragen.

Das Problem bei Implantaten mit einer maschinieren Halsstruktur liegt in einer progressiven marginalen Knochenresorption, welche oft etwa 1,5 mm unterhalb der Implantatschulter bzw. bis zum ersten Gewindegang reicht (Quirynen, Naert et al. 1992). Bei den Implantaten des ATIS, die im marginalen Bereich MicroThreads™ aufweisen, konnte hingegen ein marginaler Knochenhalt auf dem Niveau der Implantatschulter belegt werden (Palmer, Smith et al. 1997, Rasmusson, Kahnberg et al. 2001, Abrahamsson and Berglundh 2006).

Beim Vergleich der verschiedenen Implantatdesigns mit und ohne MicroThreads™ wurde in einer tierexperimentellen Untersuchung die marginale Knochenreaktion in einem zweizeitigen Behandlungsprotokoll untersucht (Abrahamsson and Berglundh 2006). Hier wiesen jene Implantate mit MicroThreads™ im Halsbereich einen signifikant höheren Knochenkontakt sowie einen geringeren marginalen Knochenverlust auf. Sowohl radiologisch als auch histologisch konnte ein marginales Knocheniveau mindestens auf Höhe der Implantatschulter oder sogar leicht darüber belegt werden. In einer weiteren tierexperimentellen Studie von Rasmusson et al. (2001) wurde mittels Resonanzfrequenzanalyse die Implantatstabilität von ATIS versus Brånemark Implantaten untersucht. Im Vergleich zu den Brånemark Implantaten mit einem maschinieren Implantatthals konnte beobachtet werden, dass

die Modifikation der Oberfläche mit Retentionselementen in Form von gestrahlten Mikrorillen (MicroThreads™) einen günstigen Einfluss auf die Heilung von marginalen Knochendefekten und somit auf die Implantatstabilität hatte (Rasmusson, Kahnberg et al. 2001). In einer klinischen Studie mit einem zweizeitigen Behandlungsprotokoll berichteten Lee et al. (2007), dass der marginale Knochenabbau innerhalb eines Nachuntersuchungszeitraums von bis zu drei Jahren bei ATIS Implantaten mit MicroThreads™ und OsseoSpeed™ Oberfläche signifikant niedriger ausfiel, als bei Implantaten mit einer TiOblast™ Oberflächenmodifikation (Lee, Choi et al. 2007).

2.6.3 Conical Seal Design™

Das Conical Seal Design™ beschreibt eine konische Implantat-Abutment-Verbindung, die sich aus einem Innenkonus im Implantatkörper und einem Außenkonus am Abutment zusammenfügt. Die Schnittstelle zwischen Abutment und Implantat liegt unterhalb des marginalen Knochenlevels. Hintergrund für diese Implantat-Abutment-Verbindung war die Vermeidung von Belastungsspitzen auf den marginalen Knochen bei axialer Krafteinwirkung oder Scherbelastung, welche zu stressinduzierten Resorptionen führten. Hansson untersuchte dieses Phänomen in mehreren Studien. Dabei stellte er fest, dass bei einer planen Schnittfläche zwischen Abutment und Implantat periphere Belastungsspitzen im marginalen Bereich auftraten, wohingegen bei einer konischen Innenverbindung die Kräfte nach weiter apikal verlagert wurden (Hansson 2000). Zudem konnten bei konischen, auf Höhe des marginalen Knochens liegenden Innenverbindungen verringerte Belastungsspitzen dokumentiert werden, als bei denselben Verbindungen, welche 2 mm weiter koronal lagen (Hansson 2003).

Durch die konische Innenverbindung wurde zusätzlich eine vergrößerte Retentionsfläche mit erhöhter Mikrospalt-Dichtigkeit erreicht. Dies verringerte zum einen das Eindringen von Molekülen aus dem umgebenden Gewebe (Jansen, Conrads et al. 1997, Zipprich, Weigl et al. 2007, Baixe, Fauxpoint et al. 2010, Harder, Dimaczek et al. 2010), zum anderen das Risiko von Abutmentlockerung sowie durch Mikrobewegungen bedingte marginale Knochenresorptionen. Weitere Vorteile waren die erleichterte, atraumatische Positionierung sowie präzise Passung des Abutments mit Vermeidung zusätzlicher Röntgenbelastung zur Überprüfung des Abutmentsitzes (Palmer, Smith et al. 1997).

2.6.4 Connective Contour™

Für günstige ästhetische Ergebnisse ist neben dem marginalen Knochenniveau der Erhalt des periimplantären Weichgewebeattachments entscheidend. Nur mit einer ausreichenden Dimension an periimplantärer Mukosa kann ein Durchscheinen des Abutments verhindert werden. Die Reduktion des Abutmentdurchmessers gegenüber dem Implantatdurchmesser auf dem Niveau der Implantat-Abutment-Verbindung wird auch als Platform Switch bezeichnet. Der unterstützende Effekt des Platform Switches auf den periimplantären Knochenhalt wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Während einige Studien keinen Unterschied in Bezug auf marginale Knochenveränderungen zwischen Implantaten mit und ohne Platform Switch feststellten (Crespi, Cappare et al. 2009, Kielbassa, Martinez-de Fuentes et al. 2009), befürwortet der Großteil der Studien und systematischen Reviews den Platform Switch aufgrund signifikant geringerer marginaler Knochenresorptionen (Atieh, Ibrahim et al. 2010, Strietzel, Neumann et al. 2015). Eine Studie von Guerra et al. (2014) untersuchte hierzu im direkten Vergleich Implantate mit Platform Switch (PS) und Implantate mit gleich großem Implantat- und Abutmentdurchmesser, bezeichnet als „Platform Match“ (PM). Dazu wurden bei 68 Patienten insgesamt 146 Implantate (74 mit PS und 72 mit PM) inseriert und für zwölf Monate beobachtet. Zwischen Insertion und der ersten Jahreskontrolle kam es zu einem durchschnittlichen Knochenverlust von $0,54 \text{ mm} \pm 0,59 \text{ mm}$. Das mittlere marginale Knochenniveau betrug $-0,40 \text{ mm} \pm 0,46 \text{ mm}$ in der Subgruppe mit Platform Switch, in der PM-Gruppe hingegen $-0,69 \text{ mm} \pm 0,68 \text{ mm}$. Dabei schnitt die PS-Gruppe statistisch signifikant besser ab (Guerra, Wagner et al. 2014).

In der randomisiert klinischen Studie von Canullo et al. (2010) wurden bei 31 Patienten 80 Implantate in den posterioren Oberkiefer inseriert. Es wurden vier verschiedene Implantatdurchmesser verwendet: 3,8 mm (Kontrollgruppe), 4,3 mm (Testgruppe 1), 4,8 mm (Testgruppe 2) und 5,5 mm (Testgruppe 3). Alle Probanden erhielten nach drei Monaten Einheilungszeit die definitive Versorgung auf einem 3,8 mm breiten Abutment. Somit ergab sich für die Testgruppen 1 bis 3 ein unterschiedlich großer Platform Switch (Testgruppe 1 mit 0,25 mm, Testgruppe 2 mit 0,5 mm und Testgruppe 3 mit 0,85 mm), während die Kontrollgruppe keine Inkongruenz des Implantat-Abutment-Durchmessers aufwies. Zum Untersuchungszeitpunkt nach 21 Monaten stellten die Autoren in Testgruppe 1 einen Knochenverlust von 0,99 mm, in Testgruppe 2 von 0,82 mm und in Testgruppe 3 von 0,56 mm fest. Im Vergleich hierzu betrug der

marginale Knochenverlust in der Kontrollgruppe durchschnittlich 1,49 mm. Je größer die Diskrepanz zwischen Implantat und Abutmentdurchmesser war, desto geringer fiel der marginale Knochenverlust aus. Damit konnten bei den Testgruppen im Gegensatz zur Kontrollgruppe ohne Platform Switch ein signifikant geringerer Knochenverlust beobachtet werden (Canullo, Fedele et al. 2010). Je größer der Platform Switch, desto geringer war der vertikale marginale Knochenabbau und günstiger das umgebende Weichgewebeangebot um das Implantat (Canullo and Rasperini 2007, Degidi, Iezzi et al. 2008).

In Kombination mit einem breiten Platform Switch soll das Connective Contour™ Profil einen direkten Kontakt und somit bündigen Abschluss der periimplantären marginalen Mukosa zum Schutz des marginalen Knochens ermöglichen (Moon, Berglundh et al. 1999, Hansson 2000, Welander, Abrahamsson et al. 2008). Das umgebende Weichgewebe sollte idealerweise eine Dicke entsprechend der biologischen Breite erreichen. Physiologische Werte betragen etwa 3 mm inklusive einer 2 mm breiten befestigten Mukosa (Abrahamsson, Berglundh et al. 1996, Abrahamsson, Berglundh et al. 1999, Collaert and De Bruyn 2002, Abrahamsson, Berglundh et al. 2003, Abrahamsson and Berglundh 2006, Lee, Park et al. 2006, de Sanctis, Vignoletti et al. 2009).

2.6.5 Dimensionen der OsseoSpeed™ Profile EV Implantate

Die neueste Generation der OsseoSpeed™ Profile Implantate wird als OsseoSpeed™ Profile Evolution, kurz EV bezeichnet. Sie unterscheidet sich von ihrem Vorläufermodell TX vor allem in den angebotenen Dimensionen des Implantatkörpers und in der internen Verbindung zwischen Implantat und Abutment. Die Standardgrößen für die Profile EV Implantate sind nun 4,2 mm und 4,8 mm Durchmesser (Tabelle 1). Alle Komponenten sind entsprechend der Durchmesser farbcodiert. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit zwischen einer geraden (PS für Profile Straight) und einer konischen (PC für Profile Conical) Konfiguration des koronalen Anteils des Implantates zu wählen. Bei den konischen Implantaten ist der koronale Anteil 0,6 mm breiter als der apikale Bereich. Durch die Abschrägung des Profile EV Implantates ergibt sich eine Höhendifferenz der Implantatschulter (A), die je nach Durchmesser und Form des Implantates zwischen 1,3 mm und 1,7 mm variiert (Tabelle 1 und Abbildung 5).

IMPLANTATTYP	Ø mm	BODY Ø mm	A
4,2 PC	4,2 mm	3,6 mm	1,3 mm
4,2 PS	4,2 mm	4,2 mm	1,4 mm
4,8 PC	4,8 mm	4,2 mm	1,6 mm
4,8 PS	4,8 mm	4,8 mm	1,7 mm

Tabelle 1 Dimensionen der OsseoSpeed™ Profile EV Implantate

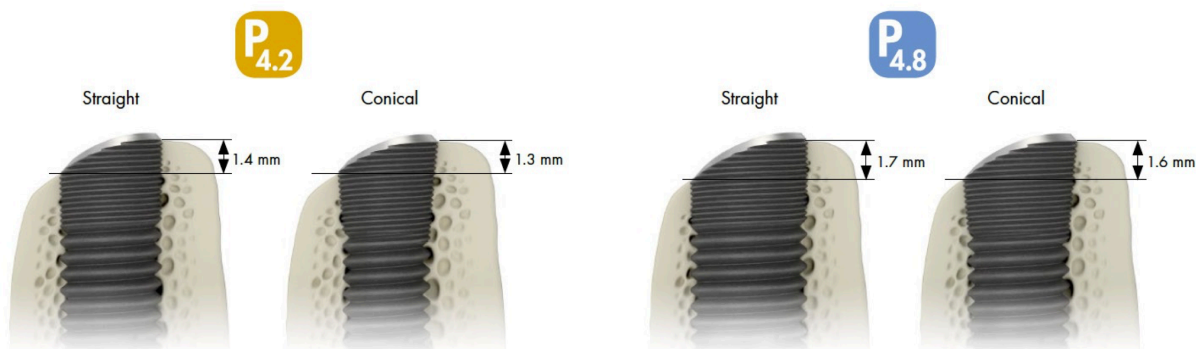


Abbildung 5 Schematische Darstellung der unterschiedlichen Höhendifferenzen der Implantatschulter je nach Durchmesser und Form des Implantates; Quelle: Broschüre des Herstellers

Für jede Implantatdimension werden Längen zwischen 8 mm und 17 mm angeboten. Im Gegensatz zum OsseoSpeed™ Profile TX, dessen Abutment-Innenverbindung mit einer Single-Hex-Verbindung ausgestattet war, besitzt die neue Version EV nun sechs Verzahnungsrillen mit einem charakteristischen Muster (Abbildung 6).



Abbildung 6 Vergleich der Innenverbindungen im OsseoSpeed™ TX (links) und OsseoSpeed™ Profile EV Implantat (rechts); Quelle: Dr. Nölken, Lindau

Dies hat vor allem für die prothetische Behandlungsphase Vorteile, da für einige prothetische Komponenten nur noch eine definierte Positionierung des Abutments oder des Abdruckpfostens („One-position-only“) möglich ist und hiermit Fehlpositionierungen vermieden werden.

3 Material und Methoden

Im Zeitraum von Oktober 2014 bis Februar 2017 wurden 50 ATIS OsseoSpeed™ Profile EV Implantate bei 30 Patienten in ausgeheilte, schräg atrophizierte Kieferkammabschnitte in der oralchirurgischen Fachzahnarztpraxis von Prof. Dr. Robert Nölken (Lindau, Bodensee) inseriert. Für die vorliegende Arbeit wurden klinische und radiologische Patientendaten, die im Rahmen von Implantatkontrollen dokumentiert wurden, retrospektiv ausgewertet.

3.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Die Einschlusskriterien für die vorliegende Untersuchung waren:

- Ausgeheilte Alveolarkamm (mindestens 3 Monate nach Zahnextraktion) in allen Regionen des Ober- oder Unterkiefers
- Abgeschrägtes Kieferkammprofil mit einem Niveauunterschied zwischen bukkalem und oralem Knochen von mindestens 1,5 mm im Implantationsbereich
- Spätimplantation eines ATIS OsseoSpeed™ Profile EV Implantates
- Transgingivale Einheilung
- Definitive prothetische Versorgung des Implantates
- Nachuntersuchungszeitraum von mindestens 6 Monaten.

Zu den Ausschlusskriterien zählten:

- maligner Tumor oder Bestrahlungstherapie im Kieferbereich,
- systemische Knochenerkrankungen
- Einnahme von Immunsuppressiva
- Therapie mit Antiresorptiva (z.B. Bisphosphonat oder Denosumab).

Rauchen stellte kein Ausschlusskriterium dar.

Zur Analyse von verschiedenen Einflussfaktoren wurden Subgruppen des Patientenkollektivs gebildet und verglichen. Die Einflüsse des Rauchverhaltens (Raucher versus Nichtraucher) und der Versorgungsform (Einzelzahn- versus mehrgliedrige Versorgung) sollten hierdurch evaluiert werden. Die Abbildung 7 zeigt ein Flussdiagramm zum Auswahlverfahren der untersuchten ATIS OsseoSpeed™ Profile EV Implantate. Patienten, die eine Nachuntersuchung aus unterschiedlichen

Gründen (Umzug, schwere gesundheitliche Probleme) ablehnten, wurden als drop-out bewertet.

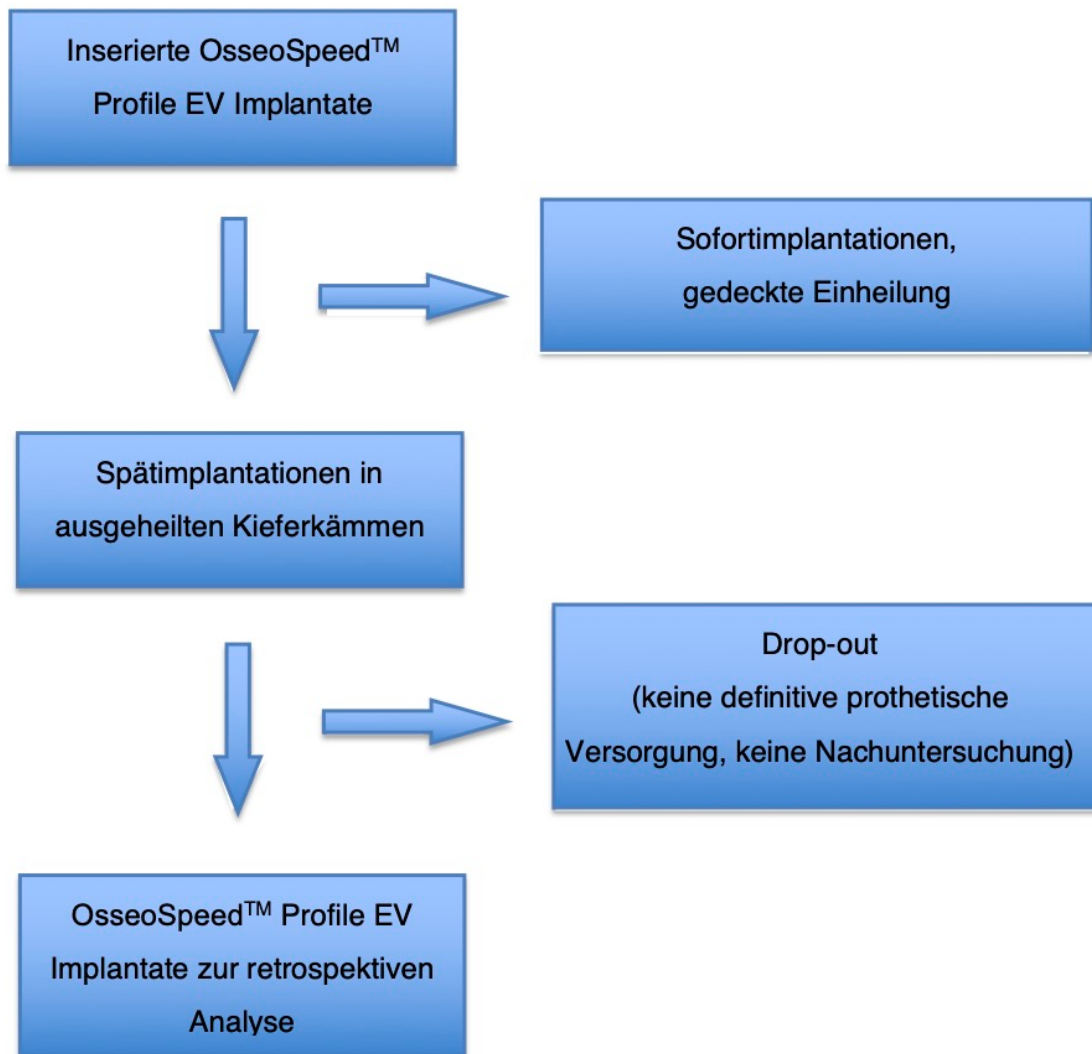


Abbildung 7 Flussdiagramm zur Auswahl der in die Untersuchung eingeschlossenen Implantate

3.2 Behandlungsprotokoll

Klinische und radiologische Voruntersuchung

Im Beratungstermin erfolgte die Erhebung der allgemeinen und speziellen Anamnese sowie die Besprechung der Behandlungsalternativen zur Lückenversorgung. Die zu implantierende Region wurde klinisch untersucht, um Voraussetzungen für die Implantation und anschließende prothetische Versorgung zu überprüfen. Weiter wurde im Rahmen der Voruntersuchung eine präoperative Röntgendiagnostik mittels einer dreidimensionalen digitalen Volumtomographie (DVT) (KaVo 3D eXam™ Cone-Beam Röntgensystem, KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß) durchgeführt. Dies diente der Vermessung des Knochenvolumens, der Beurteilung der Beziehung zu den

anatomisch wichtigen Nachbarstrukturen, der Entscheidung über eine Notwendigkeit für eine simultane oder präimplantologische Augmentation (wie Sinuslift oder Knochenblock), der präzisen dreidimensionalen Planung der Implantatachse und Insertionstiefe sowie der Auswahl des Implantatsystems. Wurde im Bereich der geplanten Insertionsstelle klinisch ein abgeschrägtes Kammprofil und radiologisch eine bukkorale Höhendiskrepanz von mehr als 1,5 mm festgestellt, bestand möglicherweise eine Indikation für ein ATIS OsseoSpeed™ Profile EV Implantat. Auch wenn die klinischen und radiologischen Voruntersuchungen eine Orientierung für die Auswahl von Implantatdimension und -konfiguration gaben, wurde das Implantatdesign final erst intraoperativ entschieden.

Perioperative Medikation

Perioperativ wurde eine antibiotische Prophylaxe verordnet. Diese sollte einen Tag vor dem Eingriff begonnen und bis eine Woche nach Implantation oral eingenommen werden. Die übliche Medikation war Amoxicillin (875mg) und Clavulansäure (125mg) zweimal täglich oder bei Penicillinallergie Clindamycin (300mg) drei- bis viermal täglich.

Implantatinsertion

Unter Lokalanästhesie wurde eine Kamminzision innerhalb der befestigten Mukosa durchgeführt, um einen Mukoperiostlappen im Implantatinsertionsbereich zu bilden. Auf Entlastungsinzisionen wurde in der Regel verzichtet. Das Implantatlager wurde nach dem Bohrprotokoll entsprechend der Herstellerangaben aufbereitet. Eine hohe Präzision beim chirurgischen Arbeiten wurde durch Verwendung einer Lupenbrille (Eye Mag® Pro, Zeiss) bei 4,3-facher Vergrößerung bzw. einem OP-Mikroskop (Prodent®, Zeiss) mit bis zu 25-facher Vergrößerung erreicht. Die verwendeten Implantatlängen und -durchmesser wurden entsprechend der Alveolarkammhöhe und -breite sowie der Entfernung zu anatomisch wichtigen Nachbarstrukturen ausgewählt. Die Wahl zwischen der parallelwandigen (straight) oder der koronal konischen (conical) Konfiguration war abhängig vom vorliegenden Knochenangebot bzw. Augmentationsbedarf, um eine ausreichende Primärstabilität zu erzielen. Es wurde eine Primärstabilität von mindestens 15 Ncm bis maximal 45 Ncm angestrebt.

Implantatachse und -ausrichtung wurden abhängig vom Knochenangebot und der angestrebten prothetischen Position der Suprakonstruktion mit einer

Orientierungsschablone überprüft. Bei normaler vertikaler Ausrichtung des Profile Implantates sitzt die tiefere Schulter auf Höhe des bukkalen Knochenniveaus; die höhere Schulter schließt dann idealerweise bündig mit dem oralen Alveolarkamm ab. Eine vollständige Umdrehung des Implantates bei der Insertion entspricht einer Zunahme der Insertionstiefe um 0,6 mm. Als Referenzpunkt für die Aufbereitungstiefe diente in der Regel der höchste Punkt der lingualen Knochenwand. Betrag der Niveauunterschied ca. 1,5 mm konnte das Implantat mit seiner Schulter zirkulär bündig zum Knochenniveau inseriert werden. Betrag der Niveauunterschied mehr als 1,7 mm wurde das Implantat ebenfalls zum oralen Knochenniveau (oder bis zu 1 mm subkrestal) ausgerichtet. Dies bedeutete in der Folge eine Exposition von Microthreads auf der bukkalen Seite, die in der Regel nachfolgend durch eine knöcherne Augmentation gedeckt wurden.

Knochenaugmentation

Waren durch eine ausgeprägte Atrophie des Alveolarkammes der Niveauunterschied zwischen oralem und bukkalem Knochen größer als 1,7 mm, waren marginal Microthreads exponiert, welche mit intraoral gewonnenem autologen Knochen abgedeckt wurden. Hierfür wurde retromolar im Unterkieferwinkel eine vestibuläre Inzision durchgeführt und kortikale Knochenspäne mithilfe von schabenden Instrumenten zur Einmalverwendung (MicrOss™ Bone Scraper, META, Reggio Emilia, Italien) entnommen. Nach der Entnahme des Eigenknochens wurde dieser in Doxycyclin Lösung (Doxycyclin-ratiopharm® SF, 100mg/5ml Injektionslösung) eingelegt. Anschließend wurde der periimplantäre Defekt hiermit augmentiert.

Zur Abdeckung von autologen Knochenauflagerungen im Implantationsbereich wurden zum Teil PRF (Platelet Rich Fibrin)-Membranen angewendet. Diese autologen Membranen wurden durch achtminütige Zentrifugation von Eigenblut des Patienten bei 1300 Umdrehungen gewonnen. Nach dem Schleudergang wurde der gelartige Serumanteil von den festen Zellbestandteilen getrennt, zwischen zwei sterilen Metallplatten dünn gepresst und schließlich auf die augmentierten Knochenspäne appliziert.

Weichgewebeaugmentation

Bei Implantationen im ästhetischen Bereich war teilweise eine ergänzende Weichgewebeplastik angezeigt, um vestibuläre Volumendefekte zu kompensieren und die natürliche Kontur des Alveolarkammes wiederherzustellen. Freie Bindegewebetransplantate wurden palatinal im Bereich der Prämolaren unter Präparation eines Spaltlappens als subepitheliales Transplantat entnommen, in den Defektbereich transplantiert und mit nicht resorbierbarem Nahtmaterial (Ethilon 5-0, Ethicon, Norderstedt) fixiert.

Ausgeheilte Insertionsstellen mit ausgeprägtem fazialen Weichgewebedefekt wurden mit einem gestieltem Weichgewebetransplantat augmentiert. Mithilfe der modifizierten Rollappentechnik konnte eine faziale Schnitfführung und damit die Entstehung von Narbenzügen vermieden werden. Von einem oberflächlichen, krestalen Schnitt innerhalb der befestigten Mukosa beginnend, wurde von krestal nach palatinal ein Spaltlappen gebildet. Anschließend folgte an den lateralen Kanten sowie palatinal basal eine vollständige Trennung eines Bindegewebestiels bis auf Knochenniveau. Somit konnte unter subperiostaler Präparation ein Bindegewebsstiel von palatinal nach krestal angehoben werden. Mit feinen Raspatorien wurde dann vestibulär ein Mukoperiostlappen ohne weitere Inzision subperiostal unterminiert. In die so entstandene faziale Tasche wurde daraufhin der krestal gestielt gebliebene Bindegewebslappen hineinrotiert und durch Naht fixiert (Ethilon 5-0, Ethicon, Norderstedt).

Transgingivale Einheilung

Wurde ein einzeitiges Vorgehen mit transgingivaler Einheilung mit Healing Abutments gewählt, war nach der Einheilphase von 3 Monaten kein zweiter Eingriff zur Freilegung des Implantats notwendig. Durch die Healing Abutments wurde die periimplantäre Mukosa gestützt und für die geplante Suprakonstruktion vorgeformt.

Provisorische Sofortversorgung

Für eine provisorische Sofortversorgung war der Wunsch des Patienten und eine ausreichende Primärstabilität des Implantates von mindestens 25 Ncm Eindrehwiderstand ausschlaggebend. Hierfür wurde nach der Implantatinsertion ein Abformpfosten in das Implantat eingeschraubt und eine Registrierung mithilfe der Orientierungsschablone und einem dualhärtenden Komposit (Luxacore Z, DMG,

Hamburg, Deutschland) durchgeführt. Die Registrierungsschablone diente dann der präzisen Fixierung eines Implantatreplikas im Meistermodell. Die Herstellung einer provisorischen Versorgung erfolgte auf provisorischen Abutments oder auf TiDesign Abutments extraoral auf dem Meistermodell.

Provisorische Sofortversorgungen von Einzelzähnen wurden intraoral mit einem quervernetzten Glasfaserband (Ribbond™ THM, Seattle, USA) und einem fließfähigen Komposit (Tetric Flow®, Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Deutschland) geschient. Diese diente der zusätzlichen Stabilisierung und Minimierung von Makrobewegung. Die Fixierung wurde palatinal oder vestibulär am Provisorium sowie an den beiden Nachbarzähnen angebracht. Bei mehrgliedrigen Sofortprovisorien war die Glasfaserverstärkung in den verblockten Kronen, die aus einem zahnfarbenen Kaltpolymerisat (New Outline, Anaxdent, Stuttgart, Deutschland) hergestellt wurden, integriert. Die Sofortprovisorien waren stets im Halsbereich unterkonturiert, um Weichgeweberegeneration im Marginalbereich zu ermöglichen.

Binnen 24 Stunden, aber meist bereits nach drei Stunden post operationem, wurden die provisorischen Sofortversorgungen nach Entfernen der Healing Abutments intraoral eingeschraubt. Abschließend erfolgte das Freischleifen von Okklusions- und Artikulationskontakten. Die Patienten wurden darüber aufgeklärt, das Provisorium kaufunktionell nicht zu belasten und für einen Zeitraum von sechs bis acht Wochen nur weiche und flüssige Kost zu sich zu nehmen. Zur Reduktion von postoperativen Schmerzen und Schwellung wurden Analgetika (Ibuprofen 600 mg oder Paracetamol 500 mg) rezeptiert und die Region von extraoral gekühlt. Die Nähte wurden nach ein bis zwei Wochen im Rahmen der Wundkontrollen entfernt. Die Patienten wurden angehalten ab dem 4. postoperativen Tag täglich ein- oder zweimal mit Chlorhexidin (Chlorhexamed Forte alkoholfrei 0,2%, GlaxoSmithKline, München, Deutschland) für einen Zeitraum von 2 Wochen zu spülen. Nach drei Monaten wurden die Implantate definitiv mit einem individuell gefrästen Atlantis™ Abutment (Dentsply Sirona, Mölndal, Schweden) aus Titan oder Zirkoniumdioxid und einer im zahntechnischen Labor hergestellten definitiven Zirkonoxidkrone oder -brücke versorgt. Für verschraubte definitive Versorgungen wurde die Krone extraoral mit dem Abutment verklebt. Wurden die Kronen im Mund auf dem Abutment zementiert, wurde meist ein provisorischer Befestigungszement (Temp Bond™, Kerr, Biberach), selten ein Glasionomerzement (Ketac-Cem®, 3M Espe, Seefeld) verwendet.

3.3 Untersuchungsparameter

Überleben

Primärer Untersuchungsparameter war die Überlebenschance von ATIS OsseoSpeed™ Profile EV Implantaten nach Insertion in den ausgeheilten Alveolarkamm in einem Nachuntersuchungszeitraum bis zu 33 Monate nach Implantation.

Marginales Knochenniveau

Die radiologische Beurteilung des marginalen Knochenniveaus erfolgte durch Messung des Abstandes vom Implantatreferenzpunkt, welcher auf Höhe der Implantat-Abutment-Verbindung liegt und der größten Zirkumferenz an der Implantatschulter entspricht, zum mesialen und distalen kortikalen Knochenniveau. Die Röntgenbilder wurden unmittelbar nach der Implantatinserterion, bei der Eingliederung der definitiven prothetischen Versorgung (ca. drei bis vier Monate postoperativ) sowie bei einem Kontrolltermin zwischen 6 und 30 Monaten nach Insertion erstellt. Je nach Indikation handelte es sich entweder um digitale Einzelzahnaufnahmen, welche mit Rechtwinkeltechnik mithilfe eines Rinn®-Sensorhaltersystems (Dentsply Rinn, Elgin, IL, USA) erstellt wurden, oder eine Panoramaschichtaufnahme (KaVo Pan eXam Plus 3D KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, Deutschland). Die Messung wurde mesial und distal getrennt bei 7-facher Vergrößerung vorgenommen. Befand sich das marginale Knochenniveau koronal der Implantatschulter, wurde ein positiver Wert dokumentiert. Umgekehrt wurde ein Knochenniveau unterhalb des Referenzniveaus mit einem negativen Wert beschrieben. Aus den Werten mesial und distal wurde ein Mittelwert berechnet. Aufgrund der Projektionsgeometrie der intraoralen Tubusaufnahmen sowie der Panoramaschichtaufnahme war eine Messung der oralen und vestibulären Knochenhöhe nicht möglich.

Weichgewebeästhetik

Zur Beurteilung der ästhetischen Situation des Weichgewebes wurde der Pink Esthetic Score (PES) nach Fürhauser (Fürhauser, Florescu et al. 2005) herangezogen. Der PES setzt sich als Summe von sieben Variablen mit einem Maximalscore von 14 zusammen. Die einzelnen Variablen werden je nach Ausprägung zwischen null und zwei Punkten bewertet. Die Beurteilung orientiert sich dabei jeweils am

korrespondierenden natürlichen Zahn im gegenüberliegenden Quadranten. Zu den Variablen zählen die Höhe der mesialen und distalen Papille, das Niveau sowie die Kontur des Weichgewebes, die Ausformung des Jugulums sowie die Textur und die Farbe der periimplantären Mukosa. Zur genaueren Erläuterung siehe Tabelle 2 und Abbildung 8.

Variablen	Kriterien	0 Punkte	1 Punkt	2 Punkte
Mesiale Papille	Höhe vgl. Referenzzahn	fehlend	unvollständig	vollständig
Distale Papille	Höhe vgl. Referenzzahn	fehlend	unvollständig	vollständig
Weichgewebeniveau	Niveau vgl. Referenzzahn	Diskrepanz < 2 mm	Diskrepanz zw. 1 - 2 mm	Diskrepanz > 2 mm
Weichgewebekontur	Natürlichkeit vgl. Referenzzahn	unnatürlich	weitestgehend natürlich	natürlich
Ausformung des Jugulums	Defizit des Alveolarfortsatzes	offensichtlich	gering	keine
Farbe des Weichgewebes	Farbe vgl. Referenzzahn	Unterschied offensichtlich	kleiner Unterschied	kein Unterschied
Textur des Weichgewebes	Textur vgl. Referenzzahn	Unterschied offensichtlich	kleiner Unterschied	kein Unterschied

Tabelle 2 Erläuterung des Pink Esthetic Score (PES)

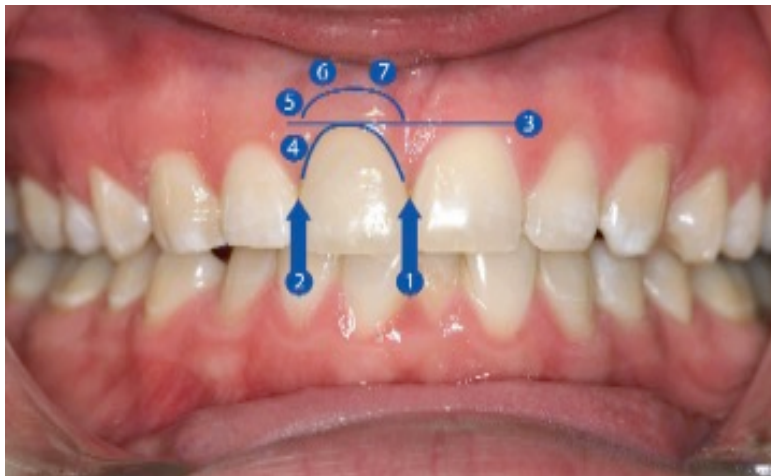


Abbildung 8 Variablen des Pink Esthetic Score nach Fürhauser; Quelle: Fürhauser et al. (Fürhauser, Florescu et al. 2005)

Breite der keratinisierten Mukosa

Mithilfe einer millimeterskalierten Parodontalsonde (PCPUNC157, Hu-Friedy, Chicago, USA) wurde die Breite der befestigten Mukosa in der Mitte der Implantatrestauration vestibulär gemessen.

Mundhygienestatus

Zur Evaluation der allgemeinen Mundhygiene wurden verschiedene Hygieneindices jeweils am Kontrolltermin erhoben. Zum einen wurde der Approximalraum-Plaque-Index (API) nach Lange herangezogen, da anhand der Beseitigung des Biofilms in den Interdentalräumen die Mitarbeit und die Motivation des Patienten gut abgeschätzt werden können. Die Beurteilung erfolgte visuell und wurde mit einer Ja-/Nein-Entscheidung bewertet. Schließlich wurde das Verhältnis der Plaque-positiven Approximalräume zur Summe aller Messpunkte in Prozent angegeben. Für eine sehr gute Mundhygiene wird ein API unter 25% angestrebt. Liegt der Wert zwischen 25-39% hat der Patient eine gute Mundhygiene. Bei 40-69% ist die Mundhygiene mäßig, ab 70% gilt sie als unzureichend.

Zum anderen wurde anhand des modifizierten Sulkus-Blutungs-Index (SBI) nach Lange das Blutungsverhalten des Zahnfleisches als Indikator für Gingivitis untersucht. Hierfür wurde mit einer stumpfen Parodontalsonde (PCPUNC157, Hu-Friedy, Chicago, USA) der Sulkus zur Papillenspitze hin vorsichtig ausgestrichen und nach 30 Sekunden das Vorhandensein einer Blutung mit einer Ja-/Nein-Bewertung festgehalten. Aus der Summe der positiven Messpunkte im Verhältnis zur Gesamtzahl an Messungen wurde der SBI in Prozent ermittelt. Bei einem Wert unter 10% wird das Parodontium als gesund eingestuft. Zwischen 11-20% liegt eine schwache Entzündung, ab 21-50% eine mittelschwere Entzündung vor. Lag der SBI über 50% handelt es sich um eine starke und generalisierte Entzündung.

Periimplantäre Infektionszeichen (BOP und Plaque)

Beginnende Infektionszeichen am Implantat wurden anhand von Plaque am Implantat und Bleeding On Probing (BOP) festgestellt. Beide Kriterien wurden mit einer Ja-/Nein-Entscheidung evaluiert. Exsudation oder Suppuration als Zeichen schwerer Periimplantitis wurden gesondert dokumentiert.

Sondierungstiefen

Mit einer millimeterskalierten Parodontalsonde (PCPUNC157, Hu-Friedy, Chicago, USA) wurden die Sondierungstiefen an sechs Stellen um das Implantat (fazial distal, fazial mittig, fazial mesial, oral mesial, oral mittig, oral distal) bei der klinischen Nachuntersuchung ermittelt.

Erfolgskriterien nach Buser

Der Erfolg der Implantatversorgung wurde anhand der Erfolgskriterien nach Buser bewertet (Buser, Weber et al. 1990). Diese sind:

- Implantat ist in situ
- keine periimplantäre Infektion mit putrider Sekretion
- keine Mobilität des Implantates
- keine persistierende periimplantäre Radiotransluzenz
- keine persistierenden Beschwerden (Schmerz, Fremdkörpergefühl, Dysästhesie)

In der vorliegenden Nachuntersuchung wurden diese um folgenden Erfolgsparameter erweitert:

- Sondierungstiefe am Implantat ≤ 5 mm
- marginaler Knochenverlust ≤ 1 mm

Statistische Auswertung

Unter der deskriptiven Statistik sind für quantitative Variablen Mittelwerte \pm Standardabweichung sowie Minimum und Maximum angegeben, während qualitative Variablen Fallzahl (n) und Angaben in Prozent beinhalten. Überlebens- und Erfolgswahrscheinlichkeiten wurden mit der Kaplan-Meier-Methode auf Basis der Implantate geschätzt. Um den Grad des Zusammenhangs zwischen zwei Variablen zu messen, wurden bivariate Korrelationstests nach Pearson durchgeführt und entsprechende Korrelationskoeffizienten dokumentiert. Es wurden keine Adjustierungsverfahren für multiple Tests durchgeführt. Die angegebenen p -Werte waren zweiseitig und wurden sofern $<0,05$ als statistisch auffällig oder relevant beschrieben. Mithilfe des nicht parametrischen U-Tests nach Wilcoxon, Mann und Whitney wurden Subpopulationen innerhalb der Studiengruppe (Raucher gegen Nichtraucher, Einzelzahn- gegen mehrgliedrige Versorgungen) verglichen. Zur grafischen Darstellung der Resultate wurden Boxplots und Streudiagramme verwendet. Die Datenanalysen wurde mithilfe des Statistikprogramms SPSS for Mac, Version 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Deskriptive Statistik

Patientenkollektiv

Zwischen Oktober 2014 und Februar 2017 wurden insgesamt 69 OsseoSpeed™ Profile EV Implantate bei 45 Patienten in den ausgeheilten schräg atrophierten Kieferkamm in der oralchirurgischen Fachzahnarztpraxis von PD Dr. Nölken in Lindau inseriert. Davon wurden 19 Implantate bei 15 Patienten nicht ausgewertet, da die Implantate aufgrund einer gedeckten Einheilung nicht die Einschlusskriterien erfüllten oder die Patienten aufgrund von schlechtem Allgemeinzustand oder Umzug nicht zum Recall erscheinen konnten (drop-out). Kein Patient musste aufgrund von onkologischen Erkrankungen, Bestrahlung oder Therapie mit Antiresorptiva bzw. Immunsuppressiva ausgeschlossen werden.

Daten von 50 OsseoSpeed™ Profile EV Implantaten, die bei 30 Patienten inseriert wurden, konnten ausgewertet werden. Das durchschnittliche Alter betrug $53,1 \pm 12,3$ Jahre (Spanne zwischen 31 und 77 Jahren). 15 Patienten waren Frauen (50%) und 15 Männer (50%). Ein Großteil ($n = 42$) der untersuchten Patienten war Nichtraucher (84%). Bei den Rauchern waren 3 Fälle (6%) Gelegenheitsraucher (1 – 5 Zigaretten am Tag). Fünf Patienten (10%) hatten einen Tageskonsum zwischen 6 und 10 Zigaretten. Keiner der Patienten gab an, mehr als 10 Zigaretten pro Tag zu rauchen.

Implantatlokalisierung

Die Implantate wurden im Frontzahnbereich ($n = 2$, 4%), Prämolaren- ($n = 12$, 24%) und Molarenregion ($n = 36$, 72%) in beiden Kiefern inseriert. Tabelle 3 zeigt die Verteilung der Lokalisation.

	Frontzahn	Prämolaren	Molaren	Gesamt
OK	2			2
UK		12	36	48
Gesamt	2	12	36	50

Tabelle 3 Verteilung der Implantatlokalisierung

Versorgungsarten

Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt die Indikation für die Implantatversorgung auf Implantat- und Patientenbasis.

	Implantate	%	Patienten	%
Einzelzahn	13	26	10	33,33
Schaltlücke	12	24	6	20
Freiendsituation	25	50	14	46,67
Gesamt	50	100	30	100

Tabelle 4 Verteilung der Indikation pro Implantat und Patient

Implantatform

Ein Großteil der nachuntersuchten Implantate (n = 48; 96%) wies die hybridförmige Profile Conical (PC) Implantatform auf, während nur zwei Profile Straight (PS) Implantate (4%) inseriert wurden. 78% der Implantate hatten einen Durchmesser von 4,2 mm und 22% einen von 4,8 mm. Vier Implantate wiesen eine Länge von 9 mm (8%), 22 Implantate von 11 mm (44%), 23 Implantate von 13 mm (46%) und nur ein Implantat eine Länge von 15 mm (2%) auf. Tabelle 5 zeigt die Verteilung der Implantatlängen und -durchmesser.

	9 mm	11 mm	13 mm	15 mm	Summe
4,2PC	3	14	20	1	38
4,2PS		1			1
4,8PC	1	7	2		10
4,8PS			1		1
Gesamt	4	22	23	1	50

Tabelle 5 Verteilung der Implantatlängen und -durchmesser

Operatives Vorgehen

Nach einer Inzision im Bereich der befestigten Mukosa wurde ein Mukoperiostlappen gebildet. Die Schnitfführung endete mesial und distal im Sulkus der Nachbarzähne. In nur 14% der Fälle war eine zusätzliche vertikale Entlastungsinzision erforderlich (n = 7). Bei 49 Implantaten (98%) wurde im Rahmen der Implantatinserion eine Augmentation in Form einer Auflagerungsplastik durchgeführt. Zur Augmentation wurde ausschließlich autologer Knochen verwendet, der in der Regel im Kieferwinkelbereich mit einem Knochenschaber gewonnen wurde (90%). Bei den

restlichen 8% der Implantate wurde in der Region der Insertionsstelle gewonnener Eigenknochen verwendet. Das Knochenaugmentat wurde bei sieben Implantaten (14%) zusätzlich mit einer PRF-Membran als ergänzende Maßnahme abgedeckt. Bei wenigen Implantatregionen wurden ergänzende Weichgewebeplastiken angewandt. Bei zwei Fällen (4%) wurde eine Rolllappenplastik zur Verbesserung der Weichgewebeästhetik vorgenommen. Bei einem Implantat (2%) wurde ein palatinal entnommenes subepitheliales Bindegewebetransplantat eingebracht.

Einheilungskonzept

Alle Fälle wurden per Einschlusskriterium mit dem einzeitigen Behandlungskonzept versorgt. Bei 86% der untersuchten Implantate wurde ein Healing Abutment zur transgingivalen Einheilung eingeschraubt. Für sieben Implantate (14%) wurde eine provisorische Sofortversorgung angefertigt und eingegliedert.

Nachuntersuchungszeitraum

Die Implantate wurden im Zeitraum zwischen Oktober 2014 und Februar 2017 inseriert. Davon wurden 12 Fälle (24%) nach mehr als 24 Monaten, 18 Implantate (36%) zwischen 12 und 24 Monaten und 20 Fälle (40%) zwischen 6 und 12 Monaten nachuntersucht. Der durchschnittliche Nachuntersuchungszeitraum betrug $16,4 \pm 8,2$ Monate. Das kürzeste Kontrollintervall lag bei 6,4 Monaten, das längste bei 33,5 Monaten.

4.2 Implantatüberleben

Alle Implantate befanden sich zum Zeitpunkt der letzten Nachuntersuchung in situ. Demnach betrug die kumulative Überlebenswahrscheinlichkeit nach Kaplan-Meier 100%.

4.3 Marginales Knochenniveau

Bei einem Implantat konnte am letzten Untersuchungstermin nach einem Jahr aufgrund von Schwangerschaft der Patientin keine Röntgenkontrolle erfolgen. Folgende Tabelle 6 zeigt die Veränderung des marginalen Knochenniveaus von der Implantatinsertion bis zur letzten Nachuntersuchung. Während zum Zeitpunkt der Implantatinsertion die Mittelwerte im leicht positiven Bereich eine größere Standardabweichung aufwiesen (SD bis zu 0,93), stabilisiert sich das mittlere

marginale Knochenniveau bei der finalen Untersuchung auf dem Niveau der Implantatschulter.

	Implantation			Finale Kontrolle		
	Min	Max	Mittelwert ± SD	Min	Max	Mittelwert ± SD
mesial	-3,57	2,03	0,51 ± 0,93	-1,14	1,00	- 0,02 ± 0,38
distal	-0,56	2,40	0,64 ± 0,70	-1,94	1,12	- 0,07 ± 0,51
Mittelwert mesial-distal	-0,99	2,00	0,58 ± 0,64	-1,09	1,00	- 0,04 ± 0,40

Tabelle 6 Marginales Knochenniveau (in mm) nach Implantation versus bei finaler Kontrolle

Die Veränderung des marginalen Knochenniveaus (radiologische Mittelwerte) zu den verschiedenen Nachuntersuchungszeitpunkten wurde in einem Boxplotdiagramm dargestellt (Abbildung 9). Dabei wurden die Nachuntersuchungszeitpunkte, welche um die Halbjahres-, 1-Jahres- bzw. 2-Jahreskontrolle ± 3 Monate variierten, zusammengefasst und den jeweiligen Kontrollzeitpunkten zugeordnet (Abbildung 9).

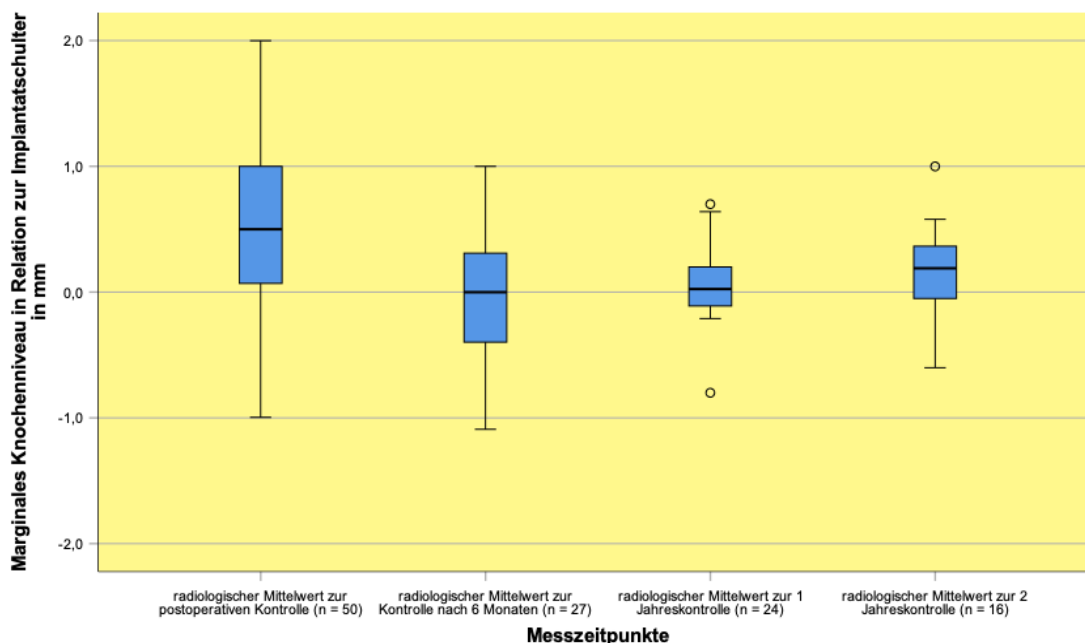


Abbildung 9 Veränderung des marginalen Knochenniveaus in Relation zur Implantatschulter zu den verschiedenen Nachuntersuchungszeitpunkten (± 3 Monate)

4.4 Weichgewebeästhetik

Da in ausgeheilten und unbezahnten Regionen implantiert wurde, war eine präoperative Bestimmung der Weichgewebeästhetik nicht möglich. Der mittlere PES betrug zum letzten Untersuchungszeitpunkt $10,2 \pm 1,68$ (Spanne zwischen 7 und 13). Tabelle 7 zeigt die Werte für die verschiedenen Variablen des PES. Die niedrigsten Werte wurden beim Niveau der mesialen und distalen Papille beobachtet, während die Farbe und Textur des Weichgewebes die besten Bewertungen erhielten.

Mesiale Papille	$1,26 \pm 0,65$
Distale Papille	$1,13 \pm 0,65$
Weichgewebeniveau	$1,39 \pm 0,54$
Weichgewebekontur	$1,57 \pm 0,5$
Ausformung des Jugulums	$1,28 \pm 0,46$
Farbe des Weichgewebes	$1,83 \pm 0,38$
Textur des Weichgewebes	$1,74 \pm 0,44$

Tabelle 7 Durchschnittliche Variablen des PES

4.5 Breite der keratinisierten Mukosa

Die mittlere Breite der befestigten Mukosa betrug zum letzten Untersuchungszeitpunkt $2,27 \pm 1,25$ mm. Von 46 nachuntersuchten Implantaten hatten 32 Fälle (64%) zum letzten Untersuchungszeitpunkt eine befestigte Mukosa von ≥ 2 mm Breite. Bei 14 Fällen (28%) wurde eine Breite < 2 mm festgestellt.

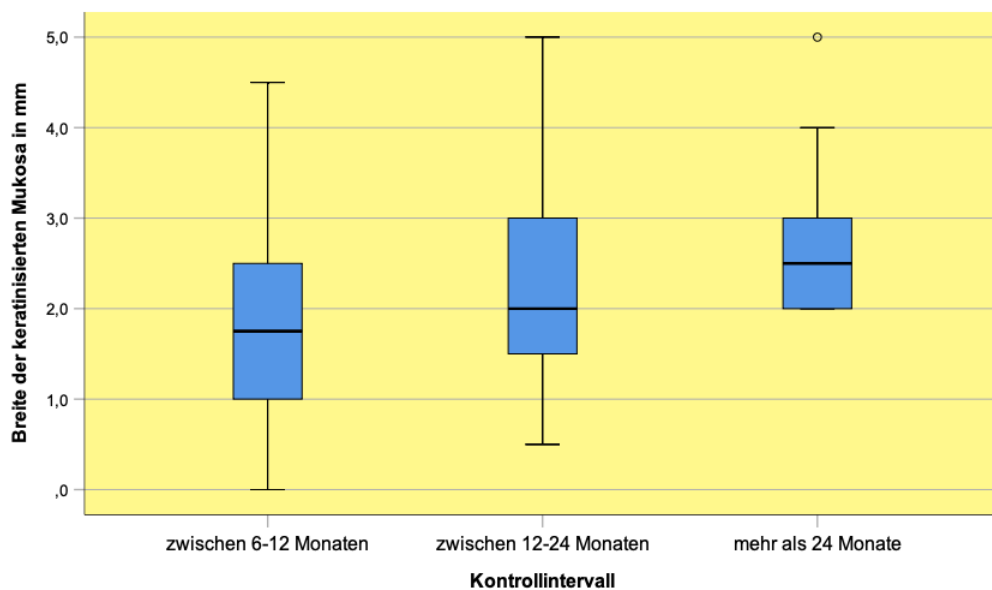


Abbildung 10 Breite der keratinisierten Mukosa zu den verschiedenen Kontrollintervallen.

Abbildung 10 zeigt einen Boxplot zur Veränderung der Breite der keratinisierten Mukosa im zeitlichen Verlauf. Während die durchschnittliche Breite zwischen 6 – 12 Monaten $1,75 \pm 1,2$ mm betrug, lag sie nach 12 – 24 Monaten bei $2,42 \pm 1,35$ mm und bei mehr als 24 Monaten bei $2,75 \pm 0,97$ mm. Beim Vergleich der Mukosabreite zwischen 6-12 Monaten und mehr als 24 Monate erreichte der Mann-Whitney-U-Test das Niveau der Signifikanz ($p = 0,023$).

4.6 Hygieneindices

Mundhygienestatus (API & SBI)

Bei den klinischen Kontrollen wurden überwiegend gesunde parodontale Verhältnisse dokumentiert. In 82,6% der Fälle herrschte eine gute Mundhygiene, in den restlichen 17,4% war sie optimal. Der durchschnittliche API lag bei der letzten Nachuntersuchung bei $26,7 \pm 18,8\%$ (Spanne von 0 – 77%). Der modifizierte SBI nach Lange lag in 63% der Fälle unter 10% im physiologischen Bereich. 37% der Fälle zählten mit einem SBI zwischen 10 – 20% zur Kategorie des schwach entzündeten Parodonts. Im Mittel lag der SBI bei der letzten Nachuntersuchung bei $17,1\% \pm 12,1\%$ (Spanne von 0 - 48%).

Periimplantäre Infektionszeichen (BOP & Plaque am Implantat)

Bei 30,4% der untersuchten Implantate wurde bei der letzten Untersuchung eine Blutung auf Sondieren am Implantat festgestellt. Bei vier Implantaten (8,7%) war zusätzlich Plaque nachweisbar. Es wurden keine Exsudationen oder Suppurationen dokumentiert.

Sondierungstiefen

Die Sondierungstiefen betragen durchschnittlich zwischen 2,1 und 2,6 mm. Keines der Implantate wies eine Sondierungstiefe von mehr als 5 mm auf. Die Werte an den 6 verschiedenen Messpunkten zum Zeitpunkt der finalen Untersuchung sind in Tabelle 8 beschrieben.

	Min	Max	Mittelwert ± SD
Fazial mesial	1,0 mm	4,0 mm	2,3 ± 0,6 mm
Fazial mittig	1,0 mm	4,0 mm	2,1 ± 0,7 mm
Fazial distal	2,0 mm	4,0 mm	2,6 ± 0,7 mm
Oral mesial	1,0 mm	4,0 mm	2,5 ± 0,8 mm
Oral mittig	1,0 mm	4,0 mm	2,1 ± 0,6 mm
Oral distal	1,0 mm	5,0 mm	2,5 ± 0,9 mm

Tabelle 8 Vergleich der Sondierungstiefen nach Messpunkten

4.7 Implantaterfolgsrate

Unter Anwendung der erweiterten Erfolgskriterien nach Buser (Buser, Weber et al. 1990) (Implantatüberleben, nicht mehr als 1 mm marginaler Knochenabbau, nicht mehr als 5 mm Sondierungstiefe) lag die kumulative Erfolgswahrscheinlichkeit bei 98% (Abbildung 11). Alle Implantate waren in situ. Nur ein Implantat wies bei einer Nachuntersuchung 6 Monate nach Insertion ein Knochenniveau von mehr als einem Millimeter unterhalb der Implantatschulter auf. Kein Implantat zeigte im Untersuchungszeitraum eine Sondierungstiefe von mehr als 5 mm.

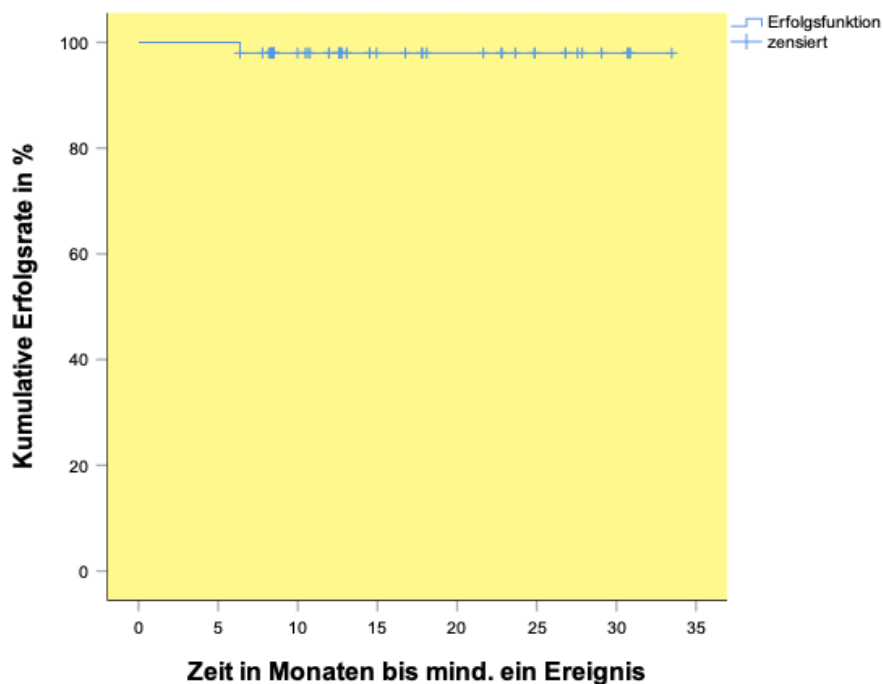


Abbildung 11 Kumulative Erfolgsrate (in %) nach den erweiterten Erfolgskriterien nach Buser (125)

4.8 Korrelationen zwischen den Parametern

Korrelationsanalyse nach Pearson

Um das Assoziationsmaß zwischen den verschiedenen metrischen Parametern wie Länge der Verlaufskontrolle, marginales Knochenniveau sowie Weichgewebeästhetik feststellen zu können, wurde der Pearson Korrelationstest angewendet. Die entsprechende Voraussetzung für den bivariaten Korrelationstest auf normalverteilte Daten wurde visuell anhand eines Quantil-Quantil-Diagramms (Q-Q plot) überprüft. Statistisch relevante Korrelationen konnten sowohl zwischen der Länge der Verlaufskontrolle und dem marginalen Knochenniveau ($p = 0,0001$), dem Pink Esthetic Score ($p = 0,0002$) und Breite der keratinisierten Mukosa festgestellt werden ($p = 0,004$). Die dazugehörigen Korrelationskoeffizienten sowie p -Werte sind in Tabelle 9 angegeben.

	Zeitverlauf bis Kontrolle	marginales Knochenniveau	Pink Esthetic Score	Breite keratinisierte Mukosa
Zeitverlauf bis Kontrolle				
marginales Knochenniveau	,515** $p = ,0001$			
Pink Esthetic Score	,521** $p = ,0002$,421** $p = ,004$		
Breite keratinisierte Mukosa	,420** $p = ,004$,133 $p = ,385$,228 $p = ,128$	

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) relevant.

Tabelle 9 Korrelationskoeffizienten und p -Werte nach Pearson

Lineare Regression

Sofern mit einer statistisch relevanten Korrelation ($p < 0,05$) ein ungerichteter Zusammenhang gezeigt werden konnte, wurde zusätzlich eine lineare Regression berechnet, um einen gerichteten Zusammenhang nachzuweisen. Abbildungen 12 – 14 zeigen jeweils die lineare Regression als Gerade im Streudiagramm.

Zum Zeitpunkt der finalen Untersuchung war eine statistisch auffällige Korrelation zwischen dem PES und dem marginalen Knochenniveau feststellbar ($p = 0,004$). Der zugehörige Korrelationskoeffizient lag bei 0,421. Die graphische Darstellung der linearen Regression ist im Streudiagramm in Abbildung 15 dargestellt.

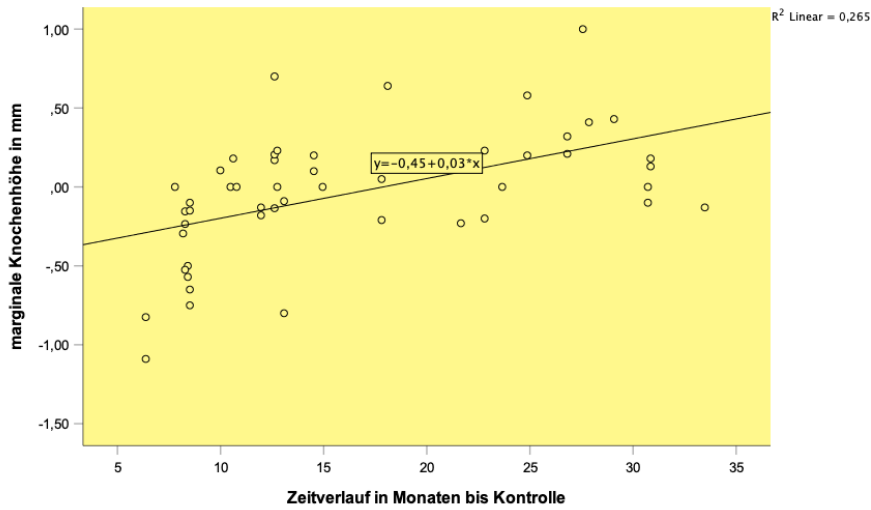


Abbildung 12 Streudiagramm zur Korrelation von Zeitverlauf bis zur Kontrolle und marginalem Knocheniveau in Relation zur Implantatschulter; Gerade zeigt die lineare Regression

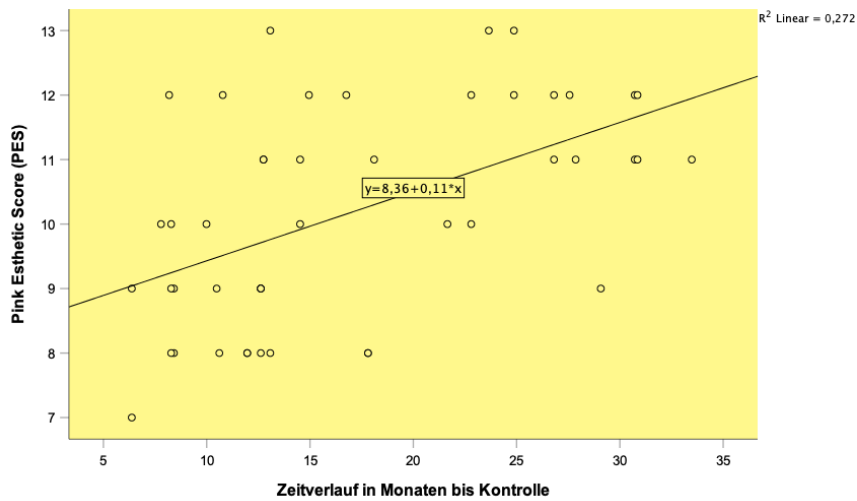


Abbildung 13 Streudiagramm zur Korrelation von Zeitverlauf bis zur Kontrolle und Pink Esthetic Score (PES); Gerade zeigt die lineare Regression

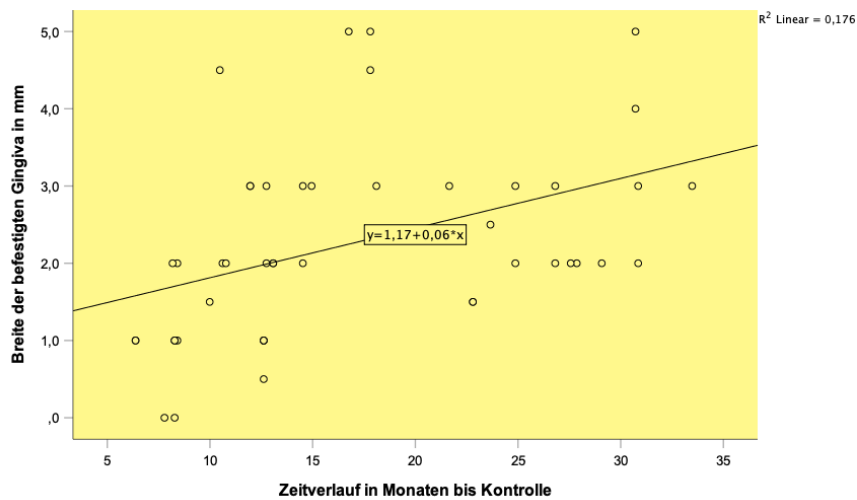


Abbildung 14 Streudiagramm zur Korrelation von Zeitverlauf bis zur Kontrolle und Breite der befestigten Gingiva; Gerade zeigt die lineare Regression

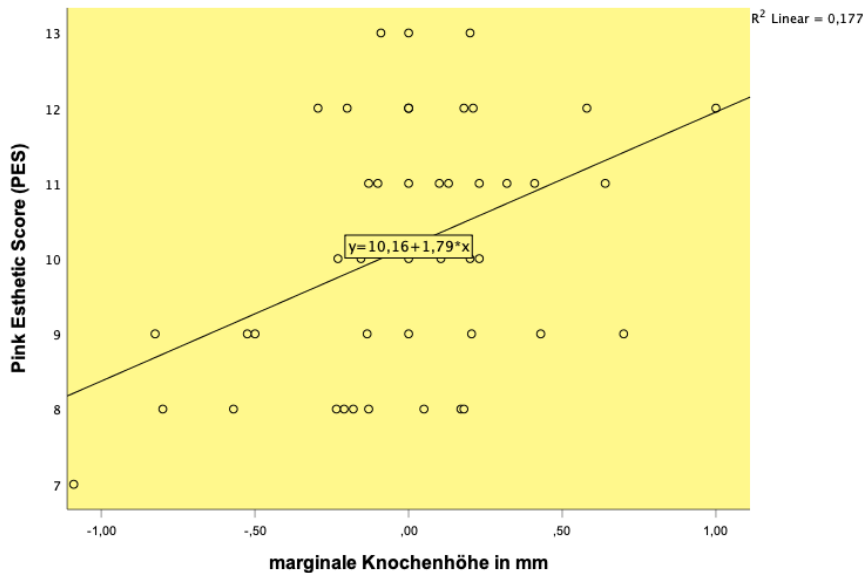


Abbildung 15 Streudiagramm zur Korrelation von marginalem Knocheniveau in Relation zur Implantatschulter und Pink Esthetic Score (PES); Gerade zeigt die lineare Regression

4.9 Subgruppenanalysen

Für die Untersuchung der verschiedenen Einflüsse wie Rauchen und Art der Versorgung wurden die Patienten in Subgruppen eingeteilt und als zwei unabhängige Stichproben betrachtet. Als Voraussetzung für die Interpretation des nicht-parametrischen U-Tests nach Wilcoxon-Mann-Whitney wurde zunächst mithilfe des Kolmogorov-Smirnov Tests kontrolliert, ob die Verteilungsform der beiden Gruppen etwa gleich war. War hier der p -Wert $> 0,05$ konnte von einer ähnlichen Verteilungsform ausgegangen und damit eine Aussage über einen Unterschied über die Mediane gemacht werden. Ansonsten konnte nur eine Aussage über die durchschnittlichen Ränge und damit über die Verteilungsform als Ganzes getroffen werden. Der Mann-Whitney-U-Test prüfte anschließend, ob für die Messparameter der Hart- und Weichgewebestabilität (marginale Knochenhöhe und PES) Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bestanden. Dazugehörige p -Werte $< 0,05$ wurden als statistisch relevant angegeben.

Raucher versus Nichtraucher

Von den 50 untersuchten Implantaten wurden 11 bei Rauchern inseriert (22,5%). Von den restlichen 39 (77,5%) in der Nichtraucher-Gruppe wurde eines am letzten Untersuchungstermin aufgrund von Schwangerschaft nicht röntgenologisch untersucht ($n = 38$). Das mittlere marginale Knocheniveau lag bei den Rauchern bei

-0,24 ± 0,38 mm, bei den Nichtrauchern hingegen bei 0,08 ± 0,40 mm in Relation zur Implantatschulter (Abbildung 16).

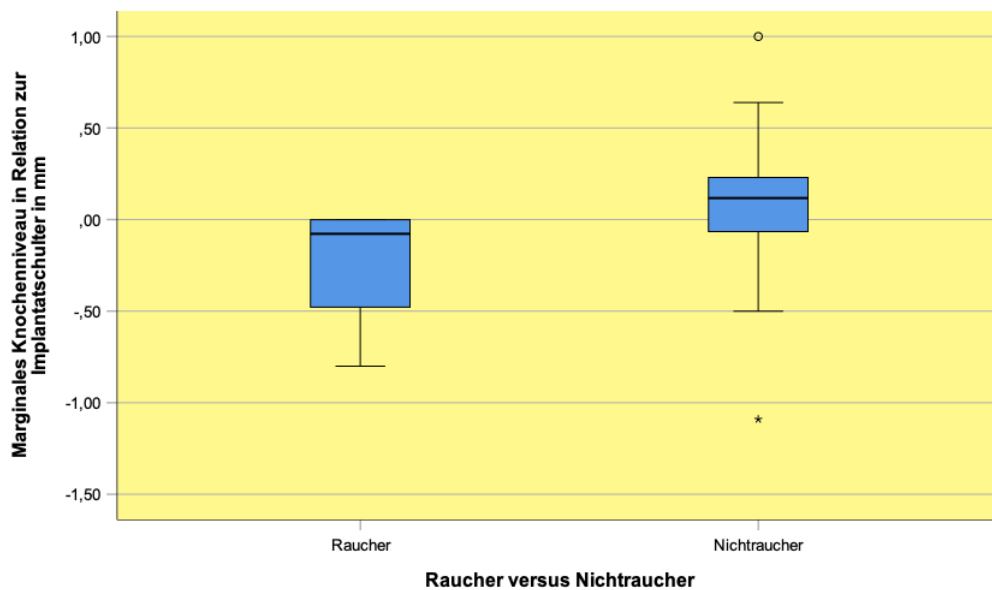


Abbildung 16 Vergleich des marginalen Knocheniveaus in Relation zur Implantatschulter bei Rauchern und Nichtrauchern

Ein statistisch relevanter Unterschied ($p = 0,032$) der Mediane zwischen Rauchern (Median -0,08 mm) und Nichtrauchern (Median 0,12 mm) bezüglich des periimplantären Knocheniveaus konnte festgestellt werden. Der durchschnittliche PES betrug bei Nichtrauchern $10,38 \pm 1,72$, bei Rauchern $9,75 \pm 1,71$. Der Unterschied der Mediane war zwischen Rauchern (Median 9,5) und Nichtrauchern (Median 11) nicht statistisch relevant ($p = 0,440$) (Abbildung 17).

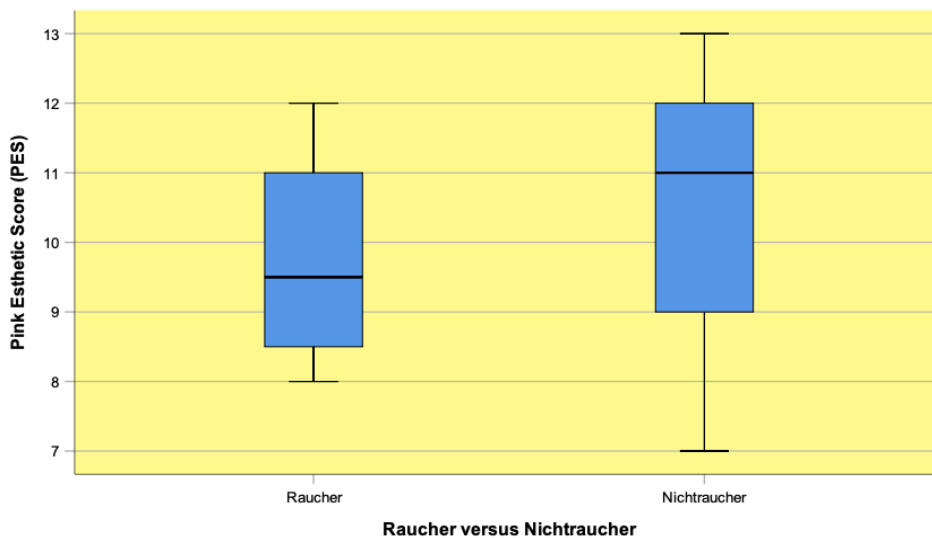


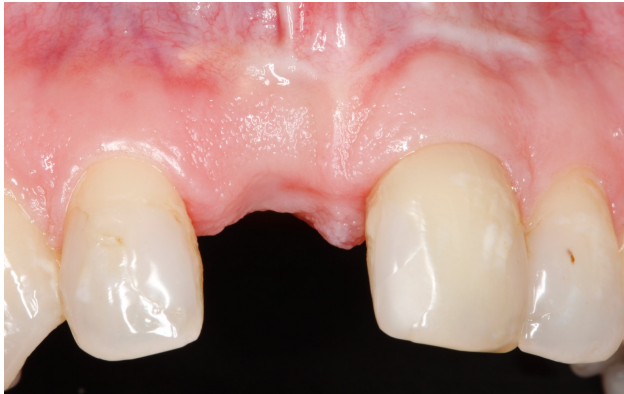
Abbildung 17 Vergleich der Verteilung des PES bei Rauchern und Nichtrauchern

Einzelzahn- versus mehrgliedrige Versorgung

In den Subpopulationen mit Einzelzahn- und mehrgliedriger Versorgung wurde anhand des nicht parametrischen U-Tests nach Wilcoxon, Mann und Whitney untersucht, ob die marginale Knochenhöhe sowie der PES nach Fürhauser sich in den beiden Gruppen unterschied. 13 Implantate dienten als Einzelzahnersatz (24,5%), wovon wieder ein Implantat der schwangeren Patientin in der Auswertung fehlte (n = 12). Die restlichen 37 Implantate wurden zur mehrgliedrigen Versorgung eingebracht (75,5%). Der radiologische Mittelwert für das Knochenniveau betrug bei mehrgliedrigen Versorgungen $-0,01 \pm 0,29$ mm, bei Einzelzahnversorgungen $0,12 \pm 0,56$ mm. Der Median lag bei mehrgliedrigen Versorgungen bei 0,00 mm, bei Einzelzahnversorgungen bei 0,17 mm. Für das marginale Knochenniveau konnte kein statistisch auffälliger Unterschied zwischen Einzelzahn- und mehrgliedrigen Versorgungen nachgewiesen werden ($p = 0,162$). Der PES betrug $10,7 \pm 1,49$ bei Einzelzahn- (28,3%; n = 13) und $10,06 \pm 1,8$ (71,7%; n = 33) bei mehrgliedrigen Versorgungen. Der Unterschied des PES zwischen Einzelzahn- (Mdn = 11) und mehrgliedrigen Versorgungen (Mdn = 10) erwies sich als nicht statistisch relevant ($p = 0,099$).

5 Klinische Fallbeispiele

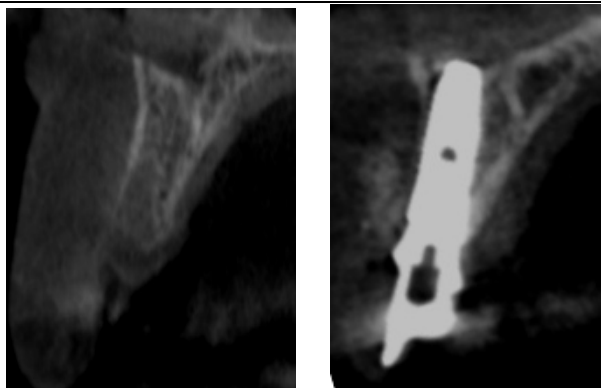
Einzelzahnversorgung im Frontzahnbereich



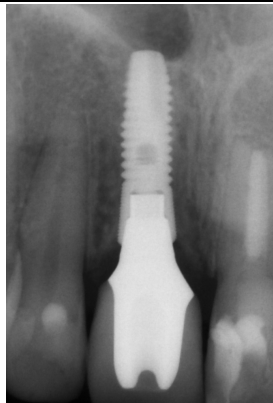
Ausgangssituation für Spät-
implantation 6 Monate nach
Entfernung des Zahnes 11



Regeneration der periimplantären
Mukosa 1 Jahr nach der Implantation
und definitiver Versorgung

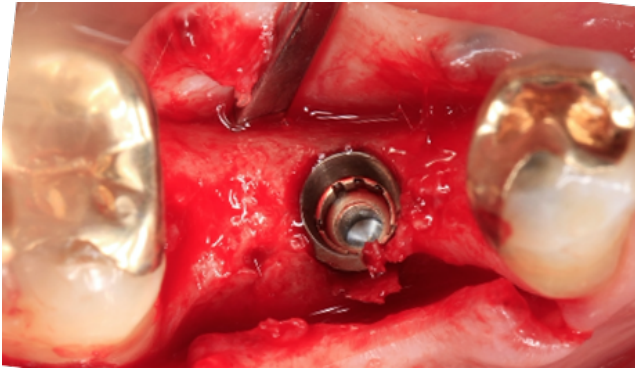


Präoperatives DVT regio 11 (links)
DVT nach Implantation (rechts)

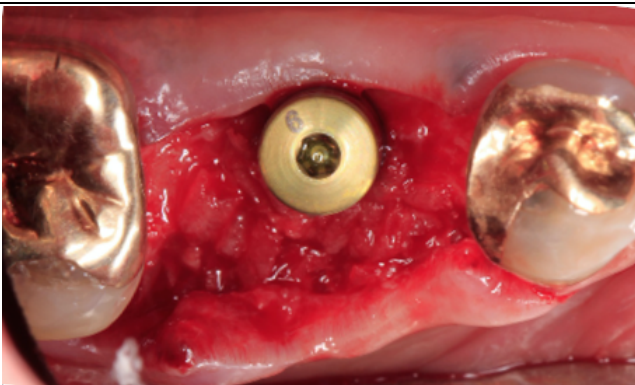


Intraorale Einzelzahnaufnahme nach
einem Jahr, kein marginaler
Knochenverlust feststellbar

Einzelzahnversorgung im Molarenbereich



Implantatinsertion in regio 46 im schräg atrophierten Kieferkamm, höchster Teil der Implantatschulter schließt bündig mit lingualem Knocheniveau ab



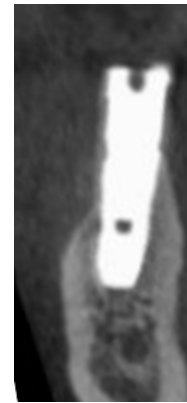
Augmentation des vestibulären Knochendefektes mit autologen Knochenspänen und Einbringung eines Healing Abutments



Eingliederung der prothetischen Versorgung nach 3 Monaten

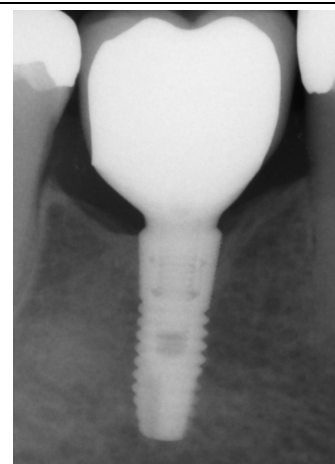


Verdickung der periimplantären Mukosa nach einem Jahr



Präoperatives DVT regio 46 in der koronaren Schicht zeigt das deutlich abgeschrägte Kieferkammprofil durch bukkale Resorption

Postoperatives Kontroll-DVT zeigt die Ausrichtung der Implantatschulter auf das linguale Knocheniveau.



Postoperatives Kontroll-DVT in der transversalen Schicht (links), bündiger Abschluss des Implantats mit approximalen marginalem Knocheniveau

Intraorale Einzelzahnaufnahme ein Jahr nach Insertion, Knocheniveau auf dem Niveau der Implantatschulter

Quelle: Alle Fotos und Röntgenbilder aus der Praxis PD Dr. Nölken.

6 Diskussion

6.1 Studiendesign

Material und Methoden

Da es sich in der vorliegenden Studie um eine retrospektive Analyse handelt, ist die Richtigkeit der Ergebnisse direkt von der korrekten und genauen Dokumentation der betrachteten Patientenfälle abhängig. Die Informationen wurden durch Auswertung der im Rahmen der Implantatkontrolle dokumentierten klinischen und radiologischen Patientendaten gewonnen, wobei die Qualität der Dokumentation bei den Nachkontrollen trotz unterschiedlicher Behandler in der oralchirurgischen Fachzahnarztpraxis PD Dr. Nölken ähnlich hoch war. Die Höhe der Implantatanzahl (n = 50) ist im Vergleich zu anderen universitären Studien mit ähnlichen Untersuchungsparametern ausreichend repräsentativ. Dennoch sind die Aussagekraft und der wissenschaftliche Erkenntnisgehalt einer retrospektiven Auswertung grundsätzlich einem prospektiven Studiendesign unterlegen.

Patientenkollektiv

Die Ein- und Ausschlusskriterien des Patientenkollektivs sind in Abschnitt 3.1 dargestellt. Häufig führen onkologische Erkrankungen, Bestrahlung oder Therapie mit Antiresorptiva bzw. Immunsuppressiva zu einem veränderten Knochenstoffwechsel, wodurch Komplikationen bei Einheilung und Versorgung mit vermehrten Implantatverlusten resultieren können. Allgemein ist die Komorbidität solcher Risikopatienten erhöht, weshalb dentalchirurgische Behandlungen in der Regel in Abhängigkeit von der Therapie der Grunderkrankung in größeren klinischen Zentren durchgeführt werden. Wie bereits beschrieben wurden in dieser Studie nur Patientenfälle der oralchirurgischen Fachzahnarztpraxis von PD Dr. Robert Nölken (Lindau, Bodensee) betrachtet, wobei auf keinen der Patienten eines der Ausschlusskriterien zutraf. Jedoch musste eine hohe Rate an drop-outs (n = 19) festgestellt werden, da Patienten (oft durch Hauszahnärzte weiter versorgt und betreut) nicht zum Recall erschienen und somit keine Daten zur Verfügung standen. Die Geschlechterverteilung war mit 50:50 sehr homogen verteilt, wohingegen beim Verhältnis von Rauchern zu Nichtrauchern die Gruppe der Raucher mit 16,7% etwas unterrepräsentiert war. Laut dem Epidemiologischen Suchtsurvey 2018 sind circa 23% der Erwachsenen in Deutschland Raucher (Seitz, Böttcher et al. 2019).

Operatives Vorgehen

Präoperative Diagnostik

Die präoperative Röntgendiagnostik mittels einer dreidimensionalen digitalen Volumentomographie war notwendig, um zu prüfen, ob ein ausgeprägter knöcherner Niveauunterschied zwischen bukkaler und oraler Lamelle von mindestens 1,5 mm im Implantationsbereich vorlag und somit die Indikation für ein OsseoSpeed™ Profile EV Implantat gegeben war. Zudem konnten im Gegensatz zur konventionellen Standarddiagnostik mit Kiefermodellen und zweidimensionaler Bildgebung aufnahmebedingte Verzerrungen ausgeschlossen werden. Deshalb konnte eine genaue Vermessung des Knochenvolumens, der Beurteilung der Beziehung zu anatomisch wichtigen Nachbarstrukturen sowie Planung der Implantatachse und Insertionstiefe durchgeführt werden. Die im Zuge der Planung hergestellte Orientierungsschablone sollte eine starke Abweichung der geplanten Implantatposition vermeiden. Laut Untersuchungen von Sarment et al. (2003) liegt die mittlere Abweichung der Implantatposition im apikalen Bereich bei klassischen Bohrschablonen bei etwa 2 mm, wohingegen freihändig gesetzte Implantate im Schnitt bis zu 6,1 mm versetzt positioniert werden (Sarment, Sukovic et al. 2003). Hierbei spielt jedoch die implantologische Erfahrung des Operateurs eine entscheidende Rolle. Da die meisten betrachteten chirurgischen Eingriffe von PD Dr. Nölken durchgeführt wurden, kann die unterschiedliche praktische Erfahrung des Operateurs als Einflussfaktor weitgehend ausgeschlossen werden.

Augmentationsverfahren

Im Zuge der Umbauprozesse nach Extraktion treten sowohl vertikale als auch horizontale Verluste am Alveolarkamm auf (Pietrokovski and Massler 1967, Schropp, Wenzel et al. 2003, Araujo and Lindhe 2005, Tan, Wong et al. 2012).

In allen untersuchten Fällen lag eine ausgeprägte schräge Alveolarkammatrophy vor. In dieser Situation gibt es grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten der Therapie: Mithilfe von präoperativer Augmentation kann versucht werden ein ausreichendes Knochenvolumen zu schaffen, in dem es möglich ist ein Implantat prothetisch korrekt in den breiten Kieferkamm zu inserieren. Dazu gehören Block- oder Schalenteknikaugmentationen mit autologem Knochen oder Knochenersatzmaterial und die Methode der gesteuerten Knochenregeneration (Guided Bone Regeneration) mit Unterstützung von Membranen oder Titangittern. Diese Behandlungsoption

ermöglicht gegebenenfalls die Schaffung eines größeren Knochenvolumens vor der Implantation, ist aber mit erhöhtem Zeit- und Kostenaufwand sowie Belastung des Patienten durch den zusätzlichen Eingriff verbunden. Bei einer Implantation eines Implantates mit einer flachen Schultergeometrie im schräg atrophierten Alveolarkamm ohne einen präimplantologischen Knochenaufbau kommt es bei Positionierung der Implantatschulter auf das bukkale Niveau zu einem Unterstützungsverlust der lingualen Wand (Welander, Abrahamsson et al. 2009). Bei Ausrichtung auf das linguale Knochenniveau liegen hingegen vestibulär Gewindegänge frei (Carmagnola, Araujo et al. 1999). Hier ist dann eine Augmentation zur Abdeckung angezeigt, um gegebenenfalls ein Durchschimmern der exponierten Titanoberfläche durch die Mukosa zu verhindern. Alternativ kann durch die Nutzung eines Profile Implantates ein Niveauunterschied des Alveolarkammes von bis zu 1,7 mm ausgeglichen werden. In der vorliegenden Untersuchung wurden ausschließlich Profile Implantate inseriert und bei Bedarf ein kleinerer vestibulärer Knochendefekt mithilfe einer intraoperativen Auflagerungsplastik mit intraoral gewonnenen autologen Knochenspänen augmentiert. Das autogene Augmentat bildet aufgrund der Kombination von osteokonduktiven Leitschienen sowie vitaler Osteoprogenitorzellen und osteoinduktiven Faktoren wie dem Bone Morphogenetic Protein (BMP), die die ektopische Knochenneubildung induzieren (Urist 1997), den „Goldstandard“ (St John, Vaccaro et al. 2003).

Doxycyclin-Einlage

Die antibiotische Einlage dient der Prophylaxe vor periimplantären Entzündungen sowie operationsinduzierter Osteomyelitis. Dabei kann lokal eine höhere Konzentration des Wirkstoffs zur Keimreduktion am Implantat und eine Reduktion von systemischen Nebenwirkungen erreicht werden. Die effiziente Wirkung der lokalen Anwendung von Antibiotika ist bereits aus der Parodontitistherapie bekannt. Kim et al. konnten im Rahmen der unterstützenden Parodontitistherapie (UPT) eine signifikante Reduktion der Sondierungstiefen und relative vertikale Attachmentlevel-Gewinne bei Behandlung mit topisch subgingivaler, 14 prozentiger Doxycyclinapplikation feststellen (Kim, Bürklin et al. 2003). Durch Beimischung von Doxycyclin zum Knochenersatzmaterial (Verhältnis 4:1) während der chirurgischen Phase der Parodontaltherapie konnten Kaur et Sikri ebenfalls eine deutliche Taschentiefenreduktion sowie eine signifikante Knochenregeneration messen (Kaur

and Sikri 2013). In einer histopathologischen und mikrobiologischen Studie von Kütan et al. konnte nachgewiesen werden, dass bei einem mit *Porphyromonas gingivalis* kontaminierten Knochendefekt durch Versorgung mit Knochenersatzmaterial und zusätzlich Doxycyclin-haltiger Kollagenmembran eine signifikant höhere Rate an Osteogenese sowie eine deutlichere Hemmung des bakteriellen Wachstums erreicht werden konnte als mit reinem Knochenersatzmaterial (Kutan, Duygu-Capar et al. 2016). Auch in der allgemeinen Chirurgie wird die Imprägnierung autologer oder allogener Knochenchips mit Antibiotika als sinnvolle Ergänzungsmaßnahme bei Augmentation beschrieben (Kühn, Renz et al. 2017). Da alle lokalen Knochenaugmentationen mit Doxycyclin-Zusatz durchgeführt wurden, ist der Vorteil dieser Methode in dieser Untersuchung nicht zu evaluieren.

PRF-Membran

In nur wenigen Fällen wurde das Augmentat mit autologen Knochenspänen ergänzend mit einer PRF-Membran abgedeckt. Indikationen für dieses Verfahren sind die Abdeckung und die Fixierung von Knochen oder Knochenersatzmaterial im Rahmen von Implantationen oder Sofortimplantationen. Cortese et al. beschreiben bei der Kombination von PRF-Membranen mit modifizierter Kammspalttechnik verbesserte klinische Ergebnisse für Implantationen im horizontal atrophierten Kieferkamm (Cortese, Pantaleo et al. 2017). Sowohl die systematischen Reviews von Strauss et al. als auch von Castro et al. erklären, dass das Verfahren hinsichtlich Knochenregeneration und Osseointegration einen positiven Einfluss aufzeigt, die wenigen Studien aber keine starke Aussagekraft haben (Castro, Meschi et al. 2017, Strauss, Stähli et al. 2018).

6.2 Ergebnisse

Überlebenszeitanalyse

Als entscheidender Parameter zur Beurteilung des Langzeiterfolges eines Implantates wurde die Überlebenszeitanalyse nach Kaplan und Meier herangezogen. Dieses statistische Standardverfahren wird in der Literatur gerne zur Einschätzung der Verweilwahrscheinlichkeit verwendet. Über die eindeutigen Kriterien „in situ“ oder „explantiert“ werden die Liegedauer der unter Risiko stehenden Implantate und die zeitabhängige Verlustrate illustriert (Weibrich and Al-Nawas 2001). Über einen Beobachtungszeitraum von zwei Jahren (bis zu 33 Monaten) wurde für 50

OsseoSpeed™ Profile EV Implantate in dieser Studie eine kumulative Überlebenszeitwahrscheinlichkeit von 100% nach Kaplan-Meier berechnet. Diese liegt in dem allgemein in der Literatur angegeben Bereich für durchschnittliche Erfolgsraten enossaler Implantate zwischen 88 – 100% je nach Länge des Beobachtungszeitraums (Kwon, Bain et al. 2014, Moraschini, Poubel et al. 2015).

Kritisch betrachtet lässt sich die außergewöhnlich hohe Überlebensrate von 100% in der vorliegenden Studie durch verschiedene Aspekte erklären. Zum einen schränkte die Ausgangsfragestellung die Untersuchungen auf ausgeheilte Kieferkämme ein. Somit wurden lediglich konservative Spätimplantationen und keine risikobehafteten Sofortimplantationen betrachtet. Zudem wurden Ausschlusskriterien definiert, welche Risikogruppen mit großem Einfluss auf die Wundheilung (maligne Erkrankungen, Bestrahlungstherapie im Kieferbereich, Bisphosphonateinnahme oder Immunsuppressionstherapie) nicht beleuchtet.

Prospektive Studien, die frühere Versionen des Profile Implantates (Noelken, Donati et al. 2014, Schiegnitz, Noelken et al. 2016) im ausgeheilten Kiefer über Beobachtungszeiträume von ein bzw. zwei Jahren untersuchten, dokumentierten vergleichbar hohe kumulative Überlebensraten zwischen von 99,2% und 100%. Eine weiterführende Langzeitstudie konnte sogar nach durchschnittlich 10 Jahren (122.7 ± 8.9 Monate) eine 100 prozentige Überlebenswahrscheinlichkeit dokumentieren (Noelken, Schiegnitz et al. 2021). Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse wurde die Indikation für das abgeschrägte Implantatmodell auch auf Sofortimplantationen erweitert. Eine prospektive Studie untersuchte 21 Implantate bei 16 Patienten, die mit Sofortimplantation und -versorgung in der ästhetischen Zone therapiert wurden (Noelken, Oberhansl et al. 2016). Trotz fazialer Defekte konnten mit Augmentation von Knochenchips ohne Lappenbildung stabile Ergebnisse erreicht und über einen Beobachtungszeitraum von 43 Monaten eine Überlebensrate von 95% dokumentiert werden.

Analyse der Erfolgsparameter

Nachteil bei der reinen Berechnung der Überlebensrate ist die mangelnde Berücksichtigung des klinischen und radiologischen Erfolges mit Betrachtung der periimplantären Hart- und Weichgewebezustände. Aus diesem Grund haben verschiedene Autoren unterschiedliche klinische und radiologische VerlaufsvARIABLEN

als Erfolgskriterien definiert (Albrektsson T, Zarb G et al. 1986, Buser, Weber et al. 1990, Buch, Weibrich et al. 2003). In der vorliegenden Studie wurde die kumulative Erfolgswahrscheinlichkeit unter Anwendung der unter 3.7.2 beschriebenen und erweiterten Kriterien nach Buser berechnet. Da die Erfolgskriterien nach Buser als eher „weich“ einzustufen sind, wurden diese in der vorliegenden Untersuchung um strengere Erfolgskriterien ergänzt, wie „nicht mehr als 1 mm marginaler Knochenverlust“ oder „nicht mehr als 5 mm Sondierungstiefe“.

Im Nachuntersuchungszeitraum von der Implantation bis zur finalen Untersuchung ging kein Implantat verloren. Auch zeigte keines der Implantate klinische Mobilität, Sekretion, langanhaltende Schmerzen oder röntgenologische Anzeichen einer persistierenden periimplantären Radiotransluzenz. Kein Implantat wies eine Sondierungstiefe größer als 5 mm auf. Lediglich bei einem Implantat wurde ein marginales Knochenniveau mehr als 1 mm unterhalb der Implantatschulter gemessen. Dies ergab eine Erfolgswahrscheinlichkeit von 98% der hier nachuntersuchten Implantate. Dies steht im Einklang mit den Daten einer prospektiven Studie, die für Profile Implantate mit Sofortimplantation und Sofortversorgung unter Anwendung der gleichen Kriterien über eine Erfolgswahrscheinlichkeit von 90% berichtete (Noelken, Oberhansl et al. 2016).

Marginales Knochenniveau

In der Literatur wird der Erhalt des marginalen Knochenniveaus am Implantat als entscheidender Einflussfaktor für die Langzeitprognose und Erfolgsrate eines Implantates beschrieben (Schiegnitz, Al-Nawas et al. 2016). Deshalb wurden in der vorliegenden Studie die Distanz zwischen dem marginalen Knochenniveau in Relation zur Implantatschulter in zweidimensionaler Bildgebung analysiert. Einer der am häufigsten zitierten Referenzwerte für den periimplantären Knochenverlust wurde von Albrektsson et al. 1986 formuliert. Bei Brånemark Implantaten betrug der Knochenverlust im ersten Jahr durchschnittlich 1,5 mm, in den Folgejahren 0,1 mm (Adell, Lekholm et al. 1981). Laut Albrektsson et al. 1986 sollte nach dem ersten Jahr nach Implantation der durchschnittliche horizontale Knochenverlust nicht mehr als 0,2 mm pro Jahr betragen (Albrektsson T, Zarb G et al. 1986, Smith and Zarb 1989).

Bei mehr als 75% der Fälle wurde unmittelbar nach der Implantation ein marginales Knochenniveau oberhalb der Implantatschulter dokumentiert. Der entsprechende Mittelwert post operationem lag bei $0,58 \pm 0,64$ mm. Aufgrund von Umbau- und

Resorptionsprozessen reduzierte sich das proximale Knochenniveau und lag bei den jeweiligen Nachkontrollen durchschnittlich nahe dem Niveau der Implantatschulter. Das mittlere marginale Knochenniveau stabilisierte sich zum letzten Untersuchungszeitpunkt bei $-0,04 \pm 0,40$ mm. Dies entspricht einer durchschnittlichen periimplantären Knochenresorption von $0,58 \pm 0,30$ mm innerhalb eines mittleren Beobachtungszeitraums von 16 Monaten. Vergleichbare Werte wurden in der prospektiven Multicenterstudie bei 65 Patienten mit OsseoSpeed™ Profile Implantaten als Einzelzahnersatz im ausgeheilten Kieferkamm dokumentiert. Nach einem Jahr betrug der Verlust der marginalen Knochenhöhe im Schnitt $0,54 \pm 1,29$ mm (Noelken, Donati et al. 2014). Aus dieser Studie wurden 15 Patienten weiter beobachtet und deren Langzeitergebnisse dokumentiert. In dieser Untersuchungsgruppe lag das marginale Knochenniveau bei $0,50 \pm 0,21$ mm nach Implantation, bei $0,07 \pm 0,25$ mm nach 3 Jahren, und bei $0,13 \pm 0,58$ mm bei der Nachuntersuchung nach 10 Jahren (Noelken, Schiegnitz et al. 2021). Die Autoren konnten damit zeigen, dass durch die Kombination von OsseoSpeed™ Oberfläche, koronaler Mikrorillen, konischer Innenverbindung und Platform Switch der periimplantäre Knochen langfristig unterstützt und das marginale Knochenniveau auf der Höhe der Implantatschulter erhalten werden konnte.

Der positive Einfluss von Oberflächenmodifikation und Mikrorillenstruktur auf den marginalen Knochenerhalt wurde in der tierexperimentellen Studie von Rasmusson et al. beschrieben. Sie untersuchten die Einheilung und Stabilität der mit Mikrorillen versehenen, sandgestrahlten Astra Tech Implantate im Vergleich zu den maschinieren Brånemark Implantaten in Regionen mit und ohne Knochendefekt. Dabei wiesen die Astra Tech Implantate nach 4 Monaten Einheilung histologisch einen stärkeren Kontakt zwischen Knochen und Implantat, verstärkte Regeneration im Bereich des Knochendefektes sowie höhere Stabilität bei der Resonanzfrequenzanalyse auf (Rasmusson, Kahnberg et al. 2001).

Der unterstützende Effekt des Platform Switches auf den periimplantären Knochenerhalt wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Während einige Studien keinen Unterschied in Bezug auf marginale Knochenveränderungen zwischen Implantaten mit und ohne Platform Switch feststellten (Crespi, Cappare et al. 2009, Kielbassa, Martinez-de Fuentes et al. 2009), befürwortet der Großteil der Studien und systematischen Reviews den Platform Switch aufgrund signifikant geringerer

marginaler Knochenresorptionen (Canullo, Fedele et al. 2010, Guerra, Wagner et al. 2014).

Häufig wird in der Literatur ein erhöhter periimplantärer Knochenverlust in den ersten drei bis sechs Monaten nach Implantation dokumentiert (Lee, Koak et al. 2016). Eine prospektive Pilotstudie von Moergel et al. (2016) beschrieb einen marginalen Knochenverlust bei Conelog® Screw-Line Implantaten (CAMLOG™ Biotechnologies AG, Basel, Schweiz) ebenso in dieser Therapiephase. Die verwendeten Schraubenimplantate wiesen eine plane Implantatschulter, eine angeraute Oberfläche, eine konische Innenverbindung und einen Platform Switch auf. Insgesamt wurden 52 Implantate bei 24 Patienten in der posterioren Unterkieferregion inseriert und über einen Beobachtungszeitraum von durchschnittlich 60 Monaten untersucht. Die größten Veränderungen wurden zwischen Implantation und prothetischer Versorgung nach 6 – 12 Wochen mit $0,53 \pm 0,4$ mm marginalem Knochenverlust dokumentiert. Im Zeitraum von prothetischer Versorgung bis sechs Monate nach Implantation lag dieser bei $0,11 \pm 0,36$ mm und nach einem Jahr bei $0,0 \pm 0,19$ mm (Moergel, Rocha et al. 2016).

In einigen Fällen der vorliegenden Untersuchung wurde zur Beurteilung des marginalen Knochenniveaus ein Orthopantomogramm ausgewertet, sofern es den zu untersuchenden Bereich scharf darstellen konnte. Diese Technik weist im Vergleich zur intraoralen Einzelzahnaufnahme Nachteile bei der Beurteilung des marginalen Knochenniveaus auf, da sie mit Ungenauigkeiten bezüglich detaillierter Auflösung sowie mit ungleichmäßiger Vergrößerung durch die Schichtaufnahmetechnik verbunden ist (Kullman L, Al-Asfour A et al. 2007). Dennoch wird diese Art der Röntgenaufnahme, vorausgesetzt bei hoher Qualität, als zuverlässig und ausreichend beschriebene Methode für die Bestimmung der marginalen Knochenhöhe angesehen (Zechner, Watzak et al. 2003, Schiegnitz, Al-Nawas et al. 2016).

Aufgrund der zweidimensionalen Bildgebung war in der vorliegenden Untersuchung keine Messung der Höhe der bukkalen und lingualen Knochenlamelle möglich. Dies ist nur klinisch intraoperativ oder mittels DVT Aufnahme zu erreichen. Bei einer direkten intraoralen Messung bei Insertion und chirurgischem Re-entry nach 16 Wochen konnten Nölken et al. am OsseoSpeed™ Profile Implantat eine durchschnittliche Resorption des lingualen und bukkalen marginalen Knochens von 0,2 mm beobachten (Noelken, Donati et al. 2014). In der Langzeituntersuchung von

13 Profile Implantaten zeigte sich lingual ein Knochenverlust auf dem Niveau und bukkal ein Knochenzuwachs über das Niveau der Implantatschulter (Noelken, Schiegnitz et al. 2021). Dabei ist anzumerken, dass im Unterschied zu der vorliegenden Studie dort keine Knochenaugmentationen durchgeführt und der Referenzpunkt für die Insertionstiefe auf das Niveau der bukkalen Lamelle festgelegt wurde.

Eine dreidimensionale Bildgebung wäre für die Beurteilung des periimplantären Knochenlevels auch in der vorliegenden Untersuchung wünschenswert, war jedoch in der Regel aufgrund der deutlich höheren Strahlenbelastung für den Patienten nicht indiziert.

Weichgewebeparameter

Der Erfolg eines Implantates beschränkt sich nicht nur auf Überleben und Hartgewebestabilität, sondern wird auch durch eine funktionelle und stabile periimplantäre Weichgewebemanschette bestimmt. Insbesondere bei Einzelzahnimplantaten im ästhetischen Bereich ist eine natürliche Weichgewebeästhetik erwünscht. Laut Gehrke et al. wurden ästhetische Parameter bei implantologischen Studien früher nur selten inkludiert (Gehrke, Lobert et al. 2008). Fürhauser et al. definierten klare, umfassende Kriterien, um hierfür objektive Indices für reproduzierbare Untersuchungen zu liefern (Fürhauser, Florescu et al. 2005). Der Pink Esthetic Score hat sich dabei in vielen Studien als valider Bewertungsschlüssel zur Langzeitevaluation der Weichgewebeästhetik um Einzelzahnimplantate bewährt (Gehrke, Lobert et al. 2008, Lai, Zhang et al. 2008, Belser, Grutter et al. 2009). Ein Implantat mit einem Pink Esthetic Score zwischen 10 und 14 Punkten gilt als ästhetisch gut, wobei nach Fürhauser et al. beim höchstmöglichen Punktwert von 14 das periimplantäre Weichgewebe mit dem Weichgewebe des Referenzzahns perfekt übereinstimmt (Fürhauser, Florescu et al. 2005). In der vorliegenden Studie erreichte der PES bei der finalen Nachuntersuchung durchschnittlich $10,2 \pm 1,68$. Dies steht im Einklang mit der Literatur für Implantatsysteme mit nicht rotationssymmetrischer Schulter. In einer prospektiven Studie mit Nobel Perfect™ Implantaten lag der durchschnittliche PES nach fünf Jahren bei 10,5 (Noelken, Kunkel et al. 2014). Ein Vergleich zur präoperativen Situation war nicht möglich, da es sich um ausgeheilte Fälle handelte.

In einer Studie zur Sofortimplantation mit provisorischer Sofortversorgung von OsseoSpeed™ Profile Implantaten in der ästhetischen Zone wurde im Verlauf der 3-Jahresuntersuchung eine signifikante Verbesserung des PES von präoperativ 10,4 auf 11,8 beobachtet, wobei in 74% der Fälle der PES stabil blieb oder besser wurde (Oberhansl, Wagner et al. 2015, Noelken, Oberhansl et al. 2016).

Wie bereits unter 2.5 geschildert, ist besonders im approximalen Bereich der Erhalt des Knochenniveaus wichtig, um die Regeneration der Interdentalpapillen zu ermöglichen. Trotz des stabilen approximalen Knochenniveaus mesial ($-0,02 \pm 0,38$ mm) und distal ($-0,07 \pm 0,51$ mm) erhielten bei der PES Bestimmung die mesiale und distale Papille durchschnittlich die niedrigsten Werte aller PES-Variablen (mesial $1,26 \pm 0,65$ mm, distal $1,13 \pm 0,65$ mm). Ähnliche Werte wurden auch bei den sofortimplantierten OsseoSpeed™ Profile Implantaten bei Nölken et al. (2016) beobachtet. Nach drei Jahren lag der mittlere PES Score für die mesiale Papille bei $1,33 \pm 0,69$ und für die distale bei $1,44 \pm 0,71$ (Noelken, Oberhansl et al. 2016).

Da beim PES das Kriterium für den Erhalt der Papille nur durch die drei Kategorien „fehlend“, „unvollständig“ und „vollständig“ klassifiziert wird, birgt der Index eine gewisse Ungenauigkeit. Jedoch kritisierten McAllister und Kan et al. bei ihren Untersuchungen zum Nobel Perfect™ Implantat, dass selbst der Papillenindex nach Jemt nicht akkurat die Höhe der Papille beschreiben kann, da es sich vielmehr um ein relatives Maß zum Referenzpunkt – gebildet vom Kontaktpunkt der Kronen – handelte (Kan, Rungcharassaeng et al. 2007, McAllister 2007). Tarnow et al. konnten bei ihren parodontalen Messungen zwischen zwei Zähnen feststellen, dass bei einem Abstand von 5 mm oder weniger fast 100% der Fälle eine vollständige Papille aufwiesen, bei 6 mm 56% der Fälle und bei 7 mm 27% oder weniger (Tarnow, Magner et al. 1992). Die tatsächliche Höhe der Papille zwischen zwei benachbarten Implantaten unabhängig vom Kontaktpunkt vom höchsten Punkt der Papille bis zum Knochenniveau lag durchschnittlich bei 3,4 mm, wobei 90% der Werte zwischen 2 und 4 mm schwankten (Tarnow, Elian et al. 2003). Zudem erkannten die Autoren, dass häufig eine subkrestale Position der Implantatschulter relativ zur biologischen Breite des natürlichen Nachbarzahnes gewählt wurde und daher keine ausreichende Verankerung des parodontalen Faserapparates für eine suffiziente Ausformung der Papille zur Verfügung stand (Tarnow, Elian et al. 2003).

Eine mögliche Erklärung des niedrigen PES-Scores für die Papillen wäre daher, dass das Ausmaß der Alveolarkammatrophy nicht nur oro-vestibulär, sondern auch vertikal bereits fortgeschritten war, sodass die gewählte Insertionstiefe der Implantate zwar bündig mit dem periimplantären Knochen abschloss, jedoch relativ zur biologischen Breite der benachbarten Zähne subkrestal lag. Weiter ist es möglich, dass aufgrund des eher kurzen Nachuntersuchungszeitraums der Regenerationsprozess des approximalen Weichgewebes noch nicht abgeschlossen war. Schließlich ist nach einer Implantation in eine ausgeheilte Situation der Papillenkomplex durch die fehlende beidseitige Unterstützung weitestgehend kollabiert.

Entgegen der Erkenntnisse aus Untersuchungen von Fürhauser et al. und Hartmann et al. stellte sich die Farbe des periimplantären Weichgewebes nicht als problematischer Parameter heraus (Fürhauser, Florescu et al. 2005, Hartmann, Seiler et al. 2013). Konträr dazu erhielt dieses Kriterium in der vorliegenden Studie die besten Score Werte mit durchschnittlich $1,83 \pm 0,38$. Mehr als 80% erhielten sogar den besten Bewertungsscore von zwei. Eine Möglichkeit eine ideale Farb- und Texturanpassung zu erreichen, besteht in der Optimierung der bukkalen Weichgewebebedicke durch subepitheliales Einbringen von freien Bindegewebetransplantaten oder gestielten Palatinallappen sowie para- oder subkrestale Positionierung des Implantates (Hartmann, Seiler et al. 2013). Damit soll ein Durchschimmern der Titanschraube vermieden werden. Weichgewebeaugmentationen wurden in dieser Studie allerdings nur vereinzelt im Frontzahnbereich in Form einer Rollappenplastik (4%) und eines palatinal entnommenen Weichgewebetransplantates (2%) durchgeführt und sind für eine statistische Analyse nicht ausreichend repräsentativ.

Passend zu den guten Farb- und Texturbewertungen des PES konnten stabile Verhältnisse der befestigten Mukosa mit einer durchschnittlichen Breite von $2,27 \pm 1,25$ mm zum letzten Untersuchungszeitpunkt und einer Breite ≥ 2 mm in 64% aller untersuchten Fälle beschrieben werden. Da keine präoperative klinische Untersuchung bei der ausgeheilten Situation möglich war, konnte kein Vorher-Nachher Vergleich durchgeführt werden. Eine ausreichend breite keratinisierte Mukosa dient dem Schutz vor periimplantärem Knochenverlust (Zigdon and Machtei 2008, Linkevicius, Apse et al. 2009). Eine präklinische Studie konnte in diesem Zusammenhang feststellen, dass der Verlust des marginalen Knochenlevels bei Implantation in einer Zone ohne keratinisierte Mukosa signifikant höher war als in einer

Zone mit vorhandener befestigter Mukosa (Bengazi, Botticelli et al. 2014). Nölken et al. dokumentierten in ihrer klinischen Langzeitstudie mit OsseoSpeed™ Profile Implantaten eine signifikante Korrelation zwischen der bukkalen Knochenbreite 1 mm unterhalb der Implantatschulter und der Breite der befestigten Mukosa (Noelken, Schiegnitz et al. 2021).

Beim Vergleich der Breite der befestigten Mukosa in den verschiedenen Kontrollintervallen zeichnete sich in der vorliegenden Untersuchung mit zunehmender Beobachtungszeit eine Verbreiterung der keratinisierten Mukosa im bukkalen Bereich der Profile Implantate ab. Während die durchschnittliche Breite zwischen 6 – 12 Monaten $1,75 \pm 1,2$ mm betrug, lag sie zwischen 12 – 24 Monaten bei $2,42 \pm 1,35$ mm und bei mehr als 24 Monaten (24 – 33 Monate) bei $2,75 \pm 0,97$ mm. Der Vergleich des Kontrollintervalls von 6-12 Monaten (kurz nach prothetischer Versorgung) und des Intervalls von mehr als 24 Monaten erreichte das Niveau der statistischen Relevanz ($p = 0,023$). Dies deckt sich mit den Erkenntnissen aus der bereits erwähnten Studie von Schiegnitz et al., in der neben einer günstigen Erfolgsrate und einem stabilen marginalen Knocheniveau insbesondere die Veränderungen des periimplantären Weichgewebes analysiert wurden. Dabei wurde im Verlauf eine statistisch signifikante Verbreiterung der keratinisierten Mukosa im Bereich des Implantates festgestellt. Von durchschnittlicher $2,23 \pm 1,3$ mm postoperativer Breite nahm die Breite der befestigten Gingiva nach einem Jahr auf gemittelte $2,38 \pm 1,1$ mm und nach zwei Jahren auf $2,52 \pm 1,1$ mm zu. Auch bei Patienten mit einer kompromittierten Mukosa, d.h. einer postoperativen Breite von weniger als 2 mm, konnte nach zwei Jahren eine signifikante Verbesserung festgestellt werden (Schiegnitz, Noelken et al. 2016).

Die Langzeitergebnisse von 15 OsseoSpeed™ Profile Implantaten als Einzelzahnersatz im ausgeheilten Kieferkamm zeigten ebenfalls eine signifikante Verbreiterung der keratinisierten Mukosa auf der bukkalen Seite des Implantates zwischen prothetischer Versorgung und 1-Jahreskontrolle (Noelken, Schiegnitz et al. 2021). Die Ursache für die deutliche Verbesserung der Weichgewebeästhetik ist nicht abschließend geklärt. Die Autoren diskutieren den Zusammenhang auf histologischer Ebene anhand der Rekonstruktion des supraalveolären Faserapparates, welcher durch Feneis beschrieben wurde (Feneis 1952). Während im gesunden Parodontium die keratinisierte Gingiva durch dichte, funktionell ausgerichtete Kollagenfasern stabilisiert wird, fehlt beim Implantat das Desmodont als Verankerungsstelle für den

dreidimensionalen Kollagenfaserkomplex. Die Kollagenfaserbündel verlaufen im periimplantären Weichgewebe überwiegend parallel, aber auch zirkulär oder senkrecht zum Implantat (Schierano, Ramieri et al. 2002, Tenenbaum, Schaaf et al. 2003, Glauser, Schupbach et al. 2005, Schupbach and Glauser 2007). Durch Anpassung der abgeschrägten Implantatschulter an den schräg atrophierten Kieferkamm könnte die marginale Knochenhöhe erhalten und die linguale marginale Matrix als Verankerungsstelle für den Kollagenfaserkomplex dienen. Gleichzeitig könnte der Platform Switch die Regeneration des supraalveolären Faserapparates erleichtern und somit die keratinisierte Mukosa unterstützen (Noelken, Schiegnitz et al. 2021).

Die klinischen Parameter zum Mundhygienestatus dokumentierten mäßige bis gesunde parodontale Verhältnisse. In 82,6% der Fälle herrschte eine gute Mundhygiene, in den restlichen 17,4% war sie optimal. In etwa zwei Dritteln der Fälle lag der Blutungsindex unter 10% im physiologischen Bereich. Die restlichen Fälle zählten zur Kategorie des schwach entzündeten Parodonts. Im Mittel lag der API bei $26,68\% \pm 18,82$ und der SBI bei $17,05\% \pm 12,13$. Periimplantäre Infektionszeichen traten nur in geringem Maße in Form von vereinzelter Plaque am Implantat (8,7%) und Blutung beim Sondieren (BOP 30,4%) auf. Ebenso wurden überwiegend gesunde Sondierungstiefen zwischen 2,13 – 2,56 mm gemessen. Die kritische Grenze von 5 mm wurde dabei nicht überschritten. Obwohl der Einfluss der allgemeinen oralen Hygiene in der Literatur kontrovers diskutiert wird (Adell, Lekholm et al. 1986, Smith and Zarb 1989, Berglundh, Lindhe et al. 1992), ist eine Vermeidung von Plaqueakkumulation zum Schutz vor marginalem Knochenverlust (Hanggi, Hanggi et al. 2005) und Periimplantitis für den Langzeiterhalt der Implantate unumstritten (Kan, Rungcharassaeng et al. 2007).

Korrelationen

Ähnlich wie eine suffiziente Knochenhöhe und biologische Breite die Voraussetzungen für gesunde parodontale Verhältnisse sind (Gargiulo, Wentz et al. 1961), bildet ein stabiles marginales Knocheniveau am Implantat die Grundlage für ausreichend gestütztes periimplantäres Gewebe (Albrektsson T, Zarb G et al. 1986). Dies konnten die vorliegenden Daten mit einer statistisch relevanten Korrelation zwischen marginaler Knochenhöhe und PES bestätigen ($p = 0,004$). Mit der linearen Regression konnte ein gerichteter Zusammenhang nachgewiesen werden, wobei der PES die

abhängige Variable bildete. Nölken et al. (2014) konnten ebenso eine signifikante Korrelation zwischen PES und marginaler Knochenhöhe bei Sofortimplantation mit provisorischer Sofortversorgung dokumentieren ($p = 0,022$) (Noelken, Neffe et al. 2014). Die statistisch relevante Korrelation zwischen der Beobachtungszeit und dem marginalen Knocheniveau ($p = 0,001$), dem PES ($p = 0,001$) und der Breite der keratinisierten Mukosa ($p = 0,004$) spricht für eine zunehmende Regeneration und Stabilisierung des Hart- und Weichgewebes mit der Zeit.

Einflussfaktoren

Rauchen

Laut wissenschaftlichen Studien verhindert Nikotin die Expression bestimmter Enzyme, welche für die Regulation der Osteoblastenproliferation und -differenzierung zuständig sind (Deng, Sharff et al. 2008, Ma, Zwahlen et al. 2011). Außerdem führt Nikotin im Allgemeinen zur Vasokonstriktion und somit zu verminderter Perfusion. Die damit verbundene Ischämie (Wang, Wan et al. 2007) führt in Kombination mit der gestörten Regulation der Osteosynthese zu einem eingeschränkten Knochenmetabolismus (Ma, Zheng et al. 2010, Chrcanovic, Albrektsson et al. 2015). Aufgrund der besonders hohen Konzentration von Nikotin in der Mundhöhle wird mit einem negativen Effekt auf die Einheilung und den langfristigen Erfolg von Implantaten gerechnet. Bezüglich des Einflusses von Rauchen auf das Implantatüberleben kann in der vorliegenden Studie keine Aussage getroffen werden, da keines der Implantate verloren ging. Zusätzlich wurden Subgruppenanalysen für die Parameter „marginales Knocheniveau“ und „Pink Esthetic Score“ bei Rauchern versus Nichtrauchern durchgeführt. Es konnte für den Hartgewebeparameter ein statistisch relevanter Unterschied nachgewiesen werden ($p = 0,032$), wohingegen kein auffälliger Unterschied für die beiden Gruppen hinsichtlich des PES festgestellt wurde ($p = 0,440$). Eine genauere Differenzierung des Rauchverhaltens bezogen auf die Dosis in Zigaretten pro Tag wurde zwar dokumentiert, jedoch war die Fallzahl zu gering, um einen Unterschied beurteilen zu können.

Der kompromittierende Effekt von Nikotin auf die Stabilität des periimplantären Knochens konnte in dieser Studie nachgewiesen werden. Dieser Effekt wird in der Literatur jedoch kontrovers diskutiert. In einem systematischen Review und Meta-Analyse von Chrcanovic et al. (2015) wurden 107 Studien, darunter vier randomisierte

klinische Studien, 16 kontrollierte klinische Studien sowie 16 prospektive Studien und 71 retrospektive Studien daraufhin analysiert, ob sich Raucher im Vergleich zu Nichtrauchern in Bezug auf Implantatverlust, postoperative Infektion sowie marginales Knochenniveau unterschieden. Innerhalb der untersuchten Studien gaben 104 Studien einen Vergleich der Verlustraten für Raucher und Nichtraucher an. Hierbei betrug die Anzahl der Verluste 1.259 von 19.836 Implantaten bei Rauchern (6,35%), die Verlustrate bei Nichtrauchern hingegen 1.923 von 60.464 Implantaten (3,18%). 44 Studien gaben eine statistische Korrelation zwischen Implantatverlust und Rauchverhalten an. Zudem konnten die Autoren feststellen, dass die Assoziation zwischen Rauchen und höherer Verlustrate bei verschiedenen Oberflächenmodifikationen des Implantates bestand. Aufgrund der Heterogenität der Studien bezüglich Operationstechnik, Augmentation, Einheilungsart und -dauer, weiterer Risikofaktoren wie Diabetes oder Bruxismus etc. müssen die Ergebnisse jedoch kritisch hinterfragt werden (Chrcanovic, Albrektsson et al. 2015).

Versorgungsarten

Zwischen Einzelzahnimplantaten und mehrgliedrigen Implantatversorgungen konnten weder in Bezug zur marginalen Knochenhöhe ($p = 0,162$) noch zum PES ($p = 0,099$) statistisch relevante Korrelationen festgestellt werden. Dem gegenüber stehen Ergebnisse zu sofortversorgten OsseoSpeed™ Profile Implantaten von Nölken et al. (2014) und Oberhansl et al. (2015), welche beim mittleren PES einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen Einzelzahn- und mehrgliedrigen Versorgungsarten beschrieben (Noelken, Neffe et al. 2014, Oberhansl, Wagner et al. 2015). Die divergierenden Erkenntnisse zum gleichen Implantatdesign lassen vermuten, dass andere Faktoren wie Komplexität und Gestaltung der prothetischen Suprakonstruktion die Korrelation beeinflussen und zusätzlich bei der Interpretation beachtet werden müssen. Auch Lee et al konnten 2016 in ihrer prospektiven Langzeit-Vergleichsstudie mit verschiedenen Implantatsystemen bezüglich der marginalen Knochenhöhe keine auffälligen Unterschiede zwischen den beiden Versorgungsarten beobachten (Lee, Koak et al. 2016).

6.3 Schlussfolgerung

Die dokumentierten Hart- und Weichgewebeergebnisse dieser Nachuntersuchung belegen den klinischen und radiologischen Erfolg von OsseoSpeed™ Profile EV Implantaten bei Spätimplantation im ausgeheilten, schräg atrophierten Alveolarkamm. Nach einem initialen Knochenverlust von durchschnittlich $0,58 \pm 0,3$ mm in den ersten 16 Monaten nach Implantation stabilisierte sich das marginale Knochenniveau auf dem Niveau der Implantatschulter ($-0,04 \pm 0,40$ mm). Die Breite der befestigten Mukosa am Profile Implantat zeigte beim Vergleich der Nachuntersuchungsintervalle eine statistisch relevante Zunahme. Eine günstige periimplantäre Weichgewebeästhetik wurde wiederhergestellt. Die Ergebnisse bezüglich Überlebenswahrscheinlichkeit sowie Hart- und Weichgewebestabilität stehen im Einklang mit der Literatur und sind sowohl mit dem Vorgängermodell als auch mit anderen nicht rotationsymmetrischen Implantatsystemen vergleichbar. Der Erhalt des marginalen Knochenniveaus auf dem Niveau der Implantatschulter dient als Grundlage für die Unterstützung des periimplantären Weichgewebes und hat bedeutenden Einfluss auf die Weichgewebeästhetik. Dies konnten die vorliegenden Daten mit einer statistisch relevanten Korrelation zwischen marginaler Knochenhöhe und PES bestätigen ($p = 0,004$). Der kontrovers diskutierte, kompromittierende Einfluss von Nikotin war durch ein niedrigeres marginales Knochenniveau nachweisbar. Da in dieser Studie kein Implantat verloren ging, kann keine Aussage über den Einfluss des Nikotins auf das Implantatüberleben getroffen werden.

Um den Einfluss des abgescrägten Implantatschulterdesigns auf die periimplantäre Hart- und Weichgewebestabilität weiter zu analysieren, sind insbesondere prospektive Studien mit größerer Fallzahl und Kontrollgruppe und einem längeren Untersuchungszeitraum angezeigt.

7 Zusammenfassung

Hintergrund und Ziel der Studie: Um die natürliche abgeschrägte Topographie des atrophierten Alveolarkammes zu erhalten, wurden Implantate mit abgeschrägter Schulter entwickelt. Ziel der vorliegenden retrospektiven Untersuchung ist die Evaluation des klinischen und radiologischen Erfolgs eines solchen Implantates bei Spätimplantation in den ausgeheilten und schräg atrophierten Alveolarkamm.

Material und Methoden: 50 OsseoSpeed™ Profile EV Implantate (Astra Tech Implant System, Dentsply Sirona, Hanau, Germany) wurden bei 30 Patienten (30 – 77 Jahre) im Zeitraum von Oktober 2014 bis Februar 2017 inseriert. Überlebens- und Erfolgswahrscheinlichkeit, die marginale Knochenstabilität sowie die periimplantäre Weichgewebesituation (Pink Esthetic Score, Breite der keratinisierten Mukosa, Sondierungstiefen, Hygieneindices) wurden statistisch ausgewertet.

Ergebnisse: Kein Implantat ging im Nachuntersuchungszeitraum von durchschnittlich 16,4 Monaten verloren. Unter Anwendung der erweiterten Erfolgskriterien nach Buser wurde ein Implantat als Misserfolg gewertet, da dort das marginale Knochenniveau am letzten Nachuntersuchungstermin mehr als ein Millimeter unterhalb der Implantatschulter lag. Das mittlere marginale Knochenniveau lag zum Zeitpunkt der letzten Nachuntersuchung auf Höhe der Implantatschulter ($-0,04 \pm 0,40$ mm). Die Verbreiterung der keratinisierten Mukosa von $1,75 \pm 1,2$ mm nach 6 bis 12 Monaten auf $2,75 \pm 0,97$ mm nach mehr als 24 Monaten war statistisch relevant ($p = 0,023$). Es konnte eine günstige Weichgewebeästhetik mit dem Pink Esthetic Score (PES $10,2 \pm 1,68$) dokumentiert werden. Die Sondierungstiefen lagen durchschnittlich im physiologischen Bereich (2,1 bis 2,6 mm) und Mundhygieneindices dokumentierten mäßige bis gesunde parodontale Verhältnisse. Der negative Einfluss von Nikotin auf die Stabilität des periimplantären Knochens war statistisch relevant ($p = 0,032$).

Schlussfolgerung: Die hohe Überlebens- und Erfolgswahrscheinlichkeit, der marginale Knochenerhalt auf Höhe der Implantatschulter und die Zunahme der Breite der keratinisierten Mukosa belegen den klinischen Erfolg des OsseoSpeed™ Profile EV Implantatsystems mit abgeschrägter Schulter bei Spätimplantation in den ausgeheilten, schräg atrophierten Alveolarkamm.

8 Literaturverzeichnis

Abrahamsson, I. and T. Berglundh (2006). "Tissue characteristics at microthreaded implants: an experimental study in dogs." Clin Implant Dent Relat Res **8**(3): 107-113.

Abrahamsson, I., T. Berglundh, I. S. Moon and J. Lindhe (1999). "Peri-implant tissues at submerged and non-submerged titanium implants." J Clin Periodontol **26**(9): 600-607.

Abrahamsson, I., T. Berglundh, S. Sekino and J. Lindhe (2003). "Tissue reactions to abutment shift: an experimental study in dogs." Clin Implant Dent Relat Res **5**(2): 82-88.

Abrahamsson, I., T. Berglundh, J. Wennstrom and J. Lindhe (1996). "The peri-implant hard and soft tissues at different implant systems. A comparative study in the dog." Clin Oral Implants Res **7**(3): 212-219.

Abrahamsson, I., M. Welander, E. Linder and T. Berglundh (2014). "Healing at implants placed in an alveolar ridge with a sloped configuration: an experimental study in dogs." Clin Implant Dent Relat Res **16**(1): 62-69.

Adell, R., U. Lekholm, B. Rockler and P. I. Branemark (1981). "A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw." Int J Oral Surg **10**(6): 387-416.

Adell, R., U. Lekholm, B. Rockler, P. I. Branemark, J. Lindhe, B. Eriksson and L. Sbordone (1986). "Marginal tissue reactions at osseointegrated titanium fixtures (I). A 3-year longitudinal prospective study." Int J Oral Maxillofac Surg **15**(1): 39-52.

Albrektsson T, Zarb G, Worthington P and E. AR (1986). "The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success." Int J Oral Maxillofac Implants **1**(1): 11-25.

Albrektsson, T., P.-I. Brånemark, H.-A. Hansson and J. Lindström (1981). "Osseointegrated titanium implants: requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man." Acta Orthopaedica Scandinavica **52**(2): 155-170.

Albrektsson, T. O., C. B. Johansson and L. Sennerby (1994). "Biological aspects of implant dentistry: osseointegration." Periodontol 2000 **4**: 58-73.

Anderson, P. A., J. C. Copenhaver, A. F. Tencer and J. M. Clark (1991). "Response of cortical bone to local controlled release of sodium fluoride: the effect of implant insertion site." J Orthop Res **9**(6): 890-901.

Araujo, M. G. and J. Lindhe (2005). "Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog." J Clin Periodontol **32**(2): 212-218.

Araujo, M. G. and J. Lindhe (2005). "Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog." J Clin Periodontol **32**(2): 212-218.

Araujo, M. G., F. Sukekava, J. L. Wennstrom and J. Lindhe (2005). "Ridge alterations following implant placement in fresh extraction sockets: an experimental study in the dog." Journal of Clinical Periodontology **32**(6): 645-652.

Araujo, M. G., F. Sukekava, J. L. Wennstrom and J. Lindhe (2006). "Tissue modeling following implant placement in fresh extraction sockets." Clin Oral Implants Res **17**(6): 615-624.

Atieh, M. A., H. M. Ibrahim and A. H. Atieh (2010). "Platform switching for marginal bone preservation around dental implants: a systematic review and meta-analysis." J Periodontol **81**(10): 1350-1366.

Baixé, S., G. Fauxpoint, Y. Arntz and O. Etienne (2010). "Microgap between zirconia abutments and titanium implants." Int J Oral Maxillofac Implants **25**(3): 455-460.

Becker, W., C. Ochsenbein, L. Tibbetts and B. E. Becker (1997). "Alveolar bone anatomic profiles as measured from dry skulls. Clinical ramifications." J Clin Periodontol **24**(10): 727-731.

Belser, U. C., L. Grutter, F. Vailati, M. M. Bornstein, H. P. Weber and D. Buser (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." J Periodontol **80**(1): 140-151.

Bengazi, F., D. Botticelli, V. Favero, A. Perini, J. Urbizo Velez and N. P. Lang (2014). "Influence of presence or absence of keratinized mucosa on the alveolar bony crest level as it relates to different buccal marginal bone thicknesses. An experimental study in dogs." Clin Oral Implants Res **25**(9): 1065-1071.

Berglundh, T., I. Abrahamsson, J. P. Albouy and J. Lindhe (2007). "Bone healing at implants with a fluoride-modified surface: an experimental study in dogs." Clinical Oral Implants Research **18**(2): 147-152.

Berglundh, T., J. Lindhe, C. Marinello, I. Ericsson and B. Liljenberg (1992). "Soft tissue reaction to de novo plaque formation on implants and teeth. An experimental study in the dog." Clin Oral Implants Res **3**(1): 1-8.

Bleier, R., A. Kirsch and W. Mann (1991). "Ein neues Implantatsystem in der Kopf-Hals-Chirurgie." Laryngo-Rhino-Otologie **70**(11): 625-629.

Bobbio, A. (1972). "The first endosseous alloplastic implant in the history of man." Bull Hist Dent **20**(1): 1-6.

Botticelli, D., T. Berglundh and J. Lindhe (2004). "Hard-tissue alterations following immediate implant placement in extraction sites." J Clin Periodontol **31**(10): 820-828.

Brånemark, P.-I., G. Zarb and T. Albrektsson (1985). "Einführung in die Osseointegration." Brånemark PI, Zarb GA, Albrektsson T: Gewebeintegrierter Zahnersatz. Osseointegration in klinischer Zahnheilkunde. Quintessenz, Berlin 1985: 11-76.

Branemark, P. I. (1983). "Osseointegration and its experimental background." J Prosthet Dent **50**(3): 399-410.

Buch, R., G. Weibrich and W. Wagner (2003). "Erfolgskriterien in der Implantologie." Mund-, Kiefer-, GesichtsChirurgie(7): 42-46.

Buser, D., R. K. Schenk, S. Steinemann, J. P. Fiorellini, C. H. Fox and H. Stich (1991). "Influence of surface characteristics on bone integration of titanium implants. A histomorphometric study in miniature pigs." J Biomed Mater Res **25**(7): 889-902.

Buser, D., H. P. Weber and N. P. Lang (1990). "Tissue integration of non-submerged implants. 1-year results of a prospective study with 100 ITI hollow-cylinder and hollow-screw implants." Clin Oral Implants Res **1**(1): 33-40.

Canullo, L., G. R. Fedele, G. Iannello and S. Jepsen (2010). "Platform switching and marginal bone-level alterations: the results of a randomized-controlled trial." Clin Oral Implants Res **21**(1): 115-121.

Canullo, L. and G. Rasperini (2007). "Preservation of peri-implant soft and hard tissues using platform switching of implants placed in immediate extraction sockets: a proof-of-concept study with 12- to 36-month follow-up." Int J Oral Maxillofac Implants **22**(6): 995-1000.

Cardaropoli, G., M. Araujo and J. Lindhe (2003). "Dynamics of bone tissue formation in tooth extraction sites. An experimental study in dogs." J Clin Periodontol **30**(9): 809-818.

Carlsson, L., T. Rostlund, B. Albrektsson and T. Albrektsson (1988). "Removal torques for polished and rough titanium implants." Int J Oral Maxillofac Implants **3**(1): 21-24.

Carmagnola, D., M. Araujo, T. Berglundh, T. Albrektsson and J. Lindhe (1999). "Bone tissue reaction around implants placed in a compromised jaw." J Clin Periodontol **26**(10): 629-635.

Castro, A. B., N. Meschi, A. Temmerman, N. Pinto, P. Lambrechts, W. Teughels and M. Quirynen (2017). "Regenerative potential of leucocyte- and platelet-rich fibrin. Part B: sinus floor elevation, alveolar ridge preservation and implant therapy. A systematic review." J Clin Periodontol **44**(2): 225-234.

Chappuis, V., O. Engel, M. Reyes, K. Shahim, L. P. Nolte and D. Buser (2013). "Ridge alterations post-extraction in the esthetic zone: a 3D analysis with CBCT." J Dent Res **92**(12 Suppl): 195s-201s.

Cheang, P. and K. A. Khor (1996). "Addressing processing problems associated with plasma spraying of hydroxyapatite coatings." Biomaterials **17**(5): 537-544.

Chrcanovic, B. R., T. Albrektsson and A. Wennerberg (2015). "Smoking and dental implants: A systematic review and meta-analysis." J Dent **43**(5): 487-498.

Cochran, D., R. Schenk, A. Lussi, F. Higginbottom and D. Buser (1998). "Bone response to unloaded and loaded titanium implants with a sandblasted and acid-etched surface: a histometric study in the canine mandible." Journal of biomedical materials research **40**(1): 1-11.

Collaert, B. and H. De Bruyn (2002). "Early loading of four or five Astra Tech fixtures with a fixed cross-arch restoration in the mandible." Clin Implant Dent Relat Res **4**(3): 133-135.

Cortese, A., G. Pantaleo, M. Amato, C. M. Howard, L. Pedicini and P. P. Claudio (2017). "Platelet-Rich Fibrin (PRF) in Implants Dentistry in Combination with New Bone Regenerative Flapless Technique: Evolution of the Technique and Final Results." Open Med (Wars) **12**: 24-32.

Crespi, R., P. Cappare and E. Gherlone (2009). "Radiographic evaluation of marginal bone levels around platform-switched and non-platform-switched implants used in an immediate loading protocol." Int J Oral Maxillofac Implants **24**(5): 920-926.

de Sanctis, M., F. Vignoletti, N. Discepoli, G. Zucchelli and M. Sanz (2009). "Immediate implants at fresh extraction sockets: bone healing in four different implant systems." J Clin Periodontol **36**(8): 705-711.

Degidi, M., G. Iezzi, A. Scarano and A. Piattelli (2008). "Immediately loaded titanium implant with a tissue-stabilizing/maintaining design ('beyond platform switch') retrieved

from man after 4 weeks: a histological and histomorphometrical evaluation. A case report." Clin Oral Implants Res **19**(3): 276-282.

Deng, Z., K. Sharff, N. Tang, W. Song, J. Luo, X. Luo, J. Chen, E. Bennett, R. Reid, D. Manning, A. Xue, A. Montag, H. Luu, R. Haydon and T. He (2008). "Regulation of osteogenic differentiation during skeletal development." Frontiers in Bioscience **13**: 2001-2021.

Dinkelacker, W. and M. Manthee (2008). "Das Biologisch Physikalische Implantatsystem- Die Entwicklung des Biologisch Physikalischen Implantatsystems." IMPLANT/direkt Fachjournal für die dentale Implantologie **1**: 23-30.

Ellingsen, J. (1995). "Pre-treatment of titanium implants with fluoride improves their retention in bone." Journal of Materials Science: Materials in Medicine **6**(12): 749-753.

Ellingsen, J. E., C. B. Johansson, A. Wennerberg and A. Holmen (2004). "Improved retention and bone-to-implant contact with fluoride-modified titanium implants." Int J Oral Maxillofac Implants **19**(5): 659-666.

Farley, J. R., J. E. Wergedal and D. J. Baylink (1983). "Fluoride directly stimulates proliferation and alkaline phosphatase activity of bone-forming cells." Science **222**(4621): 330-332.

Feneis, H. (1952). "[Anatomy and physiology of the normal gingiva]." Dtsch Zahnarztl Z **7**(8): 467-476.

Formiggini, M. (1947). "Protesi dentaria a mezzo di infibulazione diretta endoalveolare." Riv. Ital. Di stom **2**.

Fürhauser, R., D. Florescu, T. Benesch, R. Haas, G. Mailath and G. Watzek (2005). "Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score." Clinical Oral Implants Research **16**(6): 639-644.

Fürhauser, R., D. Florescu, T. Benesch, R. Haas, G. Mailath and G. Watzek (2005). "Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score." Clin Oral Implants Res **16**(6): 639-644.

Gargiulo, A. W., F. M. Wentz and B. Orban (1961). "Dimensions and relations of the dentogingival junction in humans." The Journal of Periodontology **32**(3): 261-267.

Gehrke, P., M. Lobert and G. Dhom (2008). "Reproducibility of the pink esthetic score-rating soft tissue esthetics around single-implant restorations with regard to dental observer specialization." J Esthet Restor Dent **20**(6): 375-384; discussion 385.

Glauser, R., P. Schupbach, J. Gottlow and C. H. Hammerle (2005). "Periimplant soft tissue barrier at experimental one-piece mini-implants with different surface topography in humans: A light-microscopic overview and histometric analysis." Clin Implant Dent Relat Res **7 Suppl 1**: S44-51.

Guerra, F., W. Wagner, J. Wiltfang, S. Rocha, M. Moergel, E. Behrens and P. Nicolau (2014). "Platform switch versus platform match in the posterior mandible - 1-year results of a multicentre randomized clinical trial." J Clin Periodontol **41**(5): 521-529.

Hanggi, M. P., D. C. Hanggi, J. D. Schoolfield, J. Meyer, D. L. Cochran and J. S. Hermann (2005). "Crestal bone changes around titanium implants. Part I: A retrospective radiographic evaluation in humans comparing two non-submerged implant designs with different machined collar lengths." J Periodontol **76**(5): 791-802.

Hanisch, O. D., W (2004). "Das „Scalloped implant“ – Ein neues Implantatschulterdesign zur Erhaltung der natürlichen Knochenmorphologie." Implantologie **12**: 149-161.

Hansson, S. (2000). "Implant-abutment interface: biomechanical study of flat top versus conical." Clin Implant Dent Relat Res **2**(1): 33-41.

Hansson, S. (2003). "A conical implant-abutment interface at the level of the marginal bone improves the distribution of stresses in the supporting bone. An axisymmetric finite element analysis." Clin Oral Implants Res **14**(3): 286-293.

Harder, S., B. Dimaczek, Y. Acil, H. Terheyden, S. Freitag-Wolf and M. Kern (2010). "Molecular leakage at implant-abutment connection--in vitro investigation of tightness of internal conical implant-abutment connections against endotoxin penetration." Clin Oral Investig **14**(4): 427-432.

Hartmann, A., M. Seiler, P. Oeschey, M. Dreyling, N. Heinig and F. Beuer (2013). "Evaluation der Ästhetik durch unterschiedliche Fachdisziplinen mittels Pink Esthetic Score." Quintessence Publishing Germany **21**: 321–328.

Jaffin, R. A. and C. L. Berman (1991). "The excessive loss of Branemark fixtures in type IV bone: a 5-year analysis." J Periodontol **62**(1): 2-4.

Jansen, V. K., G. Conrads and E. J. Richter (1997). "Microbial leakage and marginal fit of the implant-abutment interface." Int J Oral Maxillofac Implants **12**(4): 527-540.

Janssen-Brockelmann, A. and R. Nölken (2017). "Sofortimplantation und nicht funktionelle Sofortversorgung in der ästhetischen Zone: 5-Jahres-Ergebnisse von NobelPerfect Implantaten mit Conical Connection." Implantologie **25**(1): 1-9.

Kan, J. Y., K. Rungcharassaeng, G. Liddel, P. Henry and C. J. Goodacre (2007). "Periimplant tissue response following immediate provisional restoration of scalloped implants in the esthetic zone: a one-year pilot prospective multicenter study." J Prosthet Dent **97**(6 Suppl): S109-118.

Kaur, K. and P. Sikri (2013). "Evaluation of the effect of allograft with doxycycline versus the allograft alone in the treatment of infrabony defects: A controlled clinical and radiographical study." Dent Res J (Isfahan) **10**(2): 238-246.

Kielbassa, A. M., R. Martinez-de Fuentes, M. Goldstein, C. Arnhart, A. Barlattani, J. Jackowski, M. Knauf, M. Lorenzoni, C. Maiorana, R. Mericske-Stern, E. Rompen and M. Sanz (2009). "Randomized controlled trial comparing a variable-thread novel tapered and a standard tapered implant: interim one-year results." J Prosthet Dent **101**(5): 293-305.

Kim, H. S., H. A. Cho, Y. Y. Kim and H. Shin (2018). "Implant survival and patient satisfaction in completely edentulous patients with immediate placement of implants: a retrospective study." BMC Oral Health **18**(1): 219.

Kim, T., T. Bürklin, B. Schacher, P. Ratka-Krüger, M. Schaecken, H. Renggli and P. Eickholz (2003). "Lokale Antibiotikagabe versus Instrumentierung in der unterstützenden Parodontistherapie." Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift **58**(10): 579-583.

Kühn, K.-D., N. Renz and A. Trampuz (2017). "Lokale Antibiotikatherapie." Der Unfallchirurg **120**(7): 561-572.

Kullman L, Al-Asfour A, Zetterqvist L and A. L. (2007). "Comparison of radiographic bone height assessments in panoramic and intraoral radiographs of implant patients." Int J Oral Maxillofac Implants **22**(1): 96-100.

Kutan, E., G. Duygu-Capar, C. Ozcakir-Tomruk, O. C. Dilek, F. Ozen, O. Erdogan, I. Ozdemir, M. Korachi and A. Gurel (2016). "Efficacy of doxycycline release collagen membrane on surgically created and contaminated defects in rat tibiae: A histopathological and microbiological study." Arch Oral Biol **63**: 15-21.

Kwon, T., P. A. Bain and L. Levin (2014). "Systematic review of short- (5-10 years) and long-term (10 years or more) survival and success of full-arch fixed dental hybrid prostheses and supporting implants." J Dent **42**(10): 1228-1241.

Lai, H. C., Z. Y. Zhang, F. Wang, L. F. Zhuang, X. Liu and Y. P. Pu (2008). "Evaluation of soft-tissue alteration around implant-supported single-tooth restoration in the anterior maxilla: the pink esthetic score." Clin Oral Implants Res **19**(6): 560-564.

Lee, D. W., Y. S. Choi, K. H. Park, C. S. Kim and I. S. Moon (2007). "Effect of microthread on the maintenance of marginal bone level: a 3-year prospective study." Clin Oral Implants Res **18**(4): 465-470.

Lee, D. W., K. H. Park and I. S. Moon (2006). "Dimension of interproximal soft tissue between adjacent implants in two distinctive implant systems." J Periodontol **77**(6): 1080-1084.

Lee, S. Y., J. Y. Koak, S. K. Kim, I. C. Rhyu, Y. Ku, S. J. Heo and C. H. Han (2016). "A Long-Term Prospective Evaluation of Marginal Bone Level Change Around Different Implant Systems." Int J Oral Maxillofac Implants **31**(3): 657-664.

Linkevicius, T., P. Apse, S. Grybauskas and A. Puisys (2009). "The influence of soft tissue thickness on crestal bone changes around implants: a 1-year prospective controlled clinical trial." Int J Oral Maxillofac Implants **24**(4): 712-719.

Linkow, L. I. and M. S. Mahler (1974). "Further evidence of the compatibility of the titanium blade implant with the skeletal structures." Oral Implantol **5**(2): 179-190.

Ma, L., L. Zheng, M. Sham and L. Cheung (2010). "Uncoupled angiogenesis and osteogenesis in nicotine-compromised bone healing." Journal of biomedical materials research **25**: 1205-1213.

Ma, L., R. Zwahlen, L. Zheng and M. Sham (2011). "Influence of nicotine on the biological activity of rabbit osteoblasts." Clin Oral Implants Res **22**(3): 338-342.

McAllister, B. S. (2007). "Scalloped implant designs enhance interproximal bone levels." Int J Periodontics Restorative Dent **27**(1): 9-15.

Misawa, M., J. Lindhe and M. G. Araujo (2016). "The alveolar process following single-tooth extraction: a study of maxillary incisor and premolar sites in man." Clin Oral Implants Res **27**(7): 884-889.

Moergel, M., S. Rocha, A. Messias, P. Nicolau, F. Guerra and W. Wagner (2016). "Radiographic evaluation of conical tapered platform-switched implants in the posterior mandible: 1-year results of a two-center prospective study." Clin Oral Implants Res **27**(6): 686-693.

Moon, I. S., T. Berglundh, I. Abrahamsson, E. Linder and J. Lindhe (1999). "The barrier between the keratinized mucosa and the dental implant. An experimental study in the dog." J Clin Periodontol **26**(10): 658-663.

Moraschini, V., L. A. Poubel, V. F. Ferreira and S. Barboza Edos (2015). "Evaluation of survival and success rates of dental implants reported in longitudinal studies with a follow-up period of at least 10 years: a systematic review." Int J Oral Maxillofac Surg **44**(3): 377-388.

Noelken, R., M. Donati, J. Fiorellini, N. C. Gellrich, W. Parker, K. Wada and T. Berglundh (2014). "Soft and hard tissue alterations around implants placed in an alveolar ridge with a sloped configuration." Clin Oral Implants Res **25**(1): 3-9.

Noelken, R., M. Kunkel, B. A. Jung and W. Wagner (2014). "Immediate nonfunctional loading of NobelPerfect implants in the anterior dental arch in private practice--5-year data." Clin Implant Dent Relat Res **16**(1): 21-31.

Noelken, R., M. Kunkel and W. Wagner (2011). "Immediate implant placement and provisionalization after long-axis root fracture and complete loss of the facial bony lamella." The International journal of periodontics & restorative dentistry **31**(2): 175-183.

Noelken, R., B. A. Neffe, M. Kunkel and W. Wagner (2014). "Maintenance of marginal bone support and soft tissue esthetics at immediately provisionalized OsseoSpeed implants placed into extraction sites: 2-year results." Clin Oral Implants Res **25**(2): 214-220.

Noelken, R., F. Oberhansl, M. Kunkel and W. Wagner (2016). "Immediately provisionalized OsseoSpeed Profile implants inserted into extraction sockets: 3-year results." Clin Oral Implants Res **27**(6): 744-749.

Noelken, R., F. Oberhansl, M. Kunkel and W. Wagner (2016). "Immediately provisionalized OsseoSpeed() Profile implants inserted into extraction sockets: 3-year results." Clin Oral Implants Res **27**(6): 744-749.

Noelken, R., E. Schiegnitz, B. Al-Nawas and W. Wagner (2021). "Marginal bone and keratinized mucosa alterations around sloped implants installed in healed sloped crests: a long-term cohort study " International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry (accepted, unpublished data).

Oberhansl, F., W. Wagner and R. Noelken (2015). "Funktionelle Hart- und Weichgeweberekonstruktion durch Sofortversorgung von OsseoSpeed™ Profile Implantaten in der ästhetischen Zone: 3-Jahresergebnisse." Implantologie Quintessence publishing **23**(4): 403-417.

Ong, J. L., K. Bessho and D. L. Carnes (2002). "Bone response to plasma-sprayed hydroxyapatite and radiofrequency-sputtered calcium phosphate implants in vivo." Int J Oral Maxillofac Implants **17**(4): 581-586.

Palmer, R. M., B. J. Smith, P. J. Palmer and P. D. Floyd (1997). "A prospective study of Astra single tooth implants." Clin Oral Implants Res **8**(3): 173-179.

Palti, A. (2003). "Back to the roots: Die 2000-jährige Geschichte der Implantation." Implantologie Journal **1**: 6-8.

Piattelli, A., M. Corigliano, A. Scarano, G. Costigliola and M. Paolantonio (1998). "Immediate loading of titanium plasma-sprayed implants: an histologic analysis in monkeys." J Periodontol **69**(3): 321-327.

Petrokovski, J. and M. Massler (1967). "Alveolar ridge resorption following tooth extraction." J Prosthet Dent **17**(1): 21-27.

Quirynen, M., I. Naert and D. van Steenberghe (1992). "Fixture design and overload influence marginal bone loss and fixture success in the Branemark system." Clin Oral Implants Res **3**(3): 104-111.

Rasmusson, L., K. E. Kahnberg and A. Tan (2001). "Effects of implant design and surface on bone regeneration and implant stability: an experimental study in the dog mandible." Clinical implant dentistry and related research **3**(1): 2-8.

Rasmusson, L., K. E. Kahnberg and A. Tan (2001). "Effects of implant design and surface on bone regeneration and implant stability: an experimental study in the dog mandible." Clin Implant Dent Relat Res **3**(1): 2-8.

Sanz, M., D. Cecchinato, J. Ferrus, E. B. Pjetursson, N. P. Lang and J. Lindhe (2010). "A prospective, randomized-controlled clinical trial to evaluate bone preservation using implants with different geometry placed into extraction sockets in the maxilla." Clin Oral Implants Res **21**(1): 13-21.

Sarment, D. P., P. Sukovic and N. Clinthorne (2003). "Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide." Int J Oral Maxillofac Implants **18**(4): 571-577.

Schiegnitz, E., B. Al-Nawas, A. Tegner, K. Sagheb, M. Berres, P. W. Kammerer and W. Wagner (2016). "Clinical and Radiological Long-Term Outcome of a Tapered Implant System with Special Emphasis on the Influence of Augmentation Procedures." Clin Implant Dent Relat Res **18**(4): 810-820.

Schiegnitz, E., R. Noelken, M. Moergel, M. Berres and W. Wagner (2016). "Survival and tissue maintenance of an implant with a sloped configured shoulder in the posterior mandible-a prospective multicenter study." Clin Oral Implants Res.

Schierano, G., G. Ramieri, M. Cortese, M. Aimetti and G. Preti (2002). "Organization of the connective tissue barrier around long-term loaded implant abutments in man." Clin Oral Implants Res **13**(5): 460-464.

Schropp, L., L. Kostopoulos and A. Wenzel (2003). "Bone healing following immediate versus delayed placement of titanium implants into extraction sockets: a prospective clinical study." Int J Oral Maxillofac Implants **18**(2): 189-199.

Schropp, L., A. Wenzel, L. Kostopoulos and T. Karring (2003). "Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study." Int J Periodontics Restorative Dent **23**(4): 313-323.

Schulte, W. and G. Heimke (1976). "[The Tubinger immediate implant]." Quintessenz **27**(6): 17 - 23.

Schupbach, P. and R. Glauser (2007). "The defense architecture of the human periimplant mucosa: a histological study." J Prosthet Dent **97**(6 Suppl): S15-25.

Schwenzer, N. (2000). Zahnärztliche Chirurgie: 35 Tabellen, Georg Thieme Verlag.

Scialom, J. (1965). "Implants aiguilles (pin implants)." J Oral Implant Transplant Surg **11**: 18-23.

Seitz, N., L. Böttcher, J. Atzendorf, C. Rauschert and L. Kraus (2019). "Kurzbericht Epidemiologischer Suchtsurvey 2018 Tabellenband: Trends der Prävalenz des Tabakkonsums und Nikotinabhängigkeit nach Geschlecht und Alter 1990-2018." München: IFT Institut für Therapieforchung.

Shteyer, A., R. Liberman, A. Simkin and I. Gedalia (1977). "Effect of local application of fluoride on healing of experimental bone fractures in rabbits." Calcif Tissue Res **22**(3): 297-302.

Smith, D. E. and G. A. Zarb (1989). "Criteria for success of osseointegrated endosseous implants." J Prosthet Dent **62**(5): 567-572.

SpotImplant (2020). "URL <https://www.spotimplant.com/fr/implants-dentaire/bpi-biologisch-physikalische-implantate/csl> " Dental implant search engine and identification tool(zitiert am 23.03.2021).

Sprang, J. (2006). Ossäre Integration in der oralen Implantologie. Ossäre Integration. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 162-167.

St John, T. A., A. R. Vaccaro, A. P. Sah, M. Schaefer, S. C. Berta, T. Albert and A. Hilibrand (2003). "Physical and monetary costs associated with autogenous bone graft harvesting." Am J Orthop (Belle Mead NJ) **32**(1): 18-23.

Strauss, F. J., A. Stähli and R. Gruber (2018). "The use of platelet-rich fibrin to enhance the outcomes of implant therapy: A systematic review." Clin Oral Implants Res **29 Suppl 18**(Suppl 18): 6-19.

Strietzel, F. P., K. Neumann and M. Hertel (2015). "Impact of platform switching on marginal peri-implant bone-level changes. A systematic review and meta-analysis." Clin Oral Implants Res **26**(3): 342-358.

Strock, A. E. (1939). "Experimental work on a method for the replacement of missing teeth by direct implantation of a metal support into the alveolus: Preliminary report." American journal of orthodontics and oral surgery **25**(5): 467-472.

Strub, J. R. (1994). Curriculum prothetik, Quintessenz-Verl.

Sullivan, D. Y., R. L. Sherwood and T. N. Mai (1997). "Preliminary results of a multicenter study evaluating a chemically enhanced surface for machined commercially pure titanium implants." J Prosthet Dent **78**(4): 379-386.

Tan, W. L., T. L. Wong, M. C. Wong and N. P. Lang (2012). "A systematic review of post-extractional alveolar hard and soft tissue dimensional changes in humans." Clin Oral Implants Res **23 Suppl 5**: 1-21.

Tarnow, D., N. Elian, P. Fletcher, S. Froum, A. Magner, S. C. Cho, M. Salama, H. Salama and D. A. Garber (2003). "Vertical distance from the crest of bone to the height of the interproximal papilla between adjacent implants." J Periodontol **74**(12): 1785-1788.

Tarnow, D. P., A. W. Magner and P. Fletcher (1992). "The effect of the distance from the contact point to the crest of bone on the presence or absence of the interproximal dental papilla." J Periodontol **63**(12): 995-996.

Tenenbaum, H., J. F. Schaaf and F. J. Cuisinier (2003). "Histological analysis of the Ankylos peri-implant soft tissues in a dog model." Implant Dent **12**(3): 259-265.

Thomas, K. A., J. F. Kay, S. D. Cook and M. Jarcho (1987). "The effect of surface macrotecture and hydroxylapatite coating on the mechanical strengths and histologic profiles of titanium implant materials." J Biomed Mater Res **21**(12): 1395-1414.

Urist, M. R. (1997). "Bone morphogenetic protein: the molecularization of skeletal system development." J Bone Miner Res **12**(3): 343-346.

Vercaigne, S., J. G. Wolke, I. Naert and J. A. Jansen (1998). "Bone healing capacity of titanium plasma-sprayed and hydroxylapatite-coated oral implants." Clinical oral implants research **9**(4): 261-271.

Wagner, W. and B. Al-Nawas (2004). "Implantatmaterialien und Konstruktionsprinzipien der Implantate aus chirurgischer Sicht." Praxis der Zahnheilkunde Bd 13.

Wagner, W., P. Tetsch and L. Bossler (1981). "[Prior clinical experience with the Tübingen Frialit implant type]." Deutsche zahnärztliche Zeitschrift **36**(9): 585-590.

Wang, Y., C. Wan, L. Deng, X. Liu, X. Cao, S. Gilbert, M. Bouxsein, M. Faugere, R. Guldberg, L. Gerstenfeld, V. Haase, R. Johnson, E. Schipani and T. Clemens (2007). "The hypoxia-inducible factor alpha pathway couples angiogenesis to osteogenesis during skeletal development." Journal of Clinical Investigation **117**: 1616-1626.

Watzek, G. and G. Mailath-Pokorny (2000). "Zahnärztliche Implantate." Zahnärztliche Chirurgie. Schwenzer N, Ehrenfeld M (Hrsg.). Thieme, Stuttgart, New York: 127-168.

Weibrich, G. and B. Al-Nawas (2001). "Erfolgsaussichten implantologischer Maßnahmen." Zahnärztliche Mitteilungen **91**: 36-43.

Welander, M., I. Abrahamsson and T. Berglundh (2008). "The mucosal barrier at implant abutments of different materials." Clin Oral Implants Res **19**(7): 635-641.

Welander, M., I. Abrahamsson and T. Berglundh (2009). "Placement of two-part implants in sites with different buccal and lingual bone heights." J Periodontol **80**(2): 324-329.

Wong, M., J. Eulenberger, R. Schenk and E. Hunziker (1995). "Effect of surface topology on the osseointegration of implant materials in trabecular bone." J Biomed Mater Res **29**(12): 1567-1575.

Zechner, W., G. Watzak, A. Gahleitner, D. Busenlechner, G. Tepper and G. Watzek (2003). "Rotational panoramic versus intraoral rectangular radiographs for evaluation of peri-implant bone loss in the anterior atrophic mandible." Int J Oral Maxillofac Implants **18**(6): 873-878.

Zetterqvist L, Anneroth G and N. A. (1991). "Tissue integration of Al₂O₃-ceramic dental implants: an experimental study in monkeys." Int J Oral Maxillofac Implants **6**(3): 285-293.

Zetterqvist L, Anneroth G, Nordenram A and W. R. (1995). "X-ray microanalytical and morphological observations of the interface region between ceramic implant and bone." Clin Oral Implants Res. **6**(2): 104-113.

Zigdon, H. and E. E. Machtei (2008). "The dimensions of keratinized mucosa around implants affect clinical and immunological parameters." Clin Oral Implants Res **19**(4): 387-392.

Zipprich, H., P. Weigl, H. C. Lauer and B. Lange (2007). "Micro-movements at the implant-abutment interface: measurement, causes, and consequences." Implantologie **15**: 31-45.