

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

Klinische und radiologische Beurteilung eines neuen Konzeptes der laserunterstützten  
periimplantären Defektregeneration (LAPIDER) bei fortgeschrittener Periimplantitis

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

vorgelegt von

Laura Victoria Maria Dambmann  
aus Offenbach am Main

Mainz, 2024

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Ulrich Förstermann

1. Gutachter: Prof. Dr. Robert Nölken

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 16. April 2024

für Wolfgang

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	I
Abbildungsverzeichnis .....	III
Tabellenverzeichnis .....	V
1 Einleitung.....	1
2 Literaturdiskussion .....	2
2.1 Historische Entwicklung der Implantologie .....	2
2.2 Grundlagen der Implantologie .....	3
2.3 Periimplantitis .....	3
2.3.1 Definition.....	3
2.3.2 Anatomie der periimplantären Gewebe .....	4
2.3.3 Ätiologie .....	6
2.3.4 Prädisponierende Faktoren .....	7
2.3.5 Diagnostik .....	8
2.3.6 Prävalenz.....	9
2.3.7 Prävention.....	10
2.3.8 Therapie.....	10
2.3.9 Dentale Laser .....	13
2.4 Ziele der Arbeit .....	14
2.5 Hypothesen .....	14
3 Material und Methoden.....	16
3.1 Studiendesign und Datenerhebung .....	16
3.2 Patientenkohorte .....	16
3.3 Ein- und Ausschlusskriterien .....	17
3.4 Klinische und radiologische Parameter .....	18
3.4.1 Approximales Knochenniveau .....	18
3.4.2 Bukkales Knochenniveau und bukkale Knochendicke .....	18
3.4.3 Orales Knochenniveau .....	18
3.4.4 Periimplantäre Sondierungstiefen.....	19
3.4.5 Rezession .....	19

3.4.6	Breite der befestigten Mukosa .....	19
3.4.7	Kronen-Mukosa-Abstand .....	19
3.4.8	Dicke der Mukosa .....	19
3.4.9	Gingivaler Biotyp.....	20
3.4.10	Papillenindex nach Jemt.....	20
3.4.11	Pink Esthetic Score nach Fürhauser .....	20
3.4.12	Hygieneindizes .....	21
3.5	Implantaterfolg / Erfolgsindizes .....	22
3.6	Präoperative Diagnostik und Operationsvorbereitung.....	23
3.7	Operationstechnik (LAPIDER-Technik).....	23
3.8	Datenauswertung und Statistik.....	28
4	Ergebnisse .....	29
4.1	Demographische Daten.....	29
4.2	Implantatüberleben.....	33
4.3	Deskriptive Analyse der präoperativen und postoperativen Werte.....	38
4.3.1	Approximales Knochenniveau .....	38
4.3.2	Bukkales und orales Knochenniveau.....	40
4.3.3	Bukkale Knochendicke .....	41
4.3.4	Sondierungstiefen.....	42
4.3.5	Rezession .....	45
4.3.6	Breite der befestigten Mukosa .....	45
4.3.7	Kronen-Mukosa-Abstand .....	47
4.3.8	Dicke der befestigten Mukosa .....	47
4.3.9	Jemt-Score .....	49
4.3.10	Pink Esthetic Score.....	49
4.3.11	Hygieneindizes .....	52
4.4	Implantaterfolg / Erfolgsindizes .....	53
4.5	Korrelationsanalyse .....	55
4.6	Fallbeispiel 1.....	57
4.7	Fallbeispiel 2.....	59

4.8	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	62
5	Diskussion .....	64
5.1	Eignung der Stichprobe zur Beantwortung der Fragestellung.....	64
5.2	Diskussion der Methoden .....	66
5.3	Diskussion der Ergebnisse .....	74
5.3.1	Diskussion der Überlebensdaten.....	74
5.3.2	Diskussion der deskriptiven Daten .....	77
5.3.3	Diskussion des Implantaterfolges und der Erfolgsindizes .....	85
5.3.4	Diskussion der Korrelationsanalyse.....	86
5.4	Einschränkung dieser Studie.....	88
6	Zusammenfassung .....	91
7	Literaturverzeichnis .....	93
8	Vorveröffentlichung der Ergebnisse .....	118
9	Danksagung .....	119
10	Tabellarischer Lebenslauf .....	120

## Abkürzungsverzeichnis

<	-	kleiner
>	-	größer
≥	-	größer gleich
±	-	plus-minus
=	-	gleich
~	-	ungefähr gleich
AAP	-	American Academy of Periodontology
API	-	Approximalraum-Plaques-Index
BGW	-	Bindegewebe
BOP	-	Bleeding-on-probing (Blutung auf Sondierung)
bzw.	-	beziehungsweise
ca.	-	circa
CAL	-	Clinical Attachment Level
DGI	-	Deutsche Gesellschaft für Implantologie
DGZMK	-	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
d.h.	-	das heißt
DVT	-	digitale Volumetomographie
EAO	-	European Association for Osseointegration
EFP	-	European Federation of Periodontology
FST	-	Freies Schleimhauttransplantat
GBR	-	guided bone regeneration, gesteuerte Knochenregeneration
ggf.	-	gegebenenfalls
KEM	-	Knochenersatzmaterial
KMA	-	Kronen-Mukosa-Abstand
mg	-	Milligramm
min	-	Minute
mm	-	Millimeter
mm <sup>2</sup>	-	Quadratmillimeter
ml	-	Milliliter
m/s	-	Meter pro Sekunde (Einheit für Geschwindigkeit)
MHz	-	Megahertz (Einheit für Frequenz)
MJ	-	Megajoule (Einheit für Energie)
MW	-	Mittelwert

n	-	Stichprobe
N	-	Newton (Einheit für Kraft)
p / p-Wert	-	Signifikanzwert
PES	-	Pink Esthetic Score
post-op	-	postoperativ
PPD	-	pocket probing depth, Sondierungstiefe
prä-op	-	präoperativ
r	-	Korrelationskoeffizient
SBI	-	Modifizierter Sulkus-Blutungsindex
SD	-	Standardabweichung
SPSS	-	Statistic Package for Social Sciences (Statistikprogramm)
TT	-	Taschentiefen
u.a.	-	unter anderem

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Schematische Darstellung eines gesunden Zahnes und eines gesunden Implantats (Renvert and Giovannoli, 2014, p. 5) .....	5
Abbildung 2 - Schematische Darstellung eines entzündlichen Zellinfiltrats bei einem natürlichen Zahn und einem Implantat (Renvert and Giovannoli, 2014, p. 8) .....	5
Abbildung 3 - Graphische Darstellung einer schweren Periimplantitis (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken).....	23
Abbildung 4 - Graphische Darstellung der vestibulären Inzision und der Spaltlappenpräparation (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken).....	24
Abbildung 5 - Graphische Darstellung der apikalen Durchtrennung des Periosts und koronalen Lappenmobilisation (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken) .....	24
Abbildung 6 - Graphische Darstellung der periimplantären Defektreinigung und der Dekontamination der Implantatoberfläche mit dem Laser (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken) .....	25
Abbildung 7 - Graphische Darstellung der subperiostalen Bindegewebeaugmentation (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken) .....	26
Abbildung 8 - Graphische Darstellung der periimplantären Defektaugmentation mit autologem Knochen (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken).....	26
Abbildung 9 - Graphische Darstellung des Zurückschlagens des Lappens und der Fixierung mit Periostnähten (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken) .....	27
Abbildung 10 - Graphische Darstellung der Mukosanähte für einen zweischichtigen Wundverschluss (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken).....	27
Abbildung 11 - Graphische Darstellung des Nikotinkonsums .....	30
Abbildung 12 - Graphische Darstellung der gingivalen Biotypen.....	30
Abbildung 13 - Graphische Darstellung der Implantatindikationen.....	32
Abbildung 14 - Kaplan-Meier-Kurve für die Überlebenszeit.....	34
Abbildung 15 - Überlebenszeit in Abhängigkeit vom Patientengeschlecht.....	35
Abbildung 16 - Überlebenszeit in Abhängigkeit vom Nikotinkonsum.....	36
Abbildung 17 - Überlebenszeit in Abhängigkeit vom gingivalen Biotyp .....	37
Abbildung 18 - Graphische Darstellung der Veränderung des approximalen Knochenniveaus bei der präoperativen Untersuchung, nach 1 Jahr, nach 2 Jahren, nach 3 Jahren und bei der finalen Nachuntersuchung in Relation zum Referenzniveau in mm .....	38
Abbildung 19 - Graphische Darstellung des bukkalen und oralen Knochenniveaus bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in Relation zum Referenzniveau in mm .....	40
Abbildung 20 - Graphische Darstellung der Breite der befestigten Mukosa bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm .....	46

Abbildung 21 - Graphische Darstellung der Dicke der befestigten Mukosa bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm .....	48
Abbildung 22 - Klinische Fotos eines Implantats regio 15 mit fortgeschrittener Periimplantitis, intraoperativer Darstellung des periimplantären Knochendefektes und klinische Situation 3 Jahre postoperativ mit reizfreier periimplantärer Mukosa.....	57
Abbildung 23 - Intraorale Einzelaufnahmen eines Implantats regio 15 (präoperativ, 6 Monate postoperativ und 2 Jahre postoperativ) mit deutlich erkennbarer Regeneration des approximalen Knochendefektes bis zum Niveau der Implantatschulter .....	58
Abbildung 24 - Digitale Volumetomographie eines Implantats regio 15 (präoperativ und 3 Jahre postoperativ) mit deutlich erkennbarer Regeneration des bukkalen Knochendefektes bis zum Niveau der Implantatschulter .....	58
Abbildung 25 - Klinische Fotos eines Implantats regio 36 mit intraoperativer Darstellung des präparierten Spalllappens, der Kontamination der Implantatoberfläche und der periimplantären Hart- und Weichgewebeaugmentation.....	60
Abbildung 26 - Klinische Fotos eines Implantats regio 36 mit fortgeschrittener Periimplantitis (präoperativ, 2 Wochen postoperativ und 2 Jahre postoperativ) .....	60
Abbildung 27 - Klinische Fotos eines Implantats regio 36 (5 Monate postoperativ, 1 Woche nach zusätzlichem FST (6 Monate postoperativ) und 5 Monate nach FST (10 Monate postoperativ)).....	60
Abbildung 28 - Intraorale Einzelaufnahmen eines Implantats regio 36 (präoperativ, 6 Monate postoperativ und 3 Jahre postoperativ) mit deutlich erkennbarer Regeneration des approximalen Knochendefektes bis nahe dem Niveau des ersten Gewindeganges.....	61
Abbildung 29 - Digitale Volumetomographie eines Implantats regio 36 (präoperativ und 3 Jahre postoperativ) mit deutlich erkennbarer Regeneration des bukkalen Knochendefektes bis nahe dem Niveau des ersten Gewindeganges.....	61

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Symptome periimplantärer Zustände und Erkrankungen .....	4
Tabelle 2 - Papillenindex nach Jemt.....	20
Tabelle 3 - Pink Esthetic Score nach Fürhauser.....	21
Tabelle 4 - Deskriptive Beschreibung des Alters .....	29
Tabelle 5 - Absolute und relative Häufigkeitsverteilung der Implantatregionen.....	31
Tabelle 6 - Absolute und relative Häufigkeitsverteilung der Implantatsysteme .....	32
Tabelle 7 - Deskriptive Beschreibung des Nachuntersuchungszeitraums.....	33
Tabelle 8 - Deskriptive Beschreibung des approximalen Knochenniveaus bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in Relation zum Referenzniveau in mm .....	39
Tabelle 9 - Deskriptive Beschreibung des approximalen Knochenniveaus nach 1 Jahr, nach 2 Jahren und nach 3 Jahren in Relation zum Referenzniveau in mm .....	39
Tabelle 10 - Deskriptive Beschreibung des bukkalen und oralen Knochenniveaus bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in Relation zum Referenzniveau in mm .....	41
Tabelle 11 - Deskriptive Beschreibung der bukkalen Knochendicke bei einem Abstand von 1 mm, 3 mm und 6 mm zum Referenzniveau bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm.....	42
Tabelle 12 - Deskriptive Beschreibung der Sondierungstiefen bei der präoperativen Untersuchung in mm.....	42
Tabelle 13 - Deskriptive Beschreibung der Sondierungstiefen bei der finalen Nachuntersuchung in mm.....	43
Tabelle 14 - Deskriptive Beschreibung der Mittelwerte der bukkalen und oralen Sondierungstiefen bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm .....	44
Tabelle 15 - Deskriptive Beschreibung der Mittelwerte der Sondierungstiefen bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm .....	44
Tabelle 16 - Deskriptive Beschreibung der Rezession bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm.....	45
Tabelle 17 - Deskriptive Beschreibung der Breite der befestigten Mukosa bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm .....	46
Tabelle 18 - Deskriptive Beschreibung des Kronen-Mukosa-Abstandes bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm .....	47
Tabelle 19 - Deskriptive Beschreibung der Dicke der befestigten Mukosa bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm .....	48
Tabelle 20 - Absolute und relative Häufigkeitsverteilung des Jemt-Scores bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung .....	49
Tabelle 21 - Deskriptive Beschreibung des Pink Esthetic Scores bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung .....	50

Tabelle 22 - Deskriptive Beschreibung (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung, Median und Spannweite) der einzelnen Variablen des Pink Esthetic Scores präoperativ, nach 1 Jahr, nach 2 Jahren, nach 3 Jahren und zur finalen Nachuntersuchung und Signifikanzwert des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Testes .....	51
Tabelle 23 - Absolute und relative Häufigkeitsverteilung periimplantärer Blutung.....	52
Tabelle 24 - Absolute und relative Häufigkeitsverteilung periimplantärer Plaque.....	52
Tabelle 25 - Deskriptive Beschreibung des Approximalraum-Plaque-Index und Sulkus-Blutungsindex .....	53
Tabelle 26 - Relative Häufigkeitsverteilung der einzelnen Erfolgskriterien und drei zusammengesetzten Erfolgsindizes .....	54

## 1 Einleitung

Seit die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde die Implantologie 1982 wissenschaftlich anerkannte, hat sich der Einsatz dentaler Implantate zum Ersatz fehlender Zähne immer mehr bewährt. Heute hat die Implantologie in der Zahnmedizin einen sehr hohen Stellenwert und ist mittlerweile ein fester Bestandteil interdisziplinärer prothetischer Rehabilitation (Lekholm *et al.*, 1999; Krennmair *et al.*, 2010; Aglietta *et al.*, 2012; Hjalmarsson, Gheisarifar and Jemt, 2016). Nach Angaben der Deutschen Gesellschaft für Implantologie werden jährlich über eine Million Implantate inseriert - und das mit steigender Tendenz. Begründen lässt sich diese Entwicklung sicherlich durch den hohen klinischen Erfolg, der in zahlreichen Studien belegt werden konnte. In der wissenschaftlichen Literatur finden sich Überlebensraten über 90 % bzw. Erfolgsraten zwischen 61 % und 85 %, die sich aufgrund der häufig unterschiedlich definierten Erfolgskriterien nur eingeschränkt vergleichen lassen (Brocard *et al.*, 2000; Weibrich *et al.*, 2001; Lang *et al.*, 2004; Pjetursson and Heimisdottir, 2018). Wesentlich zur steigenden Nachfrage dentaler Implantate beigetragen hat sicherlich auch der demografische Wandel hin zu einem steigenden Anteil älterer Menschen in der Bevölkerung und dem Wunsch, auch im hohen Alter eine gute Kaufunktion zu besitzen und dadurch die Lebensqualität nachweislich zu verbessern (Attard and Zarb, 2004; Carlsson and Omar, 2010; Bryant, Walton and MacEntee, 2015).

Trotz des hohen klinischen Erfolgs dentaler Implantate werden in der Literatur häufig infektiöse Komplikationen beschrieben (Jung *et al.*, 2008; Mombelli, Müller and Cionca, 2012). Daher spielt in der modernen Implantologie die regelmäßige Nachkontrolle der inserierten Implantate zur langfristigen Gesunderhaltung der periimplantären Weichgewebe, der Prävention einer Periimplantitis und der Erhaltung der Ästhetik eine immer größere Rolle (Wennström and Derks, 2012). Die besondere Herausforderung einer erfolgreichen Periimplantitistherapie liegt in der Kombination aus häufig ausgeprägten periimplantären Knochendefekten, bakteriell-kontaminierten Implantatoberflächen und kompromittierten Weichgewebesituationen.

Die vorliegende retrospektive Untersuchung soll den Erfolg einer neuen regenerativen Operationsmethode (LAPIDER-Technik (Noelken and Al-Nawas, 2020)) zur Behandlung an fortgeschrittener Periimplantitis erkrankter Implantate beurteilen. Dabei ist es primäres Ziel der Arbeit zu prüfen, ob die neue laser-unterstützte Operationstechnik mit simultaner autologer Knochen- und Bindegewebeaugmentation zu einer Eindämmung des periimplantären Infektionsgeschehens, der Beherrschung des progressiven vertikalen Knochenabbaus und einer Reosseointegration des betroffenen Implantats führt. Sekundäre Ziele dieser Arbeit sind die Untersuchung, ob es zu einer Verbesserung der periimplantären Weichgewebesituation (Reduktion der Weichgeweberezeption und Erhöhung der Breite und Dicke der befestigten periimplantären Mukosa) und einer Verbesserung der ästhetischen Verhältnisse kommt.

## 2 Literaturdiskussion

### 2.1 Historische Entwicklung der Implantologie

Mit dem Begriff Implantologie bezeichnet man das Teilgebiet der Zahnmedizin, das sich mit der Insertion enossaler Implantate beschäftigt. Unter einem dentalen Implantat (im folgenden „Implantat“) versteht man dabei das Einbringen einer „künstlichen Zahnwurzel“ in den Alveolarknochen, das einen fehlenden Zahn (durch Verlust oder Nichtanlage) ersetzt. Erstmals beschrieben wurde dieser Vorgang im Jahre 1807 durch Jourdan und Maggiolo, die in ihrem Buch „Le manuel de l'art dentiste“ erläuterten, wie sie ein konisches Goldrohr in einer leeren Alveole platzierten, dieses mit einer vierarmigen Kralle fixierten und zum Ersatz der Zahnkrone anschließend einen Stiftzahn auf dem Goldrohr anbrachten (Maggiolo, 1807; Greenfield, 2008; Gupta, Gupta and Weber, 2020). Im Jahre 1937 beschrieb Rudolf Müller erstmals subperiostale Implantate, die das Innere des Knochens vor einem Fremdkörper schützen sollten, indem das Implantat direkt zwischen den Knochen und das Periost inseriert wurde (Müller, 1937). Diese Technik erwies sich jedoch als äußerst komplikationsbehaftet und spielt heutzutage keine Rolle mehr (Schwenzer, 2000).

Der Beginn der modernen enossalen Implantologie ist Alvon Edward Strock zuzuschreiben, der im Jahre 1937 an der Harvard University in den USA das erste biokompatible Vitallium-Implantat (Kobald-Chrom-Molybdän-Legierung) in Form einer Schraube setzte (Storck, 1939; Block, 2018; Gupta, Gupta and Weber, 2020). Manlio Formiggini entwickelte diese Idee weiter und entwarf 1938 eine Helikoidalschraube aus Tantal, die dann von Scialom (1962) und Pruin (1974) weiter modifiziert wurde (Schiller, Jaker and Pollack, 1968; Peppmeier, 1975; Block, 2018; Gupta, Gupta and Weber, 2020). Die Entwicklungen der 1970er-Jahre prägten vor allem Benedict Heinrich und Leonard Linkow, der 1968 blattförmige, großflächige Implantate (sogenannte Extensionsimplantate) entwarf (Grafelmann and Brandt, 1970; Strub, 1983).

Die heutige Implantologie ist wesentlich durch die Erkenntnisse der Grundlagenforschung von Per-Ingvar Brånemark geprägt. Er entdeckte die Biokompatibilität des Werkstoffs Titan, prägte den Begriff der Osseointegration, standardisierte das chirurgische Insertionsverfahren und entwarf das erste heute noch verwendete Implantatsystem (Brånemark *et al.*, 1969, 1970, 1977; Branemark *et al.*, 1980). In Deutschland erfolgte im September 1982 bei positiven klinischen 10-Jahres-Langzeitergebnissen die wissenschaftliche Anerkennung der Implantologie als Therapieoption für den Ersatz fehlender Zähne durch die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK).

## 2.2 Grundlagen der Implantologie

Das Ziel einer langfristig erfolgreichen Implantation ist die stabile Verankerung des Implantats im Knochen im Sinne einer ankylotischen Verbindung (Osseointegration) nach Abschluss der knöchernen Einheilphase (Brånemark *et al.*, 1969; Albrektsson and Johansson, 2001). Die Interaktion mit den periimplantären Hart- und Weichgewebestrukturen und damit der Prozess der Osseointegration wird durch die Mikrostruktur und Zusammensetzung der Implantatoberfläche beeinflusst (Wennerberg *et al.*, 1998; Mendonça *et al.*, 2008; Wennerberg and Albrektsson, 2009). Seit über 40 Jahren hat sich hier der erstmals von Per-Ingvar Brånemark verwendete Werkstoff Titan klinisch bewährt (Steinemann, 1998; Jones, 2001). Reintitan weist eine hohe Biokompatibilität auf und besitzt für die Implantologie wichtige biologische und mechanische Eigenschaften (Brånemark *et al.*, 1969; Williams, 1977a, 1977b). Durch Anrauen oder Ätzung der Implantatoberfläche wird eine Vergrößerung der Oberfläche und eine veränderte Mikrostruktur zur Verbesserung der Retention erreicht, um die angestrebte Osseointegration zu fördern (Wennerberg *et al.*, 1995; Klokkevold *et al.*, 1997; Buser *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2002; Le Guéhennec *et al.*, 2007).

Man unterteilt mögliche Komplikationen in früh auftretende Probleme (innerhalb der ersten Wochen nach der Insertion des Implantats) oder spät auftretende Probleme (nach Abschluss der Osseointegration) (Albrektsson *et al.*, 1994). Diese Arbeit befasst sich mit einer spät auftretenden Komplikation, der Periimplantitis.

## 2.3 Periimplantitis

### 2.3.1 Definition

Der Begriff Periimplantitis erschien erstmals 1965 und wurde zwei Jahrzehnte später als ein lokaler, durch mikrobielle Krankheitserreger ausgelöster, pathologischer Zustand der periimplantären Gewebe definiert (Levignac, 1965; Mombelli *et al.*, 1987). Nach der ersten Konsensuskonferenz des European Workshop on Periodontology wurde im Jahre 1994 diese erste Definition durch Albrektsson et Isidor erweitert und Periimplantitis als eine destruktive, entzündliche Erkrankung beschrieben, die um ein in Funktion befindliches, osseointegriertes Implantat herum auftritt und zur Ausbildung einer periimplantären Tasche und einem irreversiblen, periimplantären Knochenverlust mit erhöhten pathologischen Sondierungstiefen führt (European Workshop on Periodontology, 1994). Im Rahmen der 6. Europäischen Konsensuskonferenz (6. European Workshop on Periodontology, 2008) haben Zitzmann et Berglundh den Begriff der „periimplantären Erkrankung“ als Kollektivum für entzündungsbedingte Reaktionen des periimplantären Gewebes eingeführt. Zu unterscheiden

ist hierbei zwischen der initialen, reversiblen „periimplantären Mukositis“ und (nach dem Übergreifen auf die ossären Strukturen) einer mit einem irreversiblen Knochenverlust einhergehenden „Periimplantitis“ (Lindhe, Meyle, and Group D of European Workshop on Periodontology, 2008; Zitzmann and Berglundh, 2008). Klinisch entsprechen die Symptome der beiden periimplantären Erkrankungen den Krankheitsbildern der Gingivitis und Parodontitis bei natürlichen Zähnen (European Workshop on Periodontology, 1994; Lindhe, Meyle, and Group D of European Workshop on Periodontology, 2008; Zitzmann and Berglundh, 2008). Nach einer Konsensuskonferenz der American Academy of Periodontology (AAP) und der European Federation of Periodontology (EFP) wurde im Jahre 2018 eine neue einheitliche Klassifikation für „periimplantäre Gesundheit“ (Araujo and Lindhe, 2018), „periimplantäre Mukositis“ (Heitz-Mayfield and Salvi, 2018) und „Periimplantitis“ (Schwarz *et al.*, 2018) veröffentlicht, die die zukünftige Diagnostik periimplantärer Zustände und Erkrankungen erleichtern soll (Tabelle 1).

*Tabelle 1 - Symptome periimplantärer Zustände und Erkrankungen*

<b>Periimplantäre Gesundheit</b>	<b>Periimplantäre Mukositis</b>	<b>Periimplantitis</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Entzündungszeichen</li> <li>• keine Blutung auf Sondierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sichtbare Entzündungszeichen (Rubor, Tumor, Ödem)</li> <li>• Blutung auf Sondierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exsudation</li> <li>• erhöhte Sondierungstiefen</li> <li>• Blutung auf Sondierung</li> <li>• progredienter Knochenverlust</li> </ul>

### 2.3.2 Anatomie der periimplantären Gewebe

Um die Entstehung und den Verlauf der pathologischen Prozesse periimplantärer Erkrankungen zu verstehen, ist es wichtig, die Anatomie der betroffenen periimplantären Hart- und Weichgewebestrukturen zu kennen. Zahlreiche tierexperimentelle Studien untersuchten bereits die Unterschiede und Gemeinsamkeiten von osseointegrierten Implantaten und natürlichen Zähnen (Berglundh *et al.*, 1991; Buser *et al.*, 1992). Die periimplantäre Mukosa ähnelt der Mukosa des natürlichen Zahns (Abbildung 1). Ähnlich wie das parodontale Saumepithel bildet das periimplantäre Saumepithel eine Weichteilmanschette, die wie eine Barriere wirkt. Diese periimplantäre Weichteilmanschette unterscheidet sich von der Weichteilmanschette an einem natürlichen Zahn allerdings durch ihre weiter apikal liegende

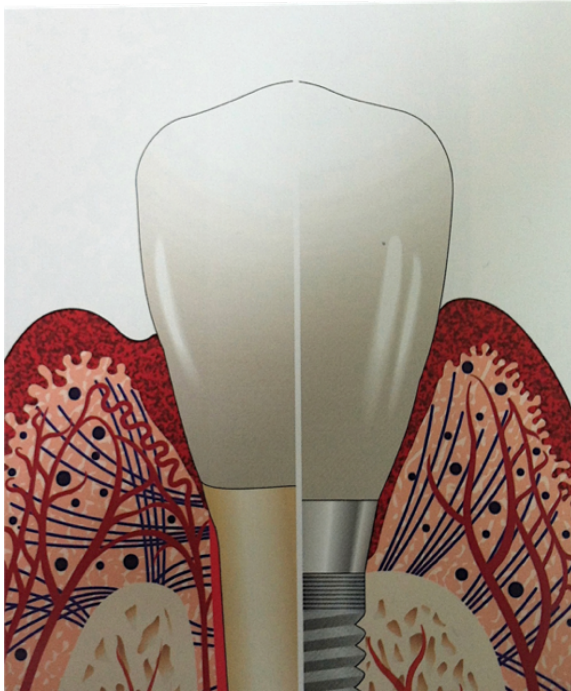


Abbildung 1 - Schematische Darstellung eines gesunden Zahnes und eines gesunden Implantats (Renvert and Giovannoli, 2014, p. 5)

Tierversuch makroskopisch ähnliche Dimensionen im Vergleich zum natürlichen Zahn. Liegt das Epithel beim Zahn ca. 1 mm vom Knochen entfernt, sind es beim Implantat ~ 3 mm (Berglundh *et al.*, 1991).

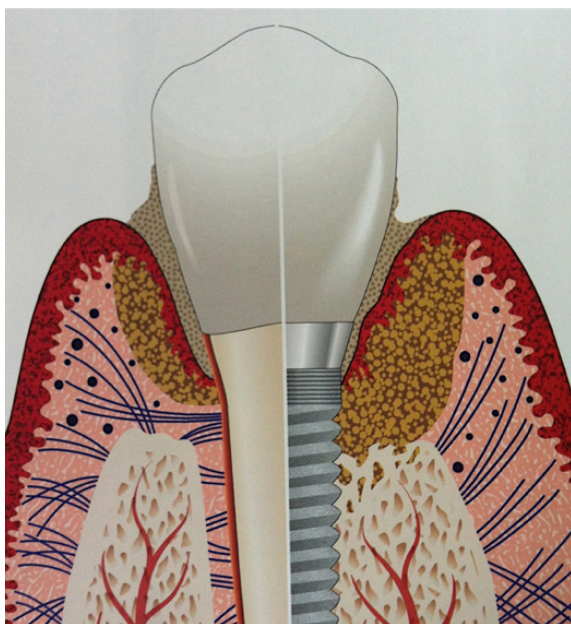


Abbildung 2 - Schematische Darstellung eines entzündlichen Zellinfiltrats bei einem natürlichen Zahn und einem Implantat (Renvert and Giovannoli, 2014, p. 8)

Anheftung (Jan and Lang, 2015). Die epitheliale periimplantäre Mukosa ähnelt mikroskopisch den epithelialen, parodontalen Strukturen und setzt sich aus oralem Gingivaepithel, oralem Sulkusepithel und nicht-keratinisiertem Saume epithel zusammen (Schroeder *et al.*, 1981; Berglundh *et al.*, 1991; Kellett and Smith, 1991; Listgarten *et al.*, 1991).

Elektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen, dass die Adhäsion der Epithelzellen innerhalb des Saume epithels an der Implantatoberfläche durch Hemidesmosomen vermittelt wird (Abrahamsson *et al.*, 1996, 2002; Werner *et al.*, 2009; Salvi *et al.*, 2015).

Das periimplantäre Weichgewebe zeigte im

Im Gegensatz zu dem Gewebe natürlicher Zähne, bei dem das Desmodont den Zahn vom Alveolarknochen trennt und ein bindegewebiger Faserapparat (Sharpey'sche Fasern) den Zahn in der Alveole „aufhängt“, fehlen in den periimplantären Geweben desmodontale Strukturen. Es besteht ein direkter Kontakt zwischen der Implantatoberfläche und dem Alveolarknochen ohne einen desmodontalen Spalt und Sharpey'sche Fasern ('Academy Report: Peri-Implant Mucositis and Peri-Implantitis: A Current Understanding of Their Diagnoses and Clinical Implications', 2013; Belibasakis, 2014).

Die Anordnung der Kollagenfasern in periimplantären Geweben unterscheidet sich von der netzartigen Anordnung in parodontalen Strukturen bei natürlichen Zähnen. Die Kollagenfasern in den periimplantären Geweben

inserteren nicht an der Implantatoberfläche, sondern orientieren sich vom marginalen Knochen parallel zum Implantat (Berglundh *et al.*, 1991). Das periimplantäre Bindegewebe (BGW) ist im Vergleich zu dem BGW, das einen natürlichen Zahn umgibt, gefäß- und zellärmer (Berglundh *et al.*, 1991). Dabei scheint das Implantatsystem keine Rolle zu spielen (Abrahamsson *et al.*, 1996).

Die Abwehrmechanismen periimplantärer Gewebe beschränken sich auf innerhalb der marginalen Weichteilmanschette liegende Gefäße. Deshalb besitzt das periimplantäre Gewebe im Vergleich zu dem eines natürlichen Zahnes geringere Abwehrmechanismen gegen bakterielle Mikroorganismen (Heitz-Mayfield and Lang, 2010; Carcuac *et al.*, 2013). Periimplantäre Zellinfiltrate können sich schneller ausbreiten als vergleichbare Entzündungsprozesse im parodontalen Zahnhalteapparat (Ericsson *et al.*, 1992; Leonhardt, Renvert and Dahlén, 1999). Kommt es an einem Implantat zu einer infektiösen Entzündung, steht das entzündliche Infiltrat durch die fehlende Bindegewebebarriere anders als bei einem natürlichen Zahn beim Implantat in direktem Kontakt zum Knochen (Abbildung 2) und es kommt zu einem progressiveren Verlauf des Entzündungsgeschehens (Zitzmann, Walter and T, 2006; Heitz-Mayfield and Lang, 2010; Smeets *et al.*, 2014; Schwarz *et al.*, 2018).

### 2.3.3 Ätiologie

Multiple klinische und tierexperimentelle Studien zeigten auf, dass die Entstehung einer periimplantären Erkrankung mit der Anwesenheit bakterieller Mikroorganismen auf der Implantatoberfläche kausal zusammenhängt. Dabei ähnelt die Plaqueakkumulation der mikrobiellen Erreger der auf der Oberfläche eines natürlichen Zahnes (Lang, Bosshardt and Lulic, 2011). Die Biofilmbildung hängt von der Rauigkeit der Implantate ab. Es konnte nachgewiesen werden, dass sich auf rauen Implantatoberflächen signifikant mehr Biofilm ausbildete als auf glatten Implantatoberflächen (Berglundh *et al.*, 2007). Bei den vorhandenen Mikroorganismen handelt es sich hauptsächlich um gramnegative anaerobe Stäbchen, wie sie auch bei Patienten mit einer aggressiven Form der Parodontitis nachgewiesen werden können (Mombelli *et al.*, 1987; Pontoriero *et al.*, 1994; Mombelli and Lang, 1998; Leonhardt, Renvert and Dahlén, 1999). Neben den anatomischen Gegebenheiten, die in 2.3.2 erläutert wurden, verhält sich auch das entzündliche Zellinfiltrat bei einer Periimplantitis anders als bei einer Parodontitis an einem natürlichen Zahn. Es konnte nachgewiesen werden, dass das entzündliche Infiltrat einer Periimplantitis im Vergleich zur Parodontitis ausgeprägter ist, weiter nach apikal „vordringt“ und dass es zu einem schnelleren Voranschreiten des Entzündungsgeschehens, einer größeren Knochenläsion und einem verstärkten Knochenabbau kommt (Zitzmann, Walter and T, 2006; Heitz-Mayfield and Lang, 2010; Berglundh, Zitzmann and Donati, 2011; Smeets *et al.*, 2014; Schwarz *et al.*, 2018). Darüber

hinaus konnte nachgewiesen werden, dass im entzündlichen Infiltrat einer Periimplantitis im Vergleich zu einer Parodontitis ein erhöhter Anteil neutrophiler Makrophagen und Granulozyten enthalten ist (Bordin, Flemmig and Verardi, 2009; Berglundh, Zitzmann and Donati, 2011). Die akute Entzündung des periimplantären Gewebes zeigt eine große Anzahl an Osteoklasten, die dem Alveolarknochen aufliegen. Die erhöhte Osteoklasten-Aktivität führt in Kombination mit den fehlenden desmodontalen Strukturen zu einer lateralen Ausbreitung der Infektion zirkulär um das Implantat und damit einhergehend zu einer größeren Dimension der knöchernen Läsion (Lang and Berglundh, 2011; Carcuac *et al.*, 2013; Smeets *et al.*, 2014).

### 2.3.4 Prädisponierende Faktoren

Prädisponierende Faktoren für die Entstehung einer periimplantären Erkrankung lassen sich in zwei Untergruppen unterteilen: allgemeine Risikofaktoren und lokale Risikofaktoren. Dabei ähneln die allgemeinen Risikofaktoren den gut untersuchten prädisponierenden Faktoren einer Parodontitis (Jepsen *et al.*, 2018):

- schlechte Mundhygiene und mangelhafte Compliance (Heitz-Mayfield, 2008; Serino and Ström, 2009; Costa *et al.*, 2012)
- parodontale Vorerkrankungen (Hardt *et al.*, 2002; Karoussis *et al.*, 2003; Ong *et al.*, 2008; Schou, 2008; Stanford, 2010)
- Nikotinabusus (Lambert, Morris and Ochi, 2000; Vehemente *et al.*, 2002; Sham *et al.*, 2003; Johnson and Hill, 2004; Moheng and Feryn, 2005; Nitzan *et al.*, 2005; Roos-Jansåker, Renvert, *et al.*, 2006; Baig and Rajan, 2007; Sánchez-Pérez, Moya-Villaescusa and Caffesse, 2007; de Araújo Nobre and Maló, 2017)
- schlecht eingestellter oder unerkannter Diabetes mellitus (Naujokat H, Bormann KH, Jakobs W, Wiegner JU, Wiltfang J (LL-Koordinator), 2016; Rahimi-Nedjat *et al.*, 2016, 2017)

Lokale Risikofaktoren sind oft auf die Suprakonstruktion oder die dreidimensionale Ausrichtung des Implantats zurückzuführen:

- Fremdkörper / Zementreste nach dem Zementieren der Suprakonstruktion
- Hygienefähigkeit der Restauration
- Exponierte raue Implantatoberfläche

Trotz der Häufigkeit von Misserfolgen beim parodontal-vorgeschädigten Patienten, ist der Einsatz dentaler Implantate bei gut therapierten und betreuten Parodontitis-Patienten nicht kontraindiziert (Fischer, Wolfart and Spiekermann, 2009).

Wie in 2.2 beschrieben, zeigen Implantate mit einer angerauten Oberfläche einen vergrößerten Kontakt zwischen dem Knochen und dem Implantat auf und werden deshalb bevorzugt. Kommt es aufgrund von destruktiven pathologischen Prozessen zur Exposition der koronalen Gewindeanteile, kann die Rauigkeit der Oberfläche die Besiedelung bakterieller Mikroorganismen begünstigen (Quirynen and Bollen, 1995). Es kommt im Vergleich zu Implantaten mit einer glatten Oberfläche zu einer vermehrten Anlagerung von Plaque (Lazzara *et al.*, 1999; Teughels *et al.*, 2006). Durch die bakterielle Kontamination kommt es zu einer Veränderung der Oxidschicht, die das Erkrankungsbild der Periimplantitis auslösen kann, wie eine Studie von Ehrenfest *et al.* zeigt (Dohan Ehrenfest *et al.*, 2010).

### 2.3.5 Diagnostik

Die Diagnostik periimplantärer Erkrankungen lässt sich nach Erhebung der Anamnese in die klinische und radiologische Untersuchung und ergänzend dazu die mikrobiologische Untersuchung unterteilen. Eine Diagnose sollte ergänzend anhand von klinischen und radiologischen Parametern gestellt werden (Monje *et al.*, 2018).

#### 2.3.5.1 Klinische Untersuchung

Die klinische Untersuchung beginnt mit der visuellen Inspektion der Mukosa hinsichtlich periimplantärer Entzündungszeichen (Rubor, Ödeme, Hyperplasie, Rezession, sichtbarer Knochenverlust, Blutung, Exsudation, Suppuration) (Schwarz *et al.*, 2007). Anschließend wird die Mukosa zur Provokation einer Blutung oder dem Austritt von Pus ausgestrichen (Schwarz *et al.*, 2007; Figuero *et al.*, 2014). Zur objektiven Vergleichbarkeit der klinischen Situation, Reproduzierbarkeit und Verlaufskontrolle haben sich einige aus der Parodontologie bekannte Indices bewährt, die mit einer skalierten, normierten Parodontalsonde aus Kunststoff oder Titan erhoben werden: Plaqueindex (modifiziert nach (Mombelli *et al.*, 1987)), Gingivaindex (modifiziert nach (Mombelli *et al.*, 1987)), BOP (Blutung auf Sondierung), Taschentiefe (Schwarz *et al.*, 2007). Kommt es bei der Sondierung zur Bestimmung der Taschentiefe zur periimplantären Blutung (BOP, Blutung auf Sondierung) ist dies ein Indikator zur Unterscheidung zwischen gesundem und erkranktem Gewebe und ein Symptom eines aktiven Entzündungsprozesses (Jepsen *et al.*, 2015). Dabei ist darauf zu achten, einen Sondierungsdruck von maximal 0,25 N nicht zu überschreiten, da es sonst durch eine

Traumatisierung der periimplantären Gewebe zu falsch-positiven Untersuchungswerten kommt (Lang *et al.*, 1991; Lindhe, Meyle, and Group D of European Workshop on Periodontology, 2008). Darüber hinaus wird geschaut, ob sich bei der periimplantären Sondierung der Austritt von Pus provozieren lässt. Ein eindeutiges Zeichen für den Verlust der Osseointegration und dadurch für den Verlust eines Implantats wäre eine Mobilität des Implantatkörpers (Albrektsson *et al.*, 1981, 1986; Tjellström *et al.*, 1981).

### 2.3.5.2 Radiologische Untersuchung

Nach der erfolgreichen Insertion eines Implantats gehört es zum postoperativen Standard ein Röntgenbild anzufertigen, dessen Knochenniveau später als Referenz genutzt werden kann. Bei dem klinischen Verdacht auf das Vorhandensein einer Periimplantitis ist die Anfertigung eines aktuellen digitalen oder analogen Röntgenbildes (Einzelzahnaufnahme) indiziert, um die aktuelle Situation und den aktuellen Knochenverlauf mit dem Ausgang zu vergleichen (Lang and Berglundh, 2011).

Radiologisch lassen sich Veränderungen des Knochens in seinem Verlauf, seiner Struktur und seinem Niveau (Knochenverlust) bestimmen, sowie periimplantäre Aufhellungen erkennen. Darüber hinaus lassen sich etwaig vorhandene Pathologien / Fremdkörper (Zementreste etc.) nachweisen.

### 2.3.5.3 Mikrobiologische Untersuchung

Als Standarddiagnostik ist die klinische und radiologische Untersuchung anzusehen. Ergänzend hierzu ist eine mikrobiologische Untersuchung möglich. Dafür werden, wie in der Parodontologie häufig genutzt, mit Hilfe von Papierspitzen mikrobiologische Proben aus der periimplantären Tasche entnommen. Zum Nachweis der Mikroflora können Bakterienkulturen angelegt werden, ein DNA-Sondentest durchgeführt oder eine Polymerase-Kettenreaktion-Testung durchgeführt werden. Allerdings ist der Nutzen in der Diagnostik der periimplantären Erkrankungen noch fraglich, da bisher noch keine speziellen für eine periimplantäre Mukositis oder Periimplantitis verantwortlichen Pathogene bestimmt werden konnten (Casado *et al.*, 2011).

### 2.3.6 Prävalenz

Während weltweit der Einsatz dentaler Implantate immer weiter steigt, nimmt auch die Inzidenz periimplantärer Erkrankungen zu (Lang *et al.*, 2004; Misch *et al.*, 2008; Mombelli, Müller and

Cionca, 2012). Die Prävalenz periimplantärer Mukositis wird in der Literatur bei bis zu 80 % der Patienten und 10-50 % der Implantate beschrieben (Jung *et al.*, 2008; Lindhe, Meyle, and Group D of European Workshop on Periodontology, 2008; Zitzmann and Berglundh, 2008). In einer retrospektiven Studie von Roos-Jansåker *et al.* wiesen 77 % der 999 beobachteten Implantate in einem Kontrollzeitraum von 9 bis 14 Jahren klinische Symptome einer periimplantären Mukositis auf (Roos-Jansåker, Lindahl, *et al.*, 2006). Derks *et Tomasi* verglichen 2015 die Ergebnisse aus 11 vorliegenden Studien und schlossen auf eine Periimplantitis-Prävalenz von 22 % (Derks and Tomasi, 2015). Da einige Studien nicht auf biologische Komplikationen, zu denen die Periimplantitis gehört, eingehen und häufig verschiedene Kriterien für den Implantaterfolg den Studien zugrunde legen, könnte die Prävalenz jedoch noch höher liegen (Derks and Tomasi, 2015).

### 2.3.7 Prävention

Um eine dauerhafte periimplantäre Entzündungsfreiheit zu ermöglichen, ist es von essenzieller Bedeutung, den Patienten in ein engmaschiges Recall-System einzubinden. Bei dem klinischen Verdacht auf das Vorhandensein einer Entzündung mit klinischen Entzündungszeichen sollte die Anfertigung einer aktuellen Röntgenaufnahme erfolgen. Der Behandler sollte den Patienten ständig zur Beibehaltung oder Verbesserung der häuslichen Mundhygienemaßnahmen motivieren, ihn für das Krankheitsbild der Periimplantitis sensibilisieren und ggf. eine Rauchentwöhnung nahelegen (Smeets *et al.*, 2014).

### 2.3.8 Therapie

Das Ziel der Periimplantitis-Therapie ist es, durch das Erkennen der Erkrankung und die Entfernung von harten und weichen Belägen, sowie einer gründlichen Reinigung (Dekontamination) der Implantatoberfläche eine Regeneration des periimplantären Knochendefektes und eine Reosseointegration des betroffenen Implantats zu erreichen. Darüber hinaus ist die prothetische Versorgung auf ihre Hygienefähigkeit zu prüfen und gegebenenfalls zu modifizieren (Smeets *et al.*, 2014).

Prinzipiell unterscheidet man bei den therapeutischen Maßnahmen zur Behandlung periimplantärer Erkrankungen zwischen chirurgischen und nicht-chirurgischen (konservativen) Ansätzen, die den chirurgischen grundsätzlich immer vorausgehen sollten (Renvert and Giovannoli, 2014, p. 142). Die S3-Leitlinie „die Behandlung periimplantärer Infektionen an Zahnimplantaten“ zeigt aktuelle Therapieoptionen zur Behandlung von an Mukositis oder Periimplantitis erkrankten Implantaten auf (Schwarz and Becker, 2016). Ihr Fokus liegt in der

Verhinderung der Progression. In tierexperimentellen Studien konnte keine spontane Remission bereits vorliegender periimplantärer Entzündungszeichen beobachtet werden (Zitzmann *et al.*, 2004).

Die Therapie erfolgt schematisch analog zur Parodontitistherapie und hat zum Ziel, den pathogenen Biofilm zu entfernen, um eine Regeneration des periimplantären Knochens zu ermöglichen (Mombelli *et al.*, 1987; Renvert and Polyzois, 2018; Sahrman *et al.*, 2020). Allerdings wird die Reinigung im Vergleich mit natürlichen Zähnen durch die Morphologie der Implantatoberfläche deutlich erschwert (Ciancio *et al.*, 1995; Quirynen *et al.*, 1996; Renvert and Polyzois, 2018). Wie bereits in Kapitel 2.3.4 erläutert, erhöhen die Oberflächenrauigkeit und das Gewindedesign eines Implantats zwar die angestrebte Osseointegration, begünstigen aber, wenn es aufgrund pathologischer Prozesse zu einer Exposition der koronalen Gewindeanteile kommt, auch die Besiedelung der Oberfläche mit bakteriellen Mikroorganismen (Quirynen and Bollen, 1995; Teughels *et al.*, 2006; Dohan Ehrenfest *et al.*, 2010). Daher sollte neben der mechanischen Reinigung die zusätzliche Dekontamination der freiliegenden Implantatoberfläche angestrebt werden (Schwarz *et al.*, 2007). Bei der periimplantären Mukositis ist zur signifikanten Reduktion der klinischen Entzündungszeichen die Effektivität einer mechanischen Reinigung der Implantatoberfläche zur Entfernung des Biofilms mit einer additiven antiseptischen Desinfektion wissenschaftlich belegt (Trejo *et al.*, 2006; Thöne-Mühling *et al.*, 2010; Heitz-Mayfield *et al.*, 2011).

Zu den nicht-chirurgischen Therapieansätzen gehören die mechanische Entfernung von harten und weichen Belägen mit Hilfe von Handinstrumenten (spezielle Küretten, die weicher sind als Titan; zum Beispiel aus Carbon, Kunststoff oder Teflon), Ultraschallinstrumenten (mit Kunststoff oder Teflon beschichteten Ultraschall-Spitzen) oder Pulverstrahlgeräten und adjuvant die Verwendung dentaler Laser (siehe 2.3.9), eine lokale oder systemische Gabe von Antibiotika oder der Einsatz dentaler Spüllösungen (zum Beispiel Chlorhexidin) zur Desinfektion der Implantatoberfläche (Fox, Moriarty and Kusy, 1990; Addy and Moran, 1997; Augthun, Tinschert and Huber, 1998; Schwarz *et al.*, 2003; Renvert, Roos-Jansåker and Claffey, 2008; Renvert *et al.*, 2009; Gosau *et al.*, 2010). Gute klinische Ergebnisse zeigten sich bei der Verwendung des Pulverstrahlgeräts Perio-Flow<sup>®</sup> (EMS, Nyon, Schweiz), bei dem es subgingival durch einen niedrigabrasiven glycinhaltigen Pulverstrahl zu einer erheblichen Reduktion des Biofilms und daher des periimplantären Infektionsgeschehens kommt (Moëne *et al.*, 2010; Schmäge *et al.*, 2012; Louropoulou, Slot and Van der Weijden, 2014). Die subgingivalen Aufsätze ermöglichen einen guten Zugang zu den periimplantären Taschen (Schmäge *et al.*, 2012; Louropoulou, Slot and Van der Weijden, 2014). Ronay *et al.* konnten in ihrer Studie vor allem bei großvolumigen periimplantären Knochendefekten eine Überlegenheit des Pulverstrahlgeräts gegenüber klassischen Handinstrumenten und

Ultraschallaufsätzen feststellen (Ronay *et al.*, 2017). In einer Studie von Renvert *et al.* zeigten sich ähnliche Verbesserungen der periimplantären Sondierungstiefen, Blutung und Suppuration bei der Behandlung betroffener Implantate mit dem Er:YAG-Laser und dem Pulverstrahlgerät Perio-Flow®. Ausreichend zur Behandlung fortgeschrittener Periimplantitis zeigten sich die Ergebnisse jedoch nicht (Renvert *et al.*, 2011). Darüber hinaus sind glycinhaltige Pulverstrahlgeräte - insbesondere für die langfristige Implantatkontrolle - empfehlenswert, da das Pulver keinerlei Interaktion mit der Implantatoberfläche einzugehen scheint, es also nicht zu einer Veränderung der Mikrostruktur der Implantatoberfläche kommt (Schwarz, Ferrari, *et al.*, 2009; Schmage *et al.*, 2012; Ronay *et al.*, 2017).

Schwarz *et al.* beschrieben 2015 verschiedene chirurgische Therapien: Lappenoperation, Lappenoperation mit resektiven oder augmentativen oder kombiniert resektiven und augmentativen Maßnahmen (Schwarz, Schmucker and Becker, 2015; Schwarz and Becker, 2016). Zu den gängigen chirurgischen Therapieansätzen gehören abhängig von der Morphologie des periimplantären Knochendefektes und der Anzahl intakter Knochenwände resektive (bei horizontalem Knochenverlust, 1-wandigen oder 2-wandigen Defekten) und regenerative (bei 3-wandigen oder 4-wandigen Defekten oder Dehiszenz) Therapieansätze (Renvert and Giovannoli, 2014, pp. 151–157).

Resektive chirurgische Therapien mit dem Ansatz der Implantoplastik, einer Kombination aus Osteoplastik, Osteotomie und einer Glättung der infizierten Implantatoberflächen, haben zum Ziel, die kontaminierte Implantatoberfläche für den Patienten hygienefähiger zu machen (Smeets *et al.*, 2014). Gerade im sichtbaren und ästhetisch anspruchsvollen Bereich kann dieser Ansatz problematisch sein, da es zu einer erhöhten Rezession der periimplantären Weichgewebe und einem Sichtbarwerden der freiliegenden Gewindegänge kommt. Darüber hinaus kann eine resektive Therapie zu Rezessionen an den Nachbarstrukturen (benachbarte natürliche Zähne oder benachbarte Implantate) führen (Smeets *et al.*, 2014).

Als Therapie der Wahl mit den vielversprechendsten klinischen und radiologischen Ergebnissen gelten heute in der Literatur regenerative Therapieansätze mit augmentativen Maßnahmen, die eine erfolgreiche Remission der periimplantären Infektion ermöglichen (Carcuac *et al.*, 2013; Schwarz *et al.*, 2013, 2017; Renvert *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021; Derks *et al.*, 2022).

Als Ziele einer erfolgreichen regenerativen Periimplantitistherapie lassen sich die Reosseointegration, eine vertikale Knochenzunahme, die Reduktion periimplantärer Sondierungstiefen, ein Ausbleiben von Suppuration und Blutung auf Sondierung, eine Verbesserung des Volumens der befestigten Mukosa in Breite und Dicke, eine Reduktion der Rezession der bukkalen periimplantären Mukosa und eine Verbesserung der periimplantären

Weichgewebeästhetik zusammenfassen (Carcuac *et al.*, 2017; Schwarz *et al.*, 2017; Renvert *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021; Derks *et al.*, 2022).

Sollte das betroffene Implantat einen starken Lockerungsgrad aufweisen oder die periimplantäre Infektion auf Nachbarzähne / Nachbarstrukturen übergreifen, gilt ein Implantat als verloren und die Explantation des Implantats sollte erwogen werden (Claffey *et al.*, 2008; Schwarz and Becker, 2016).

In der Literatur finden sich vorrangig chirurgische Konzepte, bei denen der Zugang zu parodontalen oder periimplantären Läsionen oberhalb des knöchernen Defektes von marginal angelegt wird. Häufig führt dieser Ansatz jedoch lediglich zu einer partiellen Regeneration des periimplantären Knochendefektes mit einer Reduktion der periimplantären Weichteile in Dicke und Breite, einer Zunahme der Rezession und damit einhergehend zu einer Verschlechterung der ästhetischen Ergebnisse (Graziani, Figuero and Herrera, 2012; Farina *et al.*, 2015; Graziani *et al.*, 2015). Um den heutigen Ansprüchen und dem Wunsch nach einer Verbesserung der ästhetischen Weichgewebesituation gerecht zu werden, werden neue mikrochirurgische Verfahren und Techniken benötigt, die es ermöglichen, neben dem Knochendefekt auch das Volumen der periimplantären Weichgewebe zu erhöhen und Rezessionen zu verringern. Mit der LAPIDER-Technik wurde ein regeneratives, chirurgisches Konzept entwickelt, das eine Dekontamination der Implantatoberfläche und ein Débridement des periimplantären Defektes ermöglicht ohne den periimplantären Papillenkomplex zu trennen und gleichzeitig das Weichgewebenvolumen verbessert (Noelken *et al.*, 2018; Noelken and Al-Nawas, 2020).

### 2.3.9 Dentale Laser

In der Periimplantitistherapie können additiv zu den nicht-chirurgischen und zu den chirurgischen Maßnahmen dentale Laser zum Débridement des periimplantären Defektes verwendet werden (Mombelli and Lang, 1992; Renvert *et al.*, 2008; Schwarz *et al.*, 2017). Dafür stehen diverse Lasersysteme (CO<sub>2</sub>-, Dioden-, Erbium-YAG-Laser) zur Verfügung (Deppe *et al.*, 2001; Kreisler *et al.*, 2002; Smeets *et al.*, 2014; Papadopoulos *et al.*, 2015; Tenore *et al.*, 2020). Um die Mikrostruktur der behandelten Implantatoberfläche intakt zu halten und das periimplantäre Weichgewebe zu schützen, sollten die Pulsenergieeinstellungen des verwendeten Lasers möglichst gering sein (Smeets *et al.*, 2014). Der Er:YAG-Laser entwickelt selbst bei niedrigen Pulsenergieeinstellungen eine hohe bakterizide Wirkung auf die kontaminierte Oberfläche der gängigen Implantatsysteme (Ando *et al.*, 1996; Kreisler *et al.*, 2002). In einer klinischen Studie wurde die Wirksamkeit des Débridements mit dem Er:YAG-Laser bei einem nicht-chirurgischen Therapieansatz mit der Wirksamkeit eines mechanischen

Débridements mittels Kunststoffküretten und einer additiven Gabe von Chlorhexidin verglichen. Beide Therapieansätze zeigten nach 6 Monaten verbesserte klinische Parameter auf, die mit dem Er:YAG-Laser behandelte Gruppe zeigte jedoch eine statistisch signifikant höhere Reduktion der Blutung auf Sondierung auf (Schwarz *et al.*, 2005). Takasaki *et al.* zeigten 2007 in ihrer Studie, dass auf mit dem Er:YAG-Laser behandelten Implantatoberflächen die Neubildung von Knochen (und damit Reosseointegration des betroffenen Implantats) möglich ist (Takasaki *et al.*, 2007). 2017 konnte in einer Studie von Schwarz *et al.* festgestellt werden, dass der Er:YAG-Laser durch eine signifikante Reduktion des BOP zu einer Verbesserung des periimplantären Infektionsgeschehens führen kann (Schwarz *et al.*, 2017). Ein aktueller Bericht beschreibt die Anwendung des Er:YAG-Lasers bei einem Fall schwerer Periimplantitis. Dabei konnte aufgezeigt werden, dass der Er:YAG-Laser erfolgreich intraoperativ das periimplantäre Granulationsgewebe sowie Ablagerungen und den bakteriellen Biofilm von der dekontaminierten Implantatoberfläche entfernt (Lin *et al.*, 2021).

### 2.4 Ziele der Arbeit

Wie eingangs bereits erwähnt, soll mit dieser monozentrischen, retrospektiven Arbeit untersucht werden, ob die neue regenerative LAPIDER-Technik (Noelken and Al-Nawas, 2020) zu einer Eindämmung des periimplantären Infektionsgeschehens führen kann, den progressiven vertikalen Knochenabbau beherrschen kann und ob es zu einer Verbesserung der periimplantären Hart- und Weichgewebesituation kommt. Darüber hinaus gilt es, einen Einfluss von Geschlecht, Rauchen und gingivalem Biotyp des Patienten auf die postoperativen Ergebnisse zu überprüfen.

### 2.5 Hypothesen

Die primäre Hypothese dieser Arbeit ist: Durch die neue regenerative LAPIDER-Technik (Noelken and Al-Nawas, 2020) kann die Heilung eines knöchernen periimplantären Defektes positiv beeinflusst werden, d.h., das marginale Knochenniveau regeneriert approximal, bukkal und oral (es kommt zu einer Verbesserung des approximalen, bukkalen und oralen Knochenniveaus und einer Verbesserung der bukkalen Knochendicke) und das Implantat bleibt erfolgreich in situ und in Funktion (Implantatüberleben). Das Débridement des periimplantären Defektes führt dazu, dass keine Blutung auf Sondierung mehr auftritt. Durch die zirkuläre Verbesserung des Knochenniveaus kommt es zu einer Reduktion der Sondierungstiefen. Die zweite Hypothese der Arbeit: Es kommt zu einer Verbesserung der periimplantären Weichgewebesituation; die befestigte Mukosa gewinnt an Breite und Dicke

und es kommt zu einer Reduktion der Rezession. Die dritte Hypothese: Die periimplantäre Weichgewebeästhetik verbessert sich. Die vierte Hypothese: Nikotinkonsum des Patienten führt zu schlechteren postoperativen Ergebnissen. Die fünfte Hypothese: Ein dicker gingivaler Biotyp führt zu einer deutlicheren Verbesserung der Hart- und Weichgewebesituation und einer Verbesserung der ästhetischen Verhältnisse.

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Studiendesign und Datenerhebung**

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine monozentrische, retrospektive Auswertung eines klinischen Datenbestandes der oralchirurgischen Fachzahnarztpraxis Prof. Dr. Robert Nölken in Lindau am Bodensee, Deutschland. Die analysierten klinischen und radiologischen Daten sind Routedaten, die bereits im Rahmen klinisch erforderlicher Nachuntersuchungen durch Herrn Prof. Dr. Robert Nölken erhoben und anonymisiert dokumentiert wurden. Vor den Untersuchungen wurde von allen Patienten eine schriftliche Einverständniserklärung eingeholt. Erfasst wurden die unter 3.4 weiter definierten Parameter aus den Programmen Evident, Sidexis, OnDemand und Clinview. Zusätzlich wurden zur Beurteilung der ästhetischen Ergebnisse klinische Fotografien ausgewertet.

Da keine zusätzlichen studienbedingten Maßnahmen (klinische Untersuchungen oder Röntgenaufnahmen) erfolgten und die Daten ausschließlich in anonymer Form an Dritte weitergegeben wurden, ist laut der Ethik-Kommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz (Antragsnummer: 2020-15366-Anfrage, Schreiben vom 09.10.2020) und der Ethik-Kommission der Bayerischen Landesärztekammer (2021-1015 - Anfrage auf Beratungspflichtigkeit, E-Mail vom 25.01.2021) für die Nutzung und Bearbeitung der Daten keine Beratung der Ethik-Kommissionen und keine separate Einwilligung der Patienten erforderlich. Vor jedem operativen Eingriff lag von allen Patienten eine schriftliche Einverständniserklärung für die Einwilligung in die chirurgische Therapie vor.

#### **3.2 Patientenkohorte**

In der vorliegenden Untersuchung wurden Daten von 18 Patienten mit 24 an fortgeschrittener Periimplantitis erkrankten Implantaten ausgewertet. Diese wurden im Zeitraum vom 24. September 2018 bis zum 22. Juni 2020 nach der LAPIDER-Technik (Noelken and Al-Nawas, 2020) durch Herrn Prof. Dr. Robert Nölken in seiner oralchirurgischen Fachzahnarztpraxis in Lindau am Bodensee, Deutschland, chirurgisch therapiert und im Zeitraum bis zum 26. September 2022 nachuntersucht.

Bei 11 Implantaten, bei denen die Breite der befestigten Mukosa präoperativ unzureichend war, wurde ergänzend zu der regenerativen, chirurgischen Periimplantitistherapie mit der LAPIDER-Technik eine Vestibulumplastik (apikaler Verschiebelappen) zur Verbesserung der Breite der befestigten Mukosa durchgeführt. Diese ergänzende Maßnahme wurde entweder

präoperativ (bei 2 Implantaten) oder postoperativ (bei 9 Implantaten) mit (bei 7 Implantaten) oder ohne (bei 4 Implantaten) einem zusätzlichen freien Schleimhauttransplantat durchgeführt.

### 3.3 Ein- und Ausschlusskriterien

Nach folgenden Kriterien wurde die Patientenkohorte selektiert.

Einschlusskriterien:

- Diagnose einer fortgeschrittenen Periimplantitis (Blutung auf Sondierung am Implantat, Suppuration und radiologisch nachweisbarer Knochenverlust), die nach der LAPIDER-Technik (Noelken and Al-Nawas, 2020) operiert wurde
- Volljährigkeit ( $\geq 18$  Jahre)
- Zu Beginn der Behandlung befand sich das Implantat in Funktion

Ausschlusskriterien:

- Schwere systemische Erkrankungen
- Patienten mit bereits diagnostiziertem Malignom oder Patienten, bei denen der Verdacht auf ein malignes Geschehen besteht
- Vorangegangene Strahlentherapie in der Kopf-Hals-Region
- Chemotherapie innerhalb der letzten 5 Jahre
- Nicht-belastete Implantate
- Einnahme von Immunsuppressiva
- Einnahme einer antiresorptiven Medikation (Bisphosphonate oder Denosumab)
- Nicht oder unzureichend eingestellter Diabetes mellitus
- Alkohol- und/oder Drogenabusus

### 3.4 Klinische und radiologische Parameter

Die folgenden klinischen und radiologischen Parameter wurden präoperativ zur Stellung der Diagnose, zum Zeitpunkt der operativen Periimplantitistherapie und postoperativ nach 1 Jahr, nach 2 und 3 Jahren im Rahmen klinisch notwendiger Nachkontrollen erhoben.

#### 3.4.1 Approximales Knochenniveau

Zur Beurteilung des approximalen Knochenniveaus wurden intraorale Einzelaufnahmen oder Panoramaschichtaufnahmen ausgewertet. Dabei wurde das Knochenniveau jeweils an der mesialen und distalen Begrenzung des Implantats in Relation zum Referenzniveau (bei Tissue level Implantaten in Relation zur strukturierten Implantatoberfläche, bei Bone level Implantaten in Relation zur Implantatschulter) gemessen und daraus der Mittelwert berechnet. Ein negatives Vorzeichen zeigt dabei ein Knochenniveau apikal des Referenzniveaus an.

#### 3.4.2 Bukkales Knochenniveau und bukkale Knochendicke

Die Beurteilung des bukkalen Knochenniveaus und der bukkalen Knochendicke erfolgte auf der Basis von Daten aus der digitalen Volumentomographie. Das Knochenniveau wurde an der bukkalen Begrenzung des Implantats in Relation zum Referenzniveau gemessen. Ein negatives Vorzeichen zeigt dabei ein Knochenniveau apikal des Referenzniveaus an. Zur Bestimmung der bukkalen Knochendicke wurde zunächst eine Hilfslinie in der Längsachse des Implantats gezogen. Im Abstand von 1 mm, 3 mm und 6 mm apikal des Referenzniveaus wurde jeweils eine Tangente senkrecht zur Längsachse des Implantats gezogen. Auf diesen Niveaus wurde die Dicke der bukkalen Knochenwand gemessen (Januário *et al.*, 2011; Buser *et al.*, 2013).

#### 3.4.3 Orales Knochenniveau

Die Beurteilung des oralen Knochenniveaus erfolgte ebenfalls mit Hilfe von axialen Schnitten der digitalen Volumentomographie. Das Knochenniveau wurde an der oralen Begrenzung des Implantats in Relation zum Referenzniveau gemessen. Auch hier zeigt ein negatives Vorzeichen ein Niveau apikal der Schulter an.

#### **3.4.4 Periimplantäre Sondierungstiefen**

Die Erhebung der periimplantären Sondierungstiefen erfolgte mit Hilfe einer Parodontalsonde mit 1 mm Skalierung (Colorvue Parodontometerspitzen UNC12, Hu-Friedy, Hersteller Artikel-Nr. PCVUNC12PT). Die Sondierungstiefen wurden pro Implantat an 6 Stellen (mesiobukkal, bukkal, distobukkal, mesiooral, oral und distooral) bei minimaler Druckausübung gemessen.

#### **3.4.5 Rezession**

Die Rezession der bukkalen periimplantären Mukosa wurde von bukkal blickend mittig am Implantat bestimmt. Hierfür wurde eine gedachte Linie durch die Schmelz-Zement-Grenzen der Nachbarzähne gezogen und anschließend senkrecht dazu eine Tangente in bukkaler Längsachse des Implantats gedacht. Die Rezession wurde entlang der Tangente als Distanz zwischen dem bukkalen Saum der Mukosa und dem Schnittpunkt der beiden Linien bestimmt.

#### **3.4.6 Breite der befestigten Mukosa**

Die Bestimmung der Breite der befestigten Mukosa (definiert als der Abstand zwischen der mukogingivalen Grenze und der marginalen Mukosa) erfolgte mittig des Implantats mit Hilfe einer Parodontalsonde mit 1 mm Skalierung (Lin, Chan and Wang, 2013).

#### **3.4.7 Kronen-Mukosa-Abstand**

Der Abstand zwischen der Höckerspitze bzw. der Inzisalkante der klinischen Krone und der Mukosa (KMA) wurde mit Hilfe einer Parodontalsonde mit 1 mm Skalierung gemessen.

#### **3.4.8 Dicke der Mukosa**

Die Dicke der bukkalen Mukosa wurde mit Hilfe eines biometrischen Ultraschallgeräts gemessen. Hierbei wurde der „PIROP - Biometric Scanner“ der Firma Echo-Son, Pulawy, Polen, verwendet. Das Gerät ist für eine orale Messung der Dicke der befestigten Mukosa bestimmt (Bednarz, 2011; Bednarz and Zielińska, 2011). Die Messungen erfolgten mit einer Frequenz von 20 MHz und einer Ultraschallimpulsgeschwindigkeit von 1540 m/s. Gemessen wurde die Dicke 4 mm apikal des Mukosarandes der bukkalen Mitte des Implantats. Um eine Kompression der Mukosa zu vermeiden, erfolgten die Messungen unter minimaler Druckausübung. Es wurden insgesamt zehn Messungen durchgeführt, um anschließend ein arithmetisches Mittel als statistischen Durchschnittswert zu berechnen.

### 3.4.9 Gingivaler Biotyp

Präoperativ wurde bei den Patienten durch die klinische Inspektion der gingivale Biotyp bestimmt. Abhängig von der Breite, der Dicke, der Struktur und dem Aussehen der marginalen Mukosa und der interdentalen Papille lassen sich zwei gingivale Phänotypen beschreiben: der dicke (gewebestärkere) und der dünne (gewebeschwächere) gingivale Biotyp (Karring, Lang and Loe, 1975; Cardaropoli *et al.*, 2004; De Rouck *et al.*, 2009; Lee, Fu and Wang, 2011).

### 3.4.10 Papillenindex nach Jemt

Der Papillenindex nach Jemt dient der Bewertung der Weichteilkontur neben einem Implantat, bzw. neben einer implantatgetragenen prothetischen Restauration. In der vorliegenden Arbeit wurde die Höhe der interdentalen Papille sowohl mesial als auch distal mit Hilfe einer Skala von 0 bis maximal 4 Punkten bewertet (Jemt, 1997) (Tabelle 2).

*Tabelle 2 - Papillenindex nach Jemt*

<b>Jemt-Score</b>	<b>Höhe der interdentalen Papille</b>
0	keine interdental Papille
1	weniger als die Hälfte der Höhe
2	die Hälfte oder mehr
3	Normale Papille
4	Hyperplastische Papille

### 3.4.11 Pink Esthetic Score nach Fürhauser

Der Pink Esthetic Score (PES) nach Fürhauser dient der Beurteilung der Ästhetik periimplantärer Weichgewebe (Fürhauser *et al.*, 2005). In der vorliegenden Studie wurden die betroffenen Implantate präoperativ und bei den klinischen Nachkontrollen mit dem PES bewertet. Der PES setzt sich aus sieben Variablen zusammen, die in Tabelle 3 beschrieben sind. Als Referenz diente ein natürlicher Zahn: im Seitenzahnbereich der Nachbarzahn und im Frontzahnbereich der kontralaterale, korrespondierende Zahn. Die Variablen konnten jeweils einen Wert von 0, 1 oder 2 annehmen. Dabei wurde das schlechteste Ergebnis mit einer 0 und das beste Ergebnis mit einer 2 bewertet, sodass die höchste zu erreichende Gesamtpunktzahl des PES 14 betrug.

Tabelle 3 - Pink Esthetic Score nach Fürhauser

Variablen		0	1	2
<b>Mesiale Papille</b>	Form im Vergleich zur Referenz	nicht ausgebildet	unvollständig ausgebildet	vollständig ausgebildet
<b>Distale Papille</b>	Form im Vergleich zur Referenz	nicht ausgebildet	unvollständig ausgebildet	vollständig ausgebildet
<b>Niveau der Gingivakontur</b>	Niveau im Vergleich zur Referenz	große Diskrepanz > 2 mm	mittlere Diskrepanz 1 – 2 mm	geringe Diskrepanz < 1 mm
<b>Form der Gingivakontur</b>	Natürlichkeit im Vergleich zur Referenz	unnatürlicher Verlauf	ziemlich natürlicher Verlauf	natürlicher Verlauf
<b>Ausprägung des Jugulums</b>	Defizit an Alveolarkamm	deutlich erkennbar	geringfügig	nicht erkennbar
<b>Farbe der Weichgewebe</b>	Farbe im Vergleich zur Referenz	deutliche Differenz	moderate Differenz	keine Differenz
<b>Struktur / Textur der Weichgewebe</b>	Struktur / Textur im Vergleich zur Referenz	deutliche Differenz	moderate Differenz	keine Differenz

### 3.4.12 Hygieneindizes

Zur Beurteilung der allgemeinen Hygienefähigkeit der Patienten wurden der Approximalraum-Plaque-Index (API, nach Lange et al. 1986) und der modifizierte Sulkus-Blutungsindex (SBI, modifiziert nach Lange et al. 1986) verwendet. Bei beiden Indizes handelt es sich um dichotome Indizes, bei denen mit Hilfe einer Ja- / Nein-Entscheidung die Anwesenheit von Plaque im Approximalraum (API) bzw. eine Blutung im Approximalraum (SBI) nach Ausstreichen des Sulkus prozentual angegeben wird. Im ersten und dritten Quadranten erfolgt die Beurteilung des Approximalraums von oral, im zweiten und vierten Quadranten von vestibulär. Ein API < 25 % spricht für eine optimale Mundhygiene des Patienten, ein API zwischen 25 % und 39 % für eine gute Mundhygiene, ein API zwischen 40 % und 69 % für eine mäßige Mundhygiene und ein API über 70 % für eine unzureichende Mundhygiene. Ein SBI > 50 % spricht für eine starke und generalisierte Entzündung, ein SBI zwischen 21 % und 50 % für eine mittelschwere Entzündung, ein SBI zwischen 10 % und 20 % für eine

schwächere Entzündung und ein SBI < 10 % für ein klinisches normales Parodontium (Thomas Weber, 2010; E. Hellwig, J. Klimek, and T. Attin, 2013).

An den Implantaten wurden separat zu den beiden Indizes die An- oder Abwesenheit von Plaque und einer Blutung auf Sondierung (BOP) erfasst.

### 3.5 Implantaterfolg / Erfolgsindizes

Bei jeder postoperativen Nachuntersuchung wurde das Überleben des Implantats dokumentiert. Dafür musste das Implantat zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung in situ und in Funktion sein. Zusätzlich wurden drei zusammengesetzte Erfolgsindizes nach den Kriterien der aktuellen Literatur von Renvert et al. (Renvert *et al.*, 2021) und Derks et al. (Derks *et al.*, 2022) definiert.

Erfolgsindex 1:

- Implantat in situ
- Röntgenologisch sichtbare Auffüllung des periimplantären Knochendefektes  $\geq 1$  mm
- Periimplantäre Sondierungstiefen  $\leq 5$  mm
- Keine Blutung auf Sondierung (negatives BOP; 1 von 6 Messstellen darf positiv sein)
- Keine Suppuration

Erfolgsindex 2:

- Implantat in situ
- Röntgenologisch sichtbare Auffüllung des periimplantären Knochendefektes  $\geq 0$  mm
- Periimplantäre Sondierungstiefen  $\leq 5$  mm an allen Messstellen
- Keine Blutung auf Sondierung
- Keine Suppuration

Erfolgsindex 3:

- Implantat in situ
- Periimplantäre Sondierungstiefen  $\leq 5$  mm an allen Messstellen
- Keine Blutung auf Sondierung
- Keine Suppuration
- Rezession der periimplantären Mukosa  $\leq 1$  mm an der bukkalen Seite des Implantats

### 3.6 Präoperative Diagnostik und Operationsvorbereitung

Zur präoperativen Diagnostik gehörte die Erhebung der Anamnese des Patienten, die klinische Diagnostik und die Anfertigung einer periapikalen Röntgenaufnahme zur Bestimmung des marginalen approximalen Knochenniveaus (intraorale Einzelaufnahme oder Panoramaschichtaufnahme). Wurde anhand der unter 2.3.5 erläuterten Kriterien die Diagnose einer fortgeschrittenen Periimplantitis mit ausgeprägtem periimplantärem Knochendefekt gestellt, erfolgte zunächst ein ausführliches Beratungsgespräch mit dem Patienten, in dem das Therapiekonzept erläutert wurde. Es folgte eine Vorbehandlung mit Entfernung von weichen Belägen, Zahnstein und Konkrementen, um das Risiko einer Wundinfektion zu minimieren, sowie eine nicht-chirurgische Periimplantitistherapie. Vor der Operation wurden die in Kapitel 3.4 näher erläuterten klinischen und radiologischen Parameter erhoben.

### 3.7 Operationstechnik (LAPIDER-Technik)

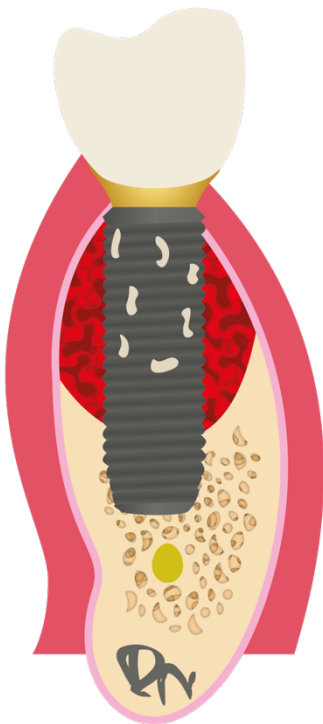


Abbildung 3 - Graphische Darstellung einer schweren Periimplantitis (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken)

Der intraoperative Behandlungsablauf richtet sich nach dem LAPIDER-Behandlungsprotokoll (Noelken and Al-Nawas, 2020).

Abbildung 3 zeigt schematisch die graphische Darstellung des präoperativen Zustandes eines an fortgeschrittener Periimplantitis erkrankten Implantats mit einem ausgeprägten periimplantären Knochendefekt.

#### Perioperative Antibiose

Zur perioperativen antibiotischen Prophylaxe wurde den Patienten für insgesamt zehn Tage Amoxicillin/Clavulansäure 875/125 mg und Metronidazol 500 mg mit einer Dosierung von jeweils 2 Tabletten pro Tag rezeptiert. Die Einnahme erfolgte perioperativ vom dritten präoperativen Tag bis zum siebten postoperativen Tag.

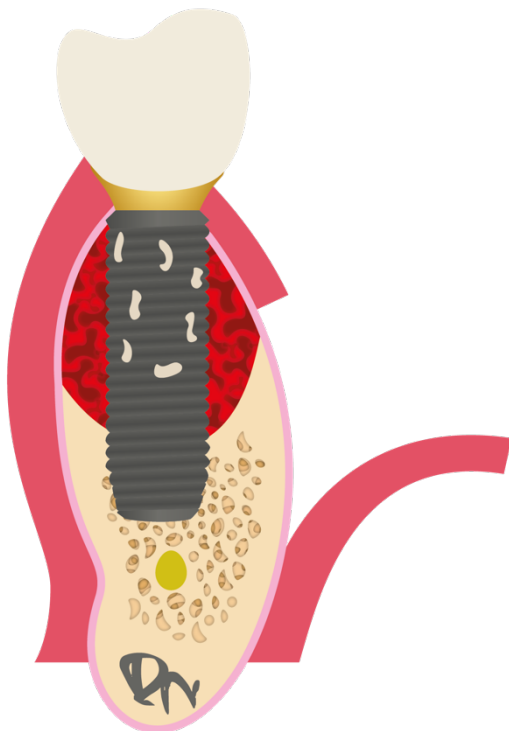


Abbildung 4 - Graphische Darstellung der vestibulären Inzision und der Spaltlappenpräparation (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken)

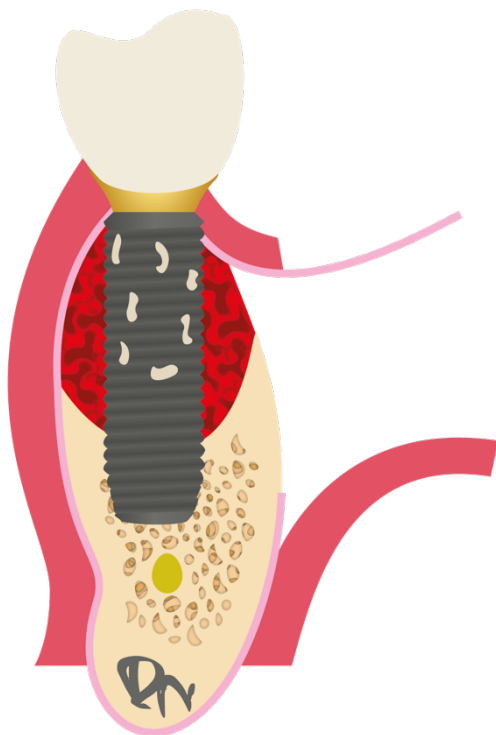


Abbildung 5 - Graphische Darstellung der apikalen Durchtrennung des Periosts und koronalen Lappenmobilisation (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken)

### Lappenbildung, Defektdarstellung und -reinigung

In Lokalanästhesie erfolgt initial eine 4-5 mm apikal der marginalen Mukosa gelegene horizontale Inzision der Schleimhaut. Inzidiert wird im Bereich des betroffenen Implantats und von ein bis zwei Zähnen mesial und distal des betroffenen Implantats. Anschließend wird ein supraperiostaler Spaltlappen in apikaler Richtung präpariert, um es zu ermöglichen, das Periost auf Höhe der Wurzelspitzen der Nachbarzähne bzw. auf Höhe des apikalen Endes des Implantats zu durchtrennen. Abbildung 4 zeigt schematisch die graphische Darstellung des in apikale Richtung präparierten Spaltlappens.

Mit einem kleinen Raspatorium wird anschließend das Periost von apikal aus nach koronal vom Knochen angehoben, um den gesamten periimplantären Knochendefekt darstellen zu können. Wichtig ist hierbei, das Periost präzise vom periimplantären Granulationsgewebe zu trennen. Insbesondere bei auch im lingualem Bereich gelegenen Defekten benötigt dies feine / grazile Instrumente. Abbildung 5 zeigt schematisch die graphische Darstellung des durchtrennten und mobilisierten Periosts.

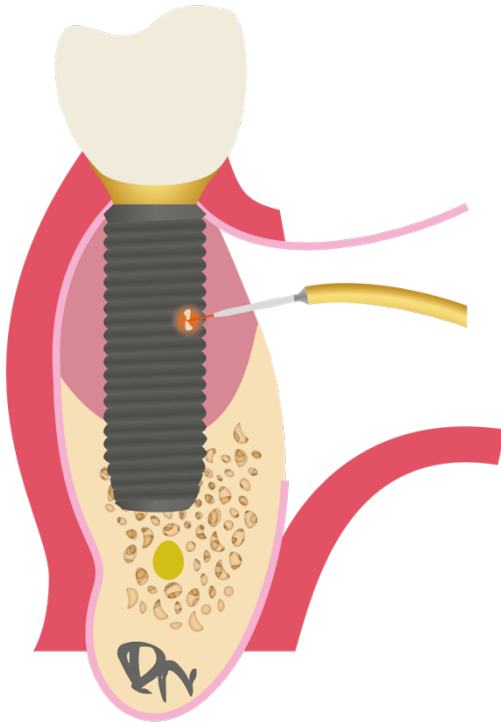


Abbildung 6 - Graphische Darstellung der periimplantären Defektreinigung und der Dekontamination der Implantatoberfläche mit dem Laser (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken)

Nachfolgend wird das periimplantäre Granulationsgewebe mit Küretten exkochleiert. Das Débridement des gesamten periimplantären Knochendefektes und der freigelegten Oberfläche des Implantats erfolgt nach visueller Inspektion unter einem Operationsmikroskop mit dem Er:YAG-Laser (AdvErL EVO, J. Morita Europe, Dietzenbach, Deutschland) mit einer PS600T-Spitze (J. Morita). Der Laser wird dabei auf  $50 \text{ mJ} / \text{mm}^2$  mit 25 Impulsen pro Sekunde eingestellt. Mit einer Geschwindigkeit von  $5 \text{ ml} / \text{min}$  wird sterile Kochsalzlösung injiziert. Die kontaminierte Implantatoberfläche wird nach Protokoll ca. 7 Minuten (in Abhängigkeit vom Ausmaß der Konkrementablagerungen) gereinigt. Abbildung 6 zeigt schematisch das periimplantäre Débridement des Knochendefektes mit dem Er:YAG-Laser.

### Entnahme eines subepithelialen Bindegewebetransplantates

Nach Infiltrations- und Leitungsanästhesie erfolgt im Prämolarenbereich am Gaumen eine ca. 3 mm apikal der marginalen Mukosa gelegene horizontale Inzision der Gaumenschleimhaut. Inzidiert wird hierbei rechtwinklig zum Gaumendach und oberflächlich, d.h. nicht bis auf den Knochen. Anschließend wird das Skalpell parallel zum Gaumenknochen geführt und oberhalb des Bindegewebes geschnitten, um einen Spaltlappen abzuheben. Hierbei ist zu beachten, dass der Spaltlappen eine Dicke von mindestens 2 mm behält, um der Gefahr einer späteren Nekrotisierung vorzubeugen. Die Breite des initialen Schnittes richtet sich nach dem aufzufüllenden, periimplantären Defekt, der überspannt werden sollte. Eine zweite Inzision wird parallel zur ersten Inzision mit einem Abstand von 2-3 mm rechtwinklig zum Gaumendach bis auf den Knochen angelegt. Um das Bindegewebetransplantat zu entnehmen, wird das Bindegewebe in Richtung der Gaumennaht halbmondförmig bis auf Knochenniveau umschnitten. Das Transplantat wird bis auf Knochenniveau mit einem Raspatorium entnommen. Das entnommene Transplantat besteht aus Bindegewebe, Fettzellen und Drüsengewebe. Um eine bestmögliche Wundheilung zu erreichen, wird der Lappen auf die Gewebestufe reponiert und mit angrenzender Schleimhaut vernäht. Um die Heilung zusätzlich zu unterstützen, wird postoperativ eine laborgefertigte Gaumenplatte als Wundverband eingegliedert.

### Entnahme autologer Knochen

Nach Infiltrations- und Leitungsanästhesie erfolgt ein Winkelschnitt im Bereich des Ramus mandibularis. Nach Bildung eines Mukoperiostlappens werden mit Hilfe eines Einweg-Knochenschabers (Micros, Meta, Reggio Emilia, Italien) autologe kortikale Knochenspäne gewonnen, in einer Doxycyclin-Lösung gesammelt und für mindestens 1 Minute getränkt.

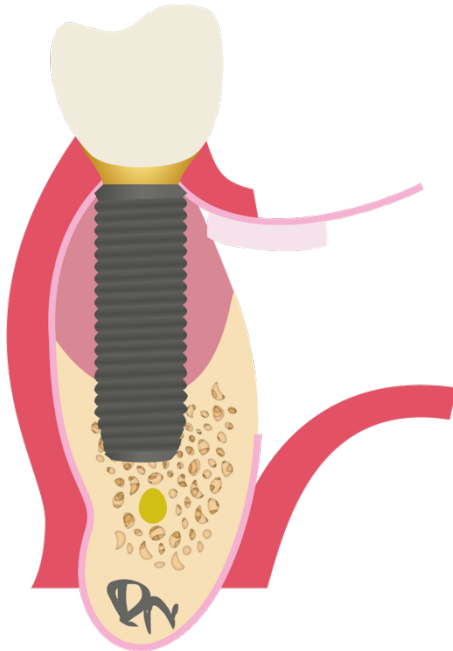


Abbildung 7 - Graphische Darstellung der subperiostalen Bindegewebeaugmentation (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken)

### Defektaugmentation und Defektrekonstruktion

Die Rekonstruktion des periimplantären Defektes beginnt zunächst mit der Fixierung des Bindegewebetransplantates unter dem Periost. Mit monofilem Nahtmaterial wird das Transplantat mesial und distal mit Matratzennähten fixiert und aufgespannt. Abbildung 7 zeigt schematisch die graphische Darstellung des autologen Bindegewebetransplantates.

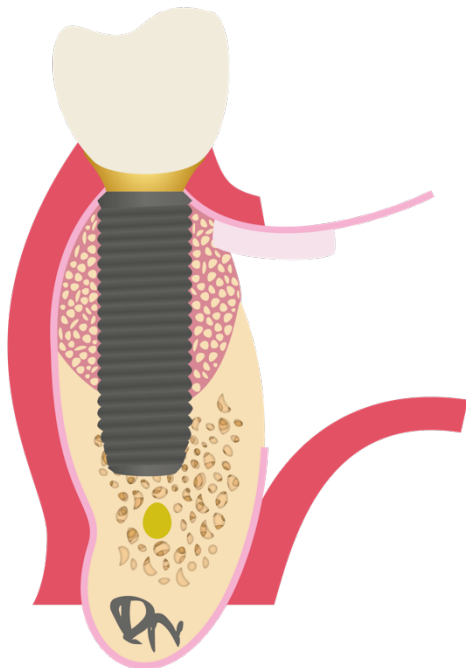


Abbildung 8 - Graphische Darstellung der periimplantären Defektaugmentation mit autologem Knochen (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken)

Der periimplantäre Knochendefekt wird unterhalb des fixierten Bindegewebetransplantates mit autologen Knochenchips mit Hilfe feiner Knochenplugger augmentiert. Auch der linguale und proximale Bereich kann hiermit erreicht und gefüllt werden. Abbildung 8 zeigt schematisch die graphische Darstellung der Augmentation des Knochendefektes mit autologem Knochen.

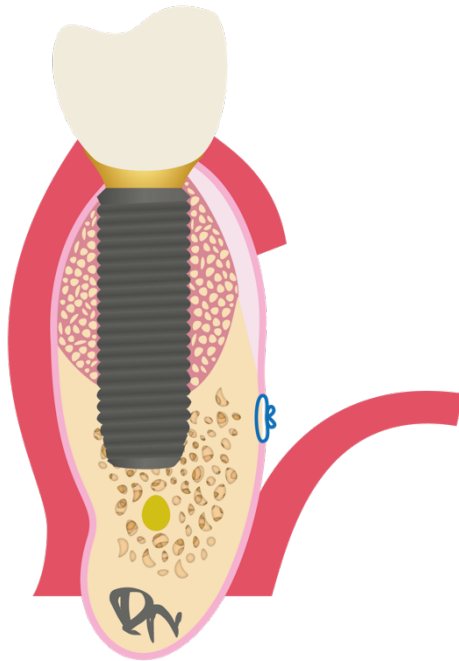


Abbildung 9 - Graphische Darstellung des Zurückschlagens des Lappens und der Fixierung mit Periostnähten (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken)

### Mehrschichtiger Wundverschluss

Anschließend kann das Periost über das Augmentat aus Knochen und Bindegewebe wieder nach apikal geschlagen werden und mit Matratzennähten mit einem monofilen, resorbierbaren Nahtmaterial (Monocryl 5-0, Ethicon, Norderstedt, Deutschland) am ortständigen Periost fixiert werden. Durch die Volumenvermehrung kann lediglich eine Annäherung des Periostes geschehen, die nicht kraftschlüssig ist. Abbildung 9 zeigt schematisch die graphische Darstellung der Periost-Naht.

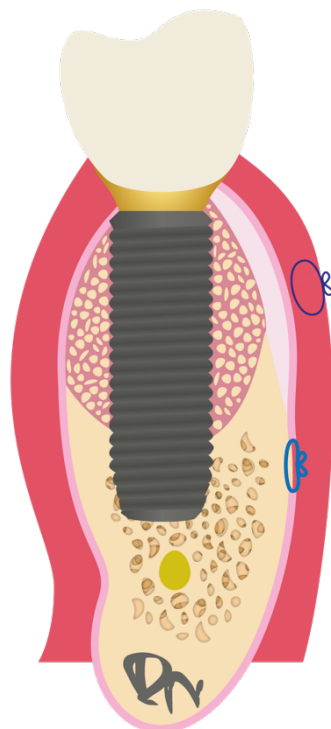


Abbildung 10 - Graphische Darstellung der Mukosanahte für einen zweischichtigen Wundverschluss (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Robert Nölken)

Die vestibuläre Mukosa wird nun nach koronal gehoben und mit einer monofilen, nicht-resorbierbaren Naht (Prolene 6-0, Ethicon, Norderstedt, Deutschland) am Periost nahe der marginalen Mukosa adaptiert. Abbildung 10 zeigt schematisch die graphische Darstellung der Mukosa-Naht und den zweischichtigen Wundverschluss über dem Augmentat.

### Nachsorge

Die erste postoperative Kontrolle erfolgte regulär am ersten postoperativen Tag. Ergänzend zur perioperativen antibiotischen Prophylaxe wurde eine Spülung mit 0,2 % Chlorhexidin zur Anwendung ab dem fünften postoperativen Tag verschrieben. Im Zeitraum zwischen dem siebten und dem einundzwanzigsten postoperativen Tag werden die Nähte nach und nach entfernt.

### 3.8 Datenauswertung und Statistik

Die Daten wurden durch Herrn Prof. Dr. Robert Nölken in einer SPSS-Datei erfasst und anonymisiert. Die statistische Analyse der Daten erfolgte mittels SPSS (Statistic Package for Social Sciences, IBM New York), Version 25.

Alle Daten der klinischen und radiologischen Parameter wurden deskriptiv aufbereitet und dargestellt. Als Maßzahlen wurden hierfür der arithmetische Mittelwert, der Median, die Standardabweichung und die Extremwerte als Minimum und Maximum bestimmt. Die graphische Darstellung erfolgte anhand von Balkendiagrammen, Kreisdiagrammen und Boxplots. Für den statistischen Vergleich (präoperativ / finale Nachuntersuchung) der verbundenen Stichproben wurde der nichtparametrische Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test und der McNemar-Test verwendet. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

Die Überlebenszeitanalyse (das Implantatüberleben) wurde mit Hilfe der Kaplan-Meier-Analyse durchgeführt und anhand von Kaplan-Meier-Kurven graphisch dargestellt. Um die Kaplan-Meier-Kurven zweier Gruppen vergleichen zu können, wurde der Log-Rank-Test verwendet. Auch hier wurde das Signifikanzniveau auf  $p < 0,05$  festgelegt.

Die Korrelationsanalysen zwischen den einzelnen Gruppen der Patientenkohorte (Raucher und Nichtraucher, dicker und dünner gingivaler Biotyp, Implantate mit oder ohne ergänzende Maßnahmen zur Verbesserung der Breite der befestigten Mukosa) und der Verbesserung des approximalen Knochenniveaus, der bukkalen Rezession der periimplantären Mukosa, der Breite und der Dicke der befestigten Mukosa wurden anhand des nichtparametrischen Mann-Whitney-U-Tests für unabhängige Stichproben berechnet. Der Zusammenhang zwischen der Verbesserung des approximalen Knochenniveaus und der Verbesserung des Pink Esthetic Scores sowie der Zusammenhang zwischen der Verbesserung des approximalen Knochenniveaus und der Breite der befestigten Mukosa wurde anhand der Rangkorrelationsanalyse nach Spearman überprüft. Hierbei wurde das Signifikanzniveau ebenfalls auf  $p < 0,05$  festgelegt.

Der Implantaterfolg und die Erfüllung der in Kapitel 3.5 definierten Erfolgsindizes wurde für alle beobachteten Implantate mit  $n = 24$  berechnet. Es wurde jeweils die relative Häufigkeit der Erfüllung der einzelnen Indizes angegeben.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Demographische Daten

#### Patientenalter

In diese Nachuntersuchung wurden die Daten von 24 Implantaten bei 18 Patienten eingeschlossen, die im Zeitraum zwischen dem 24. September 2018 und dem 22. Juni 2020 mit der LAPIDER-Operationstechnik in der oralchirurgischen Fachzahnarztpraxis Prof. Dr. Robert Nölken in Lindau am Bodensee, Deutschland therapiert und im Zeitraum bis zum 26. September 2022 nachuntersucht worden sind. Die betrachtete Patientenkohorte besteht aus 11 Frauen (61,1 %) und 7 Männern (38,9 %). Das durchschnittliche Lebensalter betrug zum Zeitpunkt der Operation  $54,11 \pm 11,97$  Jahre (Median = 59,0 Jahre) mit einer Spanne von 32 bis 68 Jahren (Tabelle 4).

*Tabelle 4 - Deskriptive Beschreibung des Alters*

<b>Alter (in Jahren)</b>	<b>gesamt 18</b>	<b>weibliche Patienten 11</b>	<b>männliche Patienten 7</b>
Mittelwert	54,11	54,45	53,57
Median	59,00	58,00	60,00
SD	11,97	11,87	13,02
Minimum	32	32	35
Maximum	68	68	67

#### Nikotinkonsum

Von den 18 Patienten waren 14 Nichtraucher (77,8 %) und 4 Raucher (22,2 %). Drei Raucher (16,7 %) gaben an, zwischen 6 bis 10 Zigaretten am Tag zu rauchen, ein Raucher (5,6 %) gab an, am Tag über 15 Zigaretten zu rauchen (Abbildung 11).

#### Gingivaler Biotyp

Bei der betrachteten Patientenkohorte wiesen 12 Patienten (66,7%) einen dicken Biotyp und 6 Patienten (33,3%) einen dünnen Biotyp auf (Abbildung 12).

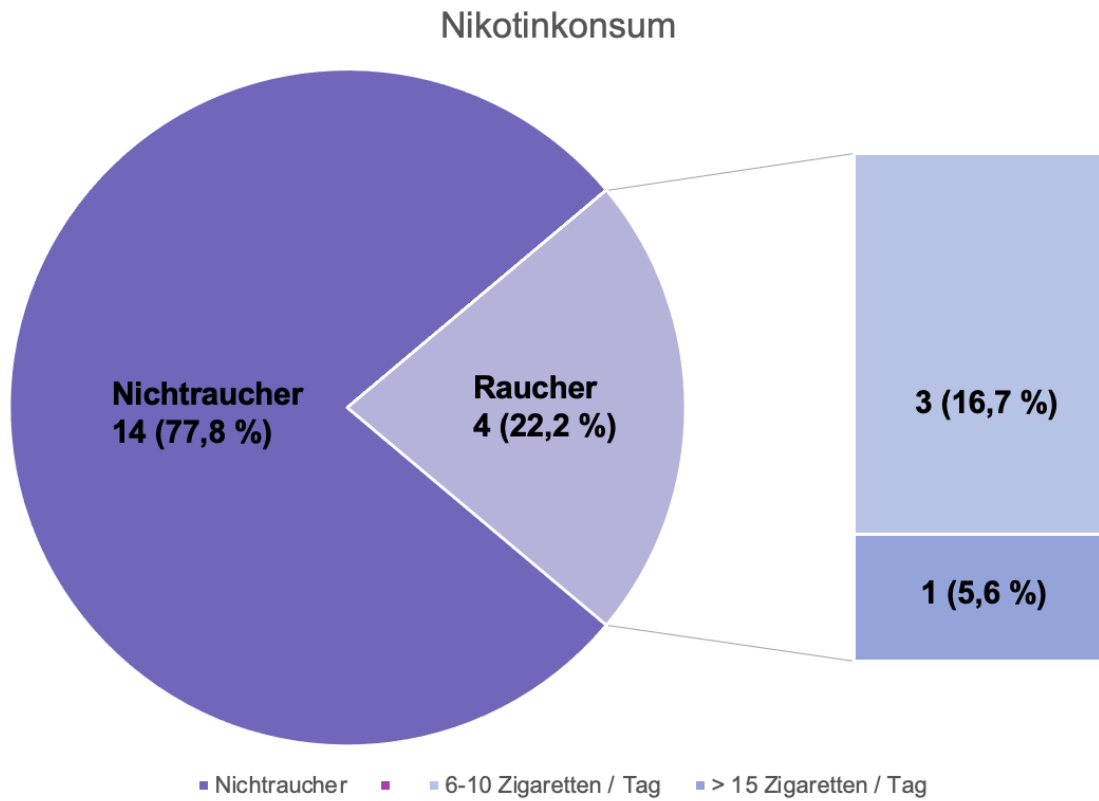


Abbildung 11 - Graphische Darstellung des Nikotinkonsums

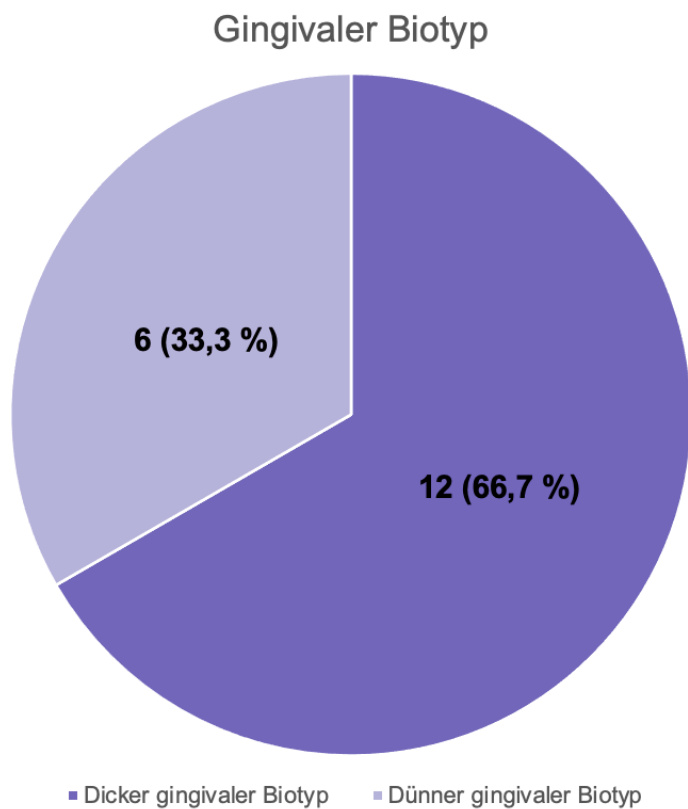


Abbildung 12 - Graphische Darstellung der gingivalen Biotypen

### Implantatregionen

Von den 24 therapierten Implantaten befanden sich die meisten in der Oberkieferschneidezahnregion (12 Implantate, 50,0 %) und in der Unterkiefermolarenregion (7 Implantate, 29,2 %) (Tabelle 5).

*Tabelle 5 - Absolute und relative Häufigkeitsverteilung der Implantatregionen*

<b>Implantatregion</b>	<b>Häufigkeit</b>	<b>Anteil (%)</b>
Oberkiefer mittlerer Schneidezahn	7	29,2
Oberkiefer lateraler Schneidezahn	5	20,8
Oberkiefer Eckzahn	2	8,3
Oberkiefer Prämolare	2	8,3
Unterkiefer Prämolare	1	4,2
Unterkiefer Molare	7	29,2
Gesamt	24	100

### Implantatindikationen

Von den 24 therapierten Implantaten wurden 11 Implantate (45,8 %) zur Versorgung einer Einzelzahnücke, 7 (29,2 %) zur Versorgung einer Schaltücke, 5 (20,8 %) zur Versorgung einer Freizahnücke und ein Implantat (4,2 %) zur Versorgung eines zahnlosen Kiefers inseriert (Abbildung 13).

### Implantatsysteme

Tabelle 6 zeigt die Häufigkeitsverteilung der therapierten Implantatsysteme. Am häufigsten waren OsseoSpeed® (6 Implantate), OsseoSpeed® Profile (3 Implantate) und Ankylos® (3 Implantate) vertreten.

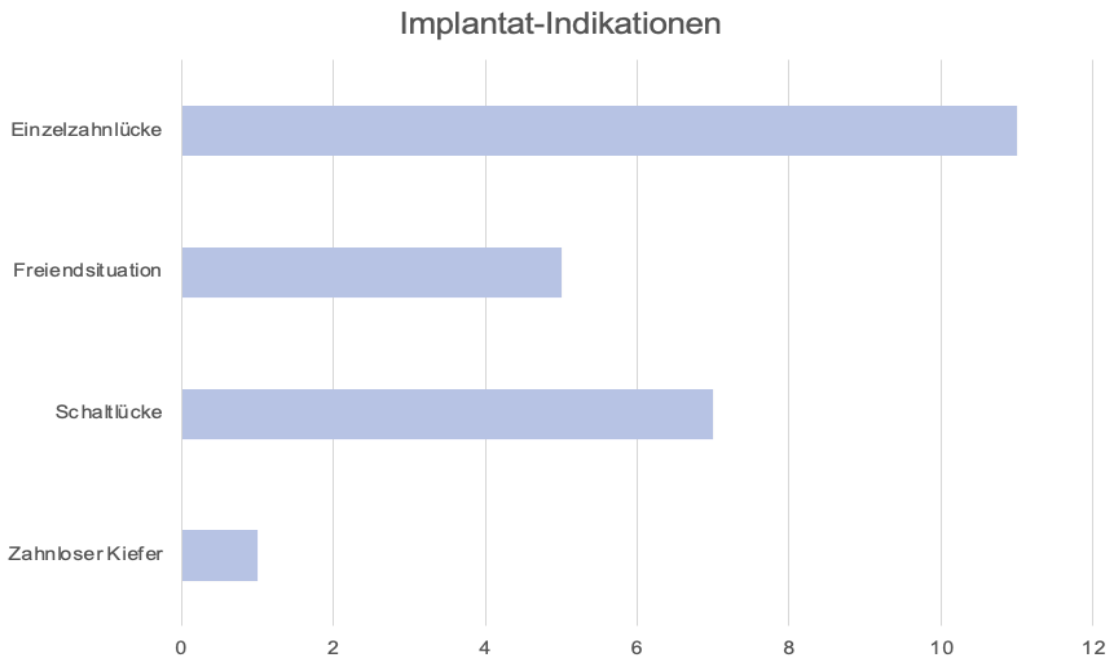


Abbildung 13 - Graphische Darstellung der Implantatindikationen

Tabelle 6 - Absolute und relative Häufigkeitsverteilung der Implantatsysteme

<b>Implantatsysteme</b>	<b>Häufigkeit</b>	<b>Anteil (%)</b>
OsseoSpeed®	6	25,0
OsseoSpeed® Profile	3	12,5
Ankylos®	3	12,5
Brånemark System®	2	8,3
NobelActive®	2	8,3
NobelPerfect®	2	8,3
Straumann® Bone Level	2	8,3
Camlog® Rootline	1	4,2
Frialit® I	1	4,2
ICX-Premium	1	4,2
Straumann® Tissue Level	1	4,2
<b>Gesamt</b>	<b>24</b>	<b>100,00</b>

## 4.2 Implantatüberleben

Im Nachuntersuchungszeitraum wurden 2 Implantate nach 14 (13,96) bzw. 26 (26,22) Monaten aufgrund von Therapieresistenz und zunehmenden Sondierungstiefen operativ entfernt und als Verlust gewertet. Bei einem Implantat handelte es sich um ein 30 Jahre in situ befindliches Frialit® I Implantat, das einen schweren periimplantären Knochenverlust und den Austritt von Pus aufwies. Im apikalen Bereich des Implantats war das Gewinde noch osseointegriert, allerdings lagen im koronalen Bereich bereits 5 mm des Implantats ohne Gewinde frei. Nach der regenerativen Operation nach dem LAPIDER-Protokoll zeigte das sich in der seitlichen Schneidezahnregion befindliche Implantat weiterhin eine progressive Zunahme der periimplantären Sondierungstiefen mit Suppuration. Das Implantat wurde operativ entfernt und durch ein Sofortimplantat mit simultaner Hart- und Weichgewebeaugmentation in Tunneltechnik ersetzt. Bei dem zweiten Implantat handelte es sich um ein Straumann® Bone Level Implantat in der Region eines zweiten Unterkiefermolaren. Als der Patient sich vorstellte, war bereits auf der oralen/lingualen Implantatseite keine befestigte periimplantäre Mukosa mehr vorhanden. Nach der regenerativen Operation nach dem LAPIDER-Protokoll und einer zusätzlichen Vestibulumplastik (apikaler Verschiebelappen mit freiem Schleimhauttransplantat) zeigte sich keinerlei Verbesserung der oralen periimplantären Sondierungstiefen. Daher wurde das Implantat chirurgisch entfernt und es erfolgte nachfolgend keine erneute Implantatversorgung in dieser Region.

Der postoperative Nachuntersuchungszeitraum der verbliebenen 22 Implantate bei 17 Patienten betrug durchschnittlich  $36,04 \pm 8,58$  Monate (Spanne von 21,49 bis 57,69 Monate, Median = 36,48 Monate) (Tabelle 7). Während diesem Zeitraum waren alle verbliebenen 22 Implantate in Funktion, zeigten keine periimplantären Entzündungszeichen und wiesen keinen Austritt von Pus auf.

*Tabelle 7 - Deskriptive Beschreibung des Nachuntersuchungszeitraums*

<b>Nachuntersuchungszeitraum (in Monaten)</b>	
Mittelwert	36,04
Median	36,48
SD	8,58
Minimum	21,49
Maximum	57,69

Implantatüberleben

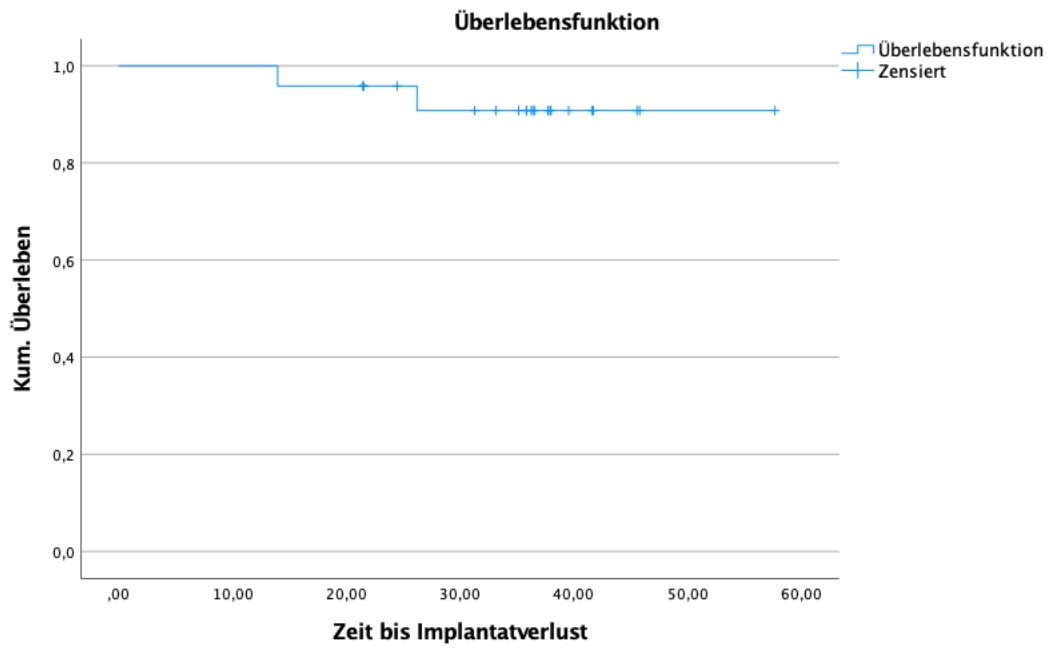


Abbildung 14 - Kaplan-Meier-Kurve für die Überlebenszeit

Die Überlebenswahrscheinlichkeit der 24 Implantate betrug 90,8 % (Kaplan-Meier-Überlebenszeitanalyse) bei einem maximalen Beobachtungszeitraum von 57,69 Monaten (Abbildung 14).

Implantatüberleben in Abhängigkeit von dem Patientengeschlecht

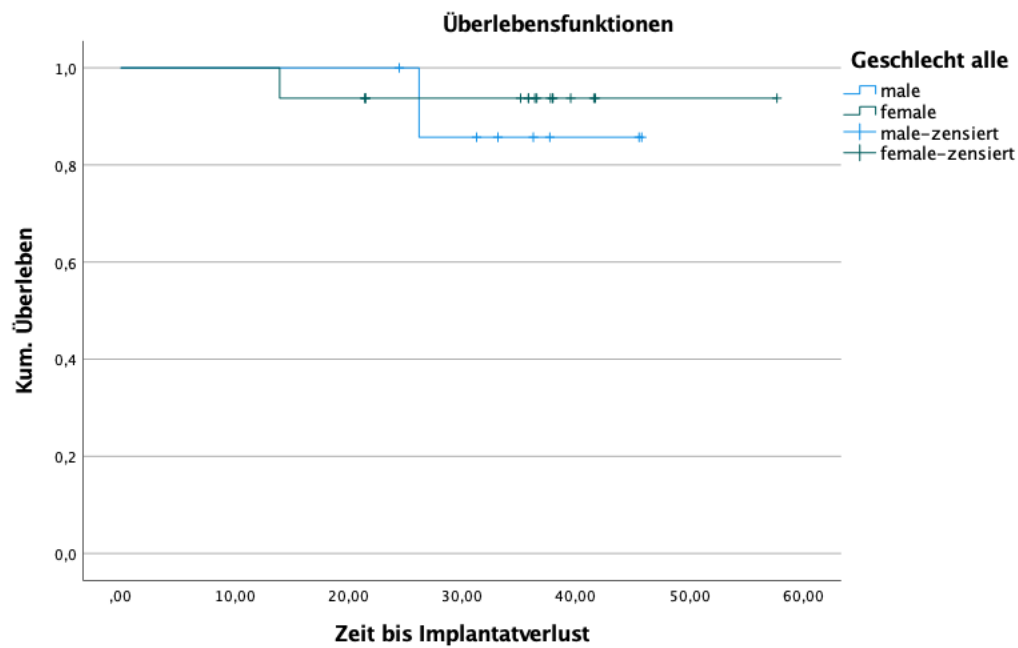


Abbildung 15 - Überlebenszeit in Abhängigkeit vom Patientengeschlecht

Da je ein Implantat bei Mann und Frau als Verlust gewertet wurde, zeigt die Kaplan-Meier-Analyse der Überlebenszeit in Abhängigkeit von dem Patientengeschlecht keinen signifikanten Unterschied (Log-Rank-Test,  $p = 0,658$ ). Die Überlebenswahrscheinlichkeit betrug bei den weiblichen Patienten 93,8 % und bei den männlichen Patienten 85,7 % ( $n = 24$ ) (Abbildung 15).

Implantatüberleben in Abhängigkeit von dem Nikotinkonsum des Patienten

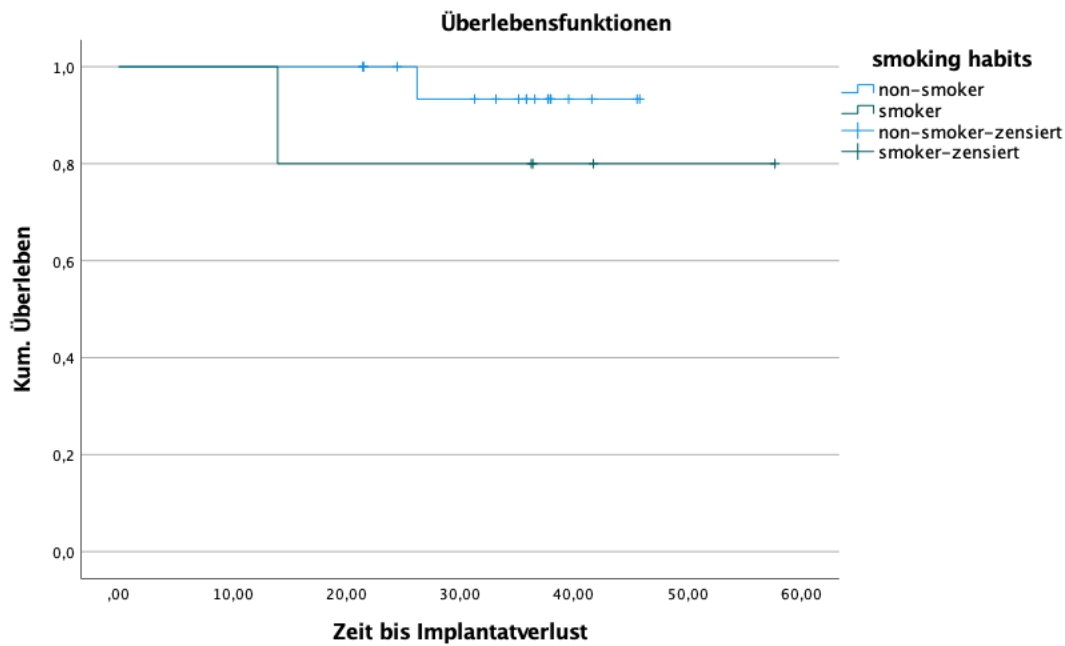


Abbildung 16 - Überlebenszeit in Abhängigkeit vom Nikotinkonsum

Die Auswertung der Überlebenszeit in Abhängigkeit von dem Nikotinkonsum zeigte keinen signifikanten Unterschied (Log-Rank-Test,  $p = 0,313$ ). Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate lag bei Rauchern bei 80,0 % und bei Nichtrauchern bei 93,3 % ( $n = 24$ ). Bei Rauchern und Nichtrauchern ging je ein Implantat nach 14,0 Monaten bzw. 26,2 Monaten verloren (Abbildung 16).

Implantatüberleben in Abhängigkeit von dem gingivalen Biotyp des Patienten

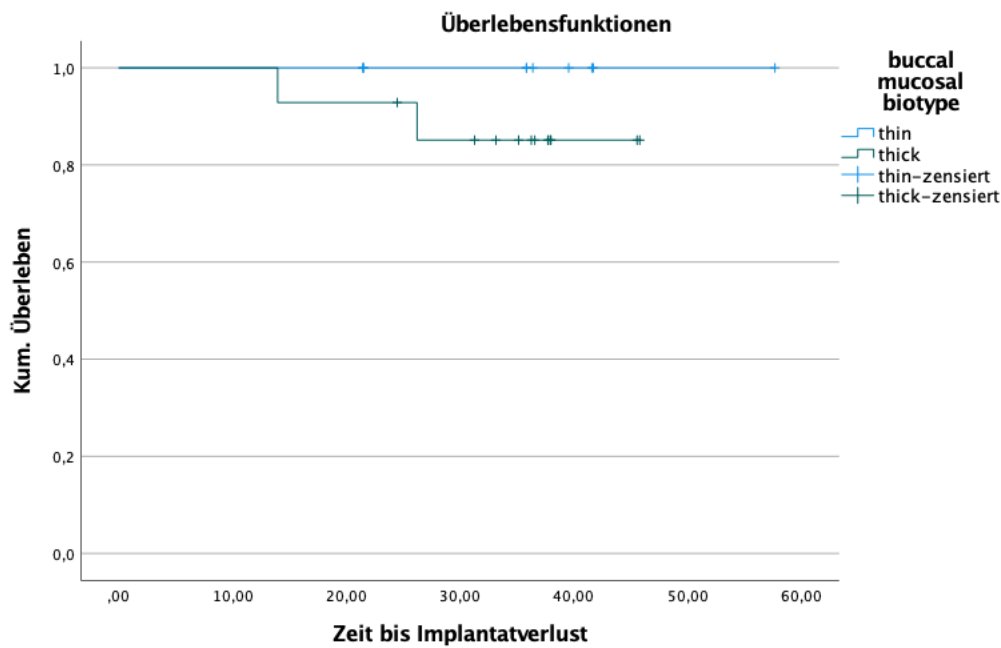


Abbildung 17 - Überlebenszeit in Abhängigkeit vom gingivalen Biotyp

Obwohl beide Implantatverluste in der Gruppe des dicken gingivalen Biotyps auftraten, zeigte die Kaplan-Meier-Analyse der Überlebenszeit keinen signifikanten Unterschied (Log-Rank-Test,  $p = 0,255$ ). Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate lag bei Patienten mit einem dicken gingivalen Biotyp bei 85,1 % und bei Patienten mit einem dünnen gingivalen Biotyp bei 100 % ( $n = 24$ ) (Abbildung 17).

### 4.3 Deskriptive Analyse der präoperativen und postoperativen Werte

Die nachfolgende deskriptive Analyse bezieht sich auf die 22 verbliebenen Implantate (2 Implantate wurden operativ entfernt und als Verlust gewertet). Da nicht von allen Implantaten prä- und postoperativ DVTs zur Auswertung vorlagen, konnte das bukkale und orale Knochenniveau (4.3.2) und die bukkale Knochendicke (4.3.3) nur bei 18 Implantaten statistisch verglichen werden.

#### 4.3.1 Approximales Knochenniveau

Das mittlere approximale Knochenniveau betrug präoperativ  $-3,74 \pm 2,27$  mm (Median =  $-3,95$  mm, Spanne von  $-9,15$  mm bis  $-0,67$  mm,  $n = 22$ ) und verbesserte sich nach einem Jahr auf  $-0,85 \pm 1,31$  mm (Median =  $-0,17$  mm, Spanne von  $-3,98$  mm bis  $0,60$  mm,  $n = 18$ ), nach zwei Jahren auf  $-0,68 \pm 0,88$  mm (Median =  $-0,39$  mm, Spanne von  $-3,08$  mm bis  $0,00$  mm,  $n = 12$ ) und nach drei Jahren auf  $-0,81 \pm 0,95$  mm (Median =  $-0,56$  mm, Spanne von  $-2,27$  mm bis  $0,22$  mm,  $n = 17$ ) in Relation zum Referenzniveau (Tabelle 8, Tabelle 9). Bis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung verbesserte sich das approximale Knochenniveau auf  $-0,64 \pm 0,92$  mm (Spanne von  $-2,27$  mm bis  $0,60$  mm, Median =  $-0,26$  mm,  $n = 22$ ) in Relation zum Referenzniveau (Abbildung 18, Tabelle 8).

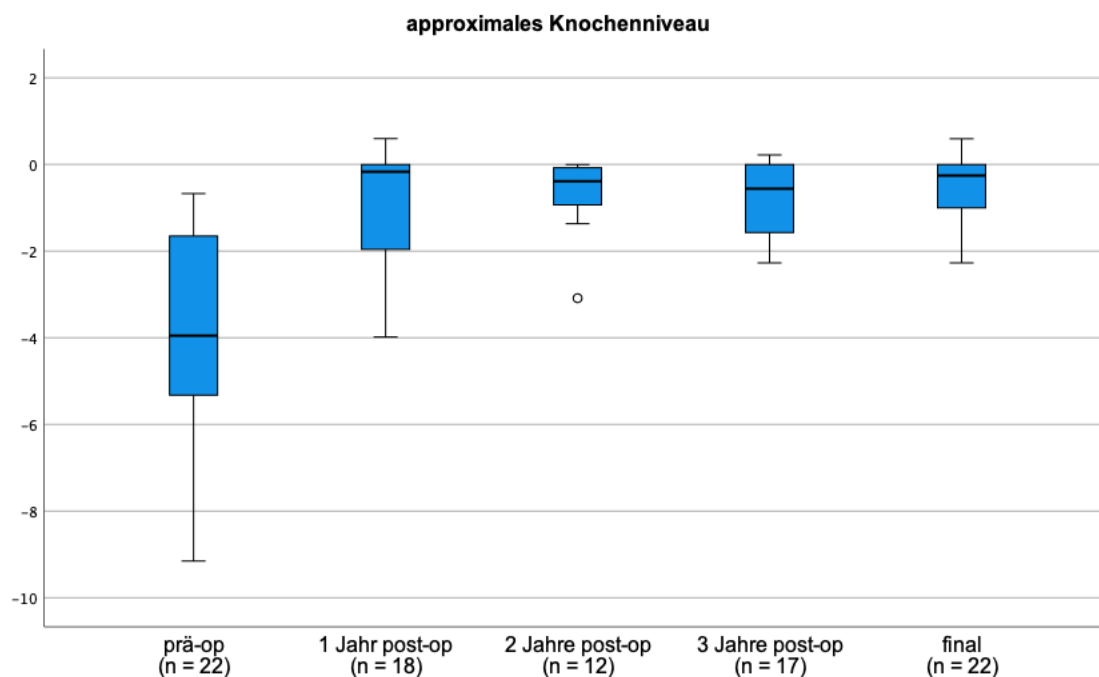


Abbildung 18 - Graphische Darstellung der Veränderung des approximalen Knochenniveaus bei der präoperativen Untersuchung, nach 1 Jahr, nach 2 Jahren, nach 3 Jahren und bei der finalen Nachuntersuchung in Relation zum Referenzniveau in mm

## Ergebnisse

Das durchschnittliche approximale Knochenniveau hat sich von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung durchschnittlich um  $3,10 \pm 2,02$  mm (mesial  $3,19 \pm 2,08$  mm und distal  $3,02 \pm 2,16$  mm) statistisch hoch signifikant verändert (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p < 0,001$ ,  $n = 22$ ).

*Tabelle 8 - Deskriptive Beschreibung des approximalen Knochenniveaus bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in Relation zum Referenzniveau in mm*

<b>Knochenniveau in mm</b>	<b>mesial (prä-op)</b>	<b>mesial (final)</b>	<b>distal (prä-op)</b>	<b>distal (final)</b>	<b>Mittelwert mesial/distal (prä-op)</b>	<b>Mittelwert mesial/distal (final)</b>
Mittelwert	-3,81	-0,61	-3,67	-0,66	-3,74	-0,64
Median	-3,53	-0,30	-3,81	0,00	-3,95	-0,26
SD	2,31	0,97	2,43	1,15	2,27	0,92
Minimum	-9,20	-3,47	-9,10	-2,81	-9,15	-2,27
Maximum	0,00	0,50	0,00	1,51	-0,67	0,60

*Tabelle 9 - Deskriptive Beschreibung des approximalen Knochenniveaus nach 1 Jahr, nach 2 Jahren und nach 3 Jahren in Relation zum Referenzniveau in mm*

<b>Knochenniveau in mm</b>	<b>Mittelwert mesial/distal (1 Jahr, n = 18)</b>	<b>Mittelwert mesial/distal (2 Jahre, n = 12)</b>	<b>Mittelwert mesial/distal (3 Jahre, n = 17)</b>
Mittelwert	-0,85	-0,68	-0,81
Median	-0,17	-0,39	-0,56
SD	1,31	0,88	0,95
Minimum	-3,98	-3,08	-2,27
Maximum	0,60	0,00	0,22

### 4.3.2 Bukkales und orales Knochenniveau

Das präoperative bukkale Knochenniveau betrug  $-4,64 \pm 2,39$  mm (Median =  $-4,10$  mm, Spanne von  $-9,12$  mm bis  $-0,83$  mm) und verbesserte sich bis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung auf  $-1,15 \pm 1,73$  mm (Median =  $0,00$  mm, Spanne von  $-5,82$  mm bis  $0,00$  mm). Das präoperative orale Knochenniveau betrug bei 18 Implantaten  $-2,24 \pm 2,52$  mm (Median =  $-1,34$  mm, Spanne von  $-8,73$  mm bis  $0,00$  mm) und verbesserte sich bis zur finalen Nachuntersuchung auf  $-0,78 \pm 1,25$  mm (Median =  $0,00$ , Spanne von  $-4,02$  mm bis  $0,87$  mm) (Abbildung 19, Tabelle 10).

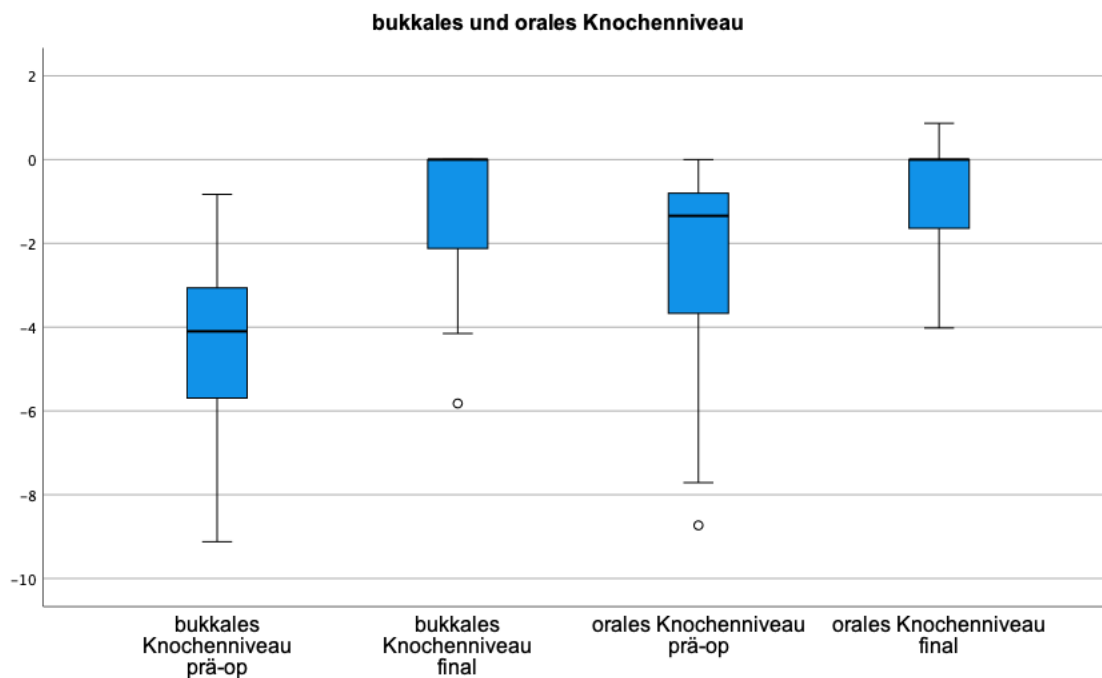


Abbildung 19 - Graphische Darstellung des bukkalen und oralen Knochenniveaus bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in Relation zum Referenzniveau in mm

Das bukkale Knochenniveau hat sich im Mittel von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung um  $3,49 \pm 2,89$  mm statistisch hoch signifikant verändert (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p < 0,001$ ,  $n = 18$ ). Das orale Knochenniveau hat sich im Mittel von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung um  $1,46 \pm 1,98$  mm statistisch signifikant verändert (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p = 0,003$ ,  $n = 18$ ).

Tabelle 10 - Deskriptive Beschreibung des bukkalen und oralen Knochenniveaus bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in Relation zum Referenzniveau in mm

Knochenniveau in mm	bukkal (prä-op)	bukkal (final)	oral (prä-op)	oral (final)
Mittelwert	-4,64	-1,15	-2,24	-0,78
Median	-4,10	0,00	-1,34	0,00
SD	2,39	1,73	2,52	1,25
Minimum	-9,12	-5,82	-8,73	-4,02
Maximum	-0,83	0,00	0,00	0,87

### 4.3.3 Bukkale Knochendicke

Die bukkale Knochendicke betrug bei einem Abstand zum Referenzniveau von 1 mm präoperativ  $0,01 \pm 0,03$  mm (Median = 0,00 mm, Spanne von 0,00 mm bis 0,12 mm) und zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung  $0,55 \pm 0,60$  mm (Median = 0,42 mm, Spanne von 0,00 mm bis 1,64 mm). Bei einem Abstand von 3 mm betrug die präoperative bukkale Knochendicke  $0,32 \pm 0,57$  mm (Median = 0,00 mm, Spanne von 0,00 mm bis 1,84 mm) und zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung  $1,32 \pm 1,16$  mm (Median = 1,10 mm, Spanne von 0,00 mm bis 4,58 mm). Bei einem Abstand von 6 mm betrug die präoperative bukkale Knochendicke  $1,26 \pm 1,24$  mm (Median = 0,87 mm, Spanne von 0,00 mm bis 3,76 mm) und zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung  $1,90 \pm 1,52$  mm (Median = 1,65 mm, Spanne von 0,00 mm bis 5,82 mm) (Tabelle 11).

Die bukkale Knochendicke hat sich bei einem Abstand zum Referenzniveau von 1 mm im Mittel von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung um  $0,55 \pm 0,60$  mm statistisch signifikant (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p = 0,005$ ,  $n = 18$ ) bzw. bei einem Abstand zum Referenzniveau von 3 mm um  $1,01 \pm 1,25$  mm statistisch hoch signifikant (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p < 0,001$ ,  $n = 18$ ) verändert. Bei einem Abstand zum Referenzniveau von 6 mm hat sich die bukkale Knochendicke um  $0,65 \pm 1,73$  mm statistisch nicht signifikant verändert (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p = 0,163$ ,  $n = 18$ ).

## Ergebnisse

*Tabelle 11 - Deskriptive Beschreibung der bukkalen Knochendicke bei einem Abstand von 1 mm, 3 mm und 6 mm zum Referenzniveau bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm*

<b>Bukkale Knochendicke in mm</b>	<b>Niveau 1mm prä-op</b>	<b>Niveau 1mm final</b>	<b>Niveau 3mm prä-op</b>	<b>Niveau 3mm final</b>	<b>Niveau 6mm prä-op</b>	<b>Niveau 6mm final</b>
Mittelwert	0,01	0,55	0,32	1,32	1,26	1,90
Median	0,00	0,42	0,00	1,10	0,87	1,65
SD	0,03	0,60	0,57	1,16	1,24	1,52
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum	0,12	1,64	1,84	4,58	3,76	5,82

### 4.3.4 Sondierungstiefen

Die detaillierten präoperativen Sondierungstiefen sind in Tabelle 12 und die detaillierten Sondierungstiefen zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung in Tabelle 13 beschrieben. Tabelle 14 beschreibt die Mittelwerte der jeweils 3 bukkalen und 3 oral gemessenen Sondierungstiefen und Tabelle 15 die Mittelwerte aller 6 gemessenen Sondierungstiefen, jeweils bei der präoperativen Untersuchung und zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung.

*Tabelle 12 - Deskriptive Beschreibung der Sondierungstiefen bei der präoperativen Untersuchung in mm*

<b>Sondierungstiefen in mm (präoperativ)</b>	<b>mesio-bukkal</b>	<b>zentro-bukkal</b>	<b>disto-bukkal</b>	<b>mesio-oral</b>	<b>zentro-oral</b>	<b>disto-oral</b>
Mittelwert	5,16	5,43	5,23	5,00	4,50	4,98
Median	4,50	5,50	5,75	4,50	4,00	5,00
SD	1,89	2,12	1,92	1,73	1,74	1,33
Minimum	2,00	2,00	2,00	2,50	2,00	3,00
Maximum	9,00	9,00	9,00	9,00	8,00	8,00

Tabelle 13 - Deskriptive Beschreibung der Sondierungstiefen bei der finalen Nachuntersuchung in mm

<b>Sondierungstiefen in mm (final)</b>	<b>mesio-bukkal</b>	<b>zentro-bukkal</b>	<b>disto-bukkal</b>	<b>mesio-oral</b>	<b>zentro-oral</b>	<b>disto-oral</b>
Mittelwert	2,98	2,77	3,41	3,46	2,73	3,16
Median	3,00	2,75	3,00	3,00	2,25	3,00
SD	0,96	0,81	1,12	1,05	1,00	1,25
Minimum	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,50
Maximum	5,00	4,50	6,00	5,00	5,00	6,00

Die 3 präoperativen bukkalen Sondierungstiefen betragen bei 22 Implantaten durchschnittlich  $5,27 \pm 1,75$  mm (Median = 5,00 mm, Spanne von 2,33 mm bis 9,00 mm) und verbesserten sich zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung auf  $3,05 \pm 0,71$  mm (Median = 3,17 mm, Spanne von 2,00 mm bis 4,33 mm) (Tabelle 14).

Die 3 präoperativen oralen Sondierungstiefen betragen bei 22 Implantaten durchschnittlich  $4,83 \pm 1,28$  mm (Median = 4,50 mm, Spanne von 3,17 mm bis 8,00 mm) und verbesserten sich zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung auf  $3,11 \pm 0,94$  mm (Median = 2,83 mm, Spanne von 2,00 mm bis 5,33 mm) (Tabelle 14).

Der Mittelwert der 3 bukkalen Sondierungstiefen hat sich von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung im Mittel um  $2,22 \pm 1,82$  mm statistisch hoch signifikant verbessert (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p < 0,001$ ,  $n = 22$ ).

Der Mittelwert der 3 oralen Sondierungstiefen hat sich von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung im Mittel um  $1,71 \pm 1,44$  mm ebenfalls statistisch hoch signifikant verbessert (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p < 0,001$ ,  $n = 22$ ).

## Ergebnisse

Tabelle 14 - Deskriptive Beschreibung der Mittelwerte der bukkalen und oralen Sondierungstiefen bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm

<b>Mittelwert der Sondierungstiefen in mm</b>	<b>bukkal prä-op</b>	<b>bukkal final</b>	<b>oral prä-op</b>	<b>oral final</b>
Mittelwert	5,27	3,05	4,83	3,11
Median	5,00	3,17	4,50	2,83
SD	1,75	0,71	1,28	0,94
Minimum	2,33	2,00	3,17	2,00
Maximum	9,00	4,33	8,00	5,33

Tabelle 15 - Deskriptive Beschreibung der Mittelwerte der Sondierungstiefen bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm

<b>Mittelwert aller 6 Sondierungstiefen in mm</b>	<b>präoperativ</b>	<b>final</b>
Mittelwert	5,05	3,08
Median	4,75	3,04
SD	1,39	0,71
Minimum	2,75	2,17
Maximum	8,50	4,33

Der Mittelwert aller 6 gemessenen Sondierungstiefen betrug präoperativ  $5,05 \pm 1,39$  mm (Median = 4,75 mm, Spanne von 2,75 mm bis 8,50 mm) und verbesserte sich bis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung auf  $3,08 \pm 0,71$  mm (Median = 3,04 mm, Spanne von 2,17 mm bis 4,33 mm) (Tabelle 15).

Der Mittelwert aller 6 gemessenen Sondierungstiefen hat sich von präoperativ bis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung im Mittel um  $1,97 \pm 1,56$  mm statistisch hoch signifikant verbessert (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p < 0,001$ ,  $n = 22$ ).

#### 4.3.5 Rezession

Die Rezession der bukkalen periimplantären Mukosa betrug präoperativ im Durchschnitt  $2,07 \pm 1,70$  mm (Median = 2,00 mm, Spanne von 0,00 mm bis 6,00 mm). Zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung betrug die Rezession bei 22 Implantaten  $0,91 \pm 1,13$  mm (Median = 0,25 mm, Spanne von 0,00 mm bis 3,50 mm) (Tabelle 16).

Die Rezession hat sich im Mittel um  $1,16 \pm 0,96$  mm von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung statistisch hoch signifikant verbessert (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p < 0,001$ ,  $n = 22$ ). Dabei zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen Implantaten mit ( $1,05 \pm 0,93$  mm) oder ohne ( $1,09 \pm 1,16$  mm) zusätzlicher Vestibulumplastik (Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben,  $p = 0,949$ ).

*Tabelle 16 - Deskriptive Beschreibung der Rezession bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm*

<b>Rezession in mm</b>	<b>präoperativ</b>	<b>final</b>
Mittelwert	2,07	0,91
Median	2,00	0,25
SD	1,70	1,13
Minimum	0,00	0,00
Maximum	6,00	3,50

#### 4.3.6 Breite der befestigten Mukosa

Die präoperative Breite der befestigten Mukosa betrug  $2,91 \pm 1,81$  mm (Median = 3,00 mm, Spanne von 0,00 mm bis 7,00 mm) und verbesserte sich bis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung auf  $4,18 \pm 1,67$  mm (Median = 4,50 mm, Spanne von 1,50 mm bis 7,50 mm) (Abbildung 20, Tabelle 17).

Die Breite der befestigten Mukosa hat sich im Mittel um  $1,27 \pm 1,73$  mm von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung statistisch signifikant verändert (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p = 0,006$ ,  $n = 22$ ). Wie bereits in Kapitel 3.2 erläutert, wurden bei 11 Implantaten ergänzende Maßnahmen zur Verbesserung der Breite der befestigten Mukosa durchgeführt. Die Zunahme der Breite der befestigten Mukosa betrug bei Implantaten ohne zusätzlicher Vestibulumplastik  $0,14 \pm 1,07$  mm (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-

## Ergebnisse

---

Test bei verbundenen Stichproben,  $p = 0,717$ ,  $n = 11$ ) und  $2,41 \pm 1,51$  mm bei Implantaten mit zusätzlicher Vestibulumplastik (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p = 0,005$ ,  $n = 11$ ).

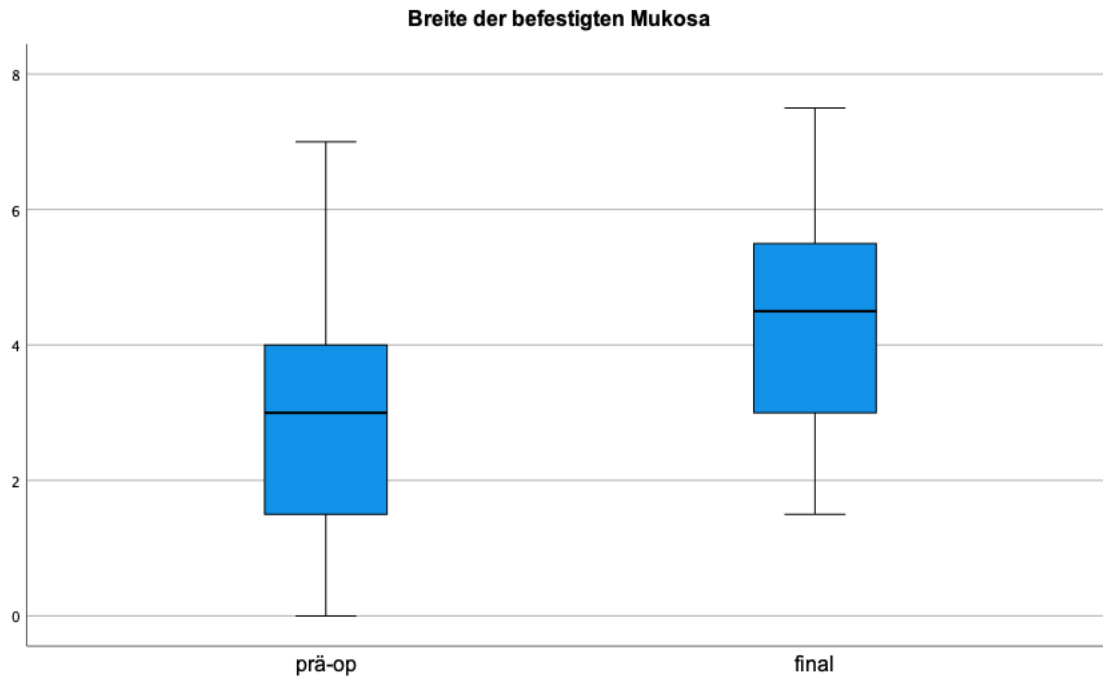


Abbildung 20 - Graphische Darstellung der Breite der befestigten Mukosa bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm

Tabelle 17 - Deskriptive Beschreibung der Breite der befestigten Mukosa bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm

<b>Breite der befestigten Mukosa in mm</b>	<b>präoperativ</b>	<b>final</b>
Mittelwert	2,91	4,18
Median	3,00	4,50
SD	1,81	1,67
Minimum	0,00	1,50
Maximum	7,00	7,50

#### 4.3.7 Kronen-Mukosa-Abstand

Der präoperative Kronen-Mukosa-Abstand betrug bei 22 Implantaten  $11,75 \pm 2,75$  mm (Median = 11,25 mm, Spanne von 8,00 mm bis 18,00 mm). Zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung betrug der Kronen-Mukosa-Abstand bei 22 Implantaten  $11,09 \pm 2,47$  mm (Median = 10,75 mm, Spanne von 6,50 mm bis 16,00 mm) (Tabelle 18).

Der Kronen-Mukosa-Abstand hat sich im Mittel um  $0,66 \pm 1,16$  mm von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung statistisch signifikant verbessert (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p = 0,17$ ,  $n = 22$ ).

*Tabelle 18 - Deskriptive Beschreibung des Kronen-Mukosa-Abstandes bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm*

<b>Kronen-Mukosa-Abstand in mm</b>	<b>präoperativ</b>	<b>final</b>
Mittelwert	11,75	11,09
Median	11,25	10,75
SD	2,75	2,47
Minimum	8,00	6,50
Maximum	18,00	16,00

#### 4.3.8 Dicke der befestigten Mukosa

Die präoperative Dicke der befestigten Mukosa betrug  $1,73 \pm 0,50$  mm (Median = 1,76 mm, Spanne von 0,00 mm bis 2,50 mm) und verbesserte sich bis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung auf  $2,44 \pm 0,43$  mm (Median = 2,30 mm, Spanne von 1,80 mm bis 3,20 mm) (Abbildung 21, Tabelle 19).

Die Dicke der befestigten Mukosa hat sich im Mittel um  $0,71 \pm 0,50$  mm von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung statistisch hoch signifikant verändert (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p < 0,001$ ,  $n = 22$ ). Dabei zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen Implantaten mit ( $0,56 \pm 0,31$  mm) oder ohne ( $0,85 \pm 0,62$  mm) zusätzlicher Vestibulumplastik (Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben,  $p = 0,270$ ).

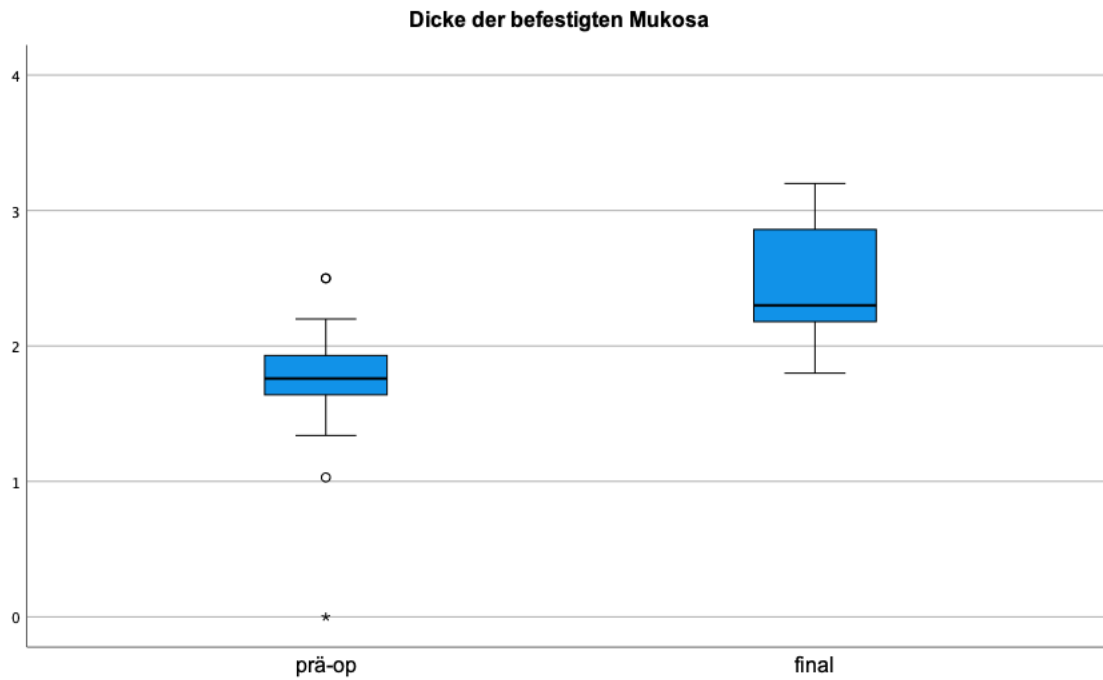


Abbildung 21 - Graphische Darstellung der Dicke der befestigten Mukosa bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm

Tabelle 19 - Deskriptive Beschreibung der Dicke der befestigten Mukosa bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung in mm

<b>Dicke der befestigten Mukosa in mm</b>	<b>präoperativ</b>	<b>final</b>
Mittelwert	1,73	2,44
Median	1,76	2,30
SD	0,50	0,43
Minimum	0,00	1,80
Maximum	2,50	3,20

#### 4.3.9 Jemt-Score

Präoperativ wurde die mesiale Papille bei 6 Implantaten (27,3 %) mit einem Jemt-Score von 1, bei 10 Implantaten (45,5 %) mit einem Score von 2 und bei 6 Implantaten (27,3 %) mit einem Score von 3 bewertet. Zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung wurde die mesiale Papille bei 2 Implantaten (9,1 %) mit einem Score von 1, bei 14 Implantaten (63,6 %) mit einem Score von 2 und bei 6 Implantaten (27,3 %) mit einem Score von 3 bewertet. Die distale Papille wurde präoperativ bei 7 Implantaten (31,8 %) mit einem Jemt-Score von 1, bei 13 Implantaten (59,1 %) mit einem Score von 2 und bei 2 Implantaten (9,1 %) mit einem Score von 3 bewertet. Zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung wurde die distale Papille bei 3 Implantaten (13,6 %) mit einem Jemt-Score von 1, bei 11 Implantaten (50,0 %) mit einem Score von 2 und bei 8 Implantaten (36,4 %) mit einem Score von 3 bewertet. Die Gesamtsumme der Prozentwerte weicht in Tabelle 20 aufgrund von Rundungen minimal von 100 % ab.

*Tabelle 20 - Absolute und relative Häufigkeitsverteilung des Jemt-Scores bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung*

<b>Jemt-Score</b>	<b>mesiale Papille (prä-op)</b>	<b>mesiale Papille (final)</b>	<b>distale Papille (prä-op)</b>	<b>distale Papille (final)</b>
0	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
1	6 (27,3 %)	2 (9,1 %)	7 (31,8 %)	3 (13,6 %)
2	10 (45,5 %)	14 (63,6 %)	13 (59,1 %)	11 (50,0 %)
3	6 (27,3 %)	6 (27,3 %)	2 (9,1 %)	8 (36,4 %)
4	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)

#### 4.3.10 Pink Esthetic Score

Der präoperative Gesamt-Score des Pink Esthetic Score betrug bei 22 Implantaten  $7,73 \pm 2,78$  (Median = 8,00, Spanne von 3,00 bis 13,00) und verbesserte sich bis zur finalen Nachuntersuchung auf  $10,73 \pm 1,91$  (Median = 10,50, Spanne von 7,00 bis 14,00) (Tabelle 21). Die Mittelwerte und die Standardabweichung der einzelnen Variablen sind in Tabelle 22 beschrieben. Ob die Veränderung der Mittelwerte der einzelnen Variablen zwischen der präoperativen Untersuchung und der finalen Untersuchung statistisch signifikant war, wurde anhand von Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests bei verbundenen Stichproben überprüft. Die jeweiligen Signifikanzwerte (p-Werte) sind ebenfalls in Tabelle 22 beschrieben.

## Ergebnisse

---

Statistisch signifikant haben sich von präoperativ bis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung die distale Papille ( $p = 0,002$ ), das Niveau der Gingivakontur ( $p = 0,035$ ), die Ausprägung des Jugulums ( $p < 0,001$ ), die Farbe der Weichgewebe ( $p = 0,002$ ), die Struktur / Textur der Weichgewebe ( $p < 0,001$ ) und der Gesamt-Score ( $p < 0,001$ ) verändert.

Der Gesamt-Score des Pink Esthetic Score hat sich im Mittel um  $3,00 \pm 1,85$  von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung statistisch hoch signifikant verändert (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p < 0,001$ ,  $n = 22$ ). Bei allen 22 betrachteten Implantaten blieb der Gesamt-Score auf einem stabilen Niveau oder verbesserte sich.

*Tabelle 21 - Deskriptive Beschreibung des Pink Esthetic Scores bei der präoperativen und finalen Nachuntersuchung*

<b>Pink Esthetic Score Gesamt-Score</b>	<b>präoperativ</b>	<b>final</b>
Mittelwert	7,73	10,73
Median	8,00	10,50
SD	2,78	1,91
Minimum	3,00	7,00
Maximum	13,00	14,00

## Ergebnisse

Tabelle 22 - Deskriptive Beschreibung (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung, Median und Spannweite) der einzelnen Variablen des Pink Esthetic Scores präoperativ, nach 1 Jahr, nach 2 Jahren, nach 3 Jahren und zur finalen Nachuntersuchung und Signifikanzwert des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Testes

<b>Pink Esthetic Score</b>	<b>MW <math>\pm</math> SD</b> (prä-op, n = 22)	<b>MW <math>\pm</math> SD</b> (1 Jahr, n = 17)	<b>MW <math>\pm</math> SD</b> (2 Jahre, n = 12)	<b>MW <math>\pm</math> SD</b> (3 Jahre, n = 17)	<b>MW <math>\pm</math> SD</b> (final, n = 22)	<b>p-Wert</b> (prä-op zu final)
<b>Mesiale Papille</b>	1,00 $\pm$ 0,76	1,29 $\pm$ 0,59	1,33 $\pm$ 0,65	1,24 $\pm$ 0,56	1,23 $\pm$ 0,53	0,059
<b>Distale Papille</b>	0,77 $\pm$ 0,61	1,18 $\pm$ 0,64	1,42 $\pm$ 0,52	1,12 $\pm$ 0,70	1,27 $\pm$ 0,70	0,002
<b>Niveau der Gingivakontur</b>	0,95 $\pm$ 0,84	1,29 $\pm$ 0,69	1,42 $\pm$ 0,52	1,29 $\pm$ 0,85	1,27 $\pm$ 0,83	0,035
<b>Form der Gingivakontur</b>	1,14 $\pm$ 0,56	1,41 $\pm$ 0,51	1,33 $\pm$ 0,49	1,47 $\pm$ 0,51	1,36 $\pm$ 0,49	0,059
<b>Ausprägung des Jugulums</b>	1,09 $\pm$ 0,61	1,76 $\pm$ 0,44	1,75 $\pm$ 0,45	1,76 $\pm$ 0,44	1,82 $\pm$ 0,40	< 0,001
<b>Farbe der Weichgewebe</b>	1,32 $\pm$ 0,48	1,82 $\pm$ 0,39	1,92 $\pm$ 0,29	1,82 $\pm$ 0,39	1,82 $\pm$ 0,40	0,002
<b>Struktur / Textur der Weichgewebe</b>	1,14 $\pm$ 0,56	1,94 $\pm$ 0,24	2,00 $\pm$ 0,00	1,88 $\pm$ 0,33	1,91 $\pm$ 0,29	< 0,001
<b>Gesamt-Score</b>	7,73 $\pm$ 2,78	10,71 $\pm$ 2,20	11,17 $\pm$ 1,59	10,71 $\pm$ 2,02	10,73 $\pm$ 1,91	< 0,001
<b>Median des Gesamt-Scores</b>	8,00	11,00	11,00	11,00	10,50	
<b>Spannweite des Gesamt-Scores</b>	3,00 bis 13,00	6,00 bis 14,00	8,00 bis 14,00	7,00 bis 14,00	7,00 bis 14,00	

#### 4.3.11 Hygieneindizes

Präoperativ trat bei 22 Implantaten (100 %) eine Blutung auf Sondierung auf. Zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung trat nur noch bei 8 Implantaten (36,4 %) eine Blutung auf, bei 14 Implantaten (63,6 %) hingegen nicht mehr (Tabelle 23). Die Verbesserung der Anzahl an Implantaten mit Blutung auf Sondierung von 100 % auf 36,4 % ist statistisch hoch signifikant (McNemar-Test für verbundene Stichproben,  $p < 0,001$ ,  $n = 22$ ).

Bei 12 Implantaten (54,5 %) war präoperativ Plaque vorhanden, bei der finalen Nachuntersuchung noch bei 5 Implantaten (22,7 %) (Tabelle 24). Die Verbesserung der Anzahl an Implantaten mit vorhandener Plaque von 54,5 % auf 22,7 % ist statistisch nicht signifikant (McNemar-Test für verbundene Stichproben,  $p = 0,065$ ,  $n = 22$ ).

Tabelle 23 - Absolute und relative Häufigkeitsverteilung periimplantärer Blutung

	<b>Blutung / keine Blutung (prä-op)</b>	<b>Blutung / keine Blutung (final)</b>
Häufigkeit	22 / 0	8 / 14
Prozent	100,0 % / 0,0 %	36,4 % / 63,6 %

Tabelle 24 - Absolute und relative Häufigkeitsverteilung periimplantärer Plaque

	<b>Plaque / keine Plaque (prä-op)</b>	<b>Plaque / keine Plaque (final)</b>
Häufigkeit	12 / 10	5 / 17
Prozent	54,5 % / 45,5 %	22,7 % / 77,3 %

Der präoperative Approximalraum-Plaque-Index betrug  $49,05 \pm 27,73$  % (Median = 51,00 %, Spanne von 0,00 % bis 100,00 %) und verbesserte sich bis zur finalen Nachuntersuchung auf  $22,95 \pm 19,99$  % (Median = 17,00 %, Spanne von 0,00 % bis 64,00 %). Der präoperative Sulkus-Blutungsindex betrug  $40,05 \pm 26,56$  % (Median = 35,00 %, Spanne von 0,00 % bis 100,00 %) und verbesserte sich bis zur finalen Nachuntersuchung auf  $15,09 \pm 15,32$  % (Median = 13,50 %, Spanne von 0,00 % bis 46,00 %) (Tabelle 25).

Der Approximalraum-Plaque-Index hat sich im Mittel um  $26,09 \pm 24,70$  % von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung statistisch hoch signifikant verändert (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p < 0,001$ ,  $n = 22$ ). Der Sulkus-Blutungsindex hat

sich im Mittel um  $24,95 \pm 20,21$  % von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung ebenfalls statistisch hoch signifikant verändert (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben,  $p < 0,001$ ,  $n = 22$ ).

*Tabelle 25 - Deskriptive Beschreibung des Approximalraum-Plaque-Index und Sulkus-Blutungsindex*

<b>in %</b>	<b>API prä-op</b>	<b>API final</b>	<b>SBI prä-op</b>	<b>SBI final</b>
Mittelwert	49,05	22,95	40,05	15,09
Median	51,00	17,00	35,00	13,50
SD	27,73	19,99	26,56	15,32
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum	100,00	64,00	100,00	46,00

#### 4.4 Implantaterfolg / Erfolgsindizes

Innerhalb des durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraums von  $36,04 \pm 8,58$  Monaten wurden die verschiedenen Erfolgskriterien und Erfolgsindizes in unterschiedlichem Maße erfüllt. Die große Mehrheit der Implantate (91,7 %) war zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung noch in situ und in Funktion. Ebenfalls eine Mehrheit der Implantate wies zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung keine weiteren Knochenverluste (91,7 %), eine erfolgreiche marginale Füllung des periimplantären Knochendefektes von mehr als 1 mm (87,5 %), eine Rezession der bukkalen periimplantären Mukosa von weniger als 1 mm (100 %) und periimplantäre Sondierungstiefen von kleiner gleich 5 mm (83,3 %) auf. Bei der Mehrheit der Implantate zeigte sich keine Suppuration (95,8 %). Hingegen wurde lediglich bei 58,3 % der untersuchten Implantate keinerlei Blutung auf Sondierung festgestellt. Gemäß der unter 3.5 definierten, zusammengesetzten Erfolgsindizes betragen die Erfolgsraten 45,8 % für den Erfolgsindex 1, 50,0 % für den Erfolgsindex 2 und 54,2 % für den Erfolgsindex 3 (Tabelle 26).

## Ergebnisse

Tabelle 26 - Relative Häufigkeitsverteilung der einzelnen Erfolgskriterien und drei zusammengesetzten Erfolgsindizes

	<b>Erfolgsindex 1 = 45,8 %</b>	<b>Erfolgsindex 2 = 50,0 %</b>	<b>Erfolgsindex 3 = 54,2 %</b>
Implantat in situ	91,7 %	91,7 %	91,7 %
Röntgenologisch sichtbare Auffüllung des periimplantären Knochendefektes $\geq 1$ mm	87,5 %		
Röntgenologisch sichtbare Auffüllung des periimplantären Knochendefektes $\geq 0$ mm		91,7 %	
Periimplantäre Sondierungstiefen $\leq 5$ mm	83,3 %	83,3 %	83,3 %
Keine Blutung auf Sondierung (1 von 6 Messstellen darf positiv sein)	58,3 %		
Keine Blutung auf Sondierung		58,3 %	58,3 %
Keine Suppuration	95,8 %	95,8 %	95,8 %
Rezession der periimplantären Mukosa $\leq 1$ mm an der bukkalen Seite des Implantats			100 %

## 4.5 Korrelationsanalyse

### Zusammenhang zwischen dem approximalen Knochenniveau und dem Nikotinkonsum

Bei den Rauchern (n = 4) verbesserte sich das approximale Knochenniveau um  $3,18 \pm 2,26$  mm (Median = 3,84 mm, Spanne von -0,08 bis 5,12 mm) ähnlich wie bei den Nichtrauchern (n = 18) um  $3,09 \pm 2,03$  mm (Median = 2,53 mm, Spanne von 0,98 bis 8,15 mm). Beim Vergleich der beiden Gruppen (Raucher und Nichtraucher) zeigte sich keine signifikante Korrelation des Nikotinkonsums des Patienten auf die Verbesserung des approximalen Knochenniveaus (Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben,  $p = 0,810$ ).

### Zusammenhang zwischen dem approximalen Knochenniveau und dem gingivalen Biotyp

Bei Patienten mit einem dünnen gingivalen Biotyp (n = 10) fiel die Verbesserung des approximalen Knochenniveaus mit  $2,98 \pm 2,44$  mm (Median = 2,23 mm, Spanne von -0,08 bis 8,15 mm) geringer aus als bei den Patienten mit einem dicken gingivalen Biotyp (n = 12) mit  $3,21 \text{ mm} \pm 1,70$  mm (Median = 3,16 mm, Spanne von 0,98 bis 6,35 mm). Beim Vergleich der beiden Gruppen (dicker gingivaler Biotyp und dünner gingivaler Biotyp) zeigte sich jedoch keine signifikante Korrelation des gingivalen Biotyps auf die Verbesserung des approximalen Knochenniveaus (Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben,  $p = 0,955$ ).

### Zusammenhang zwischen dem approximalen Knochenniveau und ergänzender Maßnahmen

Erhielten Patienten keine ergänzenden Maßnahmen (n = 11) fiel die Verbesserung des approximalen Knochenniveaus ( $2,99 \pm 1,46$  mm (Median = 3,05 mm, Spanne von 0,98 bis 5,32 mm)) geringer aus als bei Patienten, die ergänzende Maßnahmen erhielten (n = 11; Verbesserung des approximalen Knochenniveaus um  $3,22 \pm 2,53$  mm (Median = 2,17 mm, Spanne von -0,08 bis 8,15 mm)). Beim Vergleich der beiden Gruppen (zusätzliche Vestibulumplastik mit oder ohne FST oder keine ergänzende Maßnahme) zeigte sich keine signifikante Korrelation auf die Verbesserung der approximalen Knochenniveaus (Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben,  $p = 0,867$ ).

### Zusammenhang zwischen dem approximalen Knochenniveau und dem Pink Esthetic Score

Die Verbesserung des approximalen Knochenniveaus korreliert nicht signifikant mit der Verbesserung des Gesamt-Scores des Pink Esthetic Scores (Rangkorrelationsanalyse nach Spearman,  $r = -0,172$ ,  $p = 0,443$ ).

Zusammenhang zwischen dem approximalen Knochenniveau und der Breite der befestigten Mukosa

Die Verbesserung des approximalen Knochenniveaus korreliert nicht signifikant mit der Verbesserung der Breite der befestigten Mukosa (Rangkorrelationsanalyse nach Spearman,  $r = -0,319$ ,  $p = 0,147$ ).

## 4.6 Fallbeispiel 1

Abbildung 22, Abbildung 23 und Abbildung 24 zeigen ein mit der LAPIDER-Technik (Noelken and Al-Nawas, 2020) therapiertes Einzelzahnimplantat. Es handelt sich um ein OsseoSpeed® EV in regio 15 bei einem 60-jährigen, männlichen Patienten (Nichtraucher, dicker gingivaler Biotyp). Auf dem präoperativen Foto ist eine deutlich ödematös veränderte Gingiva bukkal regio 15 zu erkennen. Darüber hinaus wirkt die Gingiva bukkal des Implantats eingefallen und man kann das Implantat am marginalen Kronenrand durch die Gingiva schimmern sehen. Das intraoperative Bild deckt sich mit den präoperativen Eindrücken. Nach der Lappenbildung und Defektdarstellung entsprechend der LAPIDER-Technik stellt sich ein tiefer vestibulärer Knochendefekt mit dicken Konkrementen auf der Implantatoberfläche dar. Das postoperative Bild zeigt drei Jahre nach der chirurgischen Periimplantitistherapie eine Gingiva, die sich entzündungs- und reizfrei darstellt. Die Papillen sehen rosig aus und es ist eine schöne und harmonische Stippelung der Gingiva zu erkennen. Darüber hinaus lässt auch das deutlich voluminösere Erscheinen der bukkalen Gingiva und das nicht mehr durchscheinende Implantat auf einen Behandlungserfolg hindeuten. Der klinische sichtbare Erfolg wird von den postoperativen periapikalen Röntgenaufnahmen und den DVT-Aufnahmen bestätigt (Abbildung 23 und Abbildung 24). Liegt präoperativ, vor allem bukkal, noch ein deutlicher Knochendefekt vor, so ist auf der postoperativen Bildgebung eine deutliche knöcherne Regeneration bis zum Niveau der Implantatschulter zu erkennen. Zusätzlich ist das approximale Knocheniveau am Implantat deutlich verbessert. Die klinischen und radiologischen Verbesserungen sind als eine erfolgreiche chirurgische Therapie zu werten.

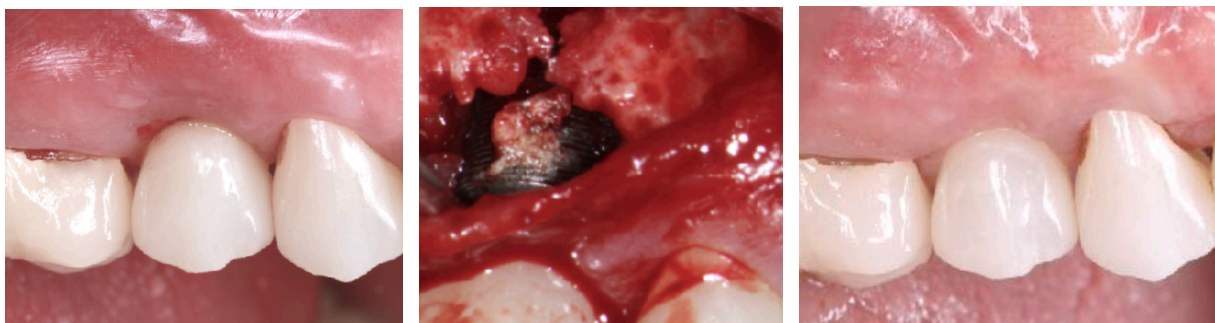


Abbildung 22 - Klinische Fotos eines Implantats regio 15 mit fortgeschrittener Periimplantitis, intraoperativer Darstellung des periimplantären Knochendefektes und klinische Situation 3 Jahre postoperativ mit reizfreier periimplantärer Mukosa.

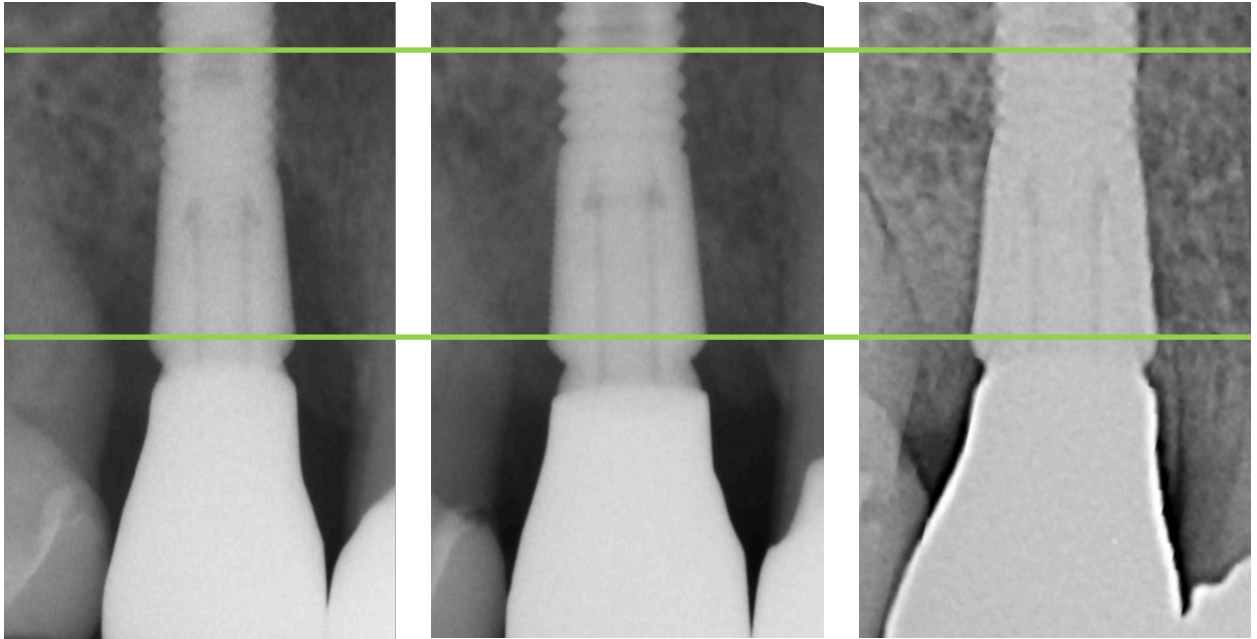


Abbildung 23 - Intraorale Einzelaufnahmen eines Implantats regio 15 (präoperativ, 6 Monate postoperativ und 2 Jahre postoperativ) mit deutlich erkennbarer Regeneration des approximalen Knochendefektes bis zum Niveau der Implantatschulter

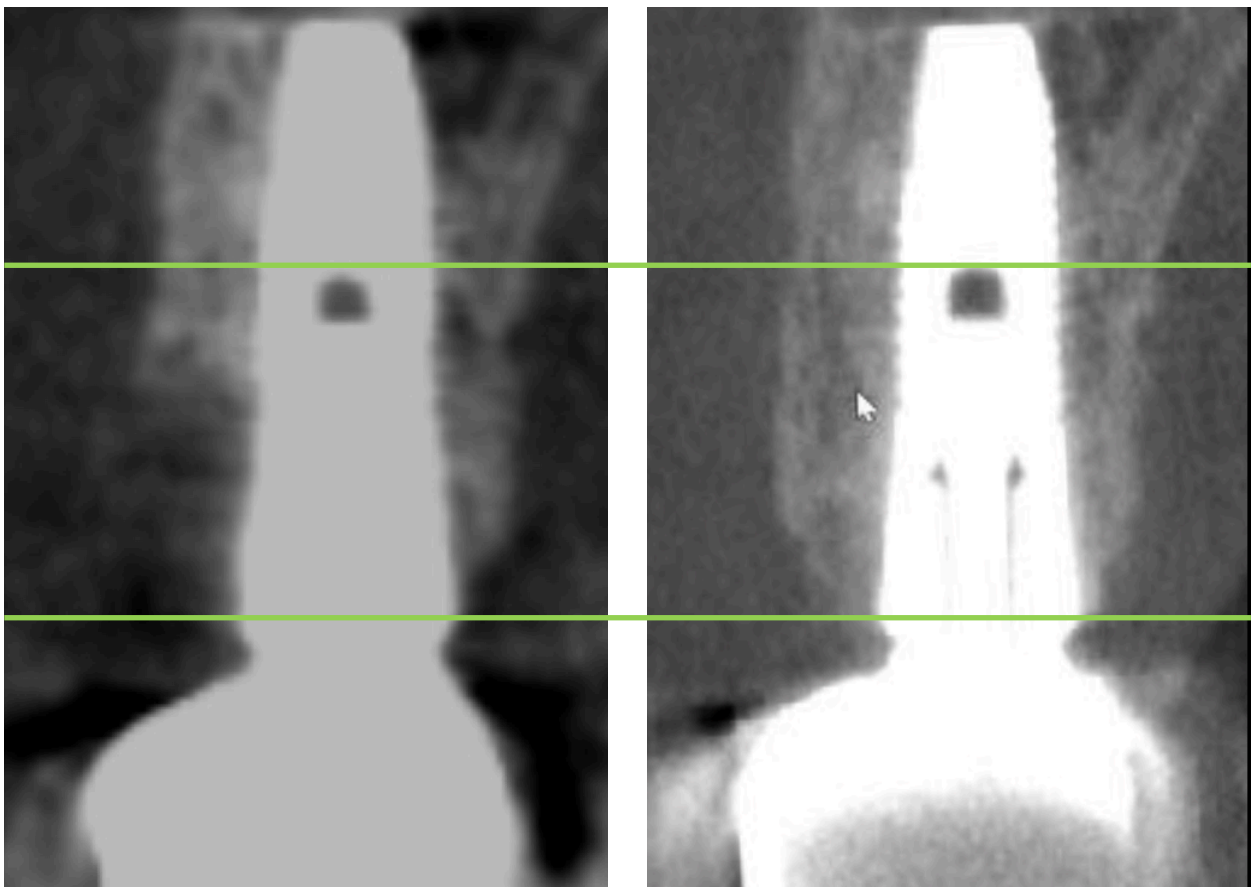


Abbildung 24 - Digitale Volumetomographie eines Implantats regio 15 (präoperativ und 3 Jahre postoperativ) mit deutlich erkennbarer Regeneration des bukkalen Knochendefektes bis zum Niveau der Implantatschulter

## 4.7 Fallbeispiel 2

Die Abbildungen 25 bis 29 zeigen ebenfalls ein mit der LAPIDER-Technik (Noelken and Al-Nawas, 2020) therapiertes Einzelzahnimplantat. Dieses wurde ergänzend postoperativ (circa fünf Monate nach der chirurgischen Periimplantitistherapie nach der LAPIDER-Technik) mit einem freien Schleimhauttransplantat (FST) therapiert. Es handelt sich um ein Straumann® Tissue Level Implantat regio 36 (Freiendsituation) bei einem 66-jährigen, männlichen Patienten (Nichtraucher, dicker gingivaler Biotyp). Auf dem präoperativen Foto ist in regio 36 bukkal eine hyperplastische und erythematöse Veränderung der periimplantären Weichgewebe erkennbar (Abbildung 26). Abbildung 25 zeigt intraoperativ den präparierten suprapariostalen Spaltlappen, die Dekontamination der freigelegten Implantatoberfläche mit Darstellung des gesamten periimplantären Knochendefektes und die Defektaugmentation mit autologen kortikalen Knochenspänen. Die Defektdarstellung nach der LAPIDER-Technik zeigt einen fortgeschrittenen vestibulären Knochendefekt mit Konkrementen auf der Implantatoberfläche. Das postoperative Bild zeigt zwei Wochen nach der chirurgischen Periimplantitistherapie (Abbildung 26) die Naht der bukkalen Mukosa. Bereits hier stellt sich die Gingiva weniger eingefallen und deutlich voluminöser dar. Fünf Monate nach der chirurgischen Periimplantitistherapie wurde das Implantat ergänzend mit einem freien Schleimhauttransplantat (entnommen mit dem Mukotom am harten Gaumen) therapiert. Auf dem klinischen Foto vor dem FST (Abbildung 27) ist eine Rezession der bukkalen periimplantären Mukosa erkennbar. Die Mukosa stellt sich entzündungs- und reizfrei dar. Abbildung 27 zeigt die klinische Situation eine Woche nach dem zusätzlichen FST (sechs Monate nach der chirurgischen Periimplantitistherapie) bzw. fünf Monate nach dem zusätzlichen FST (zehn Monate nach der chirurgischen Periimplantitistherapie). Nach einer Woche sind die resorbierbaren Periostnähte noch in situ, die periimplantären Weichgewebe erscheinen wieder deutlich voluminöser. Nach fünf Monaten ist im Vergleich zu der Ausgangssituation ein Rückgang der Rezession der bukkalen Mukosa erkennbar. Die Papille mesial erscheint rosig und es zeigt sich ein harmonischer Verlauf der periimplantären Weichgewebe. Auch zwei Jahre nach der chirurgischen Periimplantitistherapie erscheint die bukkale Mukosa voluminöser. Auf einen Behandlungserfolg deutet darüber hinaus die erkennbare Entzündungs- und Reizfreiheit der periimplantären Gingiva hin (Abbildung 26). Der bereits klinisch sichtbare Erfolg der Therapie wird von den postoperativen Einzelzahn- und DVT-Aufnahmen bestätigt. Lässt die präoperative Einzelzahnaufnahme einen deutlichen approximalen Knochendefekt erkennen, so verbessert sich das proximale Knochenniveau postoperativ deutlich (Abbildung 28). Die postoperative DVT-Aufnahme zeigt ebenfalls eine deutliche Regeneration des präoperativen (insbesondere bukkal stark ausgeprägten) Knochendefektes bis nahe dem Niveau des ersten Gewindeganges (Abbildung 29). Die

klinischen und radiologischen Verbesserungen der periimplantären Situation sind auch bei diesem Fallbeispiel als eine erfolgreiche chirurgische Therapie zu werten.

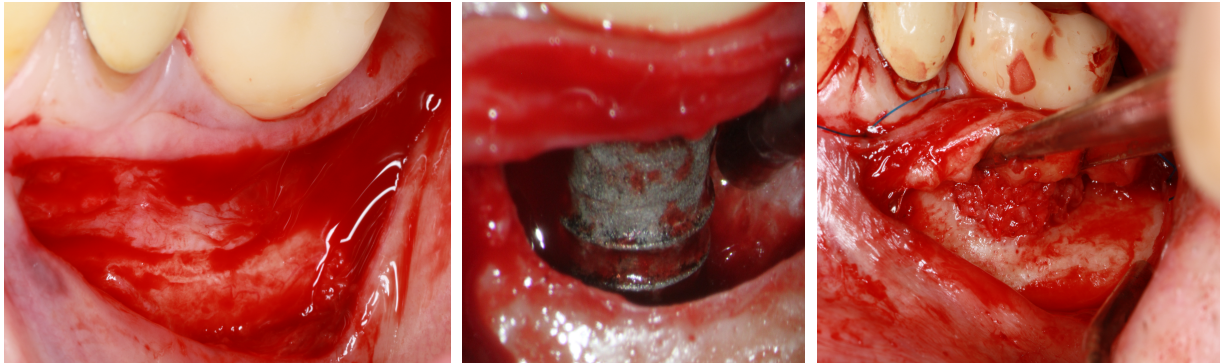


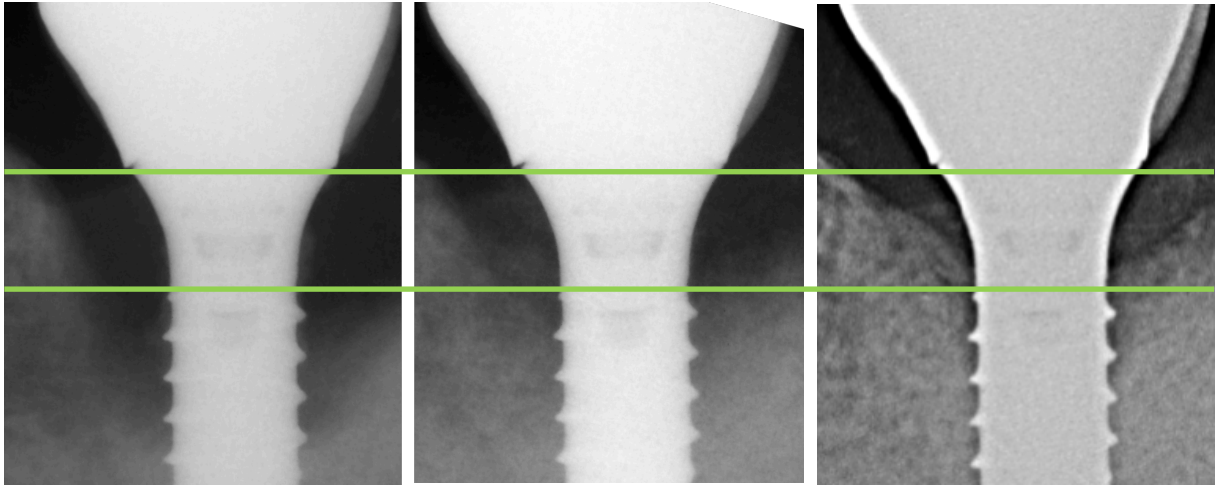
Abbildung 25 - Klinische Fotos eines Implantats regio 36 mit intraoperativer Darstellung des präparierten Spaltlappens, der Kontamination der Implantatoberfläche und der periimplantären Hart- und Weichgewebeaugmentation



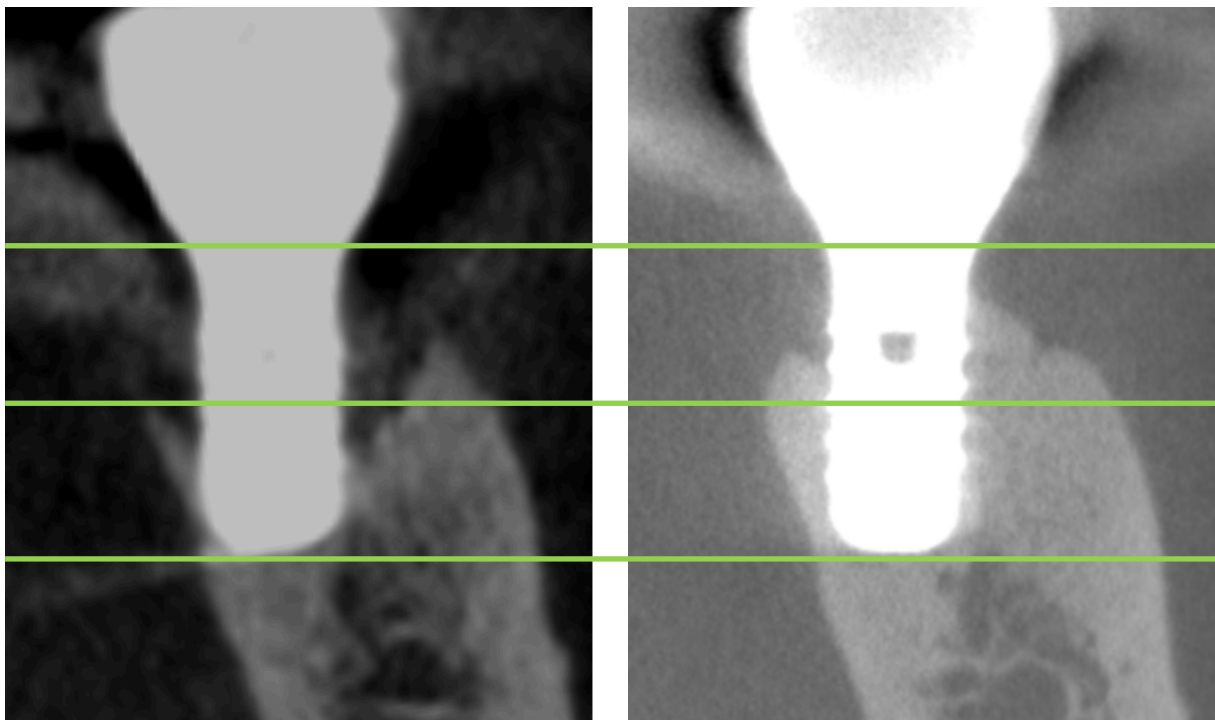
Abbildung 26 - Klinische Fotos eines Implantats regio 36 mit fortgeschrittener Periimplantitis (präoperativ, 2 Wochen postoperativ und 2 Jahre postoperativ)



Abbildung 27 - Klinische Fotos eines Implantats regio 36 (5 Monate postoperativ, 1 Woche nach zusätzlichem FST (6 Monate postoperativ) und 5 Monate nach FST (10 Monate postoperativ))



*Abbildung 28 - Intraorale Einzelaufnahmen eines Implantats regio 36 (präoperativ, 6 Monate postoperativ und 3 Jahre postoperativ) mit deutlich erkennbarer Regeneration des approximalen Knochendefektes bis nahe dem Niveau des ersten Gewindeganges*



*Abbildung 29 - Digitale Volumentomographie eines Implantats regio 36 (präoperativ und 3 Jahre postoperativ) mit deutlich erkennbarer Regeneration des bukkalen Knochendefektes bis nahe dem Niveau des ersten Gewindeganges*

## 4.8 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die vorliegende monozentrische, retrospektive Datenauswertung hatte das Ziel zu untersuchen, ob das neue chirurgische Behandlungskonzept der LAPIDER-Technik (Noelken and Al-Nawas, 2020) die Regeneration schwerer periimplantärer Hart- und Weichgewebedefekte ermöglichen kann. Hierfür wurden die periimplantären marginalen Knochen- und Weichgewebeveränderungen, das Überleben und der Erfolg der Implantate analysiert. Die Stichprobe bestand aus 24 im Zeitraum vom 24. September 2018 bis zum 22. Juni 2020 chirurgisch therapierten und im Zeitraum bis zum 26. September 2022 nachuntersuchten Implantaten, die nach Diagnosestellung einer fortgeschrittenen Periimplantitis mit ausgeprägtem periimplantärem Knochendefekt mit der LAPIDER-Technik durch Herrn Prof. Dr. Robert Nölken therapiert wurden. Im Nachuntersuchungszeitraum mussten 2 Implantate nach 13,96 bzw. nach 26,22 Monaten aufgrund von Therapieresistenz und zunehmenden Sondierungstiefen operativ entfernt werden. Die Überlebenschancen aller Implantate betrug 90,8 % bei einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von  $36,04 \pm 8,58$  Monaten. Bei der deskriptiven Auswertung wurden die Parameter der beiden verlorenen Implantate ausgeschlossen ( $n = 22$ ).

Die Patientenkohorte bestand aus 11 Frauen (61,1 %) und 7 Männern (38,9 %), die zum Zeitpunkt der Auswertung im Durchschnitt  $54,11 \pm 11,97$  Jahre alt waren. 22,2 % der Patienten waren Raucher. Bei 66,7 % der Patienten wurde ein dicker gingivaler Biotyp festgestellt.

Es wurden bei den 22 verbliebenen Implantaten verschiedene klinische und radiologische Parameter deskriptiv ausgewertet und darüber hinaus die Veränderung der präoperativen Werte und der Werte der finalen Nachuntersuchung als Differenz (Differenz der Mittelwerte) angegeben: Das proximale Knochenniveau veränderte sich im Mittel um  $3,10 \pm 2,02$  mm, das bukkale Knochenniveau um  $3,49 \pm 2,89$  mm und das orale Knochenniveau um  $1,46 \pm 1,98$  mm. Die Dicke der bukkalen Knochenwand veränderte sich im Mittel um  $0,55 \pm 0,60$  mm bei einem Abstand zum Referenzniveau von 1 mm, um  $1,01 \pm 1,25$  mm bei einem Abstand von 3 mm und um  $0,65 \pm 1,73$  mm bei einem Abstand von 6 mm. Der Mittelwert der 3 bukkalen Sondierungstiefen veränderte sich im Mittel um  $2,22 \pm 1,82$  mm, der Mittelwert der 3 oralen Sondierungstiefen um  $1,71 \pm 1,44$  mm und der Mittelwert aller 6 gemessenen Sondierungstiefen um durchschnittlich  $1,97 \pm 1,56$  mm. Die Rezession der bukkalen periimplantären Mukosa veränderte sich im Mittel um  $1,16 \pm 0,96$  mm, die Breite der befestigten Mukosa um  $1,27 \pm 1,73$  mm, der Kronen-Mukosa-Abstand um  $0,66 \pm 1,16$  mm und die Dicke der befestigten Mukosa um  $0,71 \pm 0,50$  mm. Die Anzahl der mit einem Jemt-Score von 3 bewerteten mesialen Papillen blieb stabil bei 27,3 % (6 Implantate) und die Anzahl der

distalen Papillen, die mit einem Jemt-Score von 3 bewertet wurden, erhöhte sich von 9,1 % (2 Implantate) auf 36,4% (8 Implantate). Der Gesamt-Score des Pink Esthetic Score verbesserte sich um  $3,00 \pm 1,85$  von präoperativ bis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung. Die Anzahl der Implantate, die eine Blutung auf Sondierung aufwiesen, verbesserte sich von präoperativ bis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung statistisch hoch signifikant.

Anhand von Kaplan-Meier-Analysen wurde die generelle Überlebenswahrscheinlichkeit der 24 Implantate und mittels Log-Rank-Test eine Abhängigkeit der Überlebenswahrscheinlichkeit von dem Patientengeschlecht, dem Nikotinkonsum des Patienten und dem gingivalen Biotyp des Patienten überprüft. Es wurden drei zusammengesetzte Erfolgsindizes nach den Kriterien aus der aktuellen Literatur (Renvert *et al.*, 2021; Derks *et al.*, 2022) definiert und überprüft, in welchem Maße diese erfüllt wurden.

Es zeigte sich keine signifikante Korrelation zwischen einzelnen Gruppen der Patientenkohorte (Raucher und Nichtraucher, dicker und dünner gingivaler Biotyp, Implantate mit oder ohne ergänzender Vestibulumplastik) und der Verbesserung des approximalen Knochenniveaus. Die Verbesserung des approximalen Knochenniveaus korrelierte nicht signifikant mit der Verbesserung des Gesamt-Scores des Pink Esthetic Scores und auch nicht signifikant mit der Verbesserung der Breite der befestigten Mukosa.

Es zeigte sich bei der Verbesserung der Rezession der bukkalen periimplantären Mukosa und der Dicke der befestigten Mukosa kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Implantate mit oder ohne ergänzender Vestibulumplastik). Bei Implantaten mit ergänzenden Maßnahmen betrug die durchschnittliche Zunahme der Breite der befestigten Mukosa mit  $2,41 \pm 1,51$  mm signifikant mehr als ohne diese ergänzende Maßnahme ( $0,14 \pm 1,07$  mm).

91,7 % der Implantate waren bis zur finalen Nachuntersuchung in situ und in Funktion. Ein Großteil der Implantate (95,8 %) zeigte zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung keinerlei Anzeichen einer Suppuration auf. Die Erfolgsraten für die in Kapitel 3.5 definierten Erfolgsindizes betrug zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung 45,8 % für den Erfolgsindex 1, 50,0 % für den Erfolgsindex 2 und 54,2 % für den Erfolgsindex 3. 91,7 % der untersuchten Implantate wiesen keine weiteren Knochenverluste auf und 87,5 % der Implantate zeigten eine marginale Füllung des periimplantären Knochendefekts von mehr als 1 mm. Bei allen untersuchten Implantaten betrug die Rezession der bukkalen periimplantären Mukosa zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung weniger als 1 mm und bei 83,3 % der Implantate zeigten sich klinisch periimplantäre Sondierungstiefen kleiner gleich 5 mm. Bei 58,3 % der Implantate war keine Blutung auf Sondierung (positives BOP) feststellbar.

## 5 Diskussion

### 5.1 Eignung der Stichprobe zur Beantwortung der Fragestellung

Bei allen Implantaten, die in die Studie mit einbezogen wurden, war die Diagnose einer fortgeschrittenen Periimplantitis mit ausgeprägtem periimplantärem Knochendefekt Voraussetzung und sie mussten durch Herrn Prof. Dr. Robert Nölken mit der LAPIDER-Technik chirurgisch therapiert worden sein. Daher handelt es sich um eine heterogene, selektierte Patientengruppe, die nicht den Durchschnitt der deutschen Bevölkerung widerspiegelt.

Das Lebensalter der Kohorte an Patienten, die inkludiert wurde, lag zwischen 32 und 68 Jahren und das Durchschnittsalter betrug zum Zeitpunkt der Operation  $54,11 \pm 11,97$  Jahre. Das Verhältnis von Frauen zu Männern betrug bei der inkludierten Patientenkohorte 1,57:1 und weist damit eine erhöhte weibliche Prävalenz auf.

Die erhöhte Prävalenz weiblicher Patienten deckt sich mit anderen Studien: Papadopoulos et al. stellten 2015 bei ihrer Studie ein Verhältnis von Frauen zu Männern von 1,71:1 fest. Die Patienten waren zwischen 40 und 73 Jahre alt (Durchschnittsalter:  $55,0 \pm 8,7$  Jahre) (Papadopoulos et al., 2015).

Die Patienten einer vergleichbaren Studie von Clem et Gunsolley waren zwischen 56 und 85 Jahren alt und wiesen ein Verhältnis von Frauen zu Männern von 1:1,2 auf (Clem and Gunsolley, 2019). Tenore et al. untersuchten in ihrer Studie 23 Patienten bei 14 Männern und 9 Frauen (Verhältnis Frauen zu Männern 1:1,56) mit einem Durchschnittsalter von 56,1 Jahren (Tenore et al., 2020). Wang et al. stellten in ihrer Studie eine Altersverteilung von 50 bis 82 Jahren und eine durchschnittliche Geschlechtsverteilung von weiblichen zu männlichen Patienten von 1:1,4 fest (Wang et al., 2021).

Da es sich bei der vorliegenden Studie um eine Pilotstudie handelt, ist die Stichprobe mit  $n = 24$  vergleichsweise klein. Nach der ersten Veröffentlichung der Operationstechnik (Noelken and Al-Nawas, 2020) sollten zeitnah die klinischen und radiologischen Parameter der Operationstechnik ausgewertet werden. Die Patientenkohorte beschränkt sich zwar auf eine kleine Anzahl an untersuchten Implantaten, allerdings steht diese Kohorte im Einklang mit anderen Studien, deren Patientenkohorten einen ähnlichen Umfang aufwiesen: Papadopoulos et al. untersuchten 2015 19 Patienten, Clem and Gunsolley untersuchten 2019 20 Patienten, Tenore et al. untersuchten 2020 23 Patienten, Wang et al. untersuchten 2021 24 Patienten (Papadopoulos et al., 2015; Clem and Gunsolley, 2019; Tenore et al., 2020; Wang et al., 2021).

Der Anteil an Rauchern unter den Patienten lag bei 22,2 %. Dies entspricht laut dem Bundesgesundheitsministerium in etwa dem Durchschnitt der deutschen Bevölkerung mit 23,8 % (Bundesgesundheitsministerium, 2021). Während einige Studien, die die Überlebenswahrscheinlichkeit von Implantaten (Cochran *et al.*, 2002; Testori *et al.*, 2002; Garlini *et al.*, 2003; Fugazzotto, 2008) oder Ansätze zur Periimplantitistherapie (Schwarz *et al.*, 2005; Sahm *et al.*, 2011; Schär *et al.*, 2013; Frisch *et al.*, 2015) untersuchten, Raucher von Anfang an ausgeschlossen haben, wurden diese in der vorliegenden Arbeit bewusst mit eingeschlossen, da der Einfluss des Nikotinkonsums auf die postoperativen Ergebnisse bewertet werden sollte. Schwarz *et al.* und Monje *et al.* schlossen starke Raucher (mit einem Nikotinkonsum  $\geq 10$  Zigaretten am Tag) aus (Schwarz *et al.*, 2010; Monje *et al.*, 2018).

In der betrachteten Kohorte wiesen 66,7 % der Patienten einen dicken gingivalen und 33,3 % der Patienten einen dünnen gingivalen Biotyp auf. Die Verteilung deckt sich in etwa mit den Ergebnissen einer Studie von Shah *et al.*, die die Prävalenz der gingivalen Biotypen mit 56,75 % dicker gingivaler Biotyp und 43,25 % dünner gingivaler Biotyp angibt (Shah, Sowmya and Mehta, 2015).

Die häufigsten Implantatsysteme der Patientenkohorte waren OsseoSpeed<sup>®</sup> mit 6 Implantaten (25,0 %), gefolgt von OsseoSpeed<sup>®</sup> Profile und Ankylos<sup>®</sup> mit jeweils 3 Implantaten (jeweils 12,5 %). Die Häufigkeiten der betrachteten Implantatsysteme betragen 6, 3, 2 oder 1. Die Beurteilung der verschiedenen Implantatsysteme hinsichtlich der postoperativen Ergebnisse ist aufgrund der geringen Häufigkeiten der jeweiligen Implantatsysteme als eingeschränkt anzusehen.

In der betrachteten Kohorte wurden die meisten Implantate zur Versorgung einer Einzelzahnücke (45,8 %) und einer Schaltücke (29,2 %) inseriert. In vergleichbaren Studien mit ähnlichen Fragestellungen finden sich keine Angaben zu den Indikationen der therapierten Implantate.

Zu der Frage, ob die Lokalisation eines Implantats Einfluss auf das Implantatüberleben nimmt, finden sich in der Literatur kontroverse Studien. Bergendal *et al.* und Friberg *et al.* wiesen statistisch signifikant höhere Implantatverlustraten bei Implantationen im Oberkiefer nach (Friberg *et al.*, 1997; Bergendal and Engquist, 1998). Ivanoff *et al.* und Naert *et al.* konnten keinen signifikanten Einfluss der Lokalisation finden (Ivanoff *et al.*, 1999; Naert *et al.*, 2002). Mameno *et al.* wiesen in ihrer Studie einen signifikanten Einfluss der Lokalisation eines Implantats im Oberkiefer als Risikofaktor für die Entstehung einer Periimplantitis nach (Mameno *et al.*, 2019). Dalago *et al.* konnten keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Lokalisation eines Implantats und der Entstehung einer Periimplantitis nachweisen (Dalago *et al.*, 2017). Die meisten Implantate der betrachteten Kohorte waren im

Oberkieferschneidezahnbereich (50,0 %) und in der Unterkiefermolarenregion (29,2 %) lokalisiert.

Zusammenfassend kann die Patientenkohorte der hier vorliegenden Studie in Alter, Geschlechtsverteilung, Rauchverhalten und Verteilung des gingivalen Biotyps als vergleichbar zu den Kohorten anderer Studien mit ähnlicher Fragestellung und Rahmenbedingungen gelten und ist als geeignet anzusehen (Cochran *et al.*, 2002; Testori *et al.*, 2002; Garlini *et al.*, 2003; Fugazzotto, 2008; Papadopoulos *et al.*, 2015; Shah, Sowmya and Mehta, 2015; Clem and Gunsolley, 2019; Tenore *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021).

### 5.2 Diskussion der Methoden

Die klinische Diagnostik sowie die Auswertung der klinischen Fotos, Röntgenbilder und Daten der digitalen Volumentomographie erfolgte stets durch denselben Untersuchenden (Prof. Dr. Robert Nölken), sodass eine konstante Reproduzierbarkeit der ausgewerteten Ergebnisse erreicht und einer möglichen Beeinflussung der Ergebnisse durch die potenziell subjektiven Einflüsse verschiedener Untersuchender vorgebeugt werden konnte.

Seabra *et al.* stellten in ihrer Studie fest, dass die Erfahrung des Untersuchenden einen direkten Einfluss auf die Genauigkeit der Messungen parodontaler Sondierungstiefen hat (Seabra *et al.*, 2008). Diese Erkenntnis lässt sich auf die Erhebung der klinischen Parameter (u.a. die Messung der periimplantären Sondierungstiefen) übertragen. Auch bei der Auswertung der bildgebenden Diagnostik beeinflusst die Erfahrung des Untersuchenden die Ergebnisse (Fortes *et al.*, 2019).

Zur Beurteilung des postoperativen Erfolgs ist in der Literatur die Angabe des Knochenniveaus in mm üblich (Lin, Suárez López Del Amo and Wang, 2018). In den meisten Studien finden sich Angaben zu dem approximalen Knochenniveau, aber keine Angaben zu bukkalem oder oralem Knochenniveau aus DVT-Daten (Papadopoulos *et al.*, 2015; Tenore *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021). Die ebenfalls in dieser Arbeit ausgewerteten Daten der digitalen Volumentomographie sind, wie auch Fortes *et al.* feststellten, realitätsnäher als die Daten aus konventionellen, zweidimensionalen Aufnahmen (Panoramaschichtaufnahme oder intraorale Einzelaufnahmen) (Harris *et al.*, 2012; Fortes *et al.*, 2019). Voneinander abweichende Messgeraden können zu Messabweichungen und damit verfälschten Werten führen. Da die radiologischen Daten immer von demselben Untersuchenden ausgewertet wurden, ist von einer konstanten Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der Werte auszugehen (Seabra *et al.*, 2008; Fortes *et al.*, 2019).

Eine ebenfalls in der Literatur gängige Größe ist die Angabe der periimplantären Sondierungstiefen (pocket probing depth, PPD) (Mombelli *et al.*, 1987). Die Korrektheit des Messergebnisses ist von dem Winkel der Sonde und dem Anpressdruck abhängig (Lindhe, Meyle, and Group D of European Workshop on Periodontology, 2008). Etwaige Verfälschungen der Werte werden dadurch minimiert, dass immer derselbe Untersuchende die klinische Diagnostik vorgenommen hat (Seabra *et al.*, 2008).

Zur Beurteilung der periimplantären Weichgewebe ist die Angabe der Rezession eine gängige Größe in der klinischen Diagnostik (Lin, Suárez López Del Amo and Wang, 2018). Die Rezession wurde klinisch erhoben und anhand der klinischen Fotos nochmals reevaluiert, sodass von einer konstanten Reproduzierbarkeit der Werte ausgegangen werden kann (Seabra *et al.*, 2008).

Die Breite der befestigten Mukosa wurde als Abstand zwischen der mukogingivalen Grenze und der marginalen Gingiva immer von demselben Untersuchenden bestimmt, sodass von einer exakten Reproduzierbarkeit der Werte ausgegangen werden kann (Seabra *et al.*, 2008; Lin, Chan and Wang, 2013).

Der Kronen-Mukosa-Abstand wurde als Abstand zwischen der Krone (Höckerspitze bzw. Inzisalkante der klinischen Krone) und der marginalen Mukosa immer von demselben Untersuchenden bestimmt, sodass von einer exakten Reproduzierbarkeit der Werte ausgegangen werden kann (Seabra *et al.*, 2008). Angaben zum Kronen-Mukosa-Abstand sind in vergleichbaren Studien mit ähnlicher Fragestellung nicht zu finden.

Die Dicke der Mukosa wurde mit Hilfe des „PIROP - Biometric Scanners“ bestimmt. Wird bei dieser Messung zu viel Druck ausgeübt, kommt es zu einer Kompression der Mukosa und damit einhergehend zu verfälschten Werten (Bednarz, 2011; Bednarz and Zielińska, 2011). Ebenso kann es zu Wertverfälschungen kommen, wenn die Dicke der Mukosa nicht reproduzierbar auf einer Höhe von 4 mm apikal des Mukosarandes gemessen wird. Es wurden bei jeder Untersuchung jeweils 10 Messungen durchgeführt und anschließend das arithmetische Mittel als statistischer Durchschnittswert bestimmt. Da die Untersuchung immer von demselben Untersuchenden unter minimaler Druckausübung durchgeführt wurde und das arithmetische Mittel aus 10 Einzelmessungen berechnet wurde, kann von einer exakten Reproduzierbarkeit der Werte ausgegangen werden (Seabra *et al.*, 2008).

Bei der Bestimmung des gingivalen Biotyps kann aufgrund der Erfahrung des Untersuchenden und der Tatsache, dass immer derselbe Untersuchende den gingivalen Biotyp bestimmt hat, von einer konstanten Reproduzierbarkeit der Typen-Einteilung ausgegangen werden (Seabra *et al.*, 2008).

Der Papillenindex nach Jemt wurde an der distalen und an der mesialen Papille stets von demselben Untersuchenden bestimmt, daher ist von einer guten Reproduzierbarkeit der Werte auszugehen (Seabra *et al.*, 2008).

Der Pink Esthetic Score nach Fürhauser wurde klinisch und anhand von klinischen Fotos ausgewertet (Fürhauser *et al.*, 2005). Da immer derselbe Untersuchende die Fotos ausgewertet hat, ist von einer guten Reproduzierbarkeit des Scores auszugehen (Seabra *et al.*, 2008).

Einen häufig genutzten Parameter zur Verifizierung einer periimplantären (oder auch parodontalen) Entzündung stellt der BOP (Bleeding on probing) dar. Die Korrektheit des Messergebnisses ist von dem Winkel der Sonde und dem Anpressdruck abhängig. Bei einem zu hohen Anpressdruck, der 25 N überschreitet, besteht die Gefahr der Verletzung des Sulkusbodens. Dabei kommt es zu einer Blutung, die fälschlicherweise als Zeichen einer aktiven Entzündung interpretiert wird (Lindhe, Meyle, and Group D of European Workshop on Periodontology, 2008). Etwaige Verfälschungen der Werte werden dadurch minimiert, dass immer derselbe Untersuchende die klinische Diagnostik vorgenommen hat (Seabra *et al.*, 2008).

Diverse Studien zeigten bereits auf, dass die Erfahrung des Operators signifikant mit dem postoperativen Erfolg zusammenhängt (Hinckfuss *et al.*, 2012; Rungcharassaeng *et al.*, 2015; Fernández-Gil *et al.*, 2017; Kozlovsky, Rapaport and Artzi, 2018; Fortes *et al.*, 2019).

So wiesen Jemt *et al.* in ihrer Studie den Einfluss des Operators auf einen frühzeitigen Misserfolg eines Implantats nach (Jemt *et al.*, 2016). De Waal *et al.* wiesen 2016 nach, dass das Ergebnis der chirurgischen Periimplantitistherapie durch die Erfahrung des Operators mit dem chirurgischen Eingriff beeinflusst wird (de Waal *et al.*, 2016). Der Operator zeichnet sich durch seine langjährige Erfahrung in der Implantologie und dem Weichgewebemanagement aus und daher ist von einer konstanten OP-Technik auszugehen (de Waal *et al.*, 2016; Fernández-Gil *et al.*, 2017).

Dem aktuellen Therapiekonzept der S3-Leitlinie „Adjuvante systemische Antibiotikagabe bei subgingivaler Instrumentierung im Rahmen der systematischen Parodontitistherapie,“ bei aggressiver und chronischer (hierbei ist die Empfehlung jedoch abhängig von dem Patientenalter und dem Schweregrad der Erkrankung) Parodontitis entsprechend, wurde bei dieser Studie eine perioperative antibiotische Prophylaxe mit Amoxicillin 750 mg und Metronidazol 500 mg durchgeführt (van Winkelhoff *et al.*, 1989; Harks *et al.*, 2015; Jockel-Schneider, 2018). Wie bereits in Kapitel 2.3.8 erläutert, spielt die Dekontamination der infizierten Implantatoberfläche sowohl bei nicht-regenerativen als auch bei regenerativen Periimplantitistherapien eine entscheidende Rolle (Schwarz *et al.*, 2022). Daher wird in

diversen Studien eine additive Gabe systemischer Antibiotika bei einer Periimplantitistherapie empfohlen (Schwarz *et al.*, 2022). Die Anwendung systemischer Antibiotika zeigte in der randomisierten Studie von Carcuac *et al.* einen positiven Effekt auf 1-Jahres-Behandlungsergebnisse, der allerdings bei den 3-Jahres-Daten nicht mehr signifikant erkennbar war (Carcuac *et al.*, 2017). In der Literatur finden sich kontroverse Angaben bezüglich der Empfehlung einer systemischen Gabe von Antibiotika bei einer chirurgischen Periimplantitistherapie. In einem systematischen Review, das die additive Gabe systemischer Antibiotika bei einer offenen, chirurgischen Periimplantitistherapie untersuchte, kamen die Autoren zu dem Schluss, dass die Anwendung systemischer Antibiotika als Ergänzung einer chirurgischen Periimplantitistherapie nicht Teil eines Standardprotokolls werden sollte (Øen *et al.*, 2021). In einer weiteren Studie von Ramanauskaite *et al.* zeigte sich bei der nicht-chirurgischen Therapie lediglich eine schwache und bei der chirurgischen Therapie keine Wirkung einer systemischen Gabe von Antibiotika (Ramanauskaite, Fretwurst and Schwarz, 2021). Jedoch wird in den meisten mit der vorliegenden Studie vergleichbaren Studien zu regenerativer chirurgischer Periimplantitistherapie ebenso eine systemische perioperative antibiotische Prophylaxe verwendet (Renvert *et al.*, 2021; Derks *et al.*, 2022). Daher wird die Verschreibung einer additiven antibiotischen Prophylaxe weiter kontrovers diskutiert werden.

Wie bereits in Kapitel 3.2 erläutert, wurde bei Implantaten, die bei der Ausgangsdiagnostik einen vollständigen Verlust der periimplantären befestigten Mukosa aufwiesen, noch vor der Operation nach dem LAPIDER-Protokoll eine zusätzliche Vestibulumplastik mit einem freien Schleimhauttransplantat (FST) durchgeführt. Weiter wurde bei Implantaten, bei denen postoperativ die Befestigung der periimplantären Weichgewebe noch unzureichend erschien, als ergänzende Maßnahme postoperativ eine Vestibulumplastik mit oder ohne FST durchgeführt. Insgesamt wurden bei 2 Implantaten präoperativ und bei 9 Implantaten postoperativ ergänzende Maßnahmen durchgeführt. Es finden sich in der Literatur einige Studien, die die Wichtigkeit und den positiven Einfluss befestigter Mukosa für die periimplantäre Gesundheit und die Überlebenschancen eines Implantats angeben (Brito *et al.*, 2014; Pranskunas *et al.*, 2016; Fickl, 2018; Sculean *et al.*, 2019; Heydari, Ataei and Riahi, 2021).

In der vorliegenden Studie wurde mit dem LAPIDER-Protokoll eine neue Technik zum Zugang zur periimplantären Läsion vorgestellt, die es ermöglichte, den gesamten periimplantären Knochendefekt darzustellen, ohne dabei den approximalen Papillenkomplex zu durchtrennen. Das periimplantäre Granulationsgewebe kann so exkochleiert werden und ein vollständiges Débridement des gesamten periimplantären Knochendefektes und der freigelegten Oberfläche des Implantats stattfinden. Anschließend kann der periimplantäre Defekt mit Hart- und Weichgewebe augmentiert und rekonstruiert werden. In den meisten klassischen

Konzepten der parodontalen und periimplantären Chirurgie finden sich marginale Schnitttechniken mit einer über der pathologischen Knochenläsion liegenden Inzision. Dies könnte jedoch dazu führen, dass die Blutversorgung gestört und eine vollständige Regeneration des Knochens behindert wird. Daher wurde in der vorliegenden Studie 4-5 mm apikal der marginalen Mukosa inzidiert und durch eine nach apikal gerichtete Spaltlappenpräparation ein Zugang zum Defekt erzeugt, der auf eine Durchtrennung der Papillen verzichtet. Bereits in den 1970er-Jahren wurde ein Konzept entwickelt, nach dem Schnitttechniken im Bereich des Transplantats vermieden und Inzisionen stattdessen in der vestibulären Region erfolgen sollten (sogenannter „Poncho-Flap“) (Hoexter and Epstein, 1975).

Wie bereits in Kapitel 2.3.8 erläutert, spielt die erfolgreiche Entfernung des bakteriellen Biofilms von der Implantatoberfläche eine entscheidende Rolle in der Periimplantitistherapie, da die erfolgreiche Entfernung einen großen Einfluss auf die anzustrebende Regeneration des Knochens und Reosseointegration hat (Smeets *et al.*, 2014; Renvert and Polyzois, 2018; Sahrman *et al.*, 2020). Der gewählte chirurgische Zugang nach der LAPIDER-Technik ist räumlich begrenzt und lässt nur schlanke und mikrochirurgische Instrumente zur Entfernung des bakteriellen Biofilms zu. In der vorliegenden Studie wurde ein Er:YAG-Laser mit einer filigranen, aber flexiblen Spitze mit einem Kopfdurchmesser von 0,6 mm verwendet, die es auch bei visuell eingeschränkten Defekten ermöglichte, ein vollständiges Débridement des gesamten periimplantären Knochendefektes und der freigelegten Oberfläche des Implantats durchzuführen. So war es auch möglich, orale Knochendefekte und Ablagerungen auf der linguale Implantatoberfläche über die orale periimplantäre Tasche unter visueller Inspektion von bukkal aus zu behandeln. Nach der LAPIDER-Technik erfolgte in der vorliegenden Studie das Débridement des periimplantären Knochendefektes mit dem Er:YAG-Laser. Wie bereits in Kapitel 2.3.9 erläutert, finden sich in der Literatur diverse Studien, die die Wirksamkeit des Er:YAG-Lasers bei der Periimplantitistherapie aufzeigen (Schwarz *et al.*, 2005, 2017; Takasaki *et al.*, 2007; Lin, Suárez López Del Amo and Wang, 2018). So reduzierte sich in einer Studie von Schwarz *et al.* die Blutung auf Sondierung der betrachteten Implantate um durchschnittlich  $86,66 \pm 18,26$  %. Weiter konnte eine Verbesserung des klinischen Attachmentlevels (CAL; Addition der klinischen Parameter Rezession und Sondierungstiefen) um  $2,06 \text{ mm} \pm 2,52 \text{ mm}$  gezeigt werden (Schwarz *et al.*, 2017). Diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie, in der sich sowohl die Blutung auf Sondierung um 63,6 % statistisch signifikant verbesserte als auch die klinischen Parameter Rezession (um  $1,16 \pm 0,96 \text{ mm}$ ) und periimplantäre Sondierungstiefen (um  $1,97 \pm 1,56 \text{ mm}$ ) statistisch signifikant reduziert werden konnten.

Nach der LAPIDER-Technik erfolgte die periimplantäre Defektfüllung mit autologen kortikalen Knochenspänen, die im Bereich des Ramus mandibularis gewonnen und anschließend vor der Augmentation für mindestens 1 Minute in einer Doxycyclin-Lösung getränkt wurden.

Obwohl autologer Knochen weiterhin als Goldstandard in der dentalen Implantologie anzusehen ist, finden sich in der aktuellen Literatur nur wenige und kontroverse Studien, die die Verwendung autologer Knochenaugmentate in der Periimplantitistherapie evaluieren (Sakkas *et al.*, 2017). Einige zeigen positive postoperative Ergebnisse auf (Behneke, Behneke and d'Hoedt, 2000; Khoury and Buchmann, 2001). In einer prospektiven Studie wurde im Jahre 2000 bei 25 Implantaten die Behandlung periimplantärer Knochendefekte mit autologen partikulierten Augmentaten und Knochenblocktransplantaten evaluiert. Es zeigte sich während eines Nachuntersuchungszeitraumes von bis zu drei Jahren eine Reduktion des medianen marginalen periimplantären Knochenverlusts von 6,2 mm auf 2,3 mm (Behneke, Behneke and d'Hoedt, 2000). In einer 3-Jahres-Follow-up-Studie zur chirurgischen Therapie periimplantärer Läsionen kamen die Autoren zu dem Schluss, dass autologe Knochentransplantate eine geeignete Methode zur erfolgreichen Augmentation kraterförmiger periimplantärer Knochendefekte darstellen (Khoury and Buchmann, 2001). Eine weitere randomisierte kontrollierte Studie evaluierte 2012 die postoperativen Effekte der Verwendung von autologem Knochen und vom Rind stammenden xenogenen Knochenersatzmaterialien (KEM). Die mit den KEM behandelte Gruppe zeigte in dieser Studie nach 12 Monaten eine bessere radiologische Füllung des periimplantären Defektes als die mit autologem Knochen therapierte Gruppe. Bei beiden Gruppen wurde eine Abnahme der Sondierungstiefen, der Blutung auf Sondierung und dem Austritt von Pus beobachtet (Aghazadeh, Rutger Persson and Renvert, 2012). Die statistisch signifikante Verbesserung des Knochenniveaus um  $3,10 \pm 2,02$  mm (approximal) bzw. um  $3,49 \pm 2,89$  mm (bukkal) und um  $1,46 \pm 1,98$  mm (oral) bei einem Nachuntersuchungszeitraum von durchschnittlich 36 Monaten in der vorliegenden Studie ist sehr vielversprechend und legt nahe, dass es zu einer Ausheilung des periimplantären Knochendefektes und darüber hinaus zu einer Reosseointegration der nach der LAPIDER-Technik therapierten Implantate kommen kann.

Wie bereits in Kapitel 3.7 beschrieben, wurden die autologen kortikalen Knochenspäne in einer Doxycyclin-Lösung (Dosierung: 100 mg Doxycyclin (als Doxycyclinhyclat) / 5 ml Injektionslösung) gesammelt und vor der Augmentation für mindestens 1 Minute in der Lösung getränkt. Bei Doxycyclin handelt es sich um ein Breitbandantibiotikum aus der Gruppe der Tetracycline, das über gut untersuchte bakteriostatische Eigenschaften gegenüber grampositiven und gramnegativen Erregern verfügt. Darüber hinaus zeigen Tetracycline entzündungshemmende und antiparasitäre Wirkungen und die Hemmung kollagenolytischer Aktivitäten auf (Golub *et al.*, 1985; Singh, Khanna and Kalra, 2021; Warner *et al.*, 2022).

Lucateli et al. untersuchten in einer tierexperimentellen Studie den Zusammenhang zwischen autologem Knochen und Doxycyclin bei der Regeneration von Knochendefekten kritischer Größe. Sie konnten feststellen, dass bei der mit autologem Knochen und 10 % Doxycyclin behandelten Gruppe eine signifikant verbesserte Knochenheilung als bei den Kontrollgruppen auftrat (Lucateli *et al.*, 2018).

Die Verwendung xenogener KEM zur Augmentation periimplantärer Knochendefekte ist im Gegensatz zu autologen Transplantaten wissenschaftlich gut untersucht. Am häufigsten finden sich in der Literatur regenerative Therapien mit vom Rind stammendem KEM (Aghazadeh, Rutger Persson and Renvert, 2012; Renvert *et al.*, 2021; Derks *et al.*, 2022). In einer multizentrischen, randomisierten klinischen Studie von Renvert et al. wurde eine chirurgische Periimplantitistherapie mit einem vollschichtigen Mukoperiostlappen, der mechanischen Reinigung der Implantatoberfläche mit rotierenden Instrumenten und Titanbürsten und der Augmentation mit oder ohne xenogenem KEM und einer Kollagenmembran in einem postoperativen Nachuntersuchungszeitraum von 12 Monaten evaluiert. Es zeigte sich, dass die radiologische Defektfüllung in der mit xenogenem KEM (2,3 mm) therapierten Gruppe signifikant höher war als in der Gruppe ohne Augmentation (1,1 mm). Bei der Betrachtung der klinischen Parameter (Sondierungstiefen, Blutung auf Sondierung, Suppuration, Rezession) und den von den Patienten berichteten Ergebnissen des Therapieerfolges zeigte sich hingegen kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Renvert *et al.*, 2021). In einer weiteren multizentrischen, randomisierten klinischen Studie von Derks et al. wurde der Erfolg einer chirurgischen Periimplantitistherapie mit einem Zugangslappen („Access-Flap“) bei einer Kontrollgruppe im Vergleich mit einer Testgruppe mit zusätzlicher Augmentation mit einem xenogenen KEM (BioOss Collagen<sup>®</sup>, Geistlich, Luzern, Schweiz) und einer Kollagenmembran untersucht. Die Autoren dokumentierten eine durchschnittliche Reduktion der periimplantären Sondierungstiefen um 3,7 mm und einer radiologischen Defektfüllung von etwa 1 mm. Die Blutung auf Sondierung reduzierte sich in beiden Gruppen um 45 % (Testgruppe) bzw. 50 % (Kontrollgruppe) ohne signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen. In der Testgruppe ( $0,7 \pm 0,9$  mm) fiel die Zunahme der bukkalen Rezession geringer aus als in der Kontrollgruppe ( $1,1 \pm 1,5$  mm) (Derks *et al.*, 2022). In der vorliegenden Studie verbesserten sich die periimplantären Sondierungstiefen um durchschnittlich  $1,97 \pm 1,56$  statistisch signifikant, es konnte eine statistisch signifikante vertikale Regeneration des Knochenniveaus von  $3,10 \pm 2,02$  mm (approximales Knochenniveau) bzw.  $3,49 \pm 2,89$  mm (bukkales Knochenniveau) beobachtet werden und die Rezession konnte um  $1,16 \pm 0,96$  mm reduziert werden. Der Vergleich der Studien belegt den Erfolg des neuen Therapieansatzes nach dem LAPIDER-Behandlungskonzept.

In der vorliegenden Studie wurde der periimplantäre Defekt zusätzlich mit einem am Gaumen entnommenen Bindegewebetransplantat aus Bindegewebe, Fettzellen und Drüsengewebe rekonstruiert. Das subepitheliale Bindegewebetransplantat wurde unter dem Periost fixiert, um die Dicke der befestigten Mukosa zu erhöhen, die Rezession zu reduzieren und darüber hinaus die Ästhetik der periimplantären Weichgewebe zu verbessern. Es finden sich in der Literatur nur wenige Studien, die das Weichgewebemanagement bei regenerativen chirurgischen Periimplantitistherapien untersuchten. In einer aktuellen klinischen Studie zeigt sich ein positiver Effekt auf die periimplantäre Gesundheit (Reduktion der Blutung auf Sondierung, der Sondierungstiefen und der Prävalenz periimplantärer Mukositis und Periimplantitis) durch eine simultane Augmentation der Weichgewebe mit einem Bindegewebetransplantat im Rahmen der Implantatinsertion (Obreja *et al.*, 2021). Diese Ergebnisse bestätigen sich auch in einer retrospektiven Studie zur Sofortimplantation bei Rezessionen von 1 bis 3 mm, bei der innerhalb eines durchschnittlichen Beobachtungszeitraums von 45 Monaten die simultane Augmentation mittels eines Bindegewebetransplantats zu einer Verringerung der Rezession (von 2,3 zu 0,5 mm) und einer signifikanten Verbesserung des Pink Esthetic Scores und damit der ästhetischen Ergebnisse führte. In der mit einem Bindegewebetransplantat therapierten Gruppe zeigten sich im Vergleich zu der Gruppe ohne Bindegewebetransplantat positive Einflüsse auf den marginalen Knochenerhalt und dessen Regeneration (Noelken *et al.*, 2018).

Ein aktuelles Review zum Weichgewebemanagement im Rahmen der chirurgischen Periimplantitistherapie kommt zu dem Ergebnis, dass die Kombination einer chirurgischen Periimplantitistherapie mit einem zusätzlichen Bindegewebetransplantat geeignet sein könnte, die periimplantären ästhetischen Verhältnisse und die Gesundheit der periimplantären Gewebe zu stabilisieren oder gar zu verbessern. Vor der chirurgischen Therapie sollte jedoch bereits die Zunahme der Breite und auch der Dicke der befestigten Mukosa angestrebt werden. Eine Vestibulumplastik in Kombination mit einem freien Schleimhauttransplantat zeigt laut der Autoren des Reviews bei einem nicht erkrankten Implantat die besten Ergebnisse bezogen auf die Breite der befestigten Mukosa, die Blutung auf Sondierung, die Plaque-Scores und die Stabilität des marginalen Knochenniveaus (Sculean *et al.*, 2019). In einem weiteren systematischen Review und Metaanalyse kamen Thoma *et al.* zu dem Schluss, dass die Transplantation von Weichgewebe zu einer verbesserten periimplantären Gesundheit führt: Es konnte beobachtet werden, dass zum einen die Zunahme von keratinisiertem Weichgewebe durch autologe Weichgewebetransplantate auch eine Verbesserung der Blutungsindizes und eine Zunahme des marginalen Knochenniveaus bedingt, zum anderen führt die Zunahme der Dicke der periimplantären befestigten Mukosa durch autologe Transplantate zu deutlich geringerem marginalem Knochenverlust (Thoma *et al.*, 2018).

## 5.3 Diskussion der Ergebnisse

### 5.3.1 Diskussion der Überlebensdaten

#### Implantatüberleben

Während des Nachuntersuchungszeitraums mussten zwei Implantate aufgrund von Therapieresistenz und zunehmenden Sondierungstiefen operativ entfernt werden. Die verbliebenen 22 Implantate befanden sich während des gesamten Nachuntersuchungszeitraums von durchschnittlich  $36,04 \pm 8,58$  Monaten in Funktion und zeigten keine Anzeichen einer periimplantären Infektion auf. Hieraus ergab sich eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 90,8 %. Dies deckt sich mit anderen Studien zur Periimplantitistherapie. In der Literatur finden sich Angaben zu Überlebenswahrscheinlichkeiten zwischen 75 % bis 93 % bei einem postoperativen Nachuntersuchungszeitraum von einem Jahr (Heitz-Mayfield and Mombelli, 2014). In einer aktuellen Übersichtsarbeit zur chirurgischen Periimplantitistherapie werden bei einem Nachuntersuchungszeitraum von einem bis fünf Jahren durchschnittliche Verlustraten von 3 % bis 25 % der Implantate angegeben (Schwarz *et al.*, 2022). Pommer *et al.* verglichen in ihrer Studie die Überlebenswahrscheinlichkeiten von 142 Implantaten bei drei Gruppen: Die erste Gruppe wurde nach einem konservativen, nicht-chirurgischen Therapieansatz mit dem Er:YAG-Laser behandelt, bei der zweiten fand ein chirurgischer Eingriff (Implantoplastik) statt und bei der dritten Gruppe wurden beide Therapieansätze kombiniert. Die gesamte Überlebensrate aller drei Gruppen betrug 89 %. In den ersten beiden Gruppen gingen jeweils 6 Implantate und in der dritten Gruppe gingen 4 Implantate verloren. Die Implantate gingen im Durchschnitt  $4,9 \pm 1,9$  Jahre nach der Behandlung verloren (Pommer *et al.*, 2016).

Die gute Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate könnte in der signifikanten Reduktion der bakteriellen Mikroorganismen durch ein offenes Vorgehen begründet sein. Darüber hinaus scheint die Anwendung des Er:YAG-Lasers einen zusätzlich positiven Einfluss auf die Heilung einer Periimplantitis und damit auf das Überleben eines an Periimplantitis erkrankten Implantats zu haben.

#### Abhängigkeit von dem Patientengeschlecht

Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate zeigt keine statistisch signifikante Abhängigkeit von dem Geschlecht des Patienten, da je ein Implantat bei einem weiblichen und einem männlichen Patienten als Verlust gewertet wurde. Bei den weiblichen Patienten lag die Überlebenswahrscheinlichkeit bei 93,8 % und bei den männlichen Patienten bei 85,7 %. Die Ergebnisse decken sich mit zahlreichen Studien, die ebenfalls keine signifikante Korrelation

zwischen dem Geschlecht des Patienten und dem generellen Überleben eines Implantats nach Implantation (Naert *et al.*, 2002; Gentile, Chuang and Dodson, 2005; Moy *et al.*, 2005) bzw. der Entstehung einer periimplantären Erkrankung nachweisen können (Daubert *et al.*, 2015). Pommer *et al.* konnten in ihrer Studie keine statistische Abhängigkeit der Erfolgsrate der Periimplantitistherapie von dem Geschlecht des Patienten nachweisen. Bei den weiblichen Patienten lag die Überlebenswahrscheinlichkeit bei 85,9 % und bei den männlichen Patienten bei 92,2 % (Pommer *et al.*, 2016).

### Abhängigkeit von dem Nikotinkonsum des Patienten

Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate zeigt keine statistisch signifikante Abhängigkeit von dem Nikotinkonsum des Patienten, ist aber mit 93,3 % bei den Nichtrauchern höher als bei den Rauchern mit 80,0 %. Bei dem Raucher ging das Implantat früher (nach 13,96 Monaten) als bei dem Nichtraucher (nach 26,22 Monaten) verloren. In der Literatur finden sich kontroverse Angaben bezüglich des Nikotinkonsums auf die Überlebenswahrscheinlichkeit von Implantaten und die Entstehung periimplantärer Erkrankungen. Während Renvert *et al.* und Mameno *et al.* in ihren Studien Nikotinkonsum nicht als einen Risikofaktor angaben, konnten andere Studien Rauchen eindeutig als einen Risikofaktor für die Entstehung von Periimplantitis ermitteln (Sánchez-Pérez, Moya-Villaescusa and Caffesse, 2007; Heitz-Mayfield, 2008, p. ; de Araújo Nobre and Maló, 2017; Abduljabbar *et al.*, 2018; ALHarthi *et al.*, 2018; Renvert, Lindahl and Persson, 2018; Mameno *et al.*, 2019). Dazu ist anzumerken, dass in der Studie von Mameno *et al.* nur 9,6 % der Patienten Raucher waren. Im Vergleich zu der vorliegenden Studie waren die Raucher in der Studie von Mameno *et al.* unterrepräsentiert (Mameno *et al.*, 2019). De Waal *et al.* konnten in ihrer Studie einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Einfluss von Nikotin und schlechteren postoperativen Ergebnissen feststellen (de Waal *et al.*, 2016).

Die erhöhte Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate bei Patienten, die nicht rauchen, könnte damit zu erklären sein, dass Nikotinkonsum nachweislich einen schlechten Einfluss auf die Wundheilung hat (Bain and Moy, 1993; Sánchez-Pérez, Moya-Villaescusa and Caffesse, 2007; Schaller *et al.*, 2010; Leite *et al.*, 2018; Chang *et al.*, 2021). Außerdem legen viele Studien nahe, dass der Konsum von Tabak mit der Entstehung und der Schwere einer Parodontitis bzw. Periimplantitis korreliert (Lambert, Morris and Ochi, 2000; Leonhardt, Dahlén and Renvert, 2003; Moheng and Feryn, 2005; Baig and Rajan, 2007; Sánchez-Pérez, Moya-Villaescusa and Caffesse, 2007; Leite *et al.*, 2018; Chang *et al.*, 2021).

Im Gegensatz zu vielen anderen Studien, gab es in der vorliegenden Studie keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Rauchen und der Überlebenswahrscheinlichkeit. Dies

könnte damit zu erklären sein, dass der Nikotinkonsum der Raucher in dieser Studie (mit einer Ausnahme) eher moderat war. Insgesamt gilt es als erwiesen, dass Nikotinkonsum einen negativen Effekt auf das periimplantäre Weichgewebe hat und mit der Entstehung und der Schwere einer Periimplantitis korreliert.

### Abhängigkeit von dem gingivalen Biotyp des Patienten

Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate zeigte keine statistisch signifikante Abhängigkeit vom gingivalen Biotyp des Patienten. Bei dem dicken gingivalen Biotyp lag die Überlebenswahrscheinlichkeit bei 85,1 % und bei dem dünnen gingivalen Biotyp bei 100 %. In der Literatur finden sich Hinweise darauf, dass Rezessionen häufiger bei einem dünnen gingivalen Biotypen auftreten (Olsson and Lindhe, 1991; Evans and Chen, 2008) und aus der Parodontalchirurgie ist bereits bekannt, dass die Deckung von Rezessionen beim dünnen gingivalen Typ erschwert ist (Cairo, Nieri and Pagliaro, 2014; Cairo *et al.*, 2016). Darüber hinaus finden sich in der Literatur Hinweise darauf, dass der gingivale Biotyp als prognostischer Faktor für die Regeneration von periimplantärem Weichgewebe nach implantatchirurgischen Eingriffen dienen kann (Müller and Eger, 2002; Eghbali *et al.*, 2009; Kan *et al.*, 2011). Allerdings finden sich auch kontroverse Angaben bezüglich des gingivalen Biotyps in der Literatur. Einige Autoren geben eine Abhängigkeit des individuellen gingivalen Biotyps vom Geschlecht, genetischen Faktoren, der Morphologie des Knochens und der Positionierung des Implantats in der bukkolingualen Ebene an (Müller *et al.*, 2000; Vandana and Savitha, 2005; Kan *et al.*, 2011). Shah *et al.* konnten in ihrer Studie keine signifikante Korrelation zwischen dem Alter, dem Geschlecht, der Rezession von Weichgewebe und dem gingivalen Biotyp nachweisen (Shah, Sowmya and Mehta, 2015).

Der Einfluss des gingivalen Biotyps auf die natürlichen Zähne und das natürliche Gebiss ist in der Literatur gut belegt. Zahlreiche Studien bestätigen, dass sich mit einem dicken gingivalen Biotyp bessere chirurgische und prothetische Ergebnisse erzielen lassen (Lee, Fu and Wang, 2011; Gopal, Rohinikumar and Nesappan, 2020). Gopal *et al.* konnten belegen, dass die postoperative Heilung des Weichgewebes nach Implantation signifikant mit dem gingivalen Biotyp des Patienten zusammenhängt (Gopal, Rohinikumar and Nesappan, 2020). Lee *et al.* untersuchten den Einfluss des Gewebetyps auf die periimplantäre Mukosa, auf den Knochen, den Erfolg von Sofortimplantationen und die späteren Restaurationen (Lee, Fu and Wang, 2011). In ihrer Studie konnten sie den Einfluss des gingivalen Biotyps als einen wichtigen Parameter für bessere ästhetische Ergebnisse, den Erfolg von Sofortimplantationen und dem Entgegenwirken einer künftigen Rezession der Mukosa bestätigen (Lee, Fu and Wang, 2011). Lee *et al.* kamen zu dem Schluss, dass der Biotyp sowohl Einfluss auf die ästhetischen als

auch auf die funktionellen Aspekte der Implantatergebnisse hat, da er den Umbau von periimplantärem Hart- und Weichgewebe beeinflusst (Lee, Fu and Wang, 2011). Da ein dicker Biotyp anzustreben ist, bietet die Umwandlung mit Hilfe einer Weichgewebetransplantation eine Chance auf besser vorhersagbare chirurgische und prothetische Ergebnisse (Lee, Fu and Wang, 2011). Einige Autoren schlagen vor, die Bestimmung des Biotyps als diagnostischen Parameter für eine Implantatplanung miteinzubeziehen (Bashutski and Wang, 2007; Lee, Fu and Wang, 2011). Es gibt Hinweise darauf, dass der dicke gingivale Biotyp weniger anfällig für eine schwere Periimplantitis ist und auch die Progression einer Periimplantitis im Vergleich mit einem dünnen Typ geringer ist (Isler *et al.*, 2019). Es sollte ein internationaler Konsens für ein Klassifikationssystem des Biotyps gefunden und sich auf eine Bestimmungsmethode geeinigt werden, um einen genaueren Vergleich zu ermöglichen und aussagekräftigere Vergleiche unterschiedlicher Studien zu ermöglichen (Lee, Fu and Wang, 2011; Esfahrood, Kadkhodazadeh and Talebi Ardakani, 2013).

### 5.3.2 Diskussion der deskriptiven Daten

#### Approximales Knochenniveau

Das approximale Knochenniveau hat sich bei den untersuchten Implantaten von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung statistisch hoch signifikant um durchschnittlich  $3,10 \pm 2,02$  mm in Relation zum Referenzniveau verbessert. Wang *et al.* stellten bei der neben einer regenerativen chirurgischen Therapie additiv mit dem Er:YAG-Laser behandelten Testgruppe in ihrer Studie eine Verbesserung des marginalen Knochenniveaus von  $1,27 \text{ mm} \pm 1,14 \text{ mm}$  fest. Bei der nicht additiv mit dem Er:YAG-Laser behandelten Kontrollgruppe verbesserte sich das approximale Knochenniveau lediglich um  $1,08 \pm 1,04$  mm (Wang *et al.*, 2021).

Das günstige Ergebnis der vorliegenden Studie legt eine Verbesserung des approximalen Knochenniveaus in Relation zum Referenzniveau durch die LAPIDER-Technik nahe (Noelken and Al-Nawas, 2020).

#### Bukkales Knochenniveau

Das bukkale Knochenniveau hat sich bei den untersuchten Implantaten von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung statistisch hoch signifikant um durchschnittlich  $3,49 \pm 2,89$  mm in Relation zum Referenzniveau verbessert. In vergleichbaren Studien mit ähnlicher Fragestellung finden sich keine DVT-Werte zur Beurteilung der postoperativen Entwicklung des Knochenniveaus. Die durchschnittliche Zunahme des bukkalen Knochenniveaus von 3,49

mm ist günstig und belegt die Haupthypothese der Arbeit: Es kommt zu einer Verbesserung des periimplantären Knochenniveaus.

### Orales Knochenniveau

Das orale Knochenniveau hat sich bei den untersuchten Implantaten von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung statistisch signifikant um durchschnittlich  $1,46 \pm 1,98$  mm in Relation zum Referenzniveau verbessert. In vergleichbaren Studien mit ähnlicher Fragestellung finden sich keine DVT-Werte zur Beurteilung der postoperativen Entwicklung des Knochenniveaus. Die durchschnittliche Zunahme des oralen Knochenniveaus von 1,46 mm ist als günstig zu bewerten und belegt die Haupthypothese der Verbesserung des Knochenniveaus.

### Bukkale Knochendicke

Die bukkale Knochendicke hat sich bei den untersuchten Implantaten von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung bei einem Abstand zum Referenzniveau von 1 mm um durchschnittlich  $0,55 \pm 0,60$  mm und bei einem Abstand zum Referenzniveau von 3 mm um durchschnittlich  $1,01 \pm 1,25$  mm jeweils statistisch signifikant verbessert. Bei einem Abstand zum Referenzniveau von 6 mm war die Verbesserung um durchschnittlich  $0,65 \pm 1,73$  mm nicht signifikant. In vergleichbaren Studien mit ähnlicher Fragestellung finden sich keine DVT-Werte zur Beurteilung der postoperativen Entwicklung der Knochendicke. Die durchschnittliche Zunahme der bukkalen Knochendicke ist günstig und belegt die Haupthypothese der Verbesserung des Knochenniveaus.

Die hier vorliegende Studie zeigt auf, dass sich im dreidimensionalen Raum (approximal, bukkal und oral) das Knochenniveau und auch die bukkale Knochendicke statistisch signifikant verbessern. Darüber hinaus legt die Studie ebenfalls nahe, dass es zu einer Ausheilung des periimplantären Knochendefektes und darüber hinaus zu einer Reosseointegration der Implantate kommt.

### Sondierungstiefen

Der Mittelwert der drei bukkalen Sondierungstiefen hat sich um durchschnittlich  $2,22 \pm 1,82$  mm und der Mittelwert der drei oralen Sondierungstiefen um durchschnittlich  $1,71 \pm 1,44$  mm jeweils statistisch hoch signifikant verbessert. Der Mittelwert aller 6 gemessenen periimplantären Sondierungstiefen hat sich bei den untersuchten Implantaten von präoperativ

bis zur finalen Nachuntersuchung ebenfalls statistisch hoch signifikant um durchschnittlich  $1,97 \pm 1,56$  mm verbessert.

Wang et al. stellten in ihrer Studie signifikant höhere Reduktionen der Sondierungstiefen bei der additiv mit dem Er:YAG-Laser behandelten Testgruppe von  $2,65 \pm 2,14$  mm im Vergleich zu der nicht-additiv mit dem Er:YAG-Laser behandelten Kontrollgruppe fest ( $1,85 \pm 1,71$  mm) (Wang *et al.*, 2021).

In der Studie von Clem et Gunsolley (regenerativer chirurgischer Behandlungsansatz mit Einsatz eines Er:YAG-Lasers) wurden die Patienten anhand der präoperativen Sondierungstiefen in zwei Gruppen unterteilt: initiale Sondierungstiefen  $< 6$  mm oder  $\geq 6$  mm. Bei der ersten Gruppe reduzierten sich die Sondierungstiefen nach 12 Monaten um  $3,4 \pm 1,44$  mm und bei der zweiten Gruppe mit initialen Sondierungstiefen  $\geq 6$  mm reduzierten sie sich um  $3,6 \pm 1,33$  mm. Einer der Patienten war ein Raucher, bei ihm reduzierten sich die Sondierungstiefen nicht statistisch signifikant; bei allen anderen Patienten war die Reduktion statistisch signifikant (Clem and Gunsolley, 2019).

Papadopoulos et al. zeigten in ihrer Studie (regenerativer chirurgischer Behandlungsansatz mit Einsatz eines Dioden-Lasers bei der Testgruppe) nach 3 Monaten eine Reduktion der Sondierungstiefen von  $1,38$  mm bei der Testgruppe und von  $1,19$  mm bei der Kontrollgruppe auf (Papadopoulos *et al.*, 2015).

Die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie decken sich in Bezug auf die Sondierungstiefen mit diversen Studien (Papadopoulos *et al.*, 2015; Clem and Gunsolley, 2019; Wang *et al.*, 2021). Die Verwendung des Er:YAG-Lasers könnte eine mögliche Erklärung für die günstige Entwicklung der Sondierungstiefen sein. So konnte auch in der Studie von Clem et Gunsolley nachgewiesen werden, dass im Vergleich zu einer Kontrollgruppe mit dem Er:YAG Laser deutlich bessere Ergebnisse erzielt werden konnten (Clem and Gunsolley, 2019).

### Rezession

Die Rezession der bukkalen periimplantären Mukosa hat sich bei den untersuchten Implantaten von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung statistisch signifikant um durchschnittlich  $1,16 \pm 0,96$  mm verbessert. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterscheiden sich von Ergebnissen vergleichbarer Studien mit ähnlicher Fragestellung. Wie bereits ausführlich in Kapitel 5.2 erläutert, evaluierten Renvert et al. in einer multizentrischen, randomisierten klinischen Studie die chirurgische Periimplantitistherapie mit ergänzender Augmentation (Testgruppe) und ohne Augmentation (Kontrollgruppe) (Renvert *et al.*, 2021). Präoperativ betrug die Rezession in der Testgruppe (mit ergänzender Augmentation)  $0,4 \pm 0,8$

mm (n = 37) und in der Kontrollgruppe (ohne Augmentation)  $0,6 \pm 0,9$  mm (n = 34). Postoperativ nahm die durchschnittliche Rezession in der Testgruppe um  $0,5 \pm 0,8$  mm zu und betrug nach 12 Monaten  $0,8 \pm 1,2$  mm (n = 34). In der Kontrollgruppe vergrößerte sich die Rezession um  $0,9 \pm 1,10$  mm auf  $1,4 \pm 1,5$  mm (n = 32) nach 12 Monaten. In beiden Gruppen nahm die Rezession zu, ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ließ sich jedoch nicht feststellen (Renvert *et al.*, 2021). Der Vergleich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie belegt den Erfolg der chirurgischen Therapie periimplantärer Läsionen mit der LAPIDER-Technik, da hiermit die Rezession postoperativ gegenüber dem Ausgangsbefund deutlich reduziert werden konnte.

In der Literatur findet sich häufig die Angabe des Clinical Attachment Levels (CAL; Attachmentverlust), definiert als der Abstand zwischen der Schmelz-Zement-Grenze und dem Boden des sondierbaren Sulkus (Wang *et al.*, 2021). Die Addition der in der vorliegenden Arbeit betrachteten Parameter Rezession und Sondierungstiefen ergeben den Attachmentverlust. Eine durchschnittliche Reduktion der Rezession um 1,02 mm und der Sondierungstiefen um 1,88 mm ergibt eine durchschnittliche Verbesserung des CAL von 2,90 mm. Die Ergebnisse decken sich mit der Studie von Wang *et al.*, in der sich die CAL-Werte beider Gruppen statistisch signifikant verbesserten: die Werte der additiv mit dem Er:YAG-Laser behandelten Testgruppe um  $1,90 \pm 2,28$  mm und der Kontrollgruppe um  $1,47 \pm 1,76$  mm. Zwischen beiden Gruppen war kein statistisch signifikanter Unterschied nachzuweisen, aber ein Unterschied der Implantatflächen erkennbar: oral 2,0 mm (Testgruppe) und 1,5 mm (Kontrollgruppe), bukkal 2,1 mm (Testgruppe) und 1,9 mm (Kontrollgruppe) (Wang *et al.*, 2021). Ähnliche Ergebnisse fanden sich auch in einer klinischen Studie zur regenerativen Therapie fortgeschrittener periimplantärer Läsionen von Schwarz *et al.*, die die Wirksamkeit zweier verschiedener Methoden zur Oberflächendekontamination (Er:YAG-Laser und mechanisches Débridement mit Hilfe von Kunststoffküretten) im Vergleich evaluierte. Jedoch fiel die durchschnittliche Verbesserung der CAL-Werte in der zusätzlich mit dem Er:YAG-Laser behandelten Gruppe (um  $2,06 \pm 2,52$  mm) geringfügiger aus als in der mit dem mechanischen Débridement behandelten Gruppe (um  $2,76 \pm 1,92$  mm). Da der additive Einsatz des Er:YAG-Lasers lediglich im Bereich der suprakrestal exponierten Implantatoberflächen erfolgte, sind die Ergebnisse in Bezug auf den Einfluss der Laseranwendung kritisch zu bewerten (Schwarz *et al.*, 2017).

### Breite der befestigten Mukosa

In der Literatur finden sich diverse Studien zum Einfluss der Breite der befestigten Mukosa auf die periimplantären Gewebe. Es zeigen sich Hinweise darauf, dass das Vorhandensein

befestigter Mukosa einen positiven Einfluss auf den Gesunderhalt der periimplantären Gewebe und die Überlebenswahrscheinlichkeit eines Implantats hat (Brito *et al.*, 2014; Pranskunas *et al.*, 2016; Fickl, 2018; Sculean *et al.*, 2019; Heydari, Ataei and Riahi, 2021). Bei Implantaten mit einer rauen Oberflächenstruktur, wie sie heutzutage am häufigsten vorkommen, scheint der positive Einfluss noch größer zu sein als bei Implantaten mit maschinieren Oberflächen (Adell *et al.*, 1986; Wennström, Bengazi and Lekholm, 1994; Block *et al.*, 1996; Fickl, 2018). An Implantaten mit wenig oder keiner befestigten Mukosa lagern sich mehr Plaque und Bakterien an: es kommt zu erhöhten Plaque-Indices, Sondierungstiefen und positivem BOP und damit einhergehend einer erhöhten Prävalenz periimplantärer Erkrankungen (Lin, Chan and Wang, 2013; Ladwein *et al.*, 2015; Pranskunas *et al.*, 2016). Ladwein *et al.* stellten 2015 fest, dass sich bereits kleinste Breiten befestigter Mukosa positiv auf die Gesundheit der periimplantären Gewebe auswirken; die durchschnittliche Breite der Gewebe ihrer untersuchten Kohorte lag bei  $1,87 \pm 1,82$  mm (Ladwein *et al.*, 2015). Bereits 2 mm befestigte Mukosa scheinen einen positiven Einfluss zu haben (Fickl, 2018; Heydari, Ataei and Riahi, 2021). In der vorliegenden Studie hat sich die Breite der befestigten Mukosa bei den untersuchten Implantaten von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung statistisch signifikant um durchschnittlich  $1,27 \pm 1,73$  mm verbessert. Ebenfalls verbesserten sich die Blutung auf Sondierung, die periimplantären Sondierungstiefen und das periimplantäre Knochenniveau (sowohl approximal als auch bukkal und oral) in der vorliegenden Studie statistisch signifikant. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die periimplantäre Weichgewebesituation verbessert hat und den Patienten die Mundhygiene erleichtert wurde. Dafür spricht auch die postoperative Entwicklung des API bis zur finalen Nachuntersuchung (Verbesserung des API von präoperativ bis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung um durchschnittlich 26,09 %). Bei den betrachteten Implantaten wurde präoperativ bei 54,5 % Plaque am Implantat nachgewiesen, bei der finalen Nachuntersuchung nur noch bei 22,7 % der Implantate.

### Kronen-Mukosa-Abstand

Der Abstand von Krone und Mukosa hat sich bei den untersuchten Implantaten von präoperativ bis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung statistisch signifikant um durchschnittlich  $0,66 \pm 1,16$  mm verbessert. In vergleichbaren Studien mit ähnlichen Fragestellungen finden sich keine Angaben zum Kronen-Mukosa-Abstand zur Beurteilung der postoperativen Entwicklung der periimplantären Weichgewebe.

Die Verbesserung des Kronen-Mukosa-Abstandes könnte damit erklärt werden, dass es durch die Operationstechnik zu einer Verminderung der Rezession und damit zu einer Verschiebung der marginalen Mukosa nach koronal kam (Noelken and Al-Nawas, 2020).

### Dicke der befestigten Mukosa

Wie bereits bezüglich des Einflusses der Breite der befestigten Mukosa und des gingivalen Biotyps erläutert, gibt es in der Literatur Hinweise darauf, dass die Dicke der befestigten Mukosa einen positiven Einfluss auf die periimplantäre Weichgewebesituation und auf die postoperative Entwicklung von Implantaten hat (Lin, Chan and Wang, 2013; Brito *et al.*, 2014; Ladwein *et al.*, 2015; Pranskunas *et al.*, 2016; Sculean *et al.*, 2019; Heydari, Ataei and Riahi, 2021). So schließen einige Autoren mit der vorliegenden Studie ähnlichen Fragestellungen Patienten mit weniger als 2 mm befestigter Mukosa (Sahm *et al.*, 2011) oder mit keiner befestigten Mukosa (Schwarz *et al.*, 2005, 2006, 2008; Schwarz, Sahm, *et al.*, 2009) aus. In der Literatur ist belegt, dass, neben anderen Faktoren, auch die Dicke der periimplantären Mukosa als wichtiger Faktor den Langzeiterfolg von Implantaten beeinflusst (Bashutski and Wang, 2007; Jung *et al.*, 2007; Evans and Chen, 2008). Bereits in den 1960er Jahren bestätigten Studien einen größeren operativen Erfolg bei dickerem Weichgewebe (Ochsenbein and Ross, 1969; Wilderman *et al.*, 1970). Ähnlich dem parodontalen Gewebe ist dünnes periimplantäres Weichgewebe anfälliger für Rezessionen als dickes (Evans and Chen, 2008). In der Implantologie hat der dickere gingivale Biotyp eine noch größere Bedeutung, da wie bereits in den Kapiteln 2.3.2 und 2.3.3 erläutert, bei den periimplantären Geweben desmodontale Strukturen mit zusätzlicher Blutversorgung fehlen, die u.a. die Wundheilung positiv beeinflussen (Lee, Fu and Wang, 2011). Daher wäre ein dickes periimplantäres Gewebe nicht nur aus rein ästhetischen, sondern auch aus funktionellen Gründen anzustreben (Lee, Fu and Wang, 2011; Sculean *et al.*, 2019; Heydari, Ataei and Riahi, 2021). Die Dicke der befestigten Mukosa hat sich bei den untersuchten Implantaten der vorliegenden Studie von präoperativ bis zur finalen Nachuntersuchung statistisch hoch signifikant um  $0,71 \pm 0,50$  mm verbessert. Dabei zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen Implantaten mit ( $0,56 \pm 0,31$  mm) oder ohne ( $0,85 \pm 0,62$  mm) ergänzenden Maßnahmen zur Verbesserung der Breite der befestigten Mukosa (Vestibulumplastik mit oder ohne zusätzlichem FST). Lee *et al.* kamen zu dem Schluss, dass der Biotyp sowohl einen Einfluss auf die ästhetischen als auch auf die funktionellen Aspekte der Implantatergebnisse hat, da der Umbau der periimplantären Hart- und Weichgewebe beeinflusst wird (Lee, Fu and Wang, 2011). Wie in Kapitel 5.3.4 erläutert, konnte in der vorliegenden Studie keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der Verbesserung des approximalen Knochenniveaus und den gingivalen Biotypen der Patienten gefunden werden. Da sich jedoch die einzelnen klinischen Parameter statistisch signifikant

verbesserten, legen die Ergebnisse der vorliegenden Studie nahe, dass es durch die LAPIDER-Operationstechnik zu einer Heilung des periimplantären Knochendefektes und einer Verbesserung der periimplantären Weichgewebesituation kommt.

### Jemt-Score

Zur Vergleichbarkeit und Objektivierung der ästhetischen periimplantären Verhältnisse wurden der Jemt-Score und der Pink Esthetic Score eingeführt (Jemt, 1997; Fürhauser *et al.*, 2005; Rocuzzo *et al.*, 2011). In vergleichbaren Studien mit ähnlicher Fragestellung finden sich jedoch keine Angaben zum Jemt-Score zur Beurteilung der postoperativen Entwicklung der periimplantären Weichgewebe und der ästhetischen Verhältnisse.

Wie bereits in Kapitel 3.4.10 erläutert, bezeichnet ein Jemt-Score von 3 eine normale / „ideale“ Papille, ein Score von 4 beschreibt hingegen eine hyperplastische Papille. Bei einer bereits präoperativ als ästhetisch bewerteter Papille (Jemt-Score 3) ist zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung keine Verbesserung möglich / zu erwarten. Bei den untersuchten Implantaten wurde bereits präoperativ bei 27,3 % (6 Implantate) an der mesialen Papille und bei 9,1 % (2 Implantate) an der distalen Papille ein Jemt-Score von 3 erhoben, sodass bei diesen 6 Implantaten mesial und bei 2 Implantaten distal keine Verbesserung erwartet werden konnte.

Zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung blieb die Anzahl der an der mesialen Papille mit einem idealen Jemt-Score von 3 bewerteten Implantate bei 27,3 % (6 Implantate). Bei der distalen Papille ließ sich eine große und statistisch signifikante Verbesserung erkennen: Die Anzahl der mit einem idealen Score von 3 bewerteten Implantate erhöhte sich bei der distalen Papille um 6 Implantate auf 36,4 % (8 Implantate) zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung (Tabelle 20).

Die prozentuale Verteilung des Jemt-Scores hat sich tendenziell verbessert, aber der Median blieb von präoperativ bis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung unverändert. Eine ausbleibende Verbesserung, wie sie zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung bei 2 Implantaten an der mesialen und 3 Implantaten an der distalen Papille mit einem Score von 1 bewerteten Implantaten beobachtet wurde, könnte damit zu erklären sein, dass postoperativ zwar wieder etwas mehr interdental Papille vorhanden ist, diese aber immer noch weniger als die Hälfte der Höhe der interdentalen Papille beträgt.

### Pink Esthetic Score

Der Gesamt-Score des Pink Esthetic Score hat sich bei den untersuchten Implantaten von präoperativ bis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung statistisch hoch signifikant um durchschnittlich  $3,00 \pm 1,85$  verbessert. Präoperativ betrug der Median 8,00 mit einer Spanne von 3 bis 13 und zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung verbesserten sich sowohl der Median auf 10,50 als auch die Spanne (zwischen 7 und 14). Es finden sich keine Studien, die den Pink Esthetic Score benutzen, um das ästhetische Ergebnis vor und nach Periimplantitistherapie zu bewerten. Bei der Bewertung von Einzelzahimplantaten gaben Pieri et al. durchschnittliche PES-Werte von  $9,07 \pm 1,49$  zum Zeitpunkt der Eingliederung der prothetischen Versorgung und von  $8,61 \pm 1,55$  nach fünf Jahren postoperativ an. Pieri et al. geben einen Gesamt-Score von 8 als Schwelle für ästhetisch stabile, akzeptable Verhältnisse an (Pieri *et al.*, 2013). Demnach ist die postoperative Verbesserung der PES-Werte in der vorliegenden Studie als günstig zu bewerten.

Die Verbesserung der PES-Werte könnte in der Operationstechnik selbst begründet sein. Da die Schnitttechnik auf eine Durchtrennung der Papillen verzichtet, konnte das Hart- und Weichgewebvolumen vermehrt und der PES positiv beeinflusst werden.

### Hygieneindizes

Sowohl der Approximalraum-Plaque-Index (mit einer durchschnittlichen Verbesserung um  $26,09 \pm 24,70$  %) als auch der Sulkus-Blutungsindex (mit einer durchschnittlichen Verbesserung um  $24,95 \pm 20,21$  %) haben sich bei der betrachteten Patientenkohorte statistisch hoch signifikant verändert. Plaque am Implantat wurde im Durchschnitt präoperativ bei 54,5 % und zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung nur noch bei 22,7 % gefunden. Präoperativ wiesen 100 % der Implantate eine Blutung auf Sondierung auf, zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung ging der Anteil auf 36,4 % zurück. Dies spricht für eine erfolgreiche Reduktion des Infektionsgeschehens. Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Studien mit ähnlichen Fragestellungen. Ein sinkender BOP ist auch in diversen Studien in Bezug auf eine erfolgreiche Parodontitistherapie feststellbar (Heitz-Mayfield *et al.*, 2002; Berglundh, Zitzmann and Donati, 2011; Lang, Bosshardt and Lulic, 2011; Ramseier *et al.*, 2021). Wang et al. stellten in ihrer Studie zur Periimplantitistherapie mit dem Er:YAG-Laser eine statistisch signifikante Reduktion des BOP fest (Wang *et al.*, 2021).

Eine weitere Erklärung für die Verbesserung der Mundhygieneindizes könnte im Bewusstsein der Patienten liegen. Da die Patienten durch die Operation und die damit einhergehende Vorbehandlung für das Thema Periimplantitis sensibilisiert wurden, ist es wahrscheinlich, dass

sich dadurch ein positiver Effekt auf die Compliance und die häusliche Mundhygiene eingestellt hat.

### 5.3.3 Diskussion des Implantaterfolges und der Erfolgsindizes

In der vorliegenden Studie konnten die therapierten 24 Implantaten die in Kapitel 3.5 weiter definierten Erfolgsindizes in unterschiedlichem Maße erfüllen. Die Überlebensrate 3 Jahre nach Periimplantitistherapie ist mit 91,7 % als gut zu bewerten. In einer aktuellen Übersichtsarbeit zur chirurgischen Periimplantitistherapie werden Verlustraten von 3 % - 25 % der Implantate bei einem Nachuntersuchungszeitraum zwischen einem und fünf Jahren angegeben (Schwarz *et al.*, 2022).

91,7 % der untersuchten Implantate wiesen bis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung keine weiteren Knochenverluste mehr auf. 87,5 % der Implantate zeigten eine radiologisch erkennbare Füllung des periimplantären Knochendefektes von mehr als 1 mm. In einer multizentrischen, randomisierten klinischen Studie von Derks *et al.* wurden radiologisch erkennbare Defektfüllungen von mindestens 2 mm bei 22,2 % (Testgruppe) bzw. 18,3 % (Kontrollgruppe) der untersuchten Implantate beobachtet (Derks *et al.*, 2022).

83,3 % der Implantate zeigten bei der finalen Nachuntersuchung periimplantäre Sondierungstiefen von kleiner gleich 5 mm auf. Zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung betrug die Zunahme der bukkalen Rezession bei allen Implantaten weniger als 1 mm. In einer multizentrischen, randomisierten klinischen Studie von Derks *et al.* wiesen 68,5 % der untersuchten Implantate nach 12 Monaten sowohl periimplantäre Sondierungstiefen von kleiner gleich 5 mm als auch eine Zunahme der Rezession von kleiner gleich 1 mm auf (Derks *et al.*, 2022).

95,8 % der Implantate zeigten bei der finalen Nachuntersuchung keine Anzeichen von Suppuration und 58,3 % der untersuchten Implantate keine Blutung auf Sondierung mehr auf. In einer klinischen Studie von Schwarz *et al.*, die den Einfluss von zwei verschiedenen Methoden der Oberflächendekontamination auf den Erfolg der regenerativen Periimplantitistherapie untersuchte, zeigten sich deutliche Verbesserungen bei der Blutung auf Sondierung. In der mit dem Er:YAG-Laser therapierten Gruppe verbesserte sich der BOP um  $86,66 \pm 18,26$  % und in der Gruppe, in der der periimplantäre Defekt nur mechanisch behandelt wurde, um  $89,99 \pm 11,65$  % (Schwarz *et al.*, 2017). In einer multizentrischen, randomisierten klinischen Studie von Derks *et al.* zeigten lediglich 25 % der untersuchten Implantate ein Ausbleiben von Suppuration und einer Blutung auf Sondierung (Derks *et al.*, 2022).

Die in Kapitel 3.5 definierten Erfolgsraten erreichten in der vorliegenden Studie 48,5 % (Erfolgsindex 1), 50,0 % (Erfolgsindex 2) bzw. 54,2 % (Erfolgsindex 3) der Implantate. In einer multizentrischen, randomisierten klinischen Studie von Derks et al. konnten lediglich 16,4 % (Testgruppe) bzw. 13,5 % (Kontrollgruppe) der untersuchten Implantate die Erfolgskriterien (Implantat noch in situ, keine Blutung auf Sondierung und keine Suppuration, periimplantäre Sondierungstiefen  $\leq 5$  mm, Rezession der periimplantären Mukosa  $\leq 1$  mm) erreichen (Derks et al., 2022). Die Kriterien von Derks et al. entsprechen dem Erfolgsindex 3 der vorliegenden Studie, den 54,2 % der untersuchten Implantate erreichen konnten (Derks et al., 2022). In einer multizentrischen, randomisierten klinischen Studie von Renvert et al. erreichten 32 % (Testgruppe) bzw. 21 % (Kontrollgruppe) der untersuchten Implantate alle Erfolgskriterien (röntgenologisch sichtbare Auffüllung des periimplantären Knochendefektes  $\geq 1$  mm, periimplantäre Sondierungstiefen  $\leq 5$  mm, maximal eine von vier Stellen am Implantat mit einem BOP-Grad 1, keine Suppuration) (Renvert et al., 2021). Die Kriterien von Renvert et al. entsprechen dem Erfolgsindex 1 der vorliegenden Studie, den 48,5 % der untersuchten Implantate erreichen konnten (mit der Ausnahme, dass in der vorliegenden Studie sechs Stellen am Implantat betrachtet wurden, von denen ebenfalls nur maximal eine Stelle einen BOP-Grad 1 aufweisen durfte) (Renvert et al., 2021).

Die Erfolgsindizes der vorliegenden Studie sind im Vergleich mit den Ergebnissen vergleichbarer Studien als günstig zu bewerten und sprechen für einen Erfolg der chirurgischen Therapie periimplantärer Läsionen nach der LAPIDER-Technik.

### 5.3.4 Diskussion der Korrelationsanalyse

#### Zusammenhang zwischen dem approximalen Knochenniveau und dem Nikotinkonsum

Es konnte in der vorliegenden Studie keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der statistisch signifikanten Verbesserung des approximalen Knochenniveaus und dem Nikotinkonsum des Patienten gefunden werden. Das mag unter anderem auch daran liegen, dass in der vorliegenden Studie lediglich einer der fünf Raucher mit einem Konsum von mehr als 15 Zigaretten pro Tag als starker Raucher eingestuft wurde. Es bedarf weiterer Studien mit einer größeren Patientenkohorte und Fallzahl an Rauchern, um den Einfluss des Nikotinkonsums auf die postoperativen Behandlungsergebnisse nach der LAPIDER-Technik weiter zu untersuchen.

### Zusammenhang zwischen dem approximalen Knochenniveau und dem gingivalen Biotyp

In der vorliegenden Studie fiel die Verbesserung des approximalen Knochenniveaus bei Patienten mit einem dünnen gingivalen Biotyp ( $2,98 \pm 2,44$  mm) etwas geringer aus als bei Patienten mit einem dicken gingivalen Biotyp ( $3,21 \pm 1,70$  mm). Jedoch konnte keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der statistisch signifikanten Verbesserung des approximalen Knochenniveaus und den gingivalen Biotypen der Patienten dargestellt werden. Isler et al. untersuchten den Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Schweregraden einer Periimplantitis und gingivalen Biotypen. Dabei konnten die Autoren feststellen, dass die durchschnittliche Rezession, die Blutung (BOP), das klinische Attachmentlevel (CAL) und das marginale Knochenniveau bei dem dicken gingivalen Biotyp statistisch signifikant besser waren (Isler *et al.*, 2019). Da die Anzahl von 12 Patienten mit einem dicken gingivalen Biotyp in der vorliegenden Studie relativ klein ist, bedarf es weiterer Studien mit einer größeren Patientenkohorte und Fallanzahl, um den Einfluss des gingivalen Biotyps auf die postoperativen Behandlungsergebnisse nach der LAPIDER-Technik weiter zu untersuchen.

### Zusammenhang zwischen dem approximalen Knochenniveau und ergänzenden Maßnahmen

In der vorliegenden Studie fiel die Verbesserung des approximalen Knochenniveaus bei Patienten, die keine ergänzenden Maßnahmen erhielten ( $2,99 \pm 1,46$  mm) etwas geringer aus als bei den Patienten, die ergänzende Maßnahmen erhielten ( $3,22 \pm 2,53$  mm). Jedoch konnte keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der Verbesserung des approximalen Knochenniveaus und einer zusätzlichen Vestibulumplastik mit oder ohne freiem Schleimhauttransplantat zur Verbesserung der Breite der befestigten Mukosa gefunden werden. Dies mag damit zu erklären sein, dass die Stichprobe der vorliegenden Studie, die ergänzend eine Vestibulumplastik erhielt, mit  $n = 11$  als relativ gering zu bewerten ist. Die Implantate, die ergänzende Maßnahmen erhielten, wiesen vorab unzureichende periimplantäre Weichgewebesituationen auf. Da aber zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung der mit 1 bewertete Jemt-Score (weniger als die Hälfte der Höhe der interdentalen Papille vorhanden, siehe Kapitel 3.4.10) aber nur noch bei 2 (mesiale Papille) bzw. 3 (distale Papille) Implantaten auftrat, zeigt sich, dass sich die periimplantäre Weichgewebesituation durch die Operation nach der LAPIDER-Technik verbessert hat. Dafür sprechen auch die statistisch signifikante Verbesserung der Rezession und der Breite bzw. Dicke der befestigten Mukosa.

### Zusammenhang zwischen dem approximalen Knochenniveau und dem Pink Esthetic Score

Obwohl sich in der vorliegenden Studie durch regenerative, augmentative Maßnahmen sowohl das approximale Knochenniveau als auch der Gesamtscore des Pink Esthetic Scores statistisch signifikant verbesserten, korrelierte die Verbesserung des approximalen Knochenniveaus nicht signifikant mit der Verbesserung des Pink Esthetic Scores. Dies mag damit zu erklären sein, dass die Stichprobe der vorliegenden Studie mit  $n = 22$  zu klein ist und es weiterer Studien mit einer größeren Patientenkohorte bedarf.

### Zusammenhang zwischen dem approximalen Knochenniveau und der Breite der befestigten Mukosa

Obwohl sich in der vorliegenden Studie durch regenerative, augmentative Maßnahmen sowohl das approximale Knochenniveau als auch die Breite der befestigten Mukosa statistisch signifikant verbesserten, korrelierte die Verbesserung des approximalen Knochenniveaus nicht signifikant mit der Verbesserung der Breite der befestigten Mukosa. Dies könnte wieder durch die zu geringe Stichprobengröße erklärt werden.

## 5.4 Einschränkung dieser Studie

Als Einschränkung der Studie ist die heterogene Stichprobe zu nennen. Das Alter der Kohorte variiert von 32 bis 68 Jahre und betrug zum Zeitpunkt der Operation durchschnittlich  $54,11 \pm 11,97$  Jahre. Dabei waren Patienten der Altersgruppe  $> 70$  Jahre nicht vertreten, sodass die betrachtete Kohorte nicht den Durchschnitt der deutschen Bevölkerung mit einem durchschnittlichen Lebensalter von 44,5 Jahren widerspiegelt (*Durchschnittsalter der Bevölkerung in Deutschland nach Staatsangehörigkeit 2019, 2020*). In der Literatur finden sich kontroverse Angaben zum Einfluss des Alters eines Patienten auf die Überlebensrate von Implantaten. Schimmel et al. stellten 2018 in einer Metaanalyse fest, dass das Alter eines Patienten keinen Einfluss auf das Überleben eines Implantats hat (Schimmel et al., 2018). Jang et al. berichteten 2011 hingegen, dass das Alter des Patienten einen statistisch signifikanten Einfluss auf das Implantatüberleben hat. Die Überlebensraten bei Patienten, die älter als 79 Jahre waren, waren geringer (Jang et al., 2011). Es bedarf weiterer Studien zur LAPIDER-Technik, in der auch Altersgruppen  $> 70$  Jahren vertreten sind, um zu prüfen, ob das Alter hier einen Einfluss auf die postoperative Prognose nach einer Periimplantitistherapie nehmen kann.

Neben dem Alter und dem Geschlecht könnten andere demographische Aspekte wie die Bildung und der sozioökonomische Status der Patienten einen Einfluss auf die postoperative

Prognose der Implantate haben. In der Literatur finden sich Hinweise darauf, dass die Bildung eines Patienten mit der Effizienz der häuslichen Mundhygiene und der Compliance korreliert und somit Einfluss auf die postoperative Prognose eines Implantats nehmen kann (Bergström, 1973; Spinler *et al.*, 2021). Als Limitation der vorliegenden Studie ist zu nennen, dass keine sozioökonomischen Hintergründe der Patienten aufgenommen wurden und daher deren potenzieller Einfluss nicht geprüft werden konnte.

Ebenfalls als Limitation zu nennen ist die Größe der betrachteten Patientenkohorte. Diese umfasste 24 Implantate, von denen nur bei 18 sowohl präoperative als auch finale DVT-Daten zum statistischen Vergleich vorlagen. Der geringe Stichprobenumfang verminderte die Aussagekraft der statistischen Auswertung.

Der durchschnittliche Nachuntersuchungszeitraum beträgt bei der vorliegenden Studie  $36,04 \pm 8,58$  Monate. Dieser Zeitraum deckt sich im Mittel mit diversen anderen Studien (Rocuzzo *et al.*, 2011; Papadopoulos *et al.*, 2015; Clem and Gunsolley, 2019; Tenore *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021). Papadopoulos *et al.* und Wang *et al.* gaben jeweils einen deutlich kürzeren Nachuntersuchungszeitraum von 6 Monaten an (Papadopoulos *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2021). In der Studie von Pommer *et al.* gingen die untersuchten Implantate im Durchschnitt jedoch erst relativ spät nach der Periimplantitistherapie, nämlich erst nach  $4,9 \pm 1,9$  Jahren, verloren. Die Implantate der dritten Gruppe, die mit einem kombiniert konservativ (Einsatz eines Er:YAG-Lasers) und chirurgischen (Implantoplastik) Ansatz therapiert wurden, gingen nach 4, 6, 7 und 9 Jahren (im Durchschnitt nach  $6,5 \pm 1,8$  Jahren in dieser Gruppe) verloren (Pommer *et al.*, 2016). Daher sind für die Analyse von Langzeitergebnissen Studien mit deutlich längeren Nachuntersuchungszeiträumen notwendig. Im Vergleich zu den kürzeren Nachuntersuchungszeiträumen von Papadopoulos *et al.*, Wang *et al.* und anderen kann man bei der vorliegenden Studie mit einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 36,04 Monaten von guten mittelfristigen Ergebnissen nach der LAPIDER-Technik sprechen. Es empfiehlt sich jedoch, die therapierten Implantate weiter zu beobachten.

Als Einschränkung kann darüber hinaus festgestellt werden, dass die Häufigkeiten der therapierten und beobachteten Implantatsysteme mit einer maximalen Anzahl von 6 Implantaten pro Implantatsystem relativ gering sind. Daher kann mit dieser Arbeit nicht endgültig untersucht werden, ob verschiedene Implantatsysteme Einfluss auf den postoperativen Erfolg nach der LAPIDER-Technik nehmen können. Um dies zu untersuchen, bedarf es weiterer Studien mit größeren Kohorten und größeren Fallzahlen an Implantaten eines Implantatsystems.

In der vorliegenden Studie wurden 16 klinische und radiologische Parameter erhoben und bewertet. Da in der Forschung keine einheitlichen Parameter festgelegt sind, ist die

Vergleichbarkeit mancher Studien untereinander teilweise als eingeschränkt anzusehen. Eine Reduktion auf bereits in der Literatur gängige Parameter (Knochenniveau, Sondierungstiefen, CAL, PES und die Hygieneindizes: Plaque-Index und BOP) ist zu überdenken.

## 6 Zusammenfassung

Die vorliegende monozentrische, retrospektive Datenauswertung hatte das Ziel, aufzuzeigen, dass das neue chirurgische Behandlungskonzept der laserunterstützten, periimplantären Defektregenerationstechnik (LAPIDER-Technik) (Noelken and Al-Nawas, 2020) die Regeneration schwerer periimplantärer Hart- und Weichgewebedefekte ermöglichen kann. Im Gegensatz zu anderen Konzepten der chirurgischen Periimplantitistherapie verzichtet diese neue Technik auf die Durchtrennung der Interdentalpapillen und der Blutversorgung oberhalb des Knochendefektes. Durch einen zweischichtigen Zugang zum Defekt von vestibulär wurde die Defektreinigung mit Unterstützung des Er:YAG-Lasers sowie die Augmentation mit autologem Knochen und Bindegewebe möglich. Im Rahmen dieser retrospektiven Studie wurden das Implantatüberleben und verschiedene klinische und radiologische Parameter (approximales, bukkales und orales Knochenniveau, bukkale Knochendicke, Sondierungstiefen, Rezession, Breite der befestigten Mukosa, Kronen-Mukosa-Abstand, Dicke der befestigten Mukosa, Jemt-Score, Pink Esthetic Score, Hygieneindizes) ausgewertet.

Die Stichprobe bestand aus 24 therapierten Implantaten, bei 11 weiblichen und 7 männlichen Patienten mit einem durchschnittlichen Lebensalter von 54,11 Jahren. Der durchschnittliche Nachuntersuchungszeitraum betrug  $36,04 \pm 8,58$  Monate (Spanne von 21,49 bis 57,69 Monate). Nach 13,96 bzw. 26,22 Monaten mussten 2 Implantate aufgrund von Therapieresistenz und zunehmenden Sondierungstiefen operativ entfernt und als Verlust gewertet werden.

Die postoperative Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate betrug nach der Kaplan-Meier Überlebenszeitanalyse 90,8 %.

Statistisch signifikant verbesserten sich in Relation zum Referenzniveau das proximale Knochenniveau um 3,10 mm, das bukkale Knochenniveau um 3,49 mm, das orale Knochenniveau um 1,46 mm, die bukkale Knochendicke bei einem Abstand zum Referenzniveau von 1 mm um 0,55 mm, die bukkale Knochendicke bei einem Abstand von 3 mm um 1,01 mm, die durchschnittlichen periimplantären Sondierungstiefen um 1,97 mm (bukkal um 2,22 mm und oral um 1,71 mm), die Rezession der bukkalen periimplantären Mukosa um 1,16 mm, die Breite der befestigten Mukosa um 1,27 mm, der Abstand von Krone und Mukosa um 0,66 mm, die Dicke der befestigten Mukosa um 0,71 mm und der Gesamt-Score des Pink Esthetic Score um 3,00.

Nicht statistisch signifikant veränderte sich die bukkale Knochendicke bei einem Abstand zum Referenzniveau von 6 mm um 0,65 mm. Die Anzahl der mit dem günstigsten Jemt-Score von 3 bewerteten Implantate blieb bei der mesialen Papille stabil und erhöhte sich bei der distalen Papille von 9,1 % auf 36,4 %.

Damit konnten sich die ersten drei Hypothesen der Arbeit belegen lassen: Das Knochenniveau hat sich approximal, bukkal und oral signifikant regeneriert und verbessert, die Sondierungstiefen haben sich signifikant reduziert, die periimplantäre Weichgewebesituation hat sich durch die signifikante Reduktion der Rezession, der Blutung auf Sondierung und die signifikante Zunahme der Breite und Dicke der befestigten Mukosa verbessert und die ästhetischen periimplantären Verhältnisse haben sich durch eine signifikante Zunahme des Pink Esthetic Score ebenfalls verbessert.

Es wurde der Einfluss des Patientengeschlechts, des Nikotinkonsums und des gingivalen Biotyps auf die Überlebenszeit analysiert. Dabei wurde keine statistisch signifikante Korrelation beobachtet. Die vierte Hypothese, dass Nikotinkonsum zu schlechteren postoperativen Ergebnissen führt, konnte nicht statistisch signifikant belegt werden. Die fünfte Hypothese der Arbeit, dass ein dicker gingivaler Biotyp zu einer deutlichen Verbesserung der periimplantären Situation führt, konnte ebenfalls nicht belegt werden.

Innerhalb des Nachuntersuchungszeitraums konnte nachweislich das Infektionsgeschehen eingedämmt werden und die Regeneration des periimplantären knöchernen Defektes wurde positiv beeinflusst. Es zeigten sich gute Überlebens- und Erfolgsraten der therapierten Implantate. Die Operationstechnik führte zu einer zirkulären Verbesserung des Knochenniveaus (approximal, bukkal und oral), der bukkalen Knochendicke, der periimplantären Sondierungstiefen, der periimplantären Weichgewebe durch eine Verbesserung der Breite und der Dicke der befestigten Mukosa und einer Verbesserung der periimplantären ästhetischen Verhältnisse.

In weiteren Arbeiten sollten die Ergebnisse dieser Studie anhand von größeren Patientenkohorten bestätigt werden.

Darüber hinaus sind die vorliegenden 3-Jahresergebnisse des neuen operativen Ansatzes für die regenerative chirurgische Periimplantitistherapie sehr vielversprechend. Es bedarf weiterer randomisierter Studien, um die Auswirkungen des neuen operativen Zugangs, des Lappendesigns, der simultanen Augmentation von Hart- und Weichgewebe und der Oberflächendekontamination mit dem Er:YAG Laser auf die Regeneration periimplantärer Hart- und Weichgewebe zu untersuchen.

## 7 Literaturverzeichnis

Abduljabbar, T. *et al.* (2018) 'Assessment of interleukin-1 $\beta$ , interleukin-6, and tumor necrosis factor-A levels in the peri-implant sulcular fluid among waterpipe (narghile) smokers and never-smokers with peri-implantitis', *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 20(2), pp. 144–150. Available at: <https://doi.org/10.1111/cid.12557>.

Abrahamsson, I. *et al.* (1996) 'The peri-implant hard and soft tissues at different implant systems. A comparative study in the dog', *Clinical Oral Implants Research*, 7(3), pp. 212–219. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1996.070303.x>.

Abrahamsson, I. *et al.* (2002) 'The mucosal attachment to titanium implants with different surface characteristics: an experimental study in dogs', *Journal of Clinical Periodontology*, 29(5), pp. 448–455. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-051x.2002.290510.x>.

'Academy Report: Peri-Implant Mucositis and Peri-Implantitis: A Current Understanding of Their Diagnoses and Clinical Implications' (2013) *Journal of Periodontology*, 84(4), pp. 436–443. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.2013.134001>.

Addy, M. and Moran, J.M. (1997) 'Clinical indications for the use of chemical adjuncts to plaque control: chlorhexidine formulations', *Periodontology 2000*, 15, pp. 52–54. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.1997.tb00104.x>.

Adell, R. *et al.* (1986) 'Marginal tissue reactions at osseointegrated titanium fixtures (I). A 3-year longitudinal prospective study', *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 15(1), pp. 39–52. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0300-9785\(86\)80010-2](https://doi.org/10.1016/s0300-9785(86)80010-2).

Aghazadeh, A., Rutger Persson, G. and Renvert, S. (2012) 'A single-centre randomized controlled clinical trial on the adjunct treatment of intra-bony defects with autogenous bone or a xenograft: results after 12 months', *Journal of Clinical Periodontology*, 39(7), pp. 666–673. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2012.01880.x>.

Aglietta, M. *et al.* (2012) 'Clinical and radiographic changes at implants supporting single-unit crowns (SCs) and fixed dental prostheses (FDPs) with one cantilever extension. A retrospective study', *Clinical Oral Implants Research*, 23(5), pp. 550–555. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2011.02391.x>.

Albrektsson, T. *et al.* (1981) 'Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man', *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 52(2), pp. 155–170. Available at: <https://doi.org/10.3109/17453678108991776>.

Albrektsson, T. *et al.* (1986) 'The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*,

1(1), pp. 11–25.

Albrektsson, T. *et al.* (1994) *Consensus report of session IV, undefined*. Available at: /paper/Consensus-report-of-session-IV-Albrektsson-Isidor/51f8276e63ece386c0ed5c3d1e633a14da1fbb9e (Accessed: 7 December 2020).

Albrektsson, T. and Johansson, C. (2001) 'Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration', *European Spine Journal: Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 10 Suppl 2, pp. S96-101. Available at: <https://doi.org/10.1007/s005860100282>.

ALHarthi, S.S. *et al.* (2018) 'Comparison of peri-implant clinical and radiographic inflammatory parameters among cigarette and waterpipe (narghile) smokers and never-smokers', *Journal of Periodontology*, 89(2), pp. 213–218. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.2017.170358>.

Ando, Y. *et al.* (1996) 'Bactericidal effect of erbium YAG laser on periodontopathic bacteria', *Lasers in Surgery and Medicine*, 19(2), pp. 190–200. Available at: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9101\(1996\)19:2<190::AID-LSM11>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9101(1996)19:2<190::AID-LSM11>3.0.CO;2-B).

Araujo, M.G. and Lindhe, J. (2018) 'Peri-implant health', *Journal of Periodontology*, 89 Suppl 1, pp. S249–S256. Available at: <https://doi.org/10.1002/JPER.16-0424>.

de Araújo Nobre, M. and Maló, P. (2017) 'Prevalence of periodontitis, dental caries, and peri-implant pathology and their relation with systemic status and smoking habits: Results of an open-cohort study with 22009 patients in a private rehabilitation center', *Journal of Dentistry*, 67, pp. 36–42. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.07.013>.

Attard, N.J. and Zarb, G.A. (2004) 'Long-term treatment outcomes in edentulous patients with implant overdentures: the Toronto study', *The International Journal of Prosthodontics*, 17(4), pp. 425–433.

Augthun, M., Tinschert, J. and Huber, A. (1998) 'In vitro studies on the effect of cleaning methods on different implant surfaces', *Journal of Periodontology*, 69(8), pp. 857–864. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.1998.69.8.857>.

Baig, M.R. and Rajan, M. (2007) 'Effects of smoking on the outcome of implant treatment: a literature review', *Indian Journal of Dental Research: Official Publication of Indian Society for Dental Research*, 18(4), pp. 190–195. Available at: <https://doi.org/10.4103/0970-9290.35831>.

Bain, C.A. and Moy, P.K. (1993) 'The association between the failure of dental implants and cigarette smoking', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 8(6), pp. 609–615.

Bashutski, J.D. and Wang, H.-L. (2007) 'Common implant esthetic complications', *Implant Dentistry*, 16(4), pp. 340–348. Available at: <https://doi.org/10.1097/ID.0b013e318159ca05>.

Bednarz, W. (2011) 'The Thickness of Periodontal Soft Tissue Ultrasonic Examination—Current Possibilities and Perspectives', *Dental and Medical Problems*, 48.

Bednarz, W. and Zielińska, A. (2011) 'Ultrasonic biometer and its usage in an assessment of periodontal soft tissue thickness and comparison of its measurement accuracy with a bone sounding method', *Dental and Medical Problems*, 48, pp. 481–489.

Behneke, A., Behneke, N. and d'Hoedt, B. (2000) 'Treatment of peri-implantitis defects with autogenous bone grafts: six-month to 3-year results of a prospective study in 17 patients', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 15(1), pp. 125–138.

Belibasakis, G.N. (2014) 'Microbiological and immuno-pathological aspects of peri-implant diseases', *Archives of Oral Biology*, 59(1), pp. 66–72. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2013.09.013>.

Bergendal, T. and Engquist, B. (1998) 'Implant-supported overdentures: a longitudinal prospective study', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 13(2), pp. 253–262.

Berglundh, T. *et al.* (1991) 'The soft tissue barrier at implants and teeth', *Clinical Oral Implants Research*, 2(2), pp. 81–90. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1991.020206.x>.

Berglundh, T. *et al.* (2007) 'Spontaneous progression of ligature induced peri-implantitis at implants with different surface roughness: an experimental study in dogs', *Clinical Oral Implants Research*, 18(5), pp. 655–661. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2007.01397.x>.

Berglundh, T., Zitzmann, N.U. and Donati, M. (2011) 'Are peri-implantitis lesions different from periodontitis lesions?', *Journal of Clinical Periodontology*, 38(s11), pp. 188–202. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2010.01672.x>.

Bergström, J. (1973) 'Wear and hygiene status of toothbrushes in relation to some social background factors', *Svensk Tandlakare Tidskrift. Swedish Dental Journal*, 66(4), pp. 383–391.

Block, M.S. *et al.* (1996) 'Hydroxyapatite-coated cylindrical implants in the posterior mandible: 10-year observations', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 11(5), pp. 626–633.

Block, M.S. (2018) 'Dental Implants: The Last 100 Years', *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 76(1),

pp. 11–26. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.joms.2017.08.045>.

Bordin, S., Flemmig, T.F. and Verardi, S. (2009) 'Role of fibroblast populations in peri-implantitis', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 24(2), pp. 197–204.

Brånemark, P.I. *et al.* (1969) 'Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies', *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery*, 3(2), pp. 81–100. Available at: <https://doi.org/10.3109/02844316909036699>.

Brånemark, P.I. *et al.* (1970) '[Experimental studies on intra-osseous anchorage of dental prosthesis]', *Arsbok. Goteborgs Tandlakare-Sällskap*, pp. 9–25.

Brånemark, P.I. *et al.* (1977) 'Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period', *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery. Supplementum*, 16, pp. 1–132.

Brånemark, P.I. *et al.* (1980) '[Intraosseous implants]', *Odontostomatologia E Implantopotesi*, (1), pp. 24–25.

Brito, C. *et al.* (2014) 'Is keratinized mucosa indispensable to maintain peri-implant health? A systematic review of the literature', *Journal of Biomedical Materials Research. Part B, Applied Biomaterials*, 102(3), pp. 643–650. Available at: <https://doi.org/10.1002/jbm.b.33042>.

Brocard, D. *et al.* (2000) 'A multicenter report on 1,022 consecutively placed ITI implants: a 7-year longitudinal study', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 15(5), pp. 691–700.

Bryant, S.R., Walton, J.N. and MacEntee, M.I. (2015) 'A 5-year randomized trial to compare 1 or 2 implants for implant overdentures', *Journal of Dental Research*, 94(1), pp. 36–43. Available at: <https://doi.org/10.1177/0022034514554224>.

Bundesgesundheitsministerium (2021) *Rauchen*, Bundesgesundheitsministerium. Available at: <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/begriffe-von-a-z/r/rauchen.html> (Accessed: 22 September 2021).

Buser, D. *et al.* (1992) 'Soft tissue reactions to non-submerged unloaded titanium implants in beagle dogs', *Journal of Periodontology*, 63(3), pp. 225–235. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.1992.63.3.225>.

Buser, D. *et al.* (1999) 'Interface shear strength of titanium implants with a sandblasted and acid-etched surface: a biomechanical study in the maxilla of miniature pigs', *Journal of Biomedical Materials Research*, 45(2), pp. 75–83. Available at: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4636\(199905\)45:2<75::aid-jbm1>3.0.co;2-p](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4636(199905)45:2<75::aid-jbm1>3.0.co;2-p).

Buser, D. *et al.* (2013) 'Long-term stability of contour augmentation with early implant placement following single tooth extraction in the esthetic zone: a prospective, cross-sectional study in 41 patients with a 5- to 9-year follow-up', *Journal of Periodontology*, 84(11), pp. 1517–1527. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.2013.120635>.

Cairo, F. *et al.* (2016) 'Clinical efficacy of coronally advanced flap with or without connective tissue graft for the treatment of multiple adjacent gingival recessions in the aesthetic area: a randomized controlled clinical trial', *Journal of Clinical Periodontology*, 43(10), pp. 849–856. Available at: <https://doi.org/10.1111/jcpe.12590>.

Cairo, F., Nieri, M. and Pagliaro, U. (2014) 'Efficacy of periodontal plastic surgery procedures in the treatment of localized facial gingival recessions. A systematic review', *Journal of Clinical Periodontology*, 41 Suppl 15, pp. S44-62. Available at: <https://doi.org/10.1111/jcpe.12182>.

Carcuac, O. *et al.* (2013) 'Experimental periodontitis and peri-implantitis in dogs', *Clinical Oral Implants Research*, 24(4), pp. 363–371. Available at: <https://doi.org/10.1111/clr.12067>.

Carcuac, O. *et al.* (2017) 'Surgical treatment of peri-implantitis: 3-year results from a randomized controlled clinical trial', *Journal of Clinical Periodontology*, 44(12), pp. 1294–1303. Available at: <https://doi.org/10.1111/jcpe.12813>.

Cardaropoli, D. *et al.* (2004) 'Reconstruction of the maxillary midline papilla following a combined orthodontic-periodontic treatment in adult periodontal patients', *Journal of Clinical Periodontology*, 31(2), pp. 79–84. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.0303-6979.2004.00451.x>.

Carlsson, G.E. and Omar, R. (2010) 'The future of complete dentures in oral rehabilitation. A critical review', *Journal of Oral Rehabilitation*, 37(2), pp. 143–156. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2009.02039.x>.

Casado, P.L. *et al.* (2011) 'Identification of periodontal pathogens in healthy periimplant sites', *Implant Dentistry*, 20(3), pp. 226–235. Available at: <https://doi.org/10.1097/ID.0b013e3182199348>.

Chang, J. *et al.* (2021) 'The impact of smoking on non-surgical periodontal therapy: A systematic review and meta-analysis', *Journal of Clinical Periodontology*, 48(1), pp. 60–75. Available at: <https://doi.org/10.1111/jcpe.13384>.

Ciancio, S.G. *et al.* (1995) 'The effect of an antiseptic mouthrinse on implant maintenance: plaque and peri-implant gingival tissues', *Journal of Periodontology*, 66(11), pp. 962–965. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.1995.66.11.962>.

Claffey, N. *et al.* (2008) 'Surgical treatment of peri-implantitis', *Journal of Clinical*

*Periodontology*, 35(8 Suppl), pp. 316–332. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2008.01277.x>.

Clem, D. and Gunsolley, J.C. (2019) 'Peri-implantitis Treatment Using Er:YAG Laser and Bone Grafting. A Prospective Consecutive Case Series Evaluation: 1 Year Posttherapy', *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 39(4), pp. 479–489. Available at: <https://doi.org/10.11607/prd.4158>.

Cochran, D.L. *et al.* (2002) 'The use of reduced healing times on ITI implants with a sandblasted and acid-etched (SLA) surface: early results from clinical trials on ITI SLA implants', *Clinical Oral Implants Research*, 13(2), pp. 144–153. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.2002.130204.x>.

Costa, F.O. *et al.* (2012) 'Peri-implant disease in subjects with and without preventive maintenance: a 5-year follow-up', *Journal of Clinical Periodontology*, 39(2), pp. 173–181. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2011.01819.x>.

Dalago, H.R. *et al.* (2017) 'Risk indicators for Peri-implantitis. A cross-sectional study with 916 implants', *Clinical Oral Implants Research*, 28(2), pp. 144–150. Available at: <https://doi.org/10.1111/clr.12772>.

Daubert, D.M. *et al.* (2015) 'Prevalence and predictive factors for peri-implant disease and implant failure: a cross-sectional analysis', *Journal of Periodontology*, 86(3), pp. 337–347. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.2014.140438>.

De Rouck, T. *et al.* (2009) 'The gingival biotype revisited: transparency of the periodontal probe through the gingival margin as a method to discriminate thin from thick gingiva', *Journal of Clinical Periodontology*, 36(5), pp. 428–433. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2009.01398.x>.

Deppe, H. *et al.* (2001) 'Peri-implant care of ailing implants with the carbon dioxide laser', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 16(5), pp. 659–667.

Derks, J. *et al.* (2022) 'Reconstructive surgical therapy of peri-implantitis: A multicenter randomized controlled clinical trial', *Clinical Oral Implants Research*, 33(9), pp. 921–944. Available at: <https://doi.org/10.1111/clr.13972>.

Derks, J. and Tomasi, C. (2015) 'Peri-implant health and disease. A systematic review of current epidemiology', *Journal of Clinical Periodontology*, 42 Suppl 16, pp. S158-171. Available at: <https://doi.org/10.1111/jcpe.12334>.

Dohan Ehrenfest, D.M. *et al.* (2010) 'Classification of osseointegrated implant surfaces: materials, chemistry and topography', *Trends in Biotechnology*, 28(4), pp. 198–206. Available

at: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2009.12.003>.

*Durchschnittsalter der Bevölkerung in Deutschland nach Staatsangehörigkeit 2019* (2020) Statista. Available at:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/723069/umfrage/durchschnittsalter-der-bevoelkerung-in-deutschland-nach-staatsangehoerigkeit/> (Accessed: 28 September 2021).

E. Hellwig, J. Klimek, and T. Attin (2013) *Einführung in die Zahnerhaltung*. 6. Auflage. Deutscher Zahnärzte Verlag.

Eghbali, A. *et al.* (2009) 'The gingival biotype assessed by experienced and inexperienced clinicians', *Journal of Clinical Periodontology*, 36(11), pp. 958–963. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2009.01479.x>.

Ericsson, I. *et al.* (1992) 'Long-standing plaque and gingivitis at implants and teeth in the dog', *Clinical Oral Implants Research*, 3(3), pp. 99–103. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1992.030301.x>.

Esfahrood, Z.R., Kadkhodazadeh, M. and Talebi Ardakani, M.R. (2013) 'Gingival biotype: a review', *General Dentistry*, 61(4), pp. 14–17.

European Workshop on Periodontology (ed.) (1994) *Proceedings of the 1st European Workshop on Periodontology: Charter House at Ittingen, Thurgau, Switzerland, February 1 - 4, 1993, Consensus report of Session IV*. London Berlin Chicago São Paulo Tokyo Moscow Prague Warsaw: Quintessence Publ (Quintessence books), pp. 365–369.

Evans, C.D.J. and Chen, S.T. (2008) 'Esthetic outcomes of immediate implant placements', *Clinical Oral Implants Research*, 19(1), pp. 73–80. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2007.01413.x>.

Farina, R. *et al.* (2015) 'Change in the Gingival Margin Profile After the Single Flap Approach in Periodontal Intraosseous Defects', *Journal of Periodontology*, 86(9), pp. 1038–1046. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.2015.150040>.

Fernández-Gil, Á. *et al.* (2017) 'An In Vitro Model to Evaluate the Accuracy of Guided Implant Placement Based on the Surgeon's Experience', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 32(3), pp. 151–154. Available at: <https://doi.org/10.11607/jomi.5024>.

Fickl, D.S. (2018) 'Befestigte Mukosa. Etablierung von befestigter, keratinisierter Mukosa zur Stabilität der Weichgewebe: Darstellung zweier exemplarischer Fälle', *Z Zahnärztl Implantol*, (34), pp. 114–117. Available at: <https://doi.org/10.3238/ZZI.2018.0114-0117>.

Figuro, E. *et al.* (2014) 'Management of peri-implant mucositis and peri-implantitis', *Periodontology 2000*, 66(1), pp. 255–273. Available at: <https://doi.org/10.1111/prd.12049>.

Fischer, J., Wolfart, S. and Spiekermann, H. (2009) 'Implantate im parodontal kompromittierten Gebiss – Bewertung der Erfolgsaussichten –', *ZZI*, 25, pp. 33–42.

Fortes, J.H. *et al.* (2019) 'Influence of 2D vs 3D imaging and professional experience on dental implant treatment planning', *Clinical Oral Investigations*, 23(2), pp. 929–936. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2511-1>.

Fox, S.C., Moriarty, J.D. and Kusy, R.P. (1990) 'The effects of scaling a titanium implant surface with metal and plastic instruments: an in vitro study', *Journal of Periodontology*, 61(8), pp. 485–490. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.1990.61.8.485>.

Friberg, B. *et al.* (1997) 'Mk II: the self-tapping Brånemark implant: 5-year results of a prospective 3-center study', *Clinical Oral Implants Research*, 8(4), pp. 279–285. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1997.080405.x>.

Frisch, E. *et al.* (2015) 'The effect of keratinized mucosa width on peri-implant outcome under supportive postimplant therapy', *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 17 Suppl 1, pp. e236-244. Available at: <https://doi.org/10.1111/cid.12187>.

Fugazzotto, P.A. (2008) 'Shorter implants in clinical practice: rationale and treatment results', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 23(3), pp. 487–496.

Fürhauser, R. *et al.* (2005) 'Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score', *Clinical Oral Implants Research*, 16(6), pp. 639–644. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2005.01193.x>.

Garlini, G. *et al.* (2003) 'Retrospective clinical study of Osseotite implants: zero- to 5-year results', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 18(4), pp. 589–593.

Gentile, M.A., Chuang, S.-K. and Dodson, T.B. (2005) 'Survival estimates and risk factors for failure with 6 x 5.7-mm implants', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 20(6), pp. 930–937.

Golub, L.M. *et al.* (1985) 'Tetracyclines Inhibit Tissue Collagenases: Effects of Ingested Low-Dose and Local Delivery Systems', *Journal of Periodontology*, 56 Suppl 11S, pp. 93–97. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.1985.56.11s.93>.

Gopal, T., Rohinikumar, S. and Nesappan, T. (2020) 'Association of Gingival Biotype and Soft Tissue Healing One Week after Implant Placement', *Journal of long-term effects of medical implants*, 30(3). Available at: <https://doi.org/10.1615/JLongTermEffMedImplants.2020035967>.

Gosau, M. *et al.* (2010) 'Effect of six different peri-implantitis disinfection methods on in vivo human oral biofilm', *Clinical Oral Implants Research*, 21(8), pp. 866–872. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2009.01908.x>.

Grafelmann, H.L. and Brandt, H.H. (1970) '[Experiences with Linkow endosseous extension implants]', *Die Quintessenz*, 21(11), pp. 27–34.

Graziani, F. *et al.* (2015) 'Clinical performance of access flap in the treatment of class II furcation defects. A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials', *Journal of Clinical Periodontology*, 42(2), pp. 169–181. Available at: <https://doi.org/10.1111/jcpe.12327>.

Graziani, F., Figuero, E. and Herrera, D. (2012) 'Systematic review of quality of reporting, outcome measurements and methods to study efficacy of preventive and therapeutic approaches to peri-implant diseases', *Journal of Clinical Periodontology*, 39 Suppl 12, pp. 224–244. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2011.01832.x>.

Greenfield, E.J. (2008) 'Implantation of artificial crown and bridge abutments', in *Implantation of artificial crown and bridge abutments*. Compend Contin Educ Dent, pp. 232–7.

Gupta, R., Gupta, N. and Weber, K.K. (2020) 'Dental Implants', in *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470448/> (Accessed: 13 January 2021).

Hardt, C.R.E. *et al.* (2002) 'Outcome of implant therapy in relation to experienced loss of periodontal bone support: a retrospective 5- year study', *Clinical Oral Implants Research*, 13(5), pp. 488–494. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.2002.130507.x>.

Harks, I. *et al.* (2015) 'Is progression of periodontitis relevantly influenced by systemic antibiotics? A clinical randomized trial', *Journal of Clinical Periodontology*, 42(9), pp. 832–842. Available at: <https://doi.org/10.1111/jcpe.12441>.

Harris, D. *et al.* (2012) 'E.A.O. guidelines for the use of diagnostic imaging in implant dentistry 2011. A consensus workshop organized by the European Association for Osseointegration at the Medical University of Warsaw', *Clinical Oral Implants Research*, 23(11), pp. 1243–1253. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02441.x>.

Heitz-Mayfield, L.J.A. *et al.* (2002) 'A systematic review of the effect of surgical debridement vs non-surgical debridement for the treatment of chronic periodontitis', *Journal of Clinical Periodontology*, 29 Suppl 3, pp. 92–102; discussion 160-162. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-051x.29.s3.5.x>.

Heitz-Mayfield, L.J.A. (2008) 'Peri-implant diseases: diagnosis and risk indicators', *Journal of Clinical Periodontology*, 35(8 Suppl), pp. 292–304. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2008.01275.x>.

Heitz-Mayfield, L.J.A. *et al.* (2011) 'Anti-infective treatment of peri-implant mucositis: a

randomised controlled clinical trial', *Clinical Oral Implants Research*, 22(3), pp. 237–241. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2010.02078.x>.

Heitz-Mayfield, L.J.A. and Lang, N.P. (2010) 'Comparative biology of chronic and aggressive periodontitis vs. peri-implantitis', *Periodontology 2000*, 53, pp. 167–181. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.2010.00348.x>.

Heitz-Mayfield, L.J.A. and Mombelli, A. (2014) 'The therapy of peri-implantitis: a systematic review', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 29 Suppl, pp. 325–345. Available at: <https://doi.org/10.11607/jomi.2014suppl.g5.3>.

Heitz-Mayfield, L.J.A. and Salvi, G.E. (2018) 'Peri-implant mucositis', *Journal of Clinical Periodontology*, 45 Suppl 20, pp. S237–S245. Available at: <https://doi.org/10.1111/jcpe.12953>.

Heydari, M., Ataei, A. and Riahi, S.M. (2021) 'Long-Term Effect of Keratinized Tissue Width on Peri-implant Health Status Indices: An Updated Systematic Review and Meta-analysis', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 36(6), pp. 1065–1075. Available at: <https://doi.org/10.11607/jomi.8973>.

Hinckfuss, S. *et al.* (2012) 'Effect of surgical guide design and surgeon's experience on the accuracy of implant placement', *The Journal of Oral Implantology*, 38(4), pp. 311–323. Available at: <https://doi.org/10.1563/AAID-JOI-D-10-00046>.

Hjalmarsson, L., Gheisarifar, M. and Jemt, T. (2016) 'A systematic review of survival of single implants as presented in longitudinal studies with a follow-up of at least 10 years', *European Journal of Oral Implantology*, 9 Suppl 1, pp. S155-162.

Hoexter, D.L. and Epstein, S.B. (1975) 'The Poncho Flap (repositioned perforated attached gingival flap)', *Oral Implantology*, 5(4), pp. 547–552.

Isler, S.C. *et al.* (2019) 'An Evaluation of the Relationship Between Peri-implant Soft Tissue Biotype and the Severity of Peri-implantitis: A Cross-Sectional Study', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 34(1), pp. 187–196. Available at: <https://doi.org/10.11607/jomi.6958>.

Ivanoff, C.J. *et al.* (1999) 'Influence of variations in implant diameters: a 3- to 5-year retrospective clinical report', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 14(2), pp. 173–180.

Jan, L. and Lang, N.P. (2015) *Clinical Periodontology and Implant Dentistry, 2 Volume Set, 6th Edition* | Wiley.

Jang, H.-W. *et al.* (2011) 'A retrospective study on related factors affecting the survival rate of dental implants', *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 3(4), pp. 204–215. Available at:

<https://doi.org/10.4047/jap.2011.3.4.204>.

Januário, A.L. *et al.* (2011) 'Dimension of the facial bone wall in the anterior maxilla: a cone-beam computed tomography study', *Clinical Oral Implants Research*, 22(10), pp. 1168–1171. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2010.02086.x>.

Jemt, T. (1997) 'Regeneration of gingival papillae after single-implant treatment', *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 17(4), pp. 326–333.

Jemt, T. *et al.* (2016) 'Early Implant Failures Related to Individual Surgeons: An Analysis Covering 11,074 Operations Performed during 28 Years', *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 18(5), pp. 861–872. Available at: <https://doi.org/10.1111/cid.12379>.

Jepsen, S. *et al.* (2015) 'Primary prevention of peri-implantitis: managing peri-implant mucositis', *Journal of Clinical Periodontology*, 42 Suppl 16, pp. S152-157. Available at: <https://doi.org/10.1111/jcpe.12369>.

Jepsen, S. *et al.* (2018) 'Periodontal manifestations of systemic diseases and developmental and acquired conditions: Consensus report of workgroup 3 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions', *Journal of Periodontology*, 89 Suppl 1, pp. S237–S248. Available at: <https://doi.org/10.1002/JPER.17-0733>.

Jockel-Schneider, D.Y. (2018) 'S3-Leitlinie (Langversion) Adjuvante systemische Antibiotikagabe bei subgingivaler Instrumentierung im Rahmen der systematischen Parodontitistherapie'.

Johnson, G.K. and Hill, M. (2004) 'Cigarette smoking and the periodontal patient', *Journal of Periodontology*, 75(2), pp. 196–209. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.2004.75.2.196>.

Jones, F.H. (2001) 'Teeth and bones: applications of surface science to dental materials and related biomaterials', *Surface Science Reports*, 42(3), pp. 75–205. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0167-5729\(00\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0167-5729(00)00011-X).

Jung, R.E. *et al.* (2007) 'In vitro color changes of soft tissues caused by restorative materials', *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 27(3), pp. 251–257.

Jung, R.E. *et al.* (2008) 'A systematic review of the 5-year survival and complication rates of implant-supported single crowns', *Clinical Oral Implants Research*, 19(2), pp. 119–130. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2007.01453.x>.

Kan, J.Y.K. *et al.* (2011) 'Facial gingival tissue stability following immediate placement and provisionalization of maxillary anterior single implants: a 2- to 8-year follow-up', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 26(1), pp. 179–187.

Karoussis, I.K. *et al.* (2003) 'Long-term implant prognosis in patients with and without a history of chronic periodontitis: a 10-year prospective cohort study of the ITI Dental Implant System', *Clinical Oral Implants Research*, 14(3), pp. 329–339. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.000.00934.x>.

Karring, T., Lang, N.P. and Löe, H. (1975) 'The role of gingival connective tissue in determining epithelial differentiation', *Journal of Periodontal Research*, 10(1), pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.1975.tb00001.x>.

Kellett, M. and Smith, G.A. (1991) 'The epithelial interface with osseointegrated implants', *Dental Health*, 30(3), pp. 6–9, 12.

Khoury, F. and Buchmann, R. (2001) 'Surgical therapy of peri-implant disease: a 3-year follow-up study of cases treated with 3 different techniques of bone regeneration', *Journal of Periodontology*, 72(11), pp. 1498–1508. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.2001.72.11.1498>.

Klokkevold, P.R. *et al.* (1997) 'Osseointegration enhanced by chemical etching of the titanium surface. A torque removal study in the rabbit.', *Clinical Oral Implants Research*, 8(6), pp. 442–447. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1997.080601.x>.

Kozlovsky, A., Rapaport, A. and Artzi, Z. (2018) 'Influence of operator skill level on the clinical outcome of non-surgical periodontal treatment: a retrospective study', *Clinical Oral Investigations*, 22(8), pp. 2927–2932. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2380-7>.

Kreisler, M. *et al.* (2002) 'Bactericidal effect of the Er:YAG laser on dental implant surfaces: an in vitro study', *Journal of Periodontology*, 73(11), pp. 1292–1298. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.2002.73.11.1292>.

Krennmair, G. *et al.* (2010) 'Clinical outcome of root-shaped dental implants of various diameters: 5-year results', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 25(2), pp. 357–366.

Ladwein, C. *et al.* (2015) 'Is the presence of keratinized mucosa associated with periimplant tissue health? A clinical cross-sectional analysis', *International Journal of Implant Dentistry*, 1(1), p. 11. Available at: <https://doi.org/10.1186/s40729-015-0009-z>.

Lambert, P.M., Morris, H.F. and Ochi, S. (2000) 'The influence of smoking on 3-year clinical success of osseointegrated dental implants', *Annals of Periodontology*, 5(1), pp. 79–89. Available at: <https://doi.org/10.1902/annals.2000.5.1.79>.

Lang, N.P. *et al.* (1991) 'Bleeding on probing as it relates to probing pressure and gingival

health', *Journal of Clinical Periodontology*, 18(4), pp. 257–261. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.1991.tb00424.x>.

Lang, N.P. *et al.* (2004) 'Consensus statements and recommended clinical procedures regarding implant survival and complications', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 19 Suppl, pp. 150–154.

Lang, N.P. and Berglundh, T. (2011) 'Periimplant diseases: where are we now? – Consensus of the Seventh European Workshop on Periodontology', *Journal of Clinical Periodontology*, 38(s11), pp. 178–181. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2010.01674.x>.

Lang, N.P., Bosshardt, D.D. and Lulic, M. (2011) 'Do mucositis lesions around implants differ from gingivitis lesions around teeth?', *Journal of Clinical Periodontology*, 38 Suppl 11, pp. 182–187. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2010.01667.x>.

Lazzara, R.J. *et al.* (1999) 'A human histologic analysis of osseotite and machined surfaces using implants with 2 opposing surfaces', *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 19(2), pp. 117–129.

Le Guéhennec, L. *et al.* (2007) 'Surface treatments of titanium dental implants for rapid osseointegration', *Dental Materials*, 23(7), pp. 844–854. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2006.06.025>.

Lee, A., Fu, J.-H. and Wang, H.-L. (2011) 'Soft tissue biotype affects implant success', *Implant Dentistry*, 20(3), pp. e38-47. Available at: <https://doi.org/10.1097/ID.0b013e3182181d3d>.

Lee, B.-H. *et al.* (2002) 'Surface modification by alkali and heat treatments in titanium alloys', *Journal of Biomedical Materials Research*, 61(3), pp. 466–473. Available at: <https://doi.org/10.1002/jbm.10190>.

Leite, F.R.M. *et al.* (2018) 'Effect of Smoking on Periodontitis: A Systematic Review and Meta-regression', *American Journal of Preventive Medicine*, 54(6), pp. 831–841. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2018.02.014>.

Lekholm, U. *et al.* (1999) 'Survival of the Brånemark implant in partially edentulous jaws: a 10-year prospective multicenter study', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 14(5), pp. 639–645.

Leonhardt, A., Dahlén, G. and Renvert, S. (2003) 'Five-year clinical, microbiological, and radiological outcome following treatment of peri-implantitis in man', *Journal of Periodontology*, 74(10), pp. 1415–1422. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.2003.74.10.1415>.

Leonhardt, A., Renvert, S. and Dahlén, G. (1999) 'Microbial findings at failing implants', *Clinical Oral Implants Research*, 10(5), pp. 339–345. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-105>

0501.1999.100501.x.

Levignac, J. (1965) '[Periimplantation osteolysis- periimplantosis - periimplantitis]', *Revue Francaise D'odonto-Stomatologie*, 12(8), pp. 1251–1260.

Lin, G.-H., Chan, H.-L. and Wang, H.-L. (2013) 'The significance of keratinized mucosa on implant health: a systematic review', *Journal of Periodontology*, 84(12), pp. 1755–1767. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.2013.120688>.

Lin, G.-H., Suárez López Del Amo, F. and Wang, H.-L. (2018) 'Laser therapy for treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: An American Academy of Periodontology best evidence review', *Journal of Periodontology*, 89(7), pp. 766–782. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.2017.160483>.

Lin, T. *et al.* (2021) 'The "Er:YAG laser-assisted periimplantitis total therapy (Er:LPTT)"-a novel procedure to perform periimplantitis treatment with bone regeneration therapy', *Journal of Dental Sciences*, 16(4), pp. 1302–1304. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jds.2021.05.006>.

Lindhe, J., Meyle, J., and Group D of European Workshop on Periodontology (2008) 'Peri-implant diseases: Consensus Report of the Sixth European Workshop on Periodontology', *Journal of Clinical Periodontology*, 35(8 Suppl), pp. 282–285. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2008.01283.x>.

Listgarten, M.A. *et al.* (1991) 'Periodontal tissues and their counterparts around endosseous implants [corrected and republished with original paging, article originally printed in Clin Oral Implants Res 1991 Jan-Mar;2(1):1-19]', *Clinical Oral Implants Research*, 2(3), pp. 1–19. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1991.020309.x>.

Louropoulou, A., Slot, D.E. and Van der Weijden, F. (2014) 'The effects of mechanical instruments on contaminated titanium dental implant surfaces: a systematic review', *Clinical Oral Implants Research*, 25(10), pp. 1149–1160. Available at: <https://doi.org/10.1111/clr.12224>.

Lucateli, R.L. *et al.* (2018) 'Doxycycline and Autogenous Bone in Repair of Critical-Size Defects', *Implant Dentistry*, 27(4), pp. 461–466. Available at: <https://doi.org/10.1097/ID.0000000000000783>.

Maggiolo, J. n 2006183567 (1807) *Le manuel de l'art du dentiste, ou, L'État actuel des découvertes modernes sur la dentition : les moyens de conserver les dents en bon état : les mécaniques nouvelles inventées par M. Maggiolo : et tous les détails pratiques et moyens d'exécution des dents artificielles, etc.* Imprimé à Nancy : [publisher not identified]. Available

at: <http://archive.org/details/b2201407x> (Accessed: 10 January 2021).

Mameno, T. *et al.* (2019) 'Longitudinal study on risk indicators for peri-implantitis using survival-time analysis', *Journal of Prosthodontic Research*, 63(2), pp. 216–220. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2018.12.002>.

Mendonça, G. *et al.* (2008) 'Advancing dental implant surface technology – From micron- to nanotopography', *Biomaterials*, 29(28), pp. 3822–3835. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.05.012>.

Misch, C.E. *et al.* (2008) 'Implant success, survival, and failure: the International Congress of Oral Implantologists (ICOI) Pisa Consensus Conference', *Implant Dentistry*, 17(1), pp. 5–15. Available at: <https://doi.org/10.1097/ID.0b013e3181676059>.

Moëne, R. *et al.* (2010) 'Subgingival plaque removal using a new air-polishing device', *Journal of Periodontology*, 81(1), pp. 79–88. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.2009.090394>.

Moheng, P. and Feryn, J.-M. (2005) 'Clinical and biologic factors related to oral implant failure: a 2-year follow-up study', *Implant Dentistry*, 14(3), pp. 281–288. Available at: <https://doi.org/10.1097/01.id.0000173626.00889.15>.

Mombelli, A. *et al.* (1987) 'The microbiota associated with successful or failing osseointegrated titanium implants', *Oral Microbiology and Immunology*, 2(4), pp. 145–151. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1399-302x.1987.tb00298.x>.

Mombelli, A. and Lang, N.P. (1992) 'Antimicrobial treatment of peri-implant infections', *Clinical Oral Implants Research*, 3(4), pp. 162–168. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1992.030402.x>.

Mombelli, A. and Lang, N.P. (1998) 'The diagnosis and treatment of peri-implantitis', *Periodontology 2000*, 17(1), pp. 63–76. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.1998.tb00124.x>.

Mombelli, A., Müller, N. and Cionca, N. (2012) 'The epidemiology of peri-implantitis', *Clinical Oral Implants Research*, 23 Suppl 6, pp. 67–76. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02541.x>.

Monje, A. *et al.* (2018) 'Diagnostic accuracy of clinical parameters to monitor peri-implant conditions: A matched case-control study', *Journal of Periodontology*, 89(4), pp. 407–417. Available at: <https://doi.org/10.1002/JPER.17-0454>.

Moy, P.K. *et al.* (2005) 'Dental implant failure rates and associated risk factors', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 20(4), pp. 569–577.

Müller, H.P. *et al.* (2000) 'Masticatory mucosa in subjects with different periodontal phenotypes', *Journal of Clinical Periodontology*, 27(9), pp. 621–626. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-051x.2000.027009621.x>.

Müller, H.-P. and Eger, T. (2002) 'Masticatory mucosa and periodontal phenotype: a review', *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 22(2), pp. 172–183.

Müller, R. (1937) 'Bericht der 74. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Düsseldorf, 30.7. - 4.8.1937', *JF Lehmann, München Berlin*, (Teil I), pp. 53–54.

Naert, I. *et al.* (2002) 'Biologic outcome of implant-supported restorations in the treatment of partial edentulism. part I: a longitudinal clinical evaluation', *Clinical Oral Implants Research*, 13(4), pp. 381–389. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.2002.130406.x>.

Naujokat H, Bormann KH, Jakobs W, Wiegner JU, Wiltfang J (LL-Koordinator), H. (2016) 'S3 Leitlinie Zahnimplantate bei Diabetes mellitus'. AWMF.

Nitzan, D. *et al.* (2005) 'Impact of smoking on marginal bone loss', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 20(4), pp. 605–609.

Noelken, R. *et al.* (2018) 'Clinical and esthetic outcome with immediate insertion and provisionalization with or without connective tissue grafting in presence of mucogingival recessions: A retrospective analysis with follow-up between 1 and 8 years', *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 20(3), pp. 285–293. Available at: <https://doi.org/10.1111/cid.12595>.

Noelken, R. and Al-Nawas, B. (2020) 'A modified surgical approach for hard and soft tissue reconstruction of severe periimplantitis defects: laser-assisted periimplant defect regeneration (LAPIDER)', *International Journal of Implant Dentistry*, 6(1), p. 22. Available at: <https://doi.org/10.1186/s40729-020-00218-6>.

Obreja, K. *et al.* (2021) 'The influence of soft-tissue volume grafting on the maintenance of peri-implant tissue health and stability', *International Journal of Implant Dentistry*, 7(1), p. 15. Available at: <https://doi.org/10.1186/s40729-021-00295-1>.

Ochsenbein, C. and Ross, S. (1969) 'A reevaluation of osseous surgery', *Dental Clinics of North America*, 13(1), pp. 87–102.

Øen, M. *et al.* (2021) 'The efficacy of systemic antibiotics as an adjunct to surgical treatment of peri-implantitis: a systematic review', *BMC oral health*, 21(1), p. 666. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12903-021-02020-1>.

Olsson, M. and Lindhe, J. (1991) 'Periodontal characteristics in individuals with varying form

of the upper central incisors', *Journal of Clinical Periodontology*, 18(1), pp. 78–82. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.1991.tb01124.x>.

Ong, C.T.T. *et al.* (2008) 'Systematic review of implant outcomes in treated periodontitis subjects', *Journal of Clinical Periodontology*, 35(5), pp. 438–462. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2008.01207.x>.

Papadopoulos, C.A. *et al.* (2015) 'The utilization of a diode laser in the surgical treatment of peri-implantitis. A randomized clinical trial', *Clinical Oral Investigations*, 19(8), pp. 1851–1860. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00784-014-1397-9>.

Peppmeier, F. (1975) '[Modified pin placement method by Pruin]', *Die Quintessenz*, 26(10), pp. 21–27.

Pieri, F. *et al.* (2013) 'Esthetic outcome and tissue stability of maxillary anterior single-tooth implants following reconstruction with mandibular block grafts: a 5-year prospective study', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 28(1), pp. 270–280. Available at: <https://doi.org/10.11607/jomi.2560>.

Pjetursson, B.E. and Heimisdottir, K. (2018) 'Dental implants - are they better than natural teeth?', *European Journal of Oral Sciences*, 126 Suppl 1, pp. 81–87. Available at: <https://doi.org/10.1111/eos.12543>.

Pommer, B. *et al.* (2016) 'Periimplantitis Treatment: Long-Term Comparison of Laser Decontamination and Implantoplasty Surgery', *Implant Dentistry*, 25(5), pp. 646–649. Available at: <https://doi.org/10.1097/ID.0000000000000461>.

Pontoriero, R. *et al.* (1994) 'Experimentally induced peri-implant mucositis. A clinical study in humans', *Clinical Oral Implants Research*, 5(4), pp. 254–259. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1994.050409.x>.

Pranskunas, M. *et al.* (2016) 'Influence of Peri-Implant Soft Tissue Condition and Plaque Accumulation on Peri-Implantitis: a Systematic Review', *Journal of Oral & Maxillofacial Research*, 7(3), p. e2. Available at: <https://doi.org/10.5037/jomr.2016.7302>.

Quirynen, M. *et al.* (1996) 'The influence of titanium abutment surface roughness on plaque accumulation and gingivitis: short-term observations', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 11(2), pp. 169–178.

Quirynen, M. and Bollen, C.M. (1995) 'The influence of surface roughness and surface-free energy on supra- and subgingival plaque formation in man. A review of the literature', *Journal of Clinical Periodontology*, 22(1), pp. 1–14. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.1995.tb01765.x>.

Rahimi-Nedjat, R.K. *et al.* (2016) 'Diabetes Mellitus and Its Association to the Occurrence of Medication-Related Osteonecrosis of the Jaw', *Dentistry Journal*, 4(2). Available at: <https://doi.org/10.3390/dj4020017>.

Rahimi-Nedjat, R.K. *et al.* (2017) 'Diabetes and hyperglycemia as risk factors for postoperative outcome in maxillofacial surgery', *The Journal of Surgical Research*, 217, pp. 170–176. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.05.021>.

Ramanauskaitė, A., Fretwurst, T. and Schwarz, F. (2021) 'Efficacy of alternative or adjunctive measures to conventional non-surgical and surgical treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: a systematic review and meta-analysis', *International Journal of Implant Dentistry*, 7(1), p. 112. Available at: <https://doi.org/10.1186/s40729-021-00388-x>.

Ramseier, C.A. *et al.* (2021) 'Effect of Age on Bleeding on Probing (BOP) as an Indicator of Periodontal Inflammation in Patients Enrolled in Supportive Periodontal Therapy', *Oral Health & Preventive Dentistry*, 19(1), pp. 43–50. Available at: <https://doi.org/10.3290/j.ohpd.b898947>.

Renvert, S. *et al.* (2008) 'Mechanical and repeated antimicrobial therapy using a local drug delivery system in the treatment of peri-implantitis: a randomized clinical trial', *Journal of Periodontology*, 79(5), pp. 836–844. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.2008.070347>.

Renvert, S. *et al.* (2009) 'Mechanical non-surgical treatment of peri-implantitis: a double-blind randomized longitudinal clinical study. I: clinical results', *Journal of Clinical Periodontology*, 36(7), pp. 604–609. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2009.01421.x>.

Renvert, S. *et al.* (2011) 'Treatment of peri-implantitis using an Er:YAG laser or an air-abrasive device: a randomized clinical trial', *Journal of Clinical Periodontology*, 38(1), pp. 65–73. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2010.01646.x>.

Renvert, S. *et al.* (2021) 'Surgical treatment of peri-implantitis with or without a deproteinized bovine bone mineral and a native bilayer collagen membrane: A randomized clinical trial', *Journal of Clinical Periodontology*, 48(10), pp. 1312–1321. Available at: <https://doi.org/10.1111/jcpe.13513>.

Renvert, S. and Giovannoli, J.L. (2014) *Periimplantitis*. 1. Auflage. Berlin: Quintessenz Verlag, ISBN: 978-3-86867-191-9.

Renvert, S., Lindahl, C. and Persson, G.R. (2018) 'Occurrence of cases with peri-implant mucositis or peri-implantitis in a 21-26 years follow-up study', *Journal of Clinical Periodontology*, 45(2), pp. 233–240. Available at: <https://doi.org/10.1111/jcpe.12822>.

Renvert, S. and Polyzois, I. (2018) 'Treatment of pathologic peri-implant pockets', *Periodontology 2000*, 76(1), pp. 180–190. Available at: <https://doi.org/10.1111/prd.12149>.

Renvert, S., Polyzois, I. and Claffey, N. (2011) 'How do implant surface characteristics influence peri-implant disease?', *Journal of Clinical Periodontology*, 38 Suppl 11, pp. 214–222. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2010.01661.x>.

Renvert, S., Roos-Jansåker, A.-M. and Claffey, N. (2008) 'Non-surgical treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: a literature review', *Journal of Clinical Periodontology*, 35(8 Suppl), pp. 305–315. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2008.01276.x>.

Roccuzzo, M. *et al.* (2011) 'Surgical therapy of peri-implantitis lesions by means of a bovine-derived xenograft: comparative results of a prospective study on two different implant surfaces', *Journal of Clinical Periodontology*, 38(8), pp. 738–745. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2011.01742.x>.

Ronay, V. *et al.* (2017) 'In vitro cleaning potential of three implant debridement methods. Simulation of the non-surgical approach', *Clinical Oral Implants Research*, 28(2), pp. 151–155. Available at: <https://doi.org/10.1111/clr.12773>.

Roos-Jansåker, A.-M., Lindahl, C., *et al.* (2006) 'Nine- to fourteen-year follow-up of implant treatment. Part II: presence of peri-implant lesions', *Journal of Clinical Periodontology*, 33(4), pp. 290–295. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2006.00906.x>.

Roos-Jansåker, A.-M., Renvert, H., *et al.* (2006) 'Nine- to fourteen-year follow-up of implant treatment. Part III: factors associated with peri-implant lesions', *Journal of Clinical Periodontology*, 33(4), pp. 296–301. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2006.00908.x>.

Rungcharassaeng, K. *et al.* (2015) 'Accuracy of computer-guided surgery: A comparison of operator experience', *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(3), pp. 407–413. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.04.004>.

Sahm, N. *et al.* (2011) 'Non-surgical treatment of peri-implantitis using an air-abrasive device or mechanical debridement and local application of chlorhexidine: a prospective, randomized, controlled clinical study', *Journal of Clinical Periodontology*, 38(9), pp. 872–878. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2011.01762.x>.

Sahrman, P. *et al.* (2020) 'The Microbiome of Peri-Implantitis: A Systematic Review and Meta-Analysis', *Microorganisms*, 8(5), p. 661. Available at: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050661>.

Sakkas, A. *et al.* (2017) 'Autogenous bone grafts in oral implantology-is it still a “gold standard”? A consecutive review of 279 patients with 456 clinical procedures', *International Journal of Implant Dentistry*, 3(1), p. 23. Available at: <https://doi.org/10.1186/s40729-017->

0084-4.

Salvi, G.E. *et al.* (2015) 'Temporal sequence of hard and soft tissue healing around titanium dental implants', *Periodontology* 2000, 68(1), pp. 135–152. Available at: <https://doi.org/10.1111/prd.12054>.

Sánchez-Pérez, A., Moya-Villaescusa, M.J. and Caffesse, R.G. (2007) 'Tobacco as a risk factor for survival of dental implants', *Journal of Periodontology*, 78(2), pp. 351–359. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.2007.060299>.

Schaller, D.K. *et al.* (2010) 'Rauchen und Mundgesundheit: Erkrankungen des Zahn-, Mund- und Kieferbereiches und Interventionsstrategien für Zahnärzte', *Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg*, 13, pp. 5–67.

Schär, D. *et al.* (2013) 'Anti-infective therapy of peri-implantitis with adjunctive local drug delivery or photodynamic therapy: six-month outcomes of a prospective randomized clinical trial', *Clinical Oral Implants Research*, 24(1), pp. 104–110. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02494.x>.

Schiller, L.E., Jaker, F.W. and Pollack, A. (1968) 'Scialom pin implants', *The Journal of the New Jersey State Dental Society*, 39(10), pp. 387–394.

Schimmel, M. *et al.* (2018) 'Effect of advanced age and/or systemic medical conditions on dental implant survival: A systematic review and meta-analysis', *Clinical Oral Implants Research*, 29 Suppl 16, pp. 311–330. Available at: <https://doi.org/10.1111/clr.13288>.

Schmage, P. *et al.* (2012) 'Effects of 10 cleaning instruments on four different implant surfaces', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 27(2), pp. 308–317.

Schou, S. (2008) 'Implant treatment in periodontitis-susceptible patients: a systematic review', *Journal of Oral Rehabilitation*, 35 Suppl 1, pp. 9–22. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2007.01830.x>.

Schroeder, A. *et al.* (1981) 'The reactions of bone, connective tissue, and epithelium to endosteal implants with titanium-sprayed surfaces', *Journal of Maxillofacial Surgery*, 9(1), pp. 15–25. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0301-0503\(81\)80007-0](https://doi.org/10.1016/s0301-0503(81)80007-0).

Schwarz, F. *et al.* (2003) 'Effects of an Er:YAG laser and the Vector ultrasonic system on the biocompatibility of titanium implants in cultures of human osteoblast-like cells', *Clinical Oral Implants Research*, 14(6), pp. 784–792. Available at: <https://doi.org/10.1046/j.0905-7161.2003.00954.x>.

Schwarz, F. *et al.* (2005) 'Clinical evaluation of an Er:YAG laser for nonsurgical treatment of peri-implantitis: a pilot study', *Clinical Oral Implants Research*, 16(1), pp. 44–52. Available at:

<https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2004.01051.x>.

Schwarz, F. *et al.* (2006) 'Healing of intrabony peri-implantitis defects following application of a nanocrystalline hydroxyapatite (Ostim) or a bovine-derived xenograft (Bio-Oss) in combination with a collagen membrane (Bio-Gide). A case series', *Journal of Clinical Periodontology*, 33(7), pp. 491–499. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2006.00936.x>.

Schwarz, F. *et al.* (2007) 'Comparison of naturally occurring and ligature-induced peri-implantitis bone defects in humans and dogs', *Clinical Oral Implants Research*, 18(2), pp. 161–170. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2006.01320.x>.

Schwarz, F. *et al.* (2008) 'Two-year clinical results following treatment of peri-implantitis lesions using a nanocrystalline hydroxyapatite or a natural bone mineral in combination with a collagen membrane', *Journal of Clinical Periodontology*, 35(1), pp. 80–87. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2007.01168.x>.

Schwarz, F., Ferrari, D., *et al.* (2009) 'Influence of different air-abrasive powders on cell viability at biologically contaminated titanium dental implants surfaces', *Journal of Biomedical Materials Research. Part B, Applied Biomaterials*, 88(1), pp. 83–91. Available at: <https://doi.org/10.1002/jbm.b.31154>.

Schwarz, F., Sahm, N., *et al.* (2009) 'Surgical regenerative treatment of peri-implantitis lesions using a nanocrystalline hydroxyapatite or a natural bone mineral in combination with a collagen membrane: a four-year clinical follow-up report', *Journal of Clinical Periodontology*, 36(9), pp. 807–814. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2009.01443.x>.

Schwarz, F. *et al.* (2010) 'Impact of defect configuration on the clinical outcome following surgical regenerative therapy of peri-implantitis', *Journal of Clinical Periodontology*, 37(5), pp. 449–455. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2010.01540.x>.

Schwarz, F. *et al.* (2013) 'Four-year follow-up of combined surgical therapy of advanced peri-implantitis evaluating two methods of surface decontamination', *Journal of Clinical Periodontology*, 40(10), pp. 962–967. Available at: <https://doi.org/10.1111/jcpe.12143>.

Schwarz, F. *et al.* (2017) 'Combined surgical therapy of advanced peri-implantitis evaluating two methods of surface decontamination: a 7-year follow-up observation', *Journal of Clinical Periodontology*, 44(3), pp. 337–342. Available at: <https://doi.org/10.1111/jcpe.12648>.

Schwarz, F. *et al.* (2018) 'Peri-implantitis', *Journal of Periodontology*, 89 Suppl 1, pp. S267–S290. Available at: <https://doi.org/10.1002/JPER.16-0350>.

Schwarz, F. *et al.* (2022) 'Surgical therapy of peri-implantitis', *Periodontology 2000*, 88(1), pp.

145–181. Available at: <https://doi.org/10.1111/prd.12417>.

Schwarz, F. and Becker, J. (2016) 'S3-Leitlinie: Die Behandlung periimplantärer Infektionen an Zahnimplantaten', *AWMF* [Preprint].

Schwarz, F., Schmucker, A. and Becker, J. (2015) 'Efficacy of alternative or adjunctive measures to conventional treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: a systematic review and meta-analysis', *International Journal of Implant Dentistry*, 1(1), p. 22. Available at: <https://doi.org/10.1186/s40729-015-0023-1>.

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

Sculean, A. *et al.* (2019) 'Soft-Tissue Management as Part of the Surgical Treatment of Periimplantitis: A Narrative Review', *Implant Dentistry*, 28(2), pp. 210–216. Available at: <https://doi.org/10.1097/ID.0000000000000870>.

Seabra, R.C. *et al.* (2008) 'Impact of clinical experience on the accuracy of probing depth measurements', *Quintessence International (Berlin, Germany: 1985)*, 39(7), pp. 559–565.

Serino, G. and Ström, C. (2009) 'Peri-implantitis in partially edentulous patients: association with inadequate plaque control', *Clinical Oral Implants Research*, 20(2), pp. 169–174. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2008.01627.x>.

Shah, R., Sowmya, N.K. and Mehta, D.S. (2015) 'Prevalence of gingival biotype and its relationship to clinical parameters', *Contemporary Clinical Dentistry*, 6(Suppl 1), pp. S167-171. Available at: <https://doi.org/10.4103/0976-237X.166824>.

Sham, A.S.K. *et al.* (2003) 'The effects of tobacco use on oral health', *Hong Kong Medical Journal = Xianggang Yi Xue Za Zhi*, 9(4), pp. 271–277.

Singh, S., Khanna, D. and Kalra, S. (2021) 'Minocycline and Doxycycline: More Than Antibiotics', *Current Molecular Pharmacology*, 14(6), pp. 1046–1065. Available at: <https://doi.org/10.2174/1874467214666210210122628>.

Smeets, R. *et al.* (2014) 'Definition, etiology, prevention and treatment of peri-implantitis--a review', *Head & Face Medicine*, 10, p. 34. Available at: <https://doi.org/10.1186/1746-160X-10-34>.

Spinler, K. *et al.* (2021) 'Mundgesundheitskompetenz von Menschen mit Migrationshintergrund – Erste Auswertungen der MuMi-Studie', *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 64(8), pp. 977–985. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00103-021-03371-4>.

Stanford, C. (2010) 'Dental implant outcomes may vary in patients with a history of periodontal

disease', *The Journal of Evidence-Based Dental Practice*, 10(1), pp. 46–48. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2009.11.016>.

Steinemann, S.G. (1998) 'Titanium--the material of choice?', *Periodontology 2000*, 17, pp. 7–21. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.1998.tb00119.x>.

Storck, A. (1939) 'Experimental work on a method for the replacement of missing teeth by direct implantation of metal support into the alveolus', *Am J. Orthodont.*, (25), p. 467.

Strub, J.R. (1983) *Schwerpunkte in der oralen Implantologie und Rekonstruktion*. Quintessenz.

Takasaki, A.A. *et al.* (2007) 'Er:YAG laser therapy for peri-implant infection: a histological study', *Lasers in Medical Science*, 22(3), pp. 143–157. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-006-0430-x>.

Tenore, G. *et al.* (2020) 'Evaluation of adjunctive efficacy of diode laser in the treatment of peri-implant mucositis: a randomized clinical trial', *Lasers in Medical Science*, 35(6), pp. 1411–1417. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10103-020-03009-y>.

Testori, T. *et al.* (2002) 'A multicenter prospective evaluation of 2-months loaded Osseotite implants placed in the posterior jaws: 3-year follow-up results', *Clinical Oral Implants Research*, 13(2), pp. 154–161. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.2002.130205.x>.

Teughels, W. *et al.* (2006) 'Effect of material characteristics and/or surface topography on biofilm development', *Clinical Oral Implants Research*, 17 Suppl 2, pp. 68–81. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2006.01353.x>.

Thoma, D.S. *et al.* (2018) 'Effects of soft tissue augmentation procedures on peri-implant health or disease: A systematic review and meta-analysis', *Clinical Oral Implants Research*, 29 Suppl 15, pp. 32–49. Available at: <https://doi.org/10.1111/clr.13114>.

Thomas Weber (2010) *Memorix Zahnmedizin*. 3. Auflage. Thieme.

Thöne-Mühling, M. *et al.* (2010) 'Comparison of two full-mouth approaches in the treatment of peri-implant mucositis: a pilot study', *Clinical Oral Implants Research*, 21(5), pp. 504–512. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2009.01861.x>.

Tjellström, A. *et al.* (1981) 'Osseointegrated titanium implants in the temporal bone. A clinical study on bone-anchored hearing aids', *The American Journal of Otology*, 2(4), pp. 304–310.

Trejo, P.M. *et al.* (2006) 'Effect of mechanical and antiseptic therapy on peri-implant mucositis: an experimental study in monkeys', *Clinical Oral Implants Research*, 17(3), pp. 294–304. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2005.01226.x>.

Vandana, K.L. and Savitha, B. (2005) 'Thickness of gingiva in association with age, gender and dental arch location', *Journal of Clinical Periodontology*, 32(7), pp. 828–830. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2005.00757.x>.

Vehemente, V.A. *et al.* (2002) 'Risk factors affecting dental implant survival', *The Journal of Oral Implantology*, 28(2), pp. 74–81. Available at: [https://doi.org/10.1563/1548-1336\(2002\)028<0074:RFADIS>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1563/1548-1336(2002)028<0074:RFADIS>2.3.CO;2).

de Waal, Y.C.M. *et al.* (2016) 'Prognostic indicators for surgical peri-implantitis treatment', *Clinical Oral Implants Research*, 27(12), pp. 1485–1491. Available at: <https://doi.org/10.1111/clr.12584>.

Wang, C.-W. *et al.* (2021) 'Laser-assisted regenerative surgical therapy for peri-implantitis: A randomized controlled clinical trial', *Journal of Periodontology*, 92(3), pp. 378–388. Available at: <https://doi.org/10.1002/JPER.20-0040>.

Warner, A.J. *et al.* (2022) 'Tetracyclines and bone: Unclear actions with potentially lasting effects', *Bone*, 159, p. 116377. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bone.2022.116377>.

Weibrich, G. *et al.* (2001) 'Five-year prospective follow-up report of the Astra tech standard dental implant in clinical treatment', *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 16(4), pp. 557–562.

Wennerberg, A. *et al.* (1995) 'A histomorphometric study of screw-shaped and removal torque titanium implants with three different surface topographies', *Clinical Oral Implants Research*, 6(1), pp. 24–30. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1995.060103.x>.

Wennerberg, A. *et al.* (1998) 'A histomorphometric evaluation of screw-shaped implants each prepared with two surface roughnesses', *Clinical Oral Implants Research*, 9(1), pp. 11–19. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1998.090102.x>.

Wennerberg, A. and Albrektsson, T. (2009) 'Effects of titanium surface topography on bone integration: a systematic review', *Clinical Oral Implants Research*, 20(s4), pp. 172–184. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2009.01775.x>.

Wennström, J.L., Bengazi, F. and Lekholm, U. (1994) 'The influence of the masticatory mucosa on the peri-implant soft tissue condition', *Clinical Oral Implants Research*, 5(1), pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1994.050101.x>.

Wennström, J.L. and Derks, J. (2012) 'Is there a need for keratinized mucosa around implants to maintain health and tissue stability?', *Clinical Oral Implants Research*, 23 Suppl 6, pp. 136–146. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02540.x>.

Werner, S. *et al.* (2009) 'The effect of microstructured surfaces and laminin-derived peptide

coatings on soft tissue interactions with titanium dental implants', *Biomaterials*, 30(12), pp. 2291–2301. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.01.004>.

Wilderman, M.N. *et al.* (1970) 'Histogenesis of repair following osseous surgery', *Journal of Periodontology*, 41(10), pp. 551–565. Available at: <https://doi.org/10.1902/jop.1970.41.10.551>.

Williams, D.F. (1977a) 'Titanium as a metal for implantation Part 1', *Journal of Medical Engineering & Technology*, 1(4), pp. 195–198. Available at: <https://doi.org/10.3109/03091907709160641>.

Williams, D.F. (1977b) 'Titanium as a metal for implantation Part 2', *Journal of Medical Engineering & Technology*, 1(5), pp. 266–270. Available at: <https://doi.org/10.3109/03091907709162192>.

van Winkelhoff, A.J. *et al.* (1989) 'Metronidazole plus amoxycillin in the treatment of Actinobacillus actinomycetemcomitans associated periodontitis', *Journal of Clinical Periodontology*, 16(2), pp. 128–131. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.1989.tb01626.x>.

Zitzmann, N., Walter, C. and T, B. (2006) 'Ätiologie, Diagnostik und Therapie der Periimplantitis – eine Übersicht', *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 61, pp. 642–649.

Zitzmann, N.U. *et al.* (2004) 'Spontaneous progression of experimentally induced periimplantitis', *Journal of Clinical Periodontology*, 31(10), pp. 845–849. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2004.00567.x>.

Zitzmann, N.U. and Berglundh, T. (2008) 'Definition and prevalence of peri-implant diseases', *Journal of Clinical Periodontology*, 35(8 Suppl), pp. 286–291. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2008.01274.x>.

## 8 Vorveröffentlichung der Ergebnisse

- Jahrestagung der EAO (European Association for Osseointegration) in Genf, Schweiz, im September 2022  
Vortrag von Prof. Dr. Robert Nölken „Hard and Soft Tissue Reconstruction of Severe Peri-Implantitis Defects with the Laser-Assisted Peri-Implant Defect Regeneration (LAPIDER) Technique: 1- to 3-Year Results“ am 30.09.2022
- Jahrestagung der DGI (Deutsche Gesellschaft für Implantologie) in Hamburg, Deutschland, im November 2022  
Vortrag von Prof. Dr. Robert Nölken „Rekonstruktion fortgeschrittener Periimplantitisdefekte mit der laserunterstützten Defektregenerationstechnik (LAPIDER)“ am 25.11.2022
- Publikation im „International Journal of Implant Dentistry“ im Februar 2023  
Noelken, R., Westphal, L., Schiegnitz, E. *et al.* Hard and soft tissue regeneration of severe peri-implantitis defects with the laser-assisted peri-implant defect regeneration technique: 3-year results. *Int J Implant Dent* **9**, 3 (2023).  
<https://doi.org/10.1186/s40729-023-00467-1>

## **9 Danksagung**

## **10 Tabellarischer Lebenslauf**