

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

Langzeiterfolg teilmaschinierter Zahnimplantate – eine vergleichende klinische Studie

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

Vorgelegt von

Berit Wiebel
aus Mainz

Mainz, 2024

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. H. Schild

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Eik Schiegnitz

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 16.09.2024

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------|
| Abkürzungsverzeichnis | V |
| Abbildungsverzeichnis | VI |
| Tabellenverzeichnis | VIII |
| 1 Einleitung und Ziel der Dissertation | 1 |
| 2 Literaturdiskussion | 2 |
| 2.1 Definition und Aufbau eines dentalen Implantats | 2 |
| 2.1.1 Definition und Geschichte | 2 |
| 2.1.2 Makrostruktur dentaler Implantate | 2 |
| 2.1.3 Mikrostruktur dentaler Implantate..... | 3 |
| 2.1.4 Prothetischer Aufbau | 4 |
| 2.2 Periimplantärer Kieferknochen..... | 6 |
| 2.2.1 Klassifikation und Histologie | 6 |
| 2.2.2 Osseointegration | 6 |
| 2.2.3 Periimplantärer Knochenumbau..... | 7 |
| 2.3 Periimplantäres Weichgewebe..... | 8 |
| 2.3.1 Histologie..... | 8 |
| 2.3.2 Funktion..... | 8 |
| 2.3.3 Periimplantäre Weichgewebsveränderungen..... | 9 |
| 2.4 Interaktionen des Implantathalses mit periimplantärem Hart- und Weichgewebe... 10 | |
| 2.4.1 Die Implantathalsstruktur im Speziellen | 10 |
| 2.4.2 Postoperativer und langfristiger Knochenumbau..... | 12 |
| 2.4.3 Postoperative und langfristige Weichgewebsentwicklung | 13 |
| 2.5 Operative Techniken der Implantologie und Augmentationschirurgie..... | 14 |
| 2.5.1 Implantationszeitpunkt..... | 14 |
| 2.5.2 Augmentationsverfahren..... | 14 |
| 2.5.3 Knochenersatzmaterialien | 16 |
| 2.6 Erfolg und Überleben dentaler Implantate..... | 17 |
| 2.6.1 Implantatüberleben | 17 |
| 2.6.2 Früh- und Spätverluste dentaler Implantate | 17 |
| 2.6.3 Implantaterfolg..... | 18 |
| 2.6.4 Periimplantitis, periimplantäre Mukositis und periimplantäre Gesundheit | 19 |
| 2.6.5 Patientenbedingte Risikofaktoren | 19 |
| 2.7 Das Camlog® Implantatsystem..... | 20 |
| 2.7.1 Makrostruktur von Camlog® Implantaten..... | 20 |
| 2.7.2 Mikrostruktur von Camlog® Implantaten | 21 |
| 2.7.3 Operatives Protokoll | 21 |
| 2.7.4 Erfolgs- und Überlebensdaten | 22 |
| 3 Material und Methoden | 24 |
| 3.1 Studiendesign..... | 24 |
| 3.2 Patienten- und Implantatkollektiv | 25 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.2.1 | Ein- und Ausschlusskriterien..... | 25 |
| 3.2.2 | Geschlechter- und Altersverteilung..... | 25 |
| 3.2.3 | Prävalenz knochenstoffwechselbeeinflussender Konditionen | 25 |
| 3.2.3. | Anatomische Lokalisation | 26 |
| 3.2.4 | Implantatspezifikationen | 26 |
| 3.2.5 | Operative Techniken..... | 27 |
| 3.3 | Klinische Untersuchung | 28 |
| 3.3.1 | Modifizierter Plaqueindex..... | 28 |
| 3.3.2 | Sulkus-Blutungs-Index..... | 28 |
| 3.3.3 | Blutung auf Sondieren | 29 |
| 3.3.4 | Suppuration | 29 |
| 3.3.5 | Sondierungstiefen..... | 29 |
| 3.3.6 | Gingivale Rezessionen | 30 |
| 3.3.7 | Lockerungsgrad..... | 30 |
| 3.3.8 | Gingivales Erythem..... | 29 |
| 3.3.9 | Keratinisierte Mukosa | 30 |
| 3.4 | Prothetische Versorgung | 31 |
| 3.5 | Röntgenologischer Knochenabbau | 32 |
| 3.6 | Erfolgskriterien..... | 33 |
| 3.6.1 | Erfolg nach Albrektsson und Buser..... | 33 |
| 3.6.2 | Prävalenz Periimplantärer Erkrankungen..... | 33 |
| 3.7 | Fragebögen | 35 |
| 3.7.1 | OHIP-G14..... | 35 |
| 3.7.2 | Studienspezifischer Fragebogen..... | 35 |
| 3.8 | Statistische Auswertung..... | 37 |
| 3.8.1 | Statistische Ergebnisevaluation | 37 |
| 3.8.2 | Kaplan-Meier Verweildaueranalyse | 37 |
| 3.8.3 | Auswertung des Knochenabbaus | 37 |
| 3.8.4 | Unterschiede der Gruppen der Implantattypen | 38 |
| 4 | Ergebnisse | 39 |
| 4.1 | Kumulatives Überleben..... | 39 |
| 4.2 | Implantatverluste | 40 |
| 4.3 | Korrelation des kumulativen Überlebens..... | 41 |
| 4.3.1 | Kumulatives Überleben nach patientenbezogenen Parametern..... | 41 |
| 4.3.2 | Kumulatives Überleben nach anatomischer Lokalisation | 42 |
| 4.3.3 | Kumulatives Überleben nach Implantattyp..... | 42 |
| 4.3.4 | Kumulatives Überleben nach operativer Technik | 43 |
| 4.4 | Ergebnisse der klinischen Untersuchung | 45 |
| 4.4.1 | Modifizierter Plaque Index | 45 |
| 4.4.2 | Sulkus-Blutungs-Index..... | 45 |
| 4.4.3 | Blutung auf Sondieren | 45 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.4.4 | Suppuration | 46 |
| 4.4.5 | Gingivales Erythem..... | 45 |
| 4.4.6 | Sondierungstiefen..... | 46 |
| 4.4.7 | Gingivale Rezessionen | 46 |
| 4.4.8 | Lockerungsgrad..... | 46 |
| 4.4.9 | Keratinisierte Mukosa | 46 |
| 4.5 | Röntgenologischer Knochenabbau | 48 |
| 4.6 | Korrelation des periimplantären Knochenabbaus..... | 49 |
| 4.6.1 | Knochenabbau nach patientenbezogenen Parametern | 49 |
| 4.6.2 | Knochenabbau nach anatomischer Lokalisation | 50 |
| 4.6.3 | Knochenabbau nach Implantattyp..... | 50 |
| 4.6.4 | Knochenabbau nach operativer Technik..... | 52 |
| 4.7 | Prothetische Versorgung | 53 |
| 4.7.1 | Verteilung der prothetischen Versorgung..... | 53 |
| 4.7.2 | Knochenabbau nach prothetischer Versorgung | 53 |
| 4.8 | Langzeiterfolg der Implantate | 55 |
| 4.8.1 | Erfolg nach Albrektsson und Buser..... | 55 |
| 4.8.2 | Prävalenz periimplantärer Erkrankungen..... | 55 |
| 4.9 | Fragebögen | 56 |
| 4.9.1 | OHIP-G14..... | 56 |
| 4.9.2 | Studienspezifischer Fragebogen..... | 56 |
| 4.10 | Fallbeispiele | 58 |
| 4.10.1 | Erfolgreiche Einzelzahnversorgungen mit SLP Implantaten | 58 |
| 4.10.2 | Langzeitstabile Einzelzahnversorgung mit SLP+ Implantaten | 59 |
| 4.10.3 | Langzeitstabile prothetische Rehabilitation mit SLP und SLP+ Implantaten | 60 |
| 5 | Diskussion..... | 62 |
| 5.1 | Kumulatives Überleben..... | 62 |
| 5.2 | Implantatverluste | 63 |
| 5.3 | Korrelation des Implantatüberlebens | 64 |
| 5.3.1 | Kumulatives Überleben nach patientenbezogenen Parametern..... | 64 |
| 5.3.2 | Kumulatives Überleben nach anatomischen Lokalisation..... | 65 |
| 5.3.3 | Kumulatives Überleben nach Implantattyp..... | 65 |
| 5.3.4 | Kumulatives Überleben nach operativer Technik | 67 |
| 5.4 | Ergebnisse der klinischen Untersuchung..... | 69 |
| 5.4.1 | Modifizierter Plaque Index | 69 |
| 5.4.2 | Sulkus-Blutungs-Index..... | 69 |
| 5.4.3 | Blutung auf Sondieren | 70 |
| 5.4.4 | Suppuration | 70 |
| 5.4.5 | Gingivales Erythem..... | 70 |
| 5.4.6 | Sondierungstiefen..... | 71 |
| 5.4.7 | Gingivale Rezessionen | 72 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.4.8 | Lockerungsgrad..... | 72 |
| 5.4.9 | Keratinisierte Mukosa | 73 |
| 5.5 | Röntgenologischer Knochenabbau | 74 |
| 5.6 | Korrelation des periimplantären Knochenabbaus..... | 75 |
| 5.6.1 | Knochenabbau nach patientenbezogenen Parametern | 75 |
| 5.6.2 | Knochenabbau nach anatomischer Lokalisation | 76 |
| 5.6.3 | Knochenabbau nach Implantattyp..... | 77 |
| 5.6.4 | Knochenabbau nach operativer Technik..... | 79 |
| 5.7 | Prothetische Versorgung | 81 |
| 5.7.1 | Verteilung der prothetischen Versorgung | 81 |
| 5.7.2 | Knochenabbau nach prothetischer Versorgung | 81 |
| 5.8 | Langzeiterfolg der enossalen Implantate | 83 |
| 5.8.1 | Erfolg nach Albrektsson und Buser..... | 83 |
| 5.8.2 | Prävalenz periimplantärer Erkrankungen | 83 |
| 5.9 | Fragebögen | 86 |
| 5.9.1 | OHIP-G14..... | 86 |
| 5.9.2 | Studienspezifischer Fragebogen..... | 86 |
| 6 | Zusammenfassung..... | 88 |
| 7 | Literaturverzeichnis | 90 |
| 8 | Anhang | 110 |
| 8.1 | Dokumentationsbogen der klinischen Untersuchung | 110 |
| 8.2 | Studienspezifischer Fragebogen..... | 111 |
| 8.3 | Patienten und Implantatkollektiv nach Implantattyp (gesamt)..... | 112 |
| 8.4 | Implantatkollektiv des periimplantären Knochenabbaus nach Implantattyp | 113 |
| 9 | Danksagung | 114 |
| 10 | Tabellarischer Lebenslauf | 115 |

Abkürzungsverzeichnis

| | | |
|-----------|---|----|
| BOP | Blutung auf Sondieren..... | 31 |
| CL | Camlog® Cylinder-Line Implantat..... | 22 |
| et al. | et alia (Latein und andere)..... | 9 |
| EZA | Einzelzahnaufnahme..... | 34 |
| ggf. | gegebenenfalls..... | 5 |
| idR | in der Regel..... | 3 |
| insb. | insbesondere..... | 35 |
| KEM | Knochenersatzmaterial..... | 17 |
| mind. | mindestens..... | 13 |
| MKG Mainz | Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz..... | 1 |
| mPBI | modifizierter Plaque Index..... | 30 |
| mSBI | modifizierter Sulkus Blutungs Index..... | 31 |
| OK | Oberkiefer..... | 28 |
| PSA | Panoramaschichtaufnahme..... | 34 |
| RL | Camlog® Root-Line Implantat..... | 1 |
| SC | Camlog® Screw-Cylinder-Line Implantat..... | 22 |
| <i>SD</i> | Standardabweichung..... | 13 |
| SLP | Camlog® Screw-Line Promote Implantat..... | 1 |
| SLP+ | Camlog® Screw-Line Promote Plus Implantat..... | 1 |
| sog. | sogenannte..... | 4 |
| ST | Sondierungstiefe(n)..... | 21 |
| TCP | β-Tricalciumphosphat..... | 17 |
| UK | Unterkiefer..... | 28 |
| vgl. | vergleiche..... | 14 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Aufbau moderner dentaler Implantate (links aus (40), Mitte aus (41), rechts aus (42)) | 2 |
| Abbildung 2: Makrostruktur dentaler Implantate (Implantat aus (21))..... | 3 |
| Abbildung 3: Knochenqualität nach Misch und Lekholm und Zarb (88)..... | 6 |
| Abbildung 4: Einflüsse auf das periimplantäre Knochen-Remodeling | 7 |
| Abbildung 5: Aufbau des suprakrestalen Attachments an Implantat und Zahn (modifiziert nach (111, 112))..... | 8 |
| Abbildung 6: Einflüsse auf das periimplantäre Weichgewebe | 9 |
| Abbildung 7: Makro- und Mikrostruktur der Implantathälsa moderner Implantate..... | 10 |
| Abbildung 8: Faktoren des Augmentationserfolgs (nach (102, 157))..... | 15 |
| Abbildung 9: Das Camlog® Implantatsystem von 2001-2009 (modifiziert nach (40))..... | 20 |
| Abbildung 10: Makro- und Mikrostruktur von Camlog® Implantaten (nach (199))..... | 21 |
| Abbildung 11: Insertionstiefe von SLP und SLP+ Implantaten laut Hersteller (modifiziert nach (20)) | 22 |
| Abbildung 12: Systematik der Studienimplantate und -patienten | 24 |
| Abbildung 13: Alter zum Implantationszeitpunkt (bei mehreren Implantationszeitpunkten das Durchschnittsalter) | 25 |
| Abbildung 14: Lokalisation der enossalen Implantate | 26 |
| Abbildung 15: Verteilung der Implantattypen | 26 |
| Abbildung 16: Verteilung der Implantatdurchmesser | 27 |
| Abbildung 17: Verteilung der Implantatlängen | 27 |
| Abbildung 18: Systematik der Augmentationen | 27 |
| Abbildung 19: Systematik der klinischen Untersuchung..... | 28 |
| Abbildung 20: Beispielmessung des periimplantären Knochenniveaus..... | 32 |
| Abbildung 21: Methode zur Hochrechnung des Implantaterfolgs auf das Gesamtkollektiv.... | 33 |
| Abbildung 22: Kaplan-Meier Überlebensfunktion aller Studienimplantate | 39 |
| Abbildung 23: Beobachtungszeitraum bis zum Implantatverlust oder letztem Kontakt zum Implantat | 39 |
| Abbildung 24: Ursachen der Implantatverluste | 40 |
| Abbildung 25: Zeit bis zum Spätverlust des Implantats..... | 40 |
| Abbildung 26; Kaplan-Meier Überleben nach Alter bei Implantation | 41 |
| Abbildung 27: Kaplan-Meier Überleben nach Rauchverhalten (starker Raucher = >10 Zigaretten/Tag)..... | 41 |
| Abbildung 28: Kaplan-Meier Überleben nach anatomischer Lokalisation..... | 42 |
| Abbildung 29: Kaplan-Meier Überleben nach Implantattyp | 42 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 30: Beobachtungszeitraum bis zum Implantatverlust oder letztem Kontakt nach Implantattyp..... | 43 |
| Abbildung 31: Kaplan-Meier Überleben nach Implantationszeitpunkt | 44 |
| Abbildung 32: Kaplan-Meier Überleben nach Knochenersatzmaterial | 44 |
| Abbildung 33: Verteilung des mPBI-Indexes..... | 45 |
| Abbildung 34: Anzahl der Blutungspunkte je Implantat..... | 45 |
| Abbildung 35: Breite der keratinisierten Mukosa nach Messstelle | 47 |
| Abbildung 36: Mittlerer Knochenabbau je Messstelle | 48 |
| Abbildung 37: Mittlerer Knochenabbau nach Art der knochenstoffwechselbeeinflussenden Kondition | 49 |
| Abbildung 38: Mittlerer Knochenabbau nach anatomischer Lage des Implantats | 50 |
| Abbildung 39: Mittlerer Knochenabbau nach Implantattyp | 50 |
| Abbildung 40: Mittlerer Knochenabbau nach Implanttyp und anatomischer Lokalisation | 51 |
| Abbildung 41: Mittlerer Knochenabbau nach Implantattyp und prothetischer Versorgung..... | 51 |
| Abbildung 42: Mittlerer Knochenabbau nach Implantattyp und knochenstoffwechselbeein- flussender Kondition..... | 52 |
| Abbildung 43: Mittlerer Knochenabbau nach Augmentation und KEM..... | 52 |
| Abbildung 44: Prothetische Versorgung der Implantate zum Follow-up Zeitpunkt..... | 53 |
| Abbildung 45: Mittlerer Knochenabbau nach prothetischer Versorgung des Implantats..... | 54 |
| Abbildung 46: Prävalenz periimplantärer Zustände nach Implantattyp..... | 55 |
| Abbildung 47: Mittlere OHIP-G14 Punktzahl zum Zeitpunkt der aktuellen Studie..... | 56 |
| Abbildung 48: Antworthäufigkeiten der Zusatzfragen des studienspezifischen Fragebogens | 57 |
| Abbildung 49: Röntgenologische Situation bei Herrn B. unmittelbar postoperativ (links) und zum Zeitpunkt der Follow-up Untersuchung (rechts) | 58 |
| Abbildung 50: Klinische Situation bei Herrn B. von vestibulär (links) und inzisal (rechts). | 58 |
| Abbildung 51: Röntgenologische Situation bei Herrn H. unmittelbar postoperativ (links) und zum Zeitpunkt der Follow-up Untersuchung (rechts) | 59 |
| Abbildung 52: Klinische Situation bei Herrn H. von okklusal (links) und vestibulär (rechts). ... | 59 |
| Abbildung 53: Röntgenologische Situation bei Frau K. unmittelbar postoperativ (links) und zum Zeitpunkt der Follow-up Untersuchung (rechts) | 60 |
| Abbildung 54: Klinische Situation bei Frau K. von okklusal (oben rechts), labial (oben links) und vestibulär (unten)..... | 61 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Einteilung der Implantatprothetik..... | 5 |
| Tabelle 2: Zusammensetzung des humanen Knochens (81–83). | 6 |
| Tabelle 3: Übersicht zu klinischen Studien zum direkten Vergleich von Implantatüberleben und/oder Knochenabbau zwischen unterschiedlichen Implantatstrukturalternativen..... | 11 |
| Tabelle 4: Übersicht zu Reviews und Metaanalysen zum klinischen Einfluss der Implantatstruktur | 12 |
| Tabelle 5: Einteilung des Implantationszeitpunktes nach deutscher S2k-Leitlinie | 14 |
| Tabelle 6: Einteilung und Eigenschaften der Knochenersatzmaterialien (modifiziert nach Goldberg (161))..... | 16 |
| Tabelle 7: Aktuelle Studien zum Implantatüberleben mit einem mittleren Follow-up Zeitraum von mind. 12 Jahren..... | 17 |
| Tabelle 8: Studienergebnisse zu Camlog® Implantaten, die mind. bis 5 Jahre in situ waren | 22 |
| Tabelle 9: Kategorien zur Erfassung der prothetischen Versorgung | 31 |
| Tabelle 11: Kriterien zur Diagnostik periimplantärer Zustände (nach (146, 196))..... | 34 |
| Tabelle 12: Studienspezifischer bepunkteter Fragebogen zur Zufriedenheit mit dem Implantat | 36 |
| Tabelle 13: Übersicht der anamnestischen Befragung mithilfe des studienspezifischen Fragebogens | 36 |
| Tabelle 14: Kumulatives Überleben nach patientenbezogenen Parametern | 41 |
| Tabelle 15: Früh- und Spätverluste nach Implantattyp..... | 43 |
| Tabelle 16: Mittlere Sondierungstiefen nach Messstelle | 46 |
| Tabelle 10: Anzahl der Implantate auf den unmittelbar postoperativen und aktuellen EZAs und PSAs | 48 |
| Tabelle 17: Mittlerer Knochenabbau differenziert nach patientenbezogenen Parametern..... | 49 |
| Tabelle 18: Mittlerer Knochenabbau differenziert nach operativen Techniken. | 52 |
| Tabelle 19: Prothetische Versorgung nach Implantattyp..... | 53 |
| Tabelle 20: Punktzahlen im studienspezifischen Fragebogen..... | 56 |
| Tabelle 21: Ergebnisse der anamnestischen Befragung..... | 57 |
| Tabelle 22: Ergebnisse der klinischen Untersuchung bei Herrn B. | 58 |
| Tabelle 23: Ergebnisse der klinischen Untersuchung bei Herrn H. | 59 |
| Tabelle 24: Ergebnisse der klinischen Untersuchung bei Frau K. | 61 |
| Tabelle 25: Zusammenfassung der Ergebnisse nach Implantattyp | 89 |
| Tabelle 26: Zusammenfassung der Signifikanz von Patienten-, Implantat- und Operationseigenschaften..... | 89 |

1 Einleitung und Ziel der Dissertation

Seit der ersten dentalen Implantatinserterion im menschlichen Patienten 1965 durch Bråne-mark (1), haben verschiedenste Implantatsysteme die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität von Patienten maßgeblich verbessert (2–4). Die Überlebensraten von Implantaten wurden für einen Zeitraum von bis zu 30 Jahren dokumentiert (5). Je nach Studie betragen die Überlebensraten 67,7 % bis 100 % nach 10-20 Jahren (4–10). Es gibt signifikant weniger Forschungsdaten zum Implantatüberleben nach 15 Jahren und mehr als zu kürzeren Zeiträumen (11–13).

Implantathersteller überarbeiten Ihre Produktpalette kontinuierlich und verändern unter anderem die Mikrostruktur des Implantatkörpers und des Implantathalses. Bei suprakrestalen Implantaten ist der koronale Anteil des Implantathalses meist maschinert, um das suprakrestale Attachment zu verbessern und die Plaqueakkumulation zu reduzieren (14). Der übrige Anteil des Implantats ist häufig säuregeätzt und sandgestrahlt, um eine ausreichende Osseointegration zu gewährleisten (15–17). Laut aktuellen Reviews der Oral Reconstruction Foundation stabilisiert jedoch eine mittlere Oberflächenrauheit auch am Implantathals das periimplantäre Knochenniveau (18).

Diese Annahme führte bei der Implantat Marke Camlog® zur Veränderung der Mikrostruktur des Implantathalses. Das schraubenförmige Implantat von Camlog® gibt es seit 2006 mit zwei verschiedenen mikrostrukturellen Implantathalsstrukturen (19). Das Screw-Line Implantat (SLP) hat eine 2 mm maschinerte koronale Fläche des Implantathalses, während das Screw-Line Promote plus (SLP+) Implantat eine auf 0,4 mm verkürzte maschinerte koronale Fläche am 2 mm langen Implantathals aufweist (20, 21). Schwarz et al. (22) beschrieb 2008 ein signifikant verstärktes Knochenremodeling um SLP im Vergleich zu SLP+ in Hunden. Daten zum Langzeitverhalten des krestalen Knochenniveaus an SLP+ und SLP in menschlichen Patienten sind nicht vorhanden.

Ein Follow-up der Camlog® Implantate, die in der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (MKG Mainz) zwischen August 2001 und August 2005 inseriert wurden, wurde nach durchschnittlich 32 Monaten durchgeführt. Al-Nawas et al. (23) diskutierten ebenfalls, dass die Verkürzung des maschinerten Implantathalsanteils einen positiven Einfluss auf die Stabilität des krestalen Knochenniveaus haben könnte. Durch die Einführung des SLP+ 2006 ist zu heutigem Zeitpunkt eine Prüfung dieser Hypothese möglich. Zudem fehlen Verlaufsstudien zu Camlog® Implantaten über Zeiträume länger als zehn Jahre (24). Für das wurzelförmige Root-Line Implantat (RL) und SLP Implantate zeigen einzelne Follow-up Daten Überlebensraten von 93,9-99,8 % nach bis zu 15 Jahren (7, 25–29). Für SLP+ lag der maximale Beobachtungszeitraum bei 10 Jahren (29, 30). Keine Studie führt einen direkten Vergleich der verschiedenen Implantattypen durch.

Insgesamt ist auch die Datenlage zur Bedeutung der Mikrostruktur des Implantathalses begrenzt und kontrovers. Während zwei Reviews keinen Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit auf die Langzeitstabilität des Knochens, die Periimplantitis-Prävalenz oder das Implantatüberleben feststellten (18, 31), zeigte eine andere höhere Periimplantitisraten an rauen Implantatoberflächen (32). Insgesamt gilt ein Einfluss der Mikrostruktur des Implantathalses auf das periimplantäre Hart- und Weichgewebe als wahrscheinlich (33, 34).

Deshalb ermittelt diese Studie retrospektiv nach bis zu 22 Jahren klinische und röntgenologische Parameter an Camlog® Implantaten mit unterschiedlicher Implantathals Mikrostruktur und unterschiedlicher Implantat Makrostruktur. Für Camlog® Implantate, die von August 2001 bis Dezember 2009 in der MKG Mainz inseriert wurden, wird das Überleben, der Erfolg, die periimplantäre Kondition und der Knochenabbau ermittelt. Ein besonderer Fokus liegt auf dem Unterschied des periimplantären Knochenabbaus zwischen Implantaten des Typs SLP+ und SLP.

2 Literaturdiskussion

2.1 Definition und Aufbau eines dentalen Implantats

2.1.1 Definition und Geschichte

Es existiert keine einheitliche Definition des dentalen Implantats. Im Sprachgebrauch wird ein dentales Implantat als „künstliche Zahnwurzel“ beschrieben, die natürliche Zähne ersetzt (35, 36). In der Wissenschaft wird meistens von osseointegrierten Fremdmaterialien zur Befestigung von Zahnersatz gesprochen (37). Beide Versionen basieren auf der modernen Implantologie nach Bränemark, in der ein- oder zweiteilig konzipierte schrauben- oder wurzelförmige Implantate aus Titan (oder Keramik) in den Kieferknochen eingebracht werden, um dort eine strukturelle und funktionelle Verbindung zum Knochen einzugehen (38). Auf den modernen osseointegrierten Implantaten wird vor oder nach der vollständigen knöchernen Einheilung, Zahnersatz in der Regel (idR) mithilfe eines Abutments befestigt. Dabei umfasst der Begriff Implantat im wissenschaftlichen Sinne, den Anteil des Implantats, der im Knochen integriert ist. Von ihm sind das Abutment (sog. Aufbauteil) und die Suprakonstruktion abzugrenzen (39). Der dreiteilige Aufbau dentaler Implantate im Vergleich zu einteiligen Implantaten ist in Abbildung 1 dargestellt.

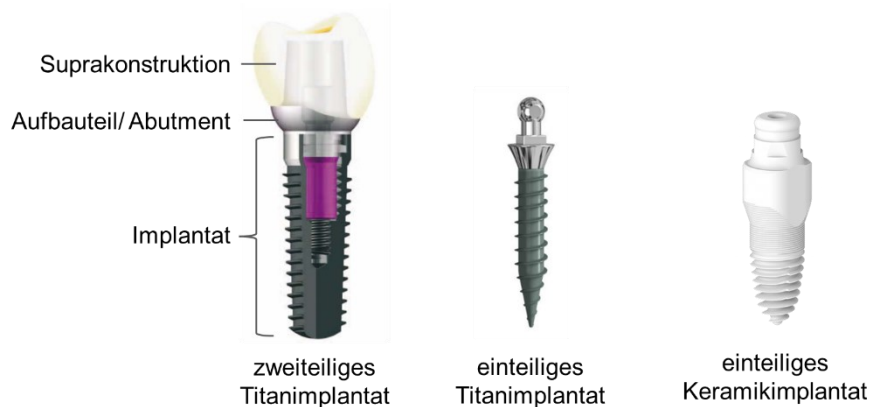


Abbildung 1: Aufbau moderner dentaler Implantate (links aus (40), Mitte aus (41), rechts aus (42))

Heute werden ca. 1,3 Millionen moderne dentale Implantate pro Jahr in Deutschland inseriert mit steigender Tendenz (43). Die Größe des wachsenden Marktes mit über 100 konkurrierenden Implantatherstellern führt zu intensiver Forschung und kontinuierlicher Weiterentwicklung des Produktes „dentales Implantat“ (44, 45).

2.1.2 Makrostruktur dentaler Implantate

Unter der Makrostruktur dentaler Implantate werden die Form des Implantatkörpers und des Implantathalses sowie das Gewindedesign zusammengefasst (46, 47). Alle genannten Strukturen werden kontinuierlich verändert und neu kombiniert, um neue Indikationen zur Implantation zu erschließen, Überlebensraten zu optimieren und Einheilzeiten zu verkürzen (48).

Grundsätzlich können parallelwandige Implantate von konischen Implantaten unterschieden werden. Konische Implantate werden heute aufgrund ihrer höheren Primärstabilität bevorzugt, da sie auch in weicheren Knochen und bei der Sofortimplantation eine ausreichende Primärstabilität aufweisen (47, 49). Parallelwandige Implantate sind dagegen technisch leichter handhabbar und bieten in kompakteren Knochentypen im Rahmen einer Spätimplantation ausreichend Primärstabilität (50). Als Kompromisslösung gibt es Hybridimplantate, die aus parallelwandigen und konischen Anteilen bestehen (47, 51).

Auch der Durchmesser und die Länge des Implantats sind Teil des Makrodesigns. Während Anfang des 21. Jahrhunderts besonders lange Implantate von bis zu 20 mm als sichere Option galten (52), besteht derzeit Konsens, dass eine intraossäre Länge von 8-10 mm ausreichend ist (53). Laut europäischer Konsensuskonferenz 2011 sind kurze Implantate, Implantate dessen intraossärer Anteil ≤ 8 mm im Knochen liegt (54). Als durchmesserreduziert werden Implantate mit einem Durchmesser $< 3,5$ mm definiert (54). Durch die Verbesserung des Mikrodesigns haben kurze und durchmesserreduzierte Implantate heutzutage ähnliche Überlebensraten wie Implantate mit Standarddurchmesser und -länge. Somit gelten sie heute als gute Alternative zu Standardimplantaten mit Augmentation (53, 55).

Der sogenannte (sog.) Implantathals bezeichnet den Anteil des Implantats, der direkt oberhalb des krestalen Knochens zum Liegen kommt oder oberhalb des Gewindes beginnt (34, 56). Die Firma Straumann® führte 1986 den tulpenförmigen Implantathals ein (56). Damit wurde das erste Tissue-Level Implantat erfunden, das im Vergleich zum epikrestalen Bone-Level Implantat suprakrestale Implantatanteile beinhaltet. Heute stehen auch parallelwandige, abgeschrägte sowie back-taper Implantathalsdesigns zur Verfügung (34, 56).

Es werden selbstschneidende von nicht selbstschneidenden Gewinden unterschieden. Das Gewindedesign beeinflusst in erster Linie die Primärstabilität des Implantats. Je mehr Oberfläche dabei das Gewinde bietet, desto höher ist die Primärstabilität. Somit sind für die Sofortimplantation selbstschneidende Gewinde mit vergrößerter Gewindeoberfläche vorteilhaft (47).

In der Praxis sind für die individuelle Auswahl der Makrostruktur eines Implantates multiple Faktoren zu berücksichtigen. Hierunter zählen beispielsweise die Knochendichte, die weichgewebliche Situation, der Implantationszeitpunkt sowie die Lokalisation des Implantatbetts. Relevante Parameter der Makrostruktur dentaler Implantate sind in Abbildung 2 dargestellt.

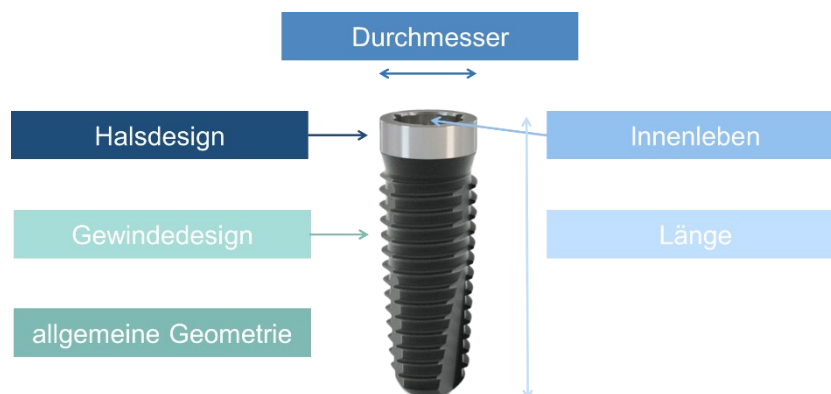


Abbildung 2: Makrostruktur dentaler Implantate (Implantat aus (21))

2.1.3 Mikrostruktur dentaler Implantate

Die Mikrostruktur des dentalen Implantats wird durch den Werkstoff und die Oberflächenmodifikationen bestimmt. Heutzutage bestehen Implantate aus Titan oder Zirkonoxid-Keramik. Als Begründer der modernen Implantologie unter der Verwendung von Titanimplantaten gilt Brånemark. Seine Grundlagenforschung ermöglichte die Etablierung des Begriffs Osseointegration, als grundlegendes Erfolgskriterium für dentale Implantate. Als wesentlicher Einfluss für das Erreichen der Sekundärstabilität gilt dabei die Oberflächenbeschaffenheit des Fremdmaterials (57).

Titan und Titanlegierungen bleiben als Werkstoff in der dentalen Implantologie trotz großer Fortschritte auf dem Gebiet der Keramikimplantate der Goldstandard (58). Titan ist ein Übergangsmetall der Ordnungszahl 22, das aufgrund seiner geringen Dichte ($4,5 \text{ g/cm}^3$) bei ge-

ringem Elastizitätsmodul (100 GPa) ein vielseitig verwendbares Material ist (39, 59). Zusätzliche Festigkeit kann durch Kaltverformung und Wärmebehandlung erreicht werden. Auch die Zulegierung anderer Metalle senkt die Dehngrenze und die damit einhergehende Frakturanfälligkeit. So ergibt sich ein dentales Material mit geringer Frakturanfälligkeit (39, 57).

Neben den ausgezeichneten mechanischen Eigenschaften besitzt Titan auch vorteilhafte biologische Eigenschaften. Die natürliche Titanoxidschicht schützt das Titan vor Korrosion und verhindert elektrochemische Reaktionen mit der Umgebung (57, 59). Somit gelangen nur wenige freie Titanpartikel in Kontakt mit körpereigenen Flüssigkeiten und Strukturen. Dies minimiert sowohl das systemisch toxische, als auch allergene Potential des Metalls (60).

Die Rauheit der Implantatoberfläche wird durch die durchschnittliche Höhe der Oberfläche zur Grundebene nach ISO Norm 251778 beschrieben (61). Laut Albrektsson und Wenneberg hat die ideale Implantatoberfläche eine Rauheit von 1-1,5 μm . (62). Die Rauheit der Implantatoberfläche wird nach Albrektsson und Wenneberg wie folgt eingeteilt (62):

- glatt < 0,5 μm
- minimal-rau 0,5-1,0 μm
- mittel-rau 1,0-2,0 μm
- rau > 2,0 μm

Die Techniken zur Oberflächenmodifikation können in additive Verfahren (sog. Coating) und subtraktive Verfahren eingeteilt werden (63). Die Titanoberfläche kann auf morphologischer, physiochemischer, biochemischer und biologischer Ebene verändert werden (64). Die Implantate zwischen 2000 und 2010 wurden idR durch Maschinieren, Sandstrahlen, eine Kombination von Säureätzung und Sandstrahlen sowie Titanplasmaspray Beschichtungen modifiziert.

Zu den populärsten Verfahren zur Steigerung der Rauheit gehört das Säure-Ätz-Verfahren in Kombination mit Sandstrahlen (65). Durch die Aufrauung der Oberfläche mittels Sandstrahlen entsteht eine Makrorauheit von 1,1 μm . Nach dem folgenden Säure-Ätz-Vorgang resultiert eine Rauheit von 1,7 μm . Letztendlich wird die Osseointegration optimiert, da durch die vergrößerte Oberfläche mehr Osteone in Kontakt mit dem Implantat kommen (63). Nachteilig ist jedoch, dass die angeraute Oberfläche eine erhöhte Plaqueakkumulation ermöglicht und damit bei extraossärer Lage gegebenenfalls (ggf.) eine Periimplantitis begünstigen kann (57, 65).

Maschinierete Oberflächen entstehen durch das Drehen oder Fräsen des Implantatkörpers. Es entsteht ein Mikroprofil mit einem Rauheitswert von 0,2-0,4 μm (66). Diese vergleichsweise glatte Oberfläche führt zwar nachweislich zu einem weniger stabilem Verbund zum Knochen, reduziert jedoch gleichzeitig das Risiko einer Plaqueanlagerung (57). Aufgrund dessen werden maschinierete Oberflächen heutzutage überwiegend im suprakrestalen Bereich des Implantats eingesetzt (Implantathals) (67).

Durch eine veränderte Bioaktivität, Hydrophilie und Rauheit kann die Osseointegration verbessert, die Entzündung reduziert und entsprechend der Implantaterfolg gesteigert werden (63). Die Implantatmikrostruktur beeinflusst die Differenzierung, Migration und Proliferation körpereigener Zellen und zusätzlich das Kontaminationsrisiko durch Mikroorganismen (57). Das Zusammenspiel zwischen knochenbildenden Zellen, Immunzellen und Fibroblasten bestimmt neben der Sekundärstabilität auch die Langzeitstabilität dentaler Implantate (68).

2.1.4 Prothetischer Aufbau

Die Merkmale des prothetischen Aufbaus umfassen die Implantat-Suprakonstruktion-Verbindung, die Morphologie des Abutments und der Suprakonstruktion sowie die Relation

zu umliegenden Strukturen. Eine Auswahl prothetischer Konstruktionsmöglichkeiten der genannten Strukturen ist in Tabelle 1 dargestellt.

| Merkmal | Ausprägung | | |
|---|--|---|---|
| Implantat-Abutment-Interface | parallelwandig konisch | einteilig zweiteilig | nicht rotationsstabil rotationsgesichert |
| Abutment | konfektionierte individualisierte | kein Plattform-switch Plattform-Switch | axial abgewinkelt |
| Befestigung und Art der Restauration | feststehend herausnehmbar kombiniert | verschraubt zementiert | unverblockt direkt verblockt indirekt verblockt |

Tabelle 1: Einteilung der Implantatprothetik

Abutments sind bei zweiteiligen Implantatsystemen der Schlüssel zur prothetischen Flexibilität (15). Individualisierte Abutments sind verglichen mit konfektionierten Abutments mit einer verbesserten Ästhetik und einem stabileren periimplantären Weichgewebe assoziiert (16, 17). Zu den prothetischen Konzepten des 21. Jahrhunderts zählt das Plattform-Switch-Konzept. Das Abutment weist dabei einen geringeren Durchmesser als der koronale Anteil des Implantats auf, ein sog. Implantat-Abutment-Mismatching (69). Es konnte gezeigt werden, dass durch dieses Konzept in epikrestalen Implantaten das marginale Knocheniveau stabilisiert wird (17, 70). Zusätzlich wurde die postoperative Infektionsrate reduziert und das Implantatüberleben verbessert (71). Das Konzept beruht auf der Annahme, dass durch das Plattform-Switching bei epikrestalen Implantaten der Mikropalt weiter vom marginalen Knochen entfernt ist, was potenzielle bakterielle Besiedlungen und Mikrobewegungen reduziert. Im Vergleich dazu befindet sich der Mikropalt bei suprakrestalen Implantaten naturgemäß bereits weiter vom krestalen Knochen entfernt (69–71).

Es gibt keine Evidenz zur Empfehlung herausnehmbarer oder feststehender Versorgungen auf Grundlage von Langzeiterfolg, Funktionstüchtigkeit und Implantatüberleben (72). Herausnehmbarer Zahnersatz besitzt den Vorteil einer erweiterten Hygienefähigkeit, kann bei inadäquater Konstruktion oder Bedienung jedoch zu ungünstigen Belastungen der Implantate führen. Feststehender Zahnersatz ist mit einer höheren Lebensqualität und einer reduzierten technischen Komplikationsrate assoziiert (73, 74).

Die prothetische Versorgung kann Implantate direkt oder indirekt verblocken. Eine direkte Verblockung ist über Kronen, Brücken oder Stege möglich. Eine indirekte Verblockung entsteht über herausnehmbare Prothesen. Durch Verblockung verändert sich die mechanische Belastung der Implantate und die Belastung des periimplantären Knochens. Im Idealfall wird die Kaubelastung durch die Vergrößerung des Unterstützungspolygons lokal reduziert (75–77). Die direkte Verblockung von Einzelzahnkronen wird in der Implantologie häufiger genutzt als im Rahmen zahngetragener Prothetik. Die Immobilität des Implantats aufgrund des fehlenden parodontalen Faserapparats führt zur Notwendigkeit erhöhter Expertise im Prozess der prothetischen Versorgung. Mangelnde Präzision birgt die Gefahr, dass über die Suprakonstruktion Spannungen zwischen den Implantaten zu erhöhtem Knochenabbau führen (75, 78). Auch die Verblockung von Zähnen und Implantaten über Hybridkonstruktionen ist möglich, jedoch aufgrund der unterschiedlichen Beweglichkeit von Zahn und Implantat Gegenstand kontroverser Diskussionen (72).

Insgesamt wurde gezeigt, dass die Wahl der implantat-prothetischen Versorgung maßgeblich den periimplantären Knochenabbau, die Plaqueakkumulation, das Überleben und letztendlich den Implantaterfolg sowie die Lebensqualität des Patienten beeinflusst. (17, 78–80).

2.2 Periimplantärer Kieferknochen

2.2.1 Klassifikation und Histologie

Knochen setzt sich wie in Tabelle 2 dargestellt zusammen.

| | |
|-------------------------------|---|
| organische Matrix (30 %) | Kollagen Typ I (95 %) Proteoglykane und Glykoproteine |
| inorganische Matrix (60 %) | Kalziumphosphat (Hydroxylapatit) (85 %) Kalziumcarbonat (10 %) andere alkalische Salze z.B. Mg^{2+} , F^- |
| Zellen (10 %) | Osteoblasten, Osteoklasten und Osteozyten Hämatopoetische und nicht-hämatopoetische Stammzellen Zellen des Immunsystems und der myeloischen Reihe |

Tabelle 2: Zusammensetzung des humanen Knochens (81–83).

Lamellenknochen mit blutgefäßführenden Haverskanälen wird von Geflechtknochen unterschieden. Geflechtknochen wird bei der Frakturheilung und in der Embryonalentwicklung gebildet und in beinahe allen Knochen durch mechanisch stabileren Lamellenknochen ersetzt. Des Weiteren ist die Unterscheidung der Kompakta und der Spongiosa möglich (83). Je nach Lokalisation, mechanischer Belastung und metabolischer Situation variiert die Dichte des Knochens inter- und intraindividuell (82, 84–87). Nach Misch werden vier verschiedene Knochenichten von dicht (D1) zu locker (D4) unterschieden und nach Lekholm & Zarb wird die Knochenqualität von Typ 1-4 klassifiziert (86, 88) (Abbildung 3). In der Maxilla entspricht die Knochenqualität am häufigsten Typ drei, während sie in der Mandibula am häufigsten dem zweiten Typ entspricht (86). Die Knochenqualität beeinflusst die Wahl des Implantats, das operative Vorgehen und den periimplantären Knochenabbau (89, 90).

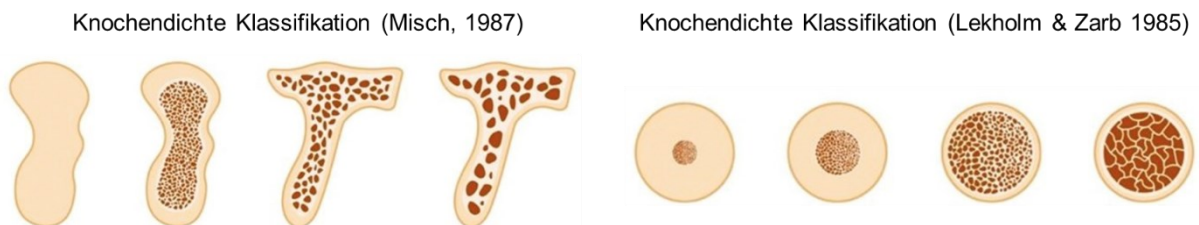


Abbildung 3: Knochenqualität nach Misch und Lekholm und Zarb (88)

2.2.2 Osseointegration

Als Entdecker der Osseointegration titanbasierter Fremdkörper definierte Brånemark Osseointegration als lichtmikroskopisch spaltfreien Kontakt zwischen Implantat und Knochen (38). Somit kann das Implantat ohne Anwendung invasiver Maßnahmen nicht aus dem Knochen gelöst werden und ist klinisch immobil. Bei Betrachtung unter dem Elektronenmikroskop wurde der direkte Kontakt von Osteoblasten zur Titanoberfläche dargestellt (91).

Heute wird Osseointegration als Resultat einer komplexen immunmodulatorischen Fremdkörperreaktion um dentale Implantate betrachtet. Der Prozess von der Implantation bis zum Erreichen der Sekundärstabilität gliedert sich ähnlich der Frakturheilung wie folgt (68, 92):

1. **Hämostase:** Die Gewebeschädigung bei Implantation führt zur Einblutung und Formation eines Blutkoagels.
2. **Inflammation:** Aktivierung der angeborenen Immunantwort aus Komplementsystem und Makrophagen, die zerstörtes Gewebe abbauen.
3. **Proliferation und Remodeling:** Einwanderung mesenchymaler Stammzellen aus denen Osteoblasten, Osteoklasten und Osteozyten entstehen, die mithilfe von Signalmolekülen Osteoid bilden, während parallel eine Angiogenese stattfindet.

4. **Sekundärstabilität:** Neu gebildeter und mineralisierter Knochen führt zur biologischen Stabilität des Implantats. Ein Gleichgewicht der immunologischen Fremdkörperreaktion hält die Osseointegration aufrecht.

Im Jahr 1980 wurde für Implantate bis zum Erreichen der Sekundärstabilität durch Osseointegration eine Einheilzeit von mind. 3-4 Monaten berücksichtigt (91). Inzwischen wurde die Einheilzeit über die Modifikation der Makro- und Mikrostruktur des Implantats auf bis zu 6 Wochen verkürzt (93). Die mechanische Stabilität nimmt über die Aktivität der Osteoklasten und Makrophagen in den ersten 2-4 Wochen kontinuierlich ab. Gleichzeitig nimmt die biologische Stabilität durch die Aktivität von knochenbildenden Zellen kontinuierlich zu (68, 94).

1,7-4,8 % der heute inserierten Implantate erreichen keine Sekundärstabilität (95–99). Es kommt zu einer Pseudoarthrose, bei der eine bindegewebige Schicht das Implantat vom Knochen trennt (92). Ätiologisch spielen die Primärstabilität des Implantats und die postoperative mechanische Ruhe eine entscheidende Rolle. Letztendlich verbleibt die Genese jedoch multifaktoriell (68, 96, 100).

2.2.3 Periimplantärer Knochenumbau

Der periimplantäre Knochen unterliegt wie jeder menschliche Knochen ständigen Umbauvorgängen (68, 101). Die Umbauvorgänge hängen von den in Abbildung 4 dargestellten lokalen und allgemeinen patienten- und implantatspezifischen Faktoren ab (90, 101–104).

Die Relation des Implantats zum Knochen und seiner Umgebung ist von zentraler Bedeutung für den kurz- und langfristigen Knochenhalt. Ein Abstand > 3 mm zum Nachbarimplantat (105) oder $< 1,5$ mm zum Nachbarzahn (90) und eine bukkale Lamelle $> 1-2$ mm (106) sind mit reduziertem Knochenverlust assoziiert. Somit ist die Implantatpositionierung zentral für den Erhalt des periimplantären Knochens und damit für den Langzeiterfolg des Implantats.

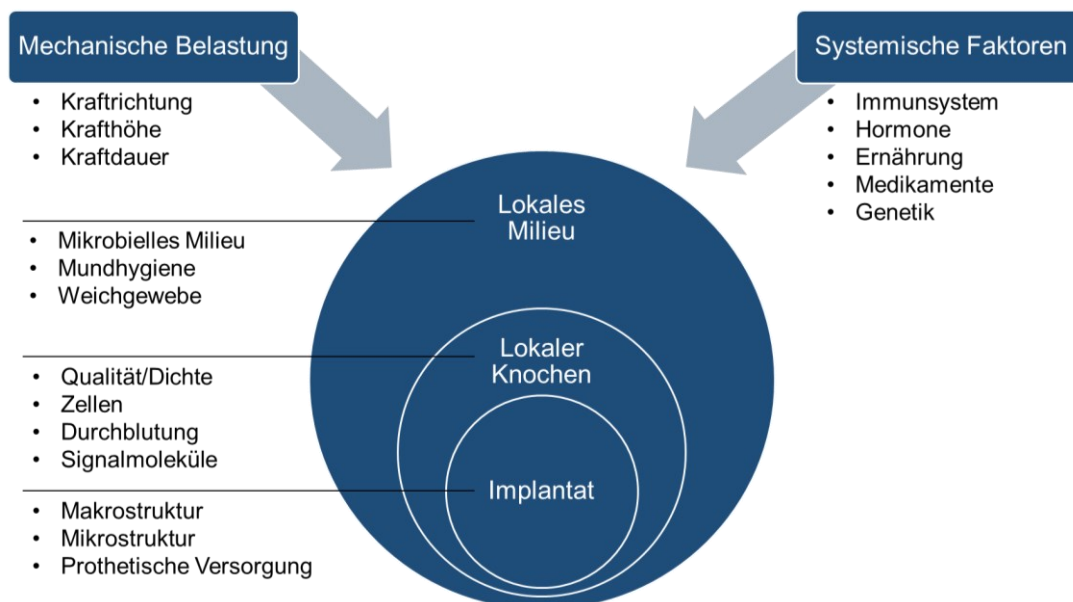


Abbildung 4: Einflüsse auf das periimplantäre Knochen-Remodeling

Die veränderte Belastung nach der Installation der prothetischen Versorgung führt zu periimplantärem Knochenumbau über 1-5 Jahre (104). Auf lange Sicht können alle oben genannten Faktoren dazu führen, dass das immunologische Gleichgewicht gestört wird. Die Reaktivierung der Entzündung und des Komplementsystems führt zur erhöhten Aktivität von Makrophagen und Osteoklasten. Der resultierende Knochenabbau kann dann eine bakterielle Invasion begünstigen, die den reaktiven Knochenabbau weiter beschleunigt bis hin zur Mobilität des Implantats (68).

2.3 Periimplantäres Weichgewebe

2.3.1 Histologie

Die Struktur des periimplantären Weichgewebes unterscheidet sich von der Struktur des zahnumgebenden Weichgewebes im Wesentlichen durch die Abwesenheit des parodontalen Faserapparats und des Zements (107). Der Aufbau des Weichgewebes ist vergleichend in Abbildung 5 dargestellt.

Auch beim periimplantären Weichgewebe spricht man vom suprakrestalen Attachment als Abstand zwischen krestalem Knochenniveau und Sulkusboden (früher biologische Breite). Es setzt sich aus dem epithelialen und dem bindegewebigen Attachment zusammen (108). Das suprakrestale Attachment des Implantats kann größer sein als das eines Zahnes (109).

Das epitheliale Attachment des Sulkusepithels zur Abutment- oder Implantatoberfläche wird kontrovers diskutiert. Listmann postulierte, dass das Attachment, dem auf der natürlichen Zahnoberfläche entspricht, also mittels einer Basalmembran und Hemidesmosomen entsteht (107). Narimatsu et al. (et alia; Latein: und andere) beschreibt eine oberflächenabhängige Stärke des epithelialen Attachments und bezeichnet das Sulkusepithel als periimplantäres Epithel (109).

Die direkte Verbindung des Faserapparats mit der Zahnoberfläche ist beim Implantat nicht im gleichen Sinne vorhanden wie beim Zahn, wodurch das Gewebe weniger straff ist. Die Retention von Plaque und eine bakterielle Invasion werden somit begünstigt. Der periimplantäre suprakrestale Faserapparat verläuft parallel zur Implantatoberfläche. Trotzdem existiert eine oberflächenabhängige Verbindung zwischen Implantat und Bindegewebe entsprechend dem bindegewebigen Attachment. Zwischen dem höchsten Punkt des Sulkus und der mukogingivalen Grenzlinie spricht man heute von der periimplantären keratinisierten Mukosa, die anhand ihrer Länge und ihrer Breite beurteilt werden kann. (107, 109, 110)

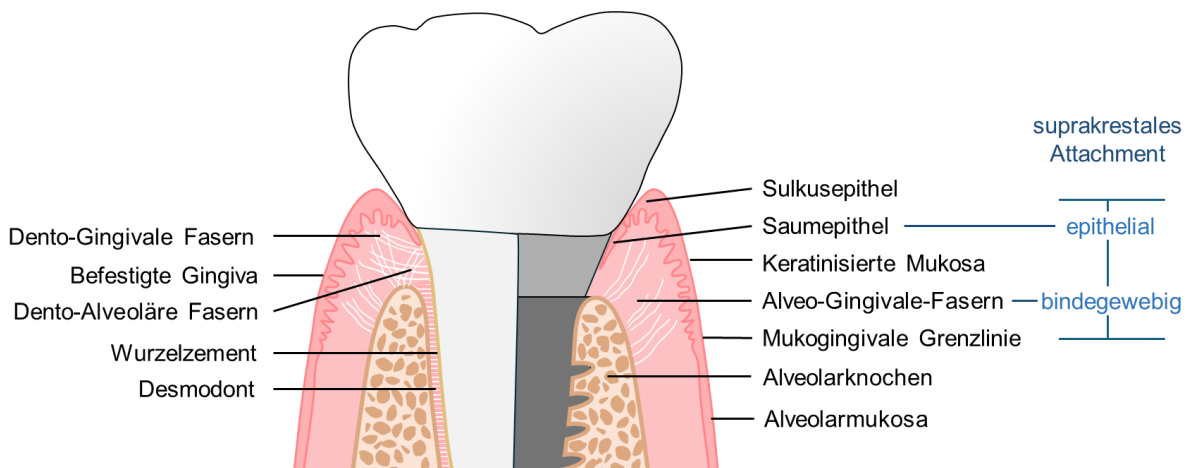


Abbildung 5: Aufbau des suprakrestalen Attachments an Implantat und Zahn (modifiziert nach (111, 112))

2.3.2 Funktion

Das Weichgewebe hat eine immunologische und mechanische Schutzfunktion für den periimplantären Knochen (113). Die keratinisierte und befestigte Gingiva schützt den Parodontalspalt mechanisch vor dem Milieu der Mundhöhle. Die Permeabilität des Saumepithels erleichtert zwar die immunologische Abwehr, begünstigt allerdings gleichzeitig eine bakterielle Invasion (107, 114).

Zuletzt wurde die zentrale Bedeutung einer ausreichenden periimplantären keratinisierten Mukosa durch den DGI/SEPA Osteology Workshop dargelegt (115). Zwei systematische

Literatur Reviews ergaben, dass das Fehlen einer ausreichenden Breite keratinisierter Mukosa mit erhöhter Plaqueakkumulation, periimplantärer Entzündung und Patientendiskomfort korreliert (116–118). Eine ausreichende Dicke der keratinisierten Mukosa (≥ 2 mm) scheint sich zudem im ersten Jahr postoperativ positiv auf das periimplantäre Knochenniveau auszuwirken (119).

2.3.3 Periimplantäre Weichgewebsveränderungen

Prinzipiell unterliegt das periimplantäre Weichgewebe den gleichen Einflüssen wie der periimplantäre Knochen. Die auf Grundlage von Abbildung 4 modifizierte Abbildung 6 gibt einen Überblick über die Einflüsse auf das periimplantäre Weichgewebe.

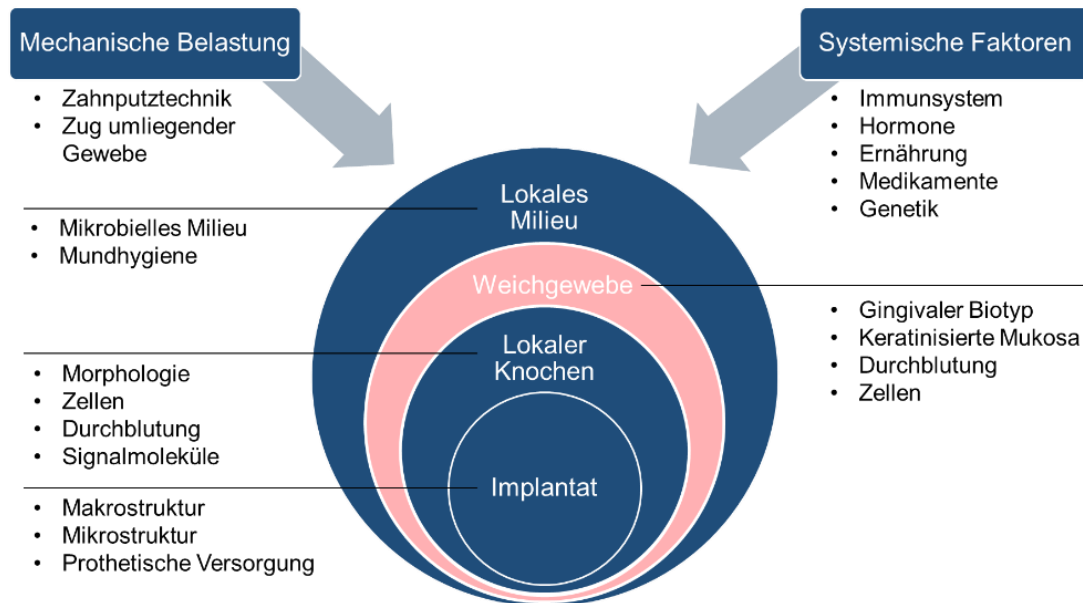


Abbildung 6: Einflüsse auf das periimplantäre Weichgewebe

Entzündungen der periimplantären Mukosa werden als periimplantäre Mukositis bezeichnet. Die Hauptursache sind dentale Plaques. Die Entzündung der periimplantären Mukosa inklusive des Sulkus- und Saumepithels hat eine Erhöhung der Permeabilität für Immunzellen und Bakterien zur Folge. So entstehen erhöhte Sondierungstiefen und Blutungen (120). Eindeutige Daten zum Zusammenhang zwischen der Anwesenheit keratinisierter Mukosa und der Häufigkeit von Periimplantitis und periimplantärer Mukositis liegen nicht vor (115).

Der Begriff Rezession bezeichnet die Verlagerung der marginalen Gingiva unterhalb die Schmelzzementgrenze oder eine mit ihr korrespondierende Lokalisation an der prothetischen Restauration. Periimplantäre Rezessionen werden häufig beschrieben. Die Ursachen können mechanisch, anatomisch oder entzündlich sein. Mechanische Faktoren beinhalten eine traumatische Zahnputztechnik, Bruxismus und den Zug an der Mukosa bei physiologischen Bewegungen. Anatomische Faktoren sind die Positionierung des Implantats im Knochen und der Weichgewebstyp. Des Weiteren wird ein Zusammenhang mit der Morphologie der prothetischen Restauration diskutiert. Allgemein gilt, dass das Weichgewebe über das bindegewebige Attachment dem Knochen folgt. (106, 121)

2.4 Interaktionen des Implantathalses mit periimplantärem Hart- und Weichgewebe

2.4.1 Die Implantathalsstruktur im Speziellen

Die Form, Länge und Beschaffenheit des koronalen Implantatanteils beeinflusst die Morphologie des periimplantären Weichgewebes und des periimplantären Knochens (33, 34). Der Druck auf den periimplantären kortikalen Knochen wird durch Oberflächenvergrößerung und einen längeren Implantathals reduziert (33, 34, 122). Der Indikationsbereich der suprakrestalen Implantate wird von einigen Autoren tendenziell dem Seitenzahnbereich und dem zahnlosen Kiefer zugeordnet. Epikrestale Implantate sind dagegen häufig mit guter Ästhetik und somit dem Frontzahnbereich assoziiert (123, 124). Die Einteilung der Implantathalsstrukturen erfolgt nach den folgenden makro- und mikrostrukturellen Kriterien (18, 32) :

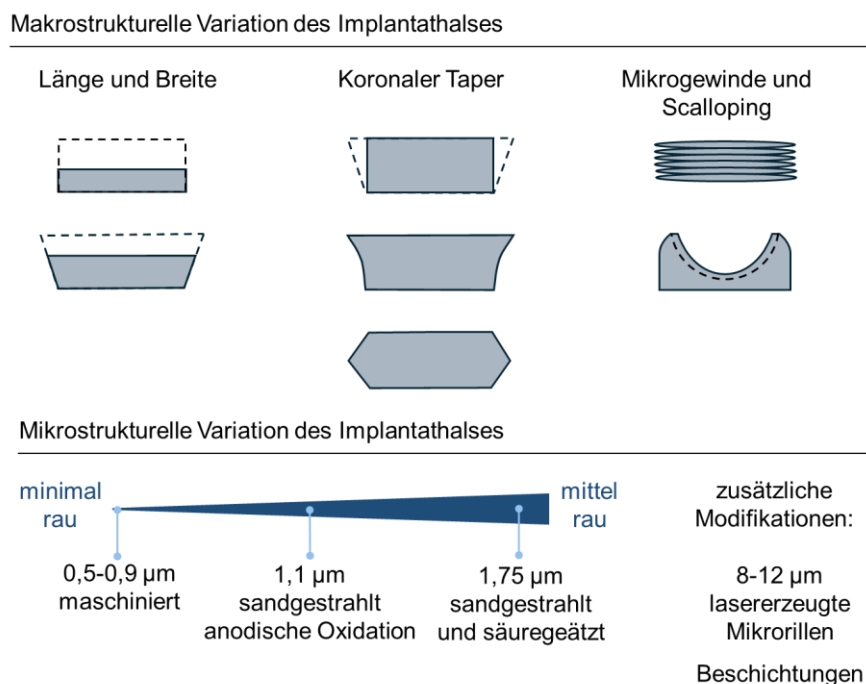


Abbildung 7: Makro- und Mikrostruktur der Implantathälse moderner Implantate

Das Zusammenspiel maschinierter und rauer Oberflächen im Bereich des Implantathalses ist Gegenstand aktueller Forschung. Es sind verschiedene Taper und Längen des Implantathalses sowie verschiedene Mikrostrukturen erhältlich (125). Obwohl es kontroverse Daten für ein besseres Implantatüberleben gibt, ist der koronale Anteil des Implantathalses bei suprakrestalen Implantaten meist maschiniert, da dadurch eine Verbesserung des suprakrestalen Attachments und eine reduzierte Plaqueakkumulation angenommen wird (14). Die Länge des glatten Implantathalses variiert je nach Hersteller und Implantattyp zwischen 0,4 und 2,8 mm (31). Eine optimale Stabilisierung des Knochenniveaus wird jedoch laut einer aktuellen Review der Oral Reconsstruction Foundation erst bei mittleren Rauheitsgraden erreicht (18). Langzeitstudien und Reviews zum Einfluss des Implantathalses sind in Tabelle 3 und Tabelle 4 dargestellt und werden im folgenden Kapitel erläutert.

| Autor und Jahr | Max. in situ | Implantat glatt rau | Anzahl (Patienten) | Überleben | Peri-implantitis | Knochenabbau ± SD mm |
|--|--------------|--|--------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| <i>Camarda et al. 2021 (126)</i> | 25 Jahre | Swede-Vent® maschinert 1,2 mm | 110 (22) | 99 % | - | 0,85 ± 0,18 |
| | | Brånemark® maschinert 1,2 mm | | 99 % | - | 1,00 ± 0,18 |
| | | Screw-Vent® maschinert 3,6 mm | | 99 % | - | 1,77 ± 0,18** |
| <i>Donati et al. 2018 (127)</i> | 20 Jahre | Astra Tech® maschinert TiO-beschichtet | 64 (25) | 85,1 % 90,5 % | - | 0,41 ± 1,25 0,83 ± 1,59 |
| <i>Jacobs et al. 2010 (128)</i> | 16 Jahre | Brånemark® maschinert 1,2 mm | 47 (12) | 97,7 % | - | 0,31 ± 0,69 |
| | | Astra Tech® TiO epikrestal | | 100 % | - | 0,02 ± 0,45 |
| <i>Vandeweghe et al. 2015 (129)</i> | 14 Jahre | Southern Implants® maschinert 3 mm sandgestrahlt | 203 (33) | 97 % | 4,1 % | 1,41 ± 0,92 1,73 ± 1,54** |
| <i>Ravald et al. 2013 (130)</i> | 15 Jahre | Brånemark® maschinert 1,2 mm | 345 (46) | 94,7 % | - | 0,42 ± 0,81 |
| | | Astra Tech® TiO epikrestal | | 95,5 % | - | 0,67 ± 1,18 |
| <i>Vroom et al. 2013 (131)</i> | 12 Jahre | Astra Tech® maschinert TiO | 80 (20) | 100 % | - | 0,11 ± 0,01 0,20 ± 0,01 |
| <i>Sanchez-Siles et al. 2015 (132)</i> | 10 Jahre | Biotech BIS maschinert 2,5 mm Biotec BIS Conic epikrestal | 1244 (400) | - | 2,9 % 14,4 %** | 1,18 ± 1,39 2,41 ± 1,35** |
| <i>Glibert et al. 2024 (133)</i> | 6 Jahre | Southern Implants™ MSC maschinert 3 mm DCC sandgestrahlt | 42 (21) | - | 4,8 % 0 % | 0,26 0,17 |
| <i>Mendonca et al. 2017 (134)</i> | 6 Jahre | Brånemark® MkIII maschinert 0,8 mm Groovy rau 0,3 mm | 242 (138) | 95,0 % 95,9 % | - | 1,48 ± 0,92 1,23 ± 0,65** |
| <i>Den Hartog et al. 2017 (135)</i> | 5 Jahre | Replace Select Tapered maschinert 1,5 mm | 80 (80) | 96,2 % | 7,7 % | 1,26 ± 0,90 |
| | | NobelReplace Tapered rau mit Mikrorillen | | 100 % | 14,3 % | 1,20 ± 1,1 |
| | | NobelPerfekt Groovy Scalloped mikrorau | | 96,2 % | 11,5 % | 2,28 ± 0,97 |
| <i>Hänggi et al. 2005 (136)</i> | 3 Jahre | Straumann® TL maschinert 2,8 mm maschinert 1,8 mm | 201 (48) | - | - | 1,8 ± 1,00 1,5 ± 1,00 |
| <i>Rothamel et al. 2022 (67)</i> | 2 Jahre | BEGO Semados® RS maschinert 0,5 mm RSX rau epikrestal | 116 (58) | 100 % | 7,6 % 8,3 % | 0,61 ± 0,28 0,58 ± 0,24 |

Tabelle 3: Übersicht zu klinischen Studien zum direkten Vergleich von Implantatüberleben und/oder Knochenabbau zwischen unterschiedlichen Implantatstrukturalternativen

(**markieren signifikante Unterschiede, SD = Standardabweichung, Max. = Maximum)

| Autor und Jahr | in situ | Mikrostruktur der Implantate | Anzahl Studienart | Erfolg und Überleben | Knochen-Abbau (KA) |
|--------------------------------------|------------|---|--|--|---|
| <i>Jordana et al. 2018 (32)</i> | 3-23 Jahre | minimal-rau moderat-rau rau Implantatkörper | 22 Studien RCTs prospektiv retrospektiv | Raue Implantate zeigen höhere Periimplantitisraten | -- |
| <i>Doornewaard et al. 2017 (137)</i> | 5-20 Jahre | minimal-rau mittel-rau rau Implantatkörper | 87 Studien prospektiv retrospektiv | Bedingt höhere Periimplantitisraten an raueren Implantaten | Signifikant geringerer KA an minimal-rauen Implantaten verglichen zu raueren ** |
| <i>Abrahamsson et al. 2009 (31)</i> | 3-10 Jahre | maschiniert rau (TiO) Implantatkörper | 10 Studien RCTs prospektiv | Keine Evidenz für Unterschiede der Implantatoberflächen | Tendenz zu höherem Langzeit KA für raue Implantatoberflächen |
| <i>Messias et al. 2019 (18)</i> | 1-16 Jahre | maschiniert rau Implantathals | 11 Studien RCTs | Mehr Frühverluste an maschinieren Halsen ** Ähnliche Periimplantitisraten | 0,43 mm mehr KA in machinierten Halsen (früh) Differenz bleibt über Langzeit** |
| <i>Koodaryan et al. 2016 (138)</i> | 1-10 Jahre | rau, Mikroge- winde rau maschiniert Implantathals | 12 Studien RCTs prospektiv retrospektiv | Tendenz zu höheren Überlebensraten von raueren Implantaten ohne Signifikanz | Signifikant höherer KA für maschinierete Implantate ** |

Tabelle 4: Übersicht zu Reviews und Metaanalysen zum klinischen Einfluss der Implantathalsstruktur (**markieren signifikante Unterschiede)

2.4.2 Postoperativer und langfristiger Knochenumbau

Für den unmittelbar postoperativ einsetzenden Knochenabbau konnten Abhängigkeiten von der Oberflächenrauheit, von der Insertionstiefe und von der prothetischen Verbindung gezeigt werden (18, 139, 140). Für den langfristigen Knochenabbau sind insb. die Plaqueakkumulation mit einhergehender Entzündungsreaktion sowie die Belastungsrichtung und -stärke verantwortlich (18, 32, 138).

Messias et al. (18) beschrieben für maschinierete Implantathälse einen 0,43 mm höheren initialen Knochenabbau als für raue Implantathälse identischen Makrodesigns. Die gleiche Review berichteten auch über die Abhängigkeit des initialen Knochen-Remodelings von der Insertionstiefe. Von Hartman et al. (139) konnte gezeigt werden, dass eine Abhängigkeit des postoperativen Knochenumbaus von der Insertionstiefe der Rau-Glattgrenze besteht. Eine epikrestale Lage der Rau-Glatt-Grenze bedingte den geringsten Knochenabbau bei der Insertion einteiliger Implantate. Im weiteren Verlauf konnten keine Unterschiede im Knochenabbau ermittelt werden. Zusätzlich wurde gezeigt, dass der initiale Knochenabbau bei interner prothetischer Verbindung (0,2-0,3 mm) geringer ist als bei externer prothetischer Verbindung (bis zu 1 mm) (140).

Das periimplantäre Knocheniveau wird in wenigen kontrollierten Studien über einen Zeitraum von mindestens (mind.) 3 Jahren untersucht. (vergleiche (vgl.) Tabelle 3) Einzelne Reviews zeigten eine höhere Prävalenz der Periimplantitis je rauer die Oberfläche des Implantatkörpers ist. Dies wird durch die größere Oberfläche, die eine Plaqueakkumulation beg-

pünstigt, begründet (32). Insgesamt ist die Datenlage jedoch heterogen, sodass aktuelle Reviews zu dem Ergebnis kommen, dass die Oberflächenbeschaffenheit keinen Einfluss auf die Langzeitstabilität des periimplantären Knochens, die Prävalenz der Periimplantitis oder das Implantatüberleben hat (18, 31).

Eine Studie von Sanchez-Siles et al. (132) berichtete, dass der Knochenabbau um Implantate mit 2,5 mm langem maschinierem Implantathals signifikant geringer war als um epikrestale Implantate ohne Implantathals. Eine kontrollierte klinische Studie zeigte dagegen, dass ein konisches Implantathalsdesign und ein Implantathals mit Mikrogewinde, das Knochenniveau langfristig besser stabilisieren können als Implantathälse mit glatten und zylindrischen Formen (31). Die Implantate wurden mit der Implantatschulter bzw. auf Höhe der Rau-Glatt-Grenze epikrestal positioniert. In zwei Studien mit Astra® Implantaten konnte kein Einfluss der Implantathalskonfiguration auf den Knochenabbau oder das Weichgewebe nach 10-15 Jahren in situ festgestellt werden (130, 131).

Insgesamt führen heterogene Messmethoden des Knochenniveaus und unterschiedliche Insertionstiefen zur erschwerten Interpretation der geschilderten Studiendaten. Zudem wird die isolierte Bewertung der Implantathalsstruktur durch die Vielfalt der Störfaktoren mit Einfluss auf das periimplantäre Knochenniveau erschwert (18, 141).

2.4.3 Postoperative und langfristige Weichgewebsentwicklung

Nach dem operativen Trauma adaptiert sich das Weichgewebe an den Gingivaformer, das Abutment und die suprakrestalen Implantatanteile. Es kommt zur Ausbildung des suprakrestalen Attachments. Keine Implantathalsoberfläche oder -geometrie führt nachgewiesen zur Veränderung der Art oder der Länge des suprakrestalen Attachments. Eine Implantathalshöhe von unter 2 mm erlaubt laut Mattheos et al. unter Umständen keine adäquate vertikale Höhe des suprakrestalen Attachments (14). Falls die Morphologie der Prothetik oder des Implantathalses die Plaqueretention begünstigt, kann eine periimplantäre Mukositis begünstigt werden. Für eine vertikale Weichgewebshöhe von 3-4,5 mm wird angenommen, dass eine langfristige periimplantäre Gesundheit möglich ist (14).

Der periimplantäre weichgewebliche Zustand wird nur in einzelnen kontrollierten Studien für einen Zeitraum von mindestens 3 Jahren untersucht (31). Moderne Implantatoberflächen unterscheiden sich nicht wesentlich hinsichtlich der Prävalenz periimplantärer entzündlicher Prozesse. Moderne Implantatoberflächen haben eine mittlere Rauheit von 1-2 μm (62). Laut Albrektsson et al. (140) zeigten Implantatoberflächen mit mittlerer Rauheit ausschließlich in Hundestudien eine höhere Rate entzündlicher Prozesse verglichen mit glatten Oberflächen.

Rothamel et al. (67) stellten in einer aktuellen klinischen Studie über zwei Jahr keinen Unterschied in der Prävalenz periimplantärer Mukositis zwischen identischen Implantaten mit maschinierem und ohne maschinierem Implantathals fest. Es ist zu beachten, dass alle Implantate in der Studie mit Platform-switching versorgt wurden, die Rau-Glatt-Grenze der Implantate epikrestal positioniert wurde und die Länge des maschinierem Implantatanteils 0,5 mm betrug. Ravald et al. (130) und Vroom et al. (131) fanden ebenfalls keinen Unterschied der Prävalenz periimplantärer Mukositis bei Astra® Implantaten unterschiedlicher Implantathalskonfiguration nach 12-15 Jahren.

Der Mangel an histomorphologischen und klinischen Studien lässt keine konkreten Schlüsse zur langfristigen Interaktion des Implantathalses mit dem Weichgewebe zu. Die Annahme, dass erhöhte Plaqueakkumulation aufgrund einer rauerer Implantatoberfläche zu periimplantärer Mukositis führt, konnte in den wenigsten klinischen Studien mit modernen Implantaten bestätigt werden.

2.5 Operative Techniken der Implantologie und Augmentationschirurgie

2.5.1 Implantationszeitpunkt

Nach der deutschen Leitlinie „Implantationszeitpunkte“ sind die folgenden Implantationszeitpunkte zu unterscheiden (142) :

| Zeitpunkt | Sofort | Früh | | Spät |
|-----------------------------|--|---|------------------------------|--|
| Einteilung nach ITI | Typ I | Typ II | Typ III | Typ IV |
| Zeitfenster | < 1 Tag | 4-8 Wochen | 12-16 Wochen | > 16 Wochen |
| Heilungsphase | Blutkoagel | Abschluss der Weichgewebsheilung | Partielle knöcherner Heilung | Abschluss der Knochenheilung |
| Spezifischer Vorteil | Effizienz der Behandlungsdauer und Erhalt der Gewebe | Möglichkeit nach Abheilung lokaler entzündlicher Prozesse | | Auch bei Vorliegen von Risikofaktoren geeignet |

Tabelle 5: Einteilung des Implantationszeitpunktes nach deutscher S2k-Leitlinie

Der Implantationszeitpunkt hat einen direkten Einfluss auf die Behandlungsdauer, die Morbidität und die Art der auftretenden Komplikationen. Die folgenden patientenspezifischen Faktoren sind bei der Entscheidung des Implantationszeitpunktes von zentraler Bedeutung (142–144):

- Hartgewebliche Situation (vgl. Abschnitt 2.2)
- Weichgewebliche Situation (vgl. Abschnitt 2.3)
- Weitere lokale Situation: Pathologien und Zustand der Nachbarzähne
- Systemische Faktoren (vgl. Abschnitt 2.6.5)
- Patientenwunsch und -compliance

Die Sofortimplantation ist mit einer reduzierten Implantatüberlebensrate assoziiert (145). Die oben genannten Einflussfaktoren im Rahmen der Patientenselektion sowie die Erfahrung des Behandlers und die Wahl der operativen Technik haben dabei einen zentralen Einfluss auf den Erfolg der Sofortimplantation. Der Einsatz von Implantaten mit konischem, aggressivem Gewindedesigns zur Erzielung ausreichender Primärstabilität gilt als vorteilhaft (142).

Die Spätimplantation gilt als konservative Methode. Sie verspricht voraussagbare Ergebnisse bei einer geringen Komplikationsrate und vergleichsweise langer Behandlungsdauer. Durch die Prozesse des Knochen-Remodelings nach der Zahnextraktion entsteht eine reduzierte Dimension des Kieferkamms. Dadurch wird unter Umständen vor oder während der Implantation der Einsatz eines augmentativen Verfahrens notwendig. Auch die weichgeweblichen Dimensionen werden durch das Extraktionstrauma reduziert. (142)

2.5.2 Augmentationsverfahren

Unter knöcherner Augmentation versteht man in der dentalen Implantologie die Vergrößerung der knöchernen Dimensionen des Kieferkamms in der Vertikalen und/oder Horizontalen (102). Die Weichgewebsaugmentation in der dentalen Implantologie umfasst die Verdickung des Gewebes, die Reduktion seiner Mobilität und das Erzielen einer Keratinisierung der Gingiva (146). Es konnte gezeigt werden, dass Augmentationsverfahren langfristig das Überleben, die Funktion und die Ästhetik dentaler Implantate unterstützen (147–149).

Durch die Augmentation soll die prothetische Position des Implantats optimiert werden (150, 151). Sie wird zur Reduktion oder zum Ausgleich der Knochenresorption bei bzw. nach

Zahnextraktion angewendet. Auch Kieferkammdefekte anderer Genese, z.B. bei Tumor, Nichtanlage oder Trauma, können mithilfe von Augmentationsverfahren für die Implantation aufgebaut werden (4, 152, 153). Alternativen zur Augmentation stellen die angulierte Implantatpositionierung, Zygomaimplantate, Ridge Preservation Methoden bei Extraktionen, kurze Implantate und durchmesserreduzierte Implantate dar (154–156).

Die Hauptvoraussetzungen für den Erfolg einer Augmentation sind postoperativ mechanische Ruhe und vorhandenes Regenerationspotenzial. Die mechanische Stabilität kann durch eine günstige Defektkonfiguration, eine geeignete Augmentationstechnik und ein adäquates Weichgewebsmanagement erreicht werden. Das Regenerationspotenzial wird durch die Defektkonfiguration, das Knochenersatzmaterial und allgemeine Patienteneigenschaften bestimmt. Die erfolgsgestimmenden Faktoren sind in Abbildung 8 dargestellt. (102, 157)

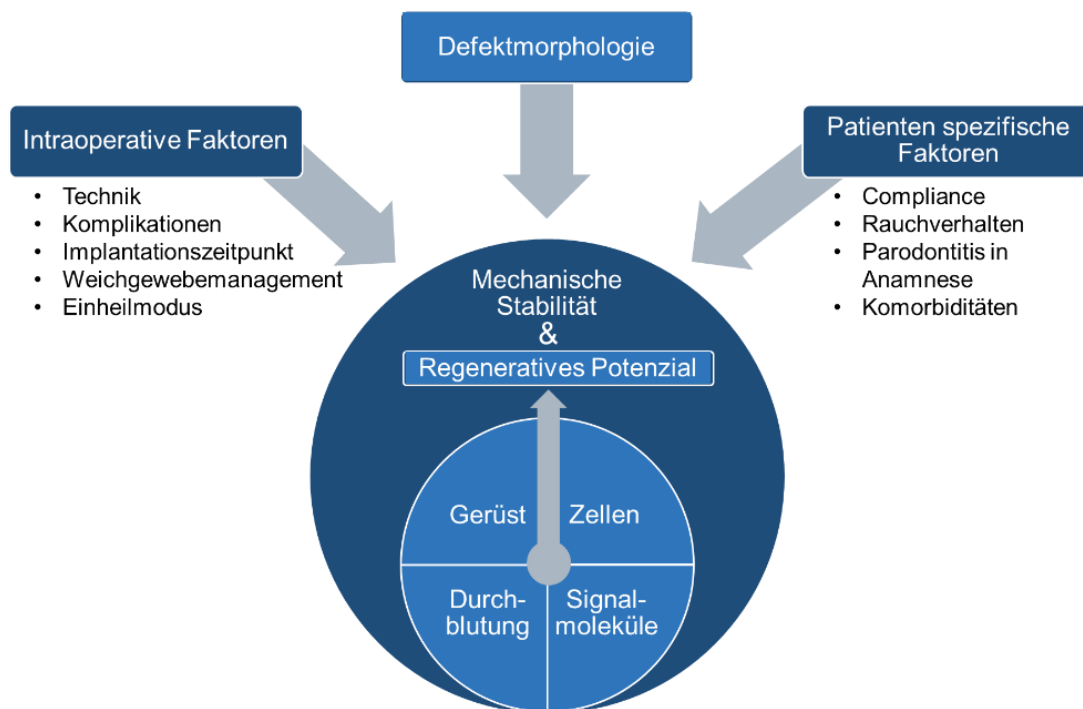


Abbildung 8: Faktoren des Augmentationserfolgs (nach (102, 157))

Es können horizontale, vertikale und kombinierte Defekte unterschieden werden, während horizontale Defekte am prognostisch günstigsten sind, während kombinierte Defekte das größte Komplikationsrisiko bergen (102, 151). Die Spannungsfreiheit des Weichgewebes hat einen maßgeblichen Einfluss auf das Resorptionsverhalten des Augmentats, sodass bei kombinierten Defekten häufig eine verstärkte Resorption und somit einhergehende Dimensionsreduktion des Augmentats beobachtet wird (151).

Am häufigsten werden zur Augmentation An- bzw. Auflagerungsplastiken oder ein Sinuslift angewendet. Die am besten erforschte An- bzw. Auflagerungsplastik stellt die Guided Bone Regeneration (GBR) dar. Bei der GBR wird der zahnlose Kieferkamm, die periimplantäre Region oder die periodontale Region mithilfe von partikulärem Material und einer Membran in vertikaler und/oder horizontaler Richtung verbreitert (158). Der Sinuslift als Technik zur Verdickung des Kieferhöhlenbodens im Oberkiefer Seitenzahnbereich stellt eine Sonderform der vertikalen Augmentation dar. Es handelt sich um einen vierwandigen Defekt mit hohem Regenerationspotenzial, für den gemäß deutscher Leitlinie jedes KEM geeignet ist (159). Der Sinuslift gilt als sicheres und vorhersagbares Augmentationsverfahren (160).

2.5.3 Knochenersatzmaterialien

Knochenersatzmaterialien (KEM) sind natürliche oder synthetisch hergestellte Materialien, die zur Regeneration von Knochendefekten Anwendung finden. Es können autologe, allogene, xenogene und alloplastische KEM unterschieden werden. Die jeweiligen Eigenschaften sind in Tabelle 6 dargestellt (161, 162). Allen besitzen die Eigenschaft der Biokompatibilität und der Osteokonduktivität. Das osteogenetische und osteoinduktive Potenzial sowie das Resorptionsverhalten der eingesetzten Materialien sind variabel (162). Die Wahl des KEM erfolgt aufgrund der Dimension und Lage des Defekts, sowie der Patienten- und Behandlerpräferenzen. Durch Kombination von KEM können dessen jeweilige Vorteile ausgenutzt werden. Die Evidenz zur Überlegenheit eines bestimmten KEMs ist gering. Der autologe Knochen gilt aufgrund seiner osseogenetischen Eigenschaften als Goldstandard (159, 162).

| | autolog | allogen | xenogen | alloplastisch |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------------|
| Osteogenetisch | ++ | - | - | - |
| Osteoinduktiv | +++ | (+) | - | - |
| Osteokonduktiv | +++ | ++ | + | + |
| Resorptionsverhalten | -/+ | -/+ | ++ | -/+ |

Tabelle 6: Einteilung und Eigenschaften der Knochenersatzmaterialien (modifiziert nach Goldberg (161))

Autologer Knochen wird in der dentalen Implantologie klassischerweise aus dem Kieferknochen oder von der Crista iliaca des Beckens entnommen. Es ist eine Blockentnahme möglich oder eine direkte Gewinnung von partikulärem Material, z.B. mittels Bone Scraper (102, 163, 164). Es wurde gezeigt, dass in dem so gewonnen Knochen vitale knochenbildende Zellen enthalten sind (165). Entscheidende Nachteile des autologen Knochens sind die Entnahmemorbidität, die verlängerte OP-Dauer und die begrenzte Verfügbarkeit (102, 164, 166).

Allogener Knochen stammt idR aus Hüftköpfen von Lebendspendern. Die in Deutschland erhältlichen Produkte sind zerkleinert, aufgereinigt und sterilisiert (166). Trotz intensiver Aufbereitung des Knochens wurde von verbleibenden osteoinduktiven Signalmolekülen berichtet (167). Es sind partikuläre Materialien und auch Blöcke oder Schalen erhältlich (102). Nachteilig ist die heterogene Knochenqualität aufgrund physiologischer Spenderdiversität (166).

Xenogenes KEM, das idR aus Rinderknochen gewonnen wird, gilt als volumenstabil (168). Es ist nach >10 Jahren postoperativ noch röntgenologisch und histologisch sichtbar (102). Die Produkte werden mittels Hitze und chemischer Prozesse deproteiniert, sodass die Knochenstruktur erhalten bleibt. Für Implantate in xenogenen Augmentaten konnten vergleichbares Überlebensraten wie für Implantate in physiologischem Knochen gezeigt werden (168).

Alloplastische KEM sind synthetischer oder halbsynthetischer Herkunft. β -Tricalciumphosphat (TCP) und Hydroxylapatit werden erfolgreich in der dentalen Implantologie eingesetzt (168). Die Materialgruppe zeigt eine hohe Variabilität in Bezug auf Porosität, chemischer Zusammensetzung, Resorptionsverhalten und Partikelgröße (169).

Die Regeneration des Kieferkamms unterscheidet sich abhängig von den in Abbildung 8 dargestellten Faktoren in seiner Dauer und der resultierenden Knochenqualität und -dichte (170). Die Vaskularisierung und die Bildung von Geflechtknochen unter vollständiger oder teilweiser Resorption des KEM startet unmittelbar nach der Augmentation. Das Ergebnis sind knöchern eingeschlossene nekrotische autologe, allogene oder xenogene Knochenfragmente sowie knöchern umgebende alloplastisches KEM Partikel (102, 171). Die Langzeitstabilität der Augmentate wird kontrovers diskutiert (148, 172, 173). Terheyden postulierte, dass der Volumenverlust des Augmentats vor allem im ersten Jahr postoperativ stattfindet (174). Dennoch wurde auch langfristig über vermehrten periimplantären Knochenabbau und konsekutive Rezession nach Augmentation berichtet (172, 175). Das Implantatüberleben in augmentiertem Knochen wird als gleichwertig zu dem in nativem Knochen angenommen (168, 172).

2.6 Erfolg und Überleben dentaler Implantate

2.6.1 Implantatüberleben

Das Implantatüberleben ist dadurch definiert, dass sich das Implantat noch im Patientenmund befindet. Die Überlebensraten von Implantaten wurden für einen Zeitraum von bis zu 30 Jahren dokumentiert (5). Je nach Studie betragen die Überlebensraten 80-100 % nach 10 Jahren (4, 6–8, 176), 81,6-100% nach 15 Jahren (10, 13, 177) und 67,7-99 % nach 20 Jahren (5, 10, 12, 13). Die Quantität und Qualität der Forschungsdaten zum Implantatüberleben nach 15 Jahren oder mehr ist weiterhin begrenzt (11–13). Studien, die ab 2010 ein Implantatüberleben moderner Implantate von durchschnittlich mind. 12 Jahren beurteilen sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

| Autor und Jahr | in situ (Mittelwert) | Implantat | Anzahl | Überleben | Erfolg nach Buser | Knochenabbau ± SD mm |
|-------------------------------------|----------------------|--------------------------------|--------|------------------|-------------------|----------------------|
| <i>Horikawa et al. 2017 (178)</i> | 15 Jahre 25 Jahre | TPS Solid Screw | 83 | 95,4 % 89,8 % | | - |
| <i>Chrcanovic et al. 2018 (179)</i> | 24 Jahre | AstraTech® /NobelBiocare® | 1045 | 87,5 % | - | 1,4 ± 1,5 |
| <i>Chappius et al. 2013 (180)</i> | 21 Jahre | ITI Hollow Cylinder and Screw | 95 | 89,5 % | 75,8 % | unklar |
| <i>Rocuzzo et al. 2022 (181)</i> | 20 Jahre | Tissue-Level | 172 | 93 % | - | - |
| <i>Deporter et al. 2014 (182)</i> | 20 Jahre | Sybron® (kurz) | 53 | 73,4 % | 73,4 % | 0,7 |
| <i>Anitua et al. 2019 (183)</i> | 15 Jahre | kurze Implantate | 75 | 93,3 % | | 0,5 ± 0,6 |
| <i>Becker et al. 2015 (184)</i> | 14 Jahre | Straumann® | 388 | 84,5 % | | - |
| <i>Nobre et al. 2023 (185)</i> | 14 Jahre | sofortbelastete Implantate | 225 | 93 % | 88,1 % | 2,0 ± 1,6 |
| <i>Vrielinck et al. 2022 (177)</i> | 13 Jahre | NobelBiocare® mit Zygomas | 280 | 81,6 % 67,7 % | | - |
| <i>Park et al. 2021 (186)</i> | 13 Jahre | - | 119 | 89 % | | 3,2 ± 2,1 |
| <i>Lops et al. 2012 (187)</i> | 13 Jahre | kurze Implantate Standardlänge | 257 | 92,3 % 95,9 % | 78,3 % 81,4 % | 1,8 |
| <i>Ryoo et al. 2023 (188)</i> | 12 Jahre | Restore® | 247 | 92,5 % | | - |

Tabelle 7: Aktuelle Studien zum Implantatüberleben mit einem mittleren Follow-up Zeitraum von mind. 12 Jahren.

2.6.2 Früh- und Spätverluste dentaler Implantate

Zu den Frühverlusten zählen je nach Definition sowohl Verluste, die vor der prothetischen Versorgung auftreten (189) als auch Verluste, die in den ersten 6 oder 12 Monaten auftreten (190). Frühverluste treten in spezialisierten Zentren nach 1-2 % der Implantationen auf.

Die Risikofaktoren für Frühverluste können in implantatbezogene, operativbedingte und patientenbedingte Faktoren eingeteilt werden. Der Einfluss der implantatbezogenen Faktoren, wie Oberflächeneigenschaften, Durchmesser und Länge wird kontrovers diskutiert. Die ope-

rativbedingte ungenügende Primärstabilität und eine Frühbelastung sind als Einflussfaktor gut belegt. Des Weiteren sind in einzelnen Studien eine prothetische Behandlung in einer anderen Praxis/Klinik als die OP-Klinik, die Behandlererfahrung und die Anzahl der zusammen inserierten Implantate als Risikofaktor identifiziert worden. (189, 190)

Spätverluste sind Verluste, die nach erfolgreicher Osseointegration auftreten (190). In vielen Langzeitstudien zum Implantatüberleben werden lediglich die Spätverluste berücksichtigt (10). Spätverluste sind überwiegend mit periimplantären Infektionen assoziiert. Zu den nicht-entzündlich bedingten Implantatverlusten zählen Implantatfrakturen, Schraubenfrakturen, sowie lokale pathologische knöcherne Prozesse und Frakturen. Der Anteil der Implantatfrakturen an den Spätverlusten wird in Publikationen mit einer sehr großen Spannweite von 0-94 % angegeben (190).

Eine periimplantäre Entzündung wird nachweislich durch eine unzureichende Plaquekontrolle verursacht. Die Plaqueakkumulation kann durch die Überkontourierung der Suprastruktur und eine reduzierte Breite der keratinisierten Mukosa (< 2 mm) begünstigt werden. Auch verbleibende Zementreste nach prothetischer Rehabilitation können zu einer periimplantären Entzündung führen (191). Zu den kontrovers diskutierten Risikofaktoren gehören die Implantatlokalisierung und -position, das operative Vorgehen, die Primärstabilität und das Gewindedesign des Implantats. Die allgemeinen patientenbedingten Risikofaktoren werden in Kapitel 2.6.5 beschrieben. (190, 192)

2.6.3 Implantaterfolg

Zur Beurteilung des klinischen Implantaterfolgs existieren verschiedene Kriterien. Die Diversität der Kriterien zur Bewertung des klinischen Implantaterfolgs beeinträchtigt signifikant die Vergleichbarkeit wissenschaftlicher Studien (193). Die am häufigsten verwendeten Kriterien sind die nach Buser et al. (194) und nach Albrektsson et al. (195). Zur Beurteilung des Implantaterfolgs wird wie in Kapitel 2.6.4 erläutert auch die Prävalenz periimplantärer Erkrankungen herangezogen (196). Im Rahmen aller Kriterien wird das Vorliegen eines Knochenabbaus und das Vorliegen einer periimplantären Entzündung in verschiedenem Maße beurteilt. Der Implantaterfolg sowie der ermittelte Knochenabbau einiger Langzeitstudien sind in Tabelle 7 dargestellt.

Die Lockerung des Implantats, die durch den Verlust der Osseointegration bedingt ist, wird immer als Misserfolg dentaler Implantate eingestuft (193). Allerdings kann die Lockerung ohne Abnahme der Prothetik nur bei unverblochten Implantaten festgestellt werden. Ein ausgeprägter Knochenabbau, der als periimplantäre Radioluzenz erkennbar ist, führt bei verblochten Implantaten trotz Implantatüberleben zur Einstufung als Misserfolg des Implantats. Während Albrektsson 1986 (195) einen maximalen Knochenabbau von 0,2 mm pro Jahr nach dem ersten Jahr in Funktion beschreibt, wird 2018 empfohlen den Knochenabbau des Implantats aufgrund der Röntgenaufnahme bei prothetischer Eingliederung zu ermitteln (196). In beiden Fällen wird ein Knochenabbau ab 3 mm nach 15 Jahren als Misserfolg eingestuft. Da der Knochenverlust nach Buser kaum Berücksichtigung findet, ergibt sich nach seinen Kriterien idR ein höherer Implantaterfolg, als nach den Kriterien von Albrektsson et al. (193, 195, 196).

Im weiteren Sinne ist auch die Lebensqualität und die Zufriedenheit der Patienten ein wesentlicher Bestandteil des Implantaterfolgs. Die Evaluation der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität, die sog. „Oral Health related Quality of Life“ (OHRQOL), ist ein Konzept, das Ende des 20. Jahrhunderts entwickelt wurde (58, 59). Das subjektive Konzept der Gesundheit inkludiert die orale Gesundheit. Die orale Gesundheit bezieht sich neben der Abwesenheit von Schmerzen und Diskomfort auf die Möglichkeit der sorgenfreien Nutzung des stomatognathen Systems zum Lachen, Sprechen, Kauen und Durchführen sonstiger psychologisch relevanter alltäglicher Aktivitäten (64). In der Implantologie und Augmentationschirurgie

konnte mehrfach gezeigt werden, dass implantatprothetische Rehabilitationen und Einzelversorgungen die OHRQOL signifikant verbessern können (2–4, 30, 38, 65, 65). Dies gilt insbesondere für Patienten mit Zustand nach Tumorresektionen und zahnlose Patienten (2–4).

2.6.4 Periimplantitis, periimplantäre Mukositis und periimplantäre Gesundheit

Periimplantäre Gesundheit ist durch den „Workshop zur Klassifikation periodontaler und periimplantärer Krankheiten und Konditionen“ definiert als die Abwesenheit von Rötung und Blutung nach Sondieren (196). Laut Berglundh et al. (196) kann auch bei reduziertem periimplantärem Knochenniveau von periimplantärer Gesundheit gesprochen werden. Bei Vorliegen periimplantärer Gesundheit kann von einem reduzierten Verlustrisiko des Implantats ausgegangen werden, da der periimplantäre Knochenverlust idR entzündlich bedingt ist.

Liegt keine periimplantäre Gesundheit vor, so sind der periimplantäre Knochen und/oder das periimplantäre Weichgewebe entzündlich verändert. Periimplantitis bedeutet Anwesenheit von periimplantärer Entzündung und radiologisch progredientem Knochenabbau (192). Klinisch ist dies vergesellschaftet mit erhöhten Sondierungstiefen (ST) verglichen zu postoperativen ST und BOP (192). Ihr geht die reversible periimplantäre Mukositis voraus, die definiert ist als entzündliche Läsion des periimplantären Weichgewebes bei fehlendem Knochenabbau (120). Die Prävalenz der periimplantären Mukositis wird mit 32-54 % angegeben, während die Prävalenz der Periimplantitis mit 1-30 % geringer ist (191). Die Angaben zur Prävalenz sind aufgrund der erst kürzlich neu eingeführten Definitionen und vorher variabel angewendeten Kriterien bedingt vergleichbar. Die heute definierten klinischen und radiologischen Kriterien sind detailliert in Tabelle 10 dargestellt.

2.6.5 Patientenbedingte Risikofaktoren

Patientenbedingte Risikofaktoren können in lokale und systemische Faktoren eingeteilt werden. Weiterhin ist eine Differenzierung von Risikofaktoren für Früh- und für Spätverluste möglich. Während Wundinfektionen und eine systemischbedingte verzögerte Wundheilung das Risiko für Frühverluste erhöhen, werden die Risikofaktoren für Spätverluste kontrovers diskutiert.

Die Patientencompliance und Erhaltungstherapie inkl. einer adäquaten Mundhygiene sind gut belegte Risikofaktoren für Periimplantitis und Spätverluste. Zudem konnte in mehreren kontrollierten Studien die Relevanz einer anamnestischen chronischen Parodontitis aufgezeigt werden (192). Rauchen konnte nur in wenigen Studien als Risikofaktor für eine Periimplantitis und Spätverluste identifiziert werden, jedoch ist Rauchen als Risikofaktor für Frühverluste gut belegt. Auch vorherige Bestrahlung, Geschlecht und Alter konnten nicht sicher als Risikofaktor identifiziert werden (190). Im Rahmen der deutschen Leitlinien „periimplantäre Infektionen an Zahnimplantaten“ wird auch eine vorherige Radiatio jedoch als sehr gut belegter Risikofaktor periimplantärer Erkrankungen aufgeführt (191). Diabetes mellitus wird als Risikofaktor für Periimplantitis ebenfalls kontrovers diskutiert, während der HbA1c-Wert als entscheidender Faktor gilt. Für andere systemische Erkrankungen, wie beispielsweise Osteoporose, kardiovaskuläre Erkrankungen, Adipositas und Chemotherapie existieren nur wenige Daten, sodass keine eindeutigen Erkenntnisse zur Relevanz in Bezug auf periimplantäre Erkrankungen vorliegen. Letztendlich spielen vermutlich genetische Polymorphismen eine entscheidende und bislang unterschätzte Rolle in der Entwicklung einer Periimplantitis. (192).

2.7 Das Camlog® Implantatsystem

2.7.1 Makrostruktur von Camlog® Implantaten

Das Camlog® Implantatsystem wurde 1999 in den Markt eingeführt. Von 2001 bis 2009 existierten vier Implantatgeometrien: wurzelförmig (RL), schraubenförmig (SLP), zylindrisch (CL) und schraubenförmig-zylindrisch (SC) (197). Camlog® Implantate sind in fünf verschiedenen Durchmessern (3,3 mm; 3,8 mm; 4,3 mm; 5 mm; 6 mm) und vier verschiedenen Längen (9 mm, 11 mm, 13 mm, 16 mm) erhältlich (20).



Abbildung 9: Das Camlog® Implantatsystem von 2001-2009 (modifiziert nach (40))

Das SLP und SLP+ Implantat besitzen ein identisches Makrodesign. Ihre Form ist leicht konisch. Die Konizität beträgt längen- und durchmesserabhängig 3-9° Grad. Laut Hersteller sind SLP Implantate für die Sofort- und Spätimplantation geeignet. Sie können im OK und im UK eingesetzt werden. (20)

RL Implantate sind konisch und wurzelförmig. Als Vorteil werden eine ausgezeichnete Primärstabilität und die daraus resultierende Eignung als Sofortimplantate hervorgehoben. Zusätzlich sind RL Implantate bei apikal reduziertem Platzangebot einsetzbar. Sie sind zum Einsatz in der Maxilla und in der Mandibula geeignet. (20)

CL Implantate sind Zylinderimplantate ohne Gewinde. Der Hersteller beschreibt eine zeitsparende Insertion und eine Presspassung in weichem Knochen insb. im Rahmen einer Sinusbodenelevation. Auch eine Insertion des Implantats im UK wird beschrieben. Im OK kann das CL Implantat bei < 5 mm Restkieferkammhöhe eingesetzt werden. (20) Das SC Implantat wird nicht näher erläutert, da es in der vorliegenden Studie nicht inseriert wurde.

Alle Implantate der Firma Camlog® waren bis 2009 zweiteilige Implantatsysteme. Die sog. Tube-in-Tube™ Implantat-Abutment Verbindung, die die Implantate auszeichnet, hat sich seit Ende des 20. Jahrhunderts als stabile Implantat-Abutment Verbindung bewährt (21, 23). Bis 2009 bestand die Tube-in-Tube Verbindung aus drei runden Nuten am Implantat, in die drei runde Nocken des Abutments positioniert wurden. Die Innenverbindung ist parallelwandig und rotationsstabil. Es wird angenommen, dass dieses Design der Abutmentverbindung eine optimale Verteilung der prothetischen Last ermöglicht und somit die Belastung der Schraube minimiert wird (40). Seit 2009 sind Abutments für das Platform-Switching verfügbar, was mit einer Anpassung der Nutengeometrie von rund auf eckig einherging (20).

Das Makrodesign des Implantathalses ist bei allen Implantattypen der Firma Camlog® im Studienzeitraum gleich. Zunächst verläuft der Implantathals über 0,4 mm divergierend im 30° Winkel. Anschließend erstreckt sich der Implantathals 1,6 mm parallelwandig weiter nach koronal. Das selbstschneidende Sägewinde der Implantate erstreckt sich wie in Abbildung 9 erkennbar bei den Implantattypen unterschiedlich weit. (198)

2.7.2 Mikrostruktur von Camlog® Implantaten

Die bis 2009 erhältlichen Implantate der Firma Camlog® bestehen alle aus Titan Grad 4, das eine schützende und „selbstheilende“ Titanoxidschicht besitzt (198, 199). Die säuregeätzte und sandgestrahlte Oberfläche der Firma Camlog® wird auch als Promote® Oberfläche bezeichnet (199). SLP+, SLP, RL und SC Implantate besitzen die Oberfläche bis zum Beginn der maschinieren Oberfläche. Die Promote® Oberfläche ist in Abbildung 9 dunkelgrau dargestellt (40). Das CL Implantat ist mit Titanplasmaspray (TPS) beschichtet und hat somit eine rauere Oberfläche verglichen mit den anderen Implantaten (20, 200). Beide Oberflächen ermöglichen eine suffiziente Osseointegration des Implantatkörpers (21, 22, 67).

Die Implantatschulter und die koronalen 2 mm sind an SLP, RL, SC und CL Implantaten maschinieren. Seit 2006 gibt es das SLP+ Implantat, ein SLP Implantat mit auf 0,4 mm verkürzter maschinieren Oberfläche am Implantathals (19–21). Die Makro- und Mikrostruktur der Implantathälse von SLP und SLP+ Implantaten ist vergleichend in Abbildung 10 dargestellt. Schwarz et al. (33) beschrieben ein signifikant verstärktes initiales Knochenremodeling um SLP Implantate im Vergleich zu SLP+ Implantaten in einer Tierstudie 2008.

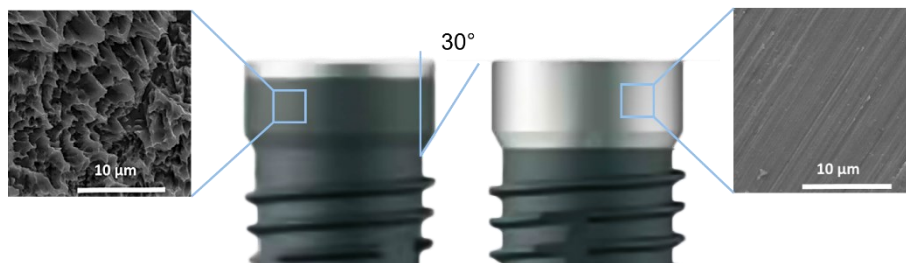


Abbildung 10: Makro- und Mikrostruktur von Camlog® Implantaten (nach (199))

Der Hersteller empfiehlt den Einsatz des verkürzten Implantathalses bei normalem oder dickem gingivalem Biotyp (Dicke ≥ 3 mm) insb. in der ästhetischen Zone. Zudem sollte eine befestigte Mukosa einer Mindestbreite von 1 mm vorliegen (201). Die Verkürzung des maschinieren Implantathalses lässt ein Produkt entstehen, welches einem epikrestalen Implantat ähnelt. Produkte mit verschiedenen hoch maschinieren Implantathalsoberflächen erlauben eine flexiblere vertikale Positionierung des Implantats im Knochen (31).

2.7.3 Operatives Protokoll

Die Aufbereitung des Implantatbetts erfolgt zunächst mit einem Vorbohrer zur Pilotbohrung und anschließend mittels Formbohrer des Camlog® Implantatsets. Bei vorliegender Knochenqualität 1 und 2 wird zusätzlich die Verwendung eines Gewindebohrers empfohlen. Bei der Knochenqualität 1 wird der Einsatz des Kortikalisbohrers empfohlen, um das Drehmoment beim Eindrehen des Implantats zu reduzieren. SLP, SLP+ und RL Implantate werden nach Aufbereitung des Implantatbetts so inseriert, dass die Implantatschulter 0,4 mm suprakrestal zum Liegen kommt, sodass ein Teil der maschinieren Oberfläche der SLP und RL Implantate Knochenkontakt hat (25, 27). Der Hersteller nimmt an, dass postoperativ ein Knochenabbau von ca. 0,5 mm entsteht (20, 201) (Abbildung 11). Von anderen Autoren wird entsprechend des OP-Protokolls ein Knochenabbau bis zur säuregeätzten und sandgestrahlten Promote® Oberfläche erwartet (27, 32, 33).

CL Implantate werden in den Knochen nach entsprechender Aufbereitung des Implantatbetts geklopft, sodass eine Presspassung entsteht. Für alle Implantattypen empfiehlt der Hersteller das Einhalten von wissenschaftlich begründeten Abständen zu Nachbarzahn und Nachbarimplantat, sowie eine adäquate Positionierung im Restknochen in der vertikalen und transversalen Dimension (vgl. Kapitel 2.2.3) (20, 201).



Abbildung 11: Insertionstiefe von SLP und SLP+ Implantaten laut Hersteller (modifiziert nach (20))

2.7.4 Erfolgs- und Überlebensdaten

Es existieren lediglich drei Studien, die das Überleben von Camlog®-Implantaten über mehr als zehn Jahren untersucht haben. Keine dieser Studien umfasste jedoch mehr als 15 Jahre. Zum RL gibt es Follow-up Daten von bis zu 14 Jahren mit einer Überlebensrate von 93,9 % (202). Das Überleben der SLP nach bis zu 15 Jahren lag bei 96,2 %, während das Überleben der SLP+ nach bis zu 10 Jahren bei 98,6 % lag (29). Für einen Zeitraum von 5-7 Jahren wird das Überleben von Camlog® Implantaten mit 95,2 % bis 100 % angegeben (26–28, 203–207). Der Implantaterfolg lag bei 97,3-99,6 %. Die Ergebnisse der Langzeitstudien zu Camlog® Implantaten mit mindestens 5 Jahren Follow-up sind in Tabelle 8 dargestellt.

| Autor und Jahr | Max. in situ | Implantat | Anzahl | Überleben | Erfolg nach Buser | Knochenabbau ± SD mm |
|---|--------------|------------------------|--------|------------------|-------------------|----------------------------|
| <i>Knöpfler et al. 2017 (29)</i> | 15 Jahre | SLP | 4460 | 96,2 % | - | - |
| | 10 Jahre | SLP+ | 566 | 98,6 % | - | - |
| <i>Steyer et al. 2024 (25)</i> | 14 Jahre | RL | 245 | 93,9 % | - | 1,49 ± 1,23 |
| <i>Pieralli et al. 2021(208)</i> | 11 Jahre | RL | 282 | 98,1 -100 % | - | - |
| <i>Graf et al. 2022 (209)</i> | 10 Jahre | - | 328 | 99,4 % | - | - |
| <i>Happe et al. 2022 (30)</i> | 10 Jahre | SLP+ | 310 | 97,4 % | - | 0,38 ± 0,24 |
| <i>Krennmair et al. 2010/2011 (203)</i> | 7 Jahre | RL | 541 | 98,3 % | 97,3 % | 1,8 ± 0,4 |
| <i>Siebers et al. 2010 (206)</i> | 7 Jahre | - | 222 | 97,8 % | 96,3 % | - |
| <i>Franchini et al. 2011 (207)</i> | 6 Jahre | RL/SLP | 201 | 99,5 % | 99,5 % | - |
| <i>Nelson et al. 2008 (28)</i> | 6 Jahre | RL | 411 | 99,8 % | 99,6 % | - |
| | | SLP | 53 | 98,1 % | | |
| <i>Krennmair et al. 2022 (210)</i> | 5 Jahre | SLP+ sofort spät | 88 | 100 % | - | 0,90 ± 0,66 1,00 ± 0,59 |
| <i>Krennmair et al. 2008 (27)</i> | 5 Jahre | SC/RL | 179 | 97,8 % | - | 2,1 ± 0,6 |
| <i>Ozkan et al. 2011 (205)</i> | 5 Jahre | - | 90 | 100 % | - | 0,27 ± 0,06 |
| <i>Zafiroopoulos et al. 2010 (204)</i> | 5 Jahre | RL/SC | 241 | 95,2 % 96,1 % | - | - |
| <i>Beschmidt et al. 2018 (211)</i> | 5 Jahre | SLP | 271 | 98,6 % | 98,0 % | 0,28 ± 0,60 |

Tabelle 8: Studienergebnisse zu Camlog® Implantaten, die mind. bis 5 Jahre in situ waren

Es wurde eine Nachuntersuchung der Camlog®-Implantate durchgeführt, welche in der MKG Mainz zwischen August 2001 und 2005 inseriert wurden. Diese Untersuchung fand nach einer durchschnittlichen Beobachtungszeit von 32 Monaten statt. Ein Implantaterfolg nach Albrektsson in Höhe von 94% und ein Erfolg nach Buser in Höhe von 97 % wurden ermittelt. Das Implantatüberleben lag bei 96,5 %. Der durchschnittliche Knochenabbau betrug für suprakrestal inserierte Implantate 1,1 mm und für krestal inserierte Implantate 1,7 mm. RL Implantate hatten einen um 0,7 mm signifikant geringeren Knochenabbau als SLP Implantate. (25)

Zusammenfassend besteht ein Mangel an Langzeitdaten zu Camlog® Implantaten. Insbesondere die Erfolgsrate und der Knochenabbau wurden selten bis nie für einen Zeitraum von über 10 Jahren beurteilt. Des Weiteren wurden für einen Zeitraum von über 10 Jahren keine Implantattypen miteinander verglichen. Somit soll die im Folgenden beschriebene klinische und radiologische Untersuchung von Camlog® Implantaten nach durchschnittlich ca. 15 Jahren in situ die Wissenslücke verkleinern.

3 Material und Methoden

3.1 Studiendesign

Diese Studie untersucht den Langzeiterfolg von Implantaten der Firma Camlog® mit maschinierem Implantathals aus klinischer und röntgenologischer Sicht. Es handelt sich um eine retrospektive explorative klinische Studie ohne spezifische Anfangshypothese.

Die Patienten wurden telefonisch und/oder schriftlich kontaktiert. Alle eingeschlossenen Patienten erhielten eine Einladung zur kostenlosen Teilnahme an der klinischen und radiologischen Untersuchung. Die Untersuchungen fanden zwischen September 2022 und Juli 2023 unter schriftlichem Einverständnis der Patienten in der MKG Mainz statt.

In dieser Studie wurden alle Camlog® Implantate eingeschlossen, die zwischen August 2001 und Dezember 2009 in der MKG Mainz inseriert wurden. Die Implantate wurden von Chirurgen der Abteilung nach Protokoll des Herstellers inseriert (vgl. Kapitel 2.7.3). Der Hersteller empfiehlt die vertikale Positionierung der Implantate 0,4 mm oberhalb des Knochenlevels unabhängig vom Implantattyp (20). Es kamen entsprechend der lokalen Patientensituation verschiedenste Augmentationstechniken und -materialien zum Einsatz. Alle Maßnahmen wurden nach Herstellerprotokoll durchgeführt.

Die Studiendurchführung in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki wurde durch die Ethik-Kommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz geprüft und bewilligt (Antragsnummer: 2022-16442-retrospektiv).

Anhand des Studiendesigns ergab sich das in Abbildung 12 dargestellte Patienten- und Implantatkollektiv. Von 325 Patienten mit 1102 Implantaten konnten 233 Patienten (72 %) mit 711 Implantaten (65 %) im Studienzeitraum erreicht werden. 137 Patienten (42 %) mit 387 Implantaten (36 %) stimmten einer klinischen Untersuchung zu. Von 391 Implantaten (36 %) in 136 Patienten (42 %) konnte eine aktuelle Röntgenaufnahme der Implantate ausgewertet werden. 303 Implantate (27 %) in 68 Patienten (20 %) konnten aufgrund von Ableben der Patienten nicht klinisch untersucht werden. Eine detaillierte Darstellung des Implantatkollektivs getrennt nach Implantattyp befindet sich in Anhang 8.3 und 8.4.

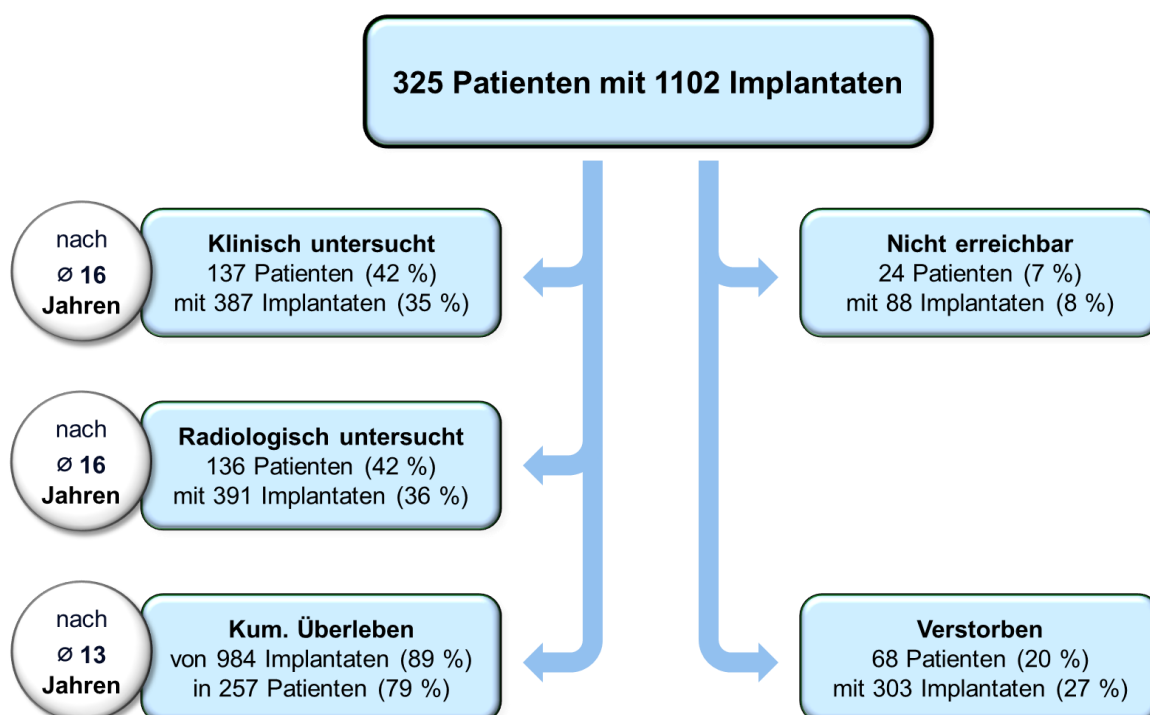


Abbildung 12: Systematik der Studienimplantate und -patienten

3.2 Patienten- und Implantatkollektiv

3.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Alle Patienten, die zwischen August 2001 und Dezember 2009 in der MKG Mainz ein in impDAT (Kea Software GmbH, Tutzing, Deutschland) dokumentiertes Camlog® Implantat inseriert bekamen, sind in die Studie eingeschlossen. Anhand der röntgenologischen Aufnahmen in Sidexis (Dentsply Sirona, York, USA) und der OP-Dokumentation in VISident (BDV GmbH, Holzwickede, Deutschland) wurde erneut verifiziert, dass es sich um ein Camlog® Implantat handelt. Die Implantate, die röntgenologisch keine Camlog® Implantate sind, wurden ausgeschlossen. Ausgeschlossen wurden zudem die Patienten, von denen es keine röntgenologische und/oder schriftliche Dokumentation des vorhandenen Camlog® Implantats gab. Außerdem wurden die Patienten ausgeschlossen, die für die Implantatinserion nur einmal in der MKG Mainz waren und zusätzlich nicht kontaktierbar waren.

3.2.2 Geschlechter- und Altersverteilung

172 der Patienten waren weiblich (52,9 %) und 153 Patienten waren männlich (47,1 %). Von den 1102 Implantaten wurden 623 Implantate (56,5 %) bei Frauen inseriert und 479 Implantate (43,5 %) bei Männern inseriert.

Das mittlere Alter zum Zeitpunkt der OP betrug $55,4 \pm 14,4$ Jahre. Der jüngste Patient war 15 Jahre alt. Die jüngsten Patientinnen waren 17 Jahre alt. Die älteste Patientin war 90 Jahre alt. Der älteste Patient war 78 Jahre alt. Die Altersverteilung ist in Abbildung 13 dargestellt.

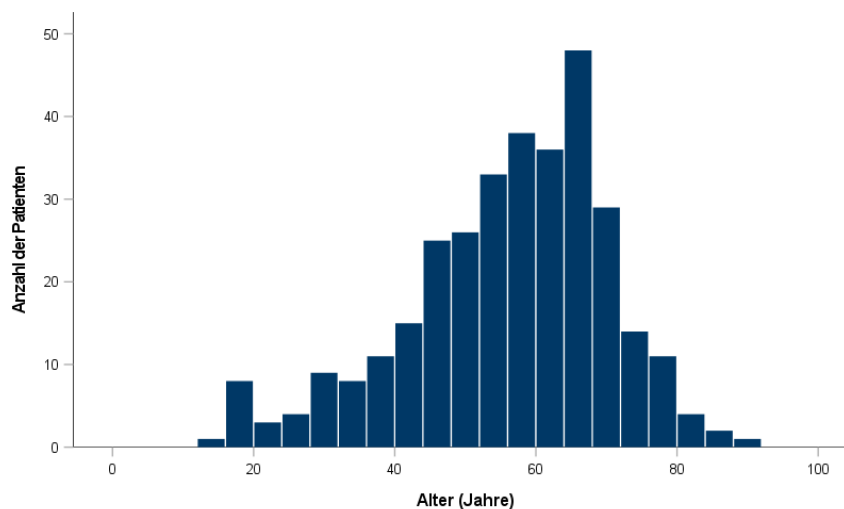


Abbildung 13: Alter zum Implantationszeitpunkt (bei mehreren Implantationszeitpunkten das Durchschnittsalter)

3.2.3 Prävalenz knochenstoffwechselbeeinflussender Konditionen

Das Patientenkollektiv inkludiert auch Patienten mit knochenstoffwechselbeeinflussenden Konditionen. Die Relevanz der häufigsten Konditionen wird in Abschnitt 2.6.5 dargestellt. Aufgrund des Ablaufs der Aufbewahrungspflicht für alle Patientenunterlagen zum Zeitpunkt der Implantation konnten ausschließlich aktuelle Informationen der Patienten berücksichtigt werden, die den studienspezifischen Fragebogen (vgl. 3.7.2) ausgefüllt hatten. 29,2 % der befragten Patienten ($n = 47$) mit 32,9 % der Implantate ($n = 162$) gaben an, eine knochenstoffwechselbeeinflussende Kondition zu haben. Die Häufigkeit und Art der knochenstoffwechselbeeinflussenden Konditionen werden ausführlich in Kapitel 4.9.2 beschrieben. Zu diesen gehören mitunter die Osteoporose, ein Diabetes mellitus, ein vorbestrahlter Kieferknochen und ein Konsum von >10 Zigaretten pro Tag. Trotz des komplexen Zusammenspiels im Gesamtkontext wurde mithilfe der Fragebögen versucht, diese Begleitfaktoren bei der Beurteilung des Langzeiterfolges der Implantate zu berücksichtigen.

3.2.3. Anatomische Lokalisation

Die anatomische Lokalisation der Implantate wurde nach Oberkiefer (OK) und Unterkiefer (UK) kategorisiert. Des Weiteren wurden die Kiefer in das Frontzahnsegment von 13-23 bzw. 33-43 und das Seitenzahnsegment ab den 4ern bis zu den 8ern klassifiziert.

Die relativen Häufigkeiten der anatomischen Implantatlokalisierung sind in Abbildung 14 dargestellt. Im OK wurden 174 Implantate im Frontzahnbereich und 360 Implantate im Seitenzahnbereich gesetzt. Von den UK-Implantaten befanden sich 121 Implantate im Frontzahnbereich und 447 Implantate im Seitenzahnbereich.

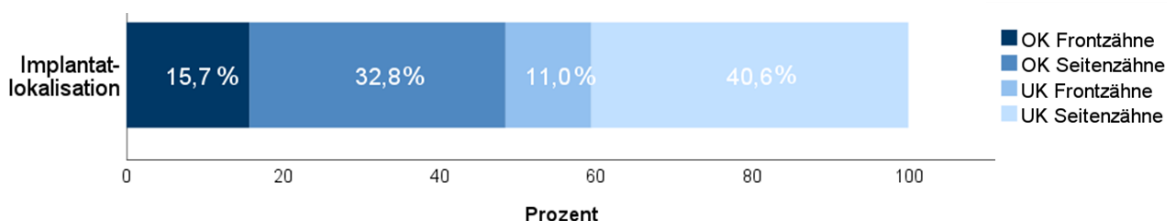


Abbildung 14: Lokalisation der endossalen Implantate

3.2.4 Implantatspezifikationen

Die Implantatspezifikationen werden im hausinternen System impDAT dokumentiert sowie zusätzlich in der digitalen VISIdent Karteikarte notiert. Alle Implantattypen abgesehen von SLP und SLP+ Implantaten sind radiologisch eindeutig voneinander abgrenzbar.

Es wurden 5 Implantattypen der Firma Camlog® eingeschlossen, deren Häufigkeitsverteilung in Abbildung 15 dargestellt wird. Die Implantattypen sind in Kapitel 2.7 beschrieben. Das SLP wurde mit 484-mal in 175 Patienten am häufigsten inseriert, gefolgt vom SLP+, das 374-mal in 122 Patienten inseriert wurde. Es wurden zudem 229 RL in 81 Patienten und 15 CL in 8 Patienten eingebracht. Im Studienzeitraum wurden keine SC Implantate implantiert.

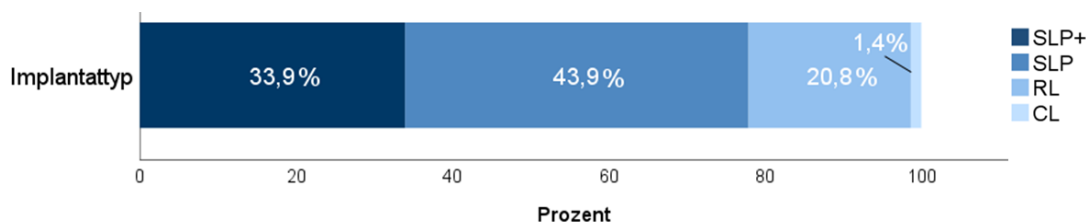


Abbildung 15: Verteilung der Implantattypen

Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns unterscheiden sich die Gruppen der Implantattypen teilweise signifikant in der Prävalenz anderer Kovariablen. Die exakten Häufigkeiten der Merkmalsausprägungen der Patienten, OP-Techniken und Implantatversorgungen werden deswegen in Anhang 8.3 dargestellt. Es bestanden signifikante Unterschiede in der Verteilung der Beobachtungszeit, der Implantatdurchmesser und -längen zwischen den Gruppen SLP+, SLP und RL. Auch der Anteil verstorbener Patienten und der Augmentationen ist signifikant verschieden. Die prothetische Versorgung zeigt ebenfalls signifikante Verteilungsunterschiede. Für die Implantate, an denen der periimplantäre Knochenabbau ermittelt wurde, waren die die Beobachtungszeit, die knochenstoffwechselbeeinflussenden Konditionen, die Lokalisation und die Prothetik signifikant unterschiedlich (siehe Anhang 8.4).

Alle verfügbaren Durchmesser der Camlog® Implantate sind, wie in Abbildung 16 erkennbar, in der Studie enthalten. Die RL Implantate, sowie Implantate der Länge 9 mm, waren zum Implantationszeitpunkt nicht mit dem Durchmesser 3,3 mm erhältlich (20). Die Implantate mit 3,3 mm Durchmesser können als durchmesserreduzierte Implantate gewertet werden (156,

212). Es wurden überwiegend Implantate der Durchmesser 3,8 mm (411 = 37,5 %) und 4,3 mm (346 = 31,5 %) inseriert.

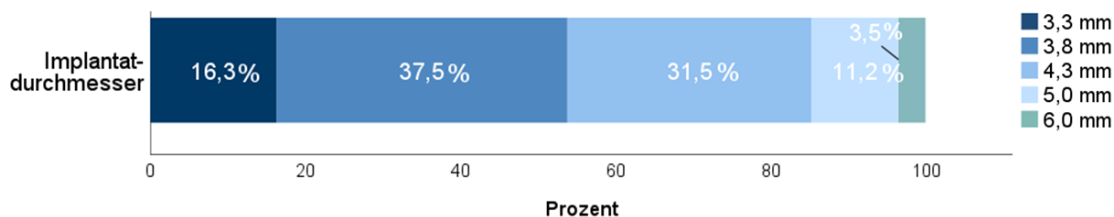


Abbildung 16: Verteilung der Implantatdurchmesser

Die Implantate haben vier verschiedenen Längen (9 mm, 11 mm, 13 mm, 16 mm). Bei keiner Länge handelt es sich um ein kurzes Implantat (213). Im Patientenkollektiv wurden in 90 % der Fälle Implantate der Länge 11 mm und 13 mm inseriert. (Abbildung 17)

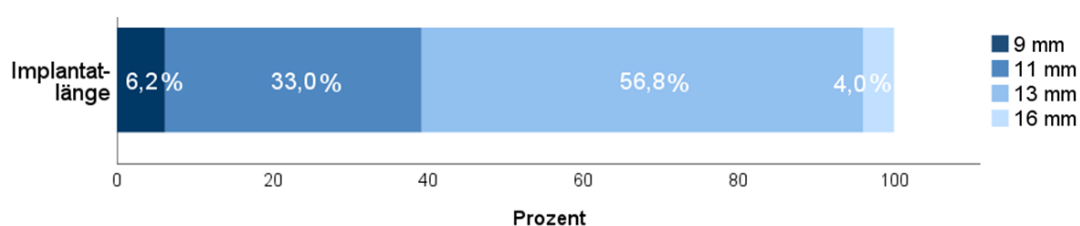


Abbildung 17: Verteilung der Implantatlängen

3.2.5 Operative Techniken

Die Mehrheit der Implantate (93,4 %) wurde als Spätimplantation ohne Augmentation inseriert. Es wurden 75 Implantationen (6,8 %) als Sofortimplantation durchgeführt.

Bei der Insertion von 392 Implantaten (35,6 %) wurde einzeitig oder zweizeitig augmentiert. Es wurde patientenorientiert augmentiert, d.h. es wurden alle erdenkbaren Augmentationsmaterialien und -materialien genutzt und miteinander kombiniert. Augmentationen alio loco konnten aufgrund der fehlenden Dokumentation nicht berücksichtigt werden. Die relativen Häufigkeiten der eingesetzten Augmentationsmaterialien sind in Abbildung 18 dargestellt. Am häufigsten wurde zur Augmentation allein autologer Knochen eingesetzt (175 Implantate = 15,9 %), gefolgt von autologem Knochen in Kombination mit xenogenem KEM (109 Implantate = 9,9 %).

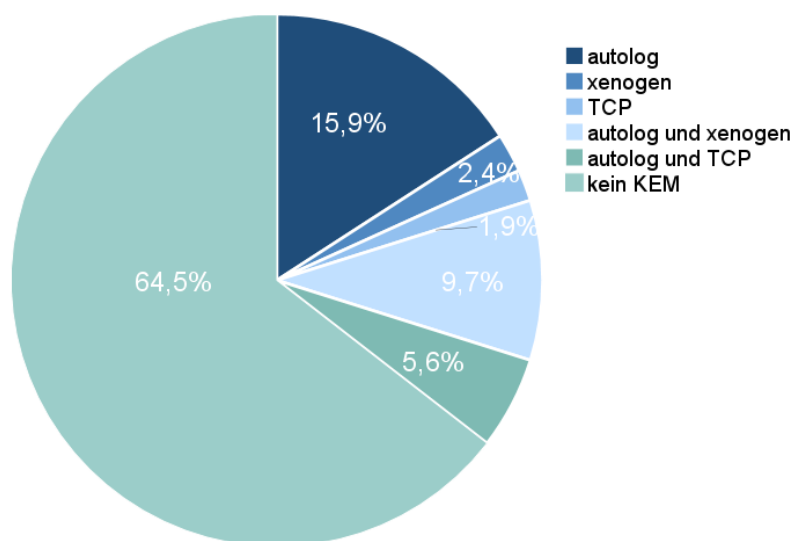


Abbildung 18: Systematik der Augmentationen

3.3 Klinische Untersuchung

In dieser Studie wurde eine klinische Untersuchung durchgeführt, um die Erfolgsrate, die Prävalenz periimplantärer Erkrankungen und andere Einflussparameter auf das Implantatüberleben zu ermitteln. Von September 2022 bis Juni 2023 konnten 387 Implantate (35,1 %) in 137 Patienten (41,9 %) nach $193 \pm 28,1$ Monaten in situ klinisch untersucht werden. Alle Messungen wurden mithilfe einer handelsüblichen skalierten PA-Sonde durchgeführt. Zusätzlich zur Erhebung der klinischen Parameter wurden nach der klinischen Untersuchung intraorale digitale Fotos von okklusal und vestibulär angefertigt. Es wurde ein einheitliches Untersuchungsprotokoll verfolgt, wie es in Anhang 8.1 zu finden ist.

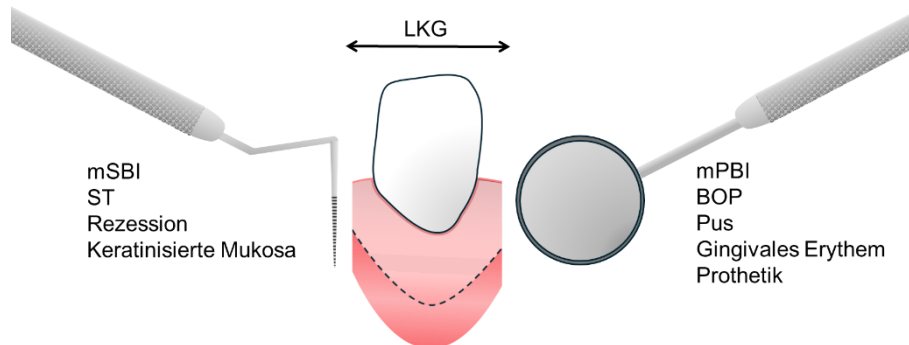


Abbildung 19: Systematik der klinischen Untersuchung

3.3.1 Modifizierter Plaqueindex

Der Plaqueindex nach Mombelli (214) bzw. nach Silness und Loe (215) wurde erhoben, um das Risiko der Entstehung einer periimplantären Entzündung durch Vorhandensein von Plaque zu evaluieren. Es handelt sich um den modifizierten Plaqueindex (mPBI), da der ursprüngliche Plaqueindex für Zähne entwickelt wurde (214, 215). Jedes untersuchte Implantat wurde von vestibulär und oral beurteilt und nach dem höchsten detektierten Wert eingeordnet. Der mPBI-Index gliedert sich wie folgt (214):

- Code 0 Keine visuell oder mechanisch detektierbare Plaque.
- Code 1 Marginale Plaque, die mithilfe einer Sonde detektierbar, aber mit dem bloßen Auge nicht sichtbar ist.
- Code 2 Marginale sichtbare Plaque.
- Code 3 Dicke sichtbare Plaque.

Der mPBI kann einen Hinweis auf die häusliche Mundhygiene des Patienten geben. Ein erhöhter mPBI-Code kann auch durch die Morphologie der prothetischen Restauration begünstigt werden (216). Dennoch wird der mPBI zur Validierung der Patientencompliance in dieser Studie genutzt. Die Compliance wird in dieser Studie definiert als die Folgebereitschaft und regelmäßige Durchführung zahnärztlicher Anweisungen (217). Dies beinhaltet insbesondere eine gute Mundhygiene und das Wahrnehmen zahnärztlicher Kontrolltermine.

3.3.2 Sulkus-Blutungs-Index

Der Sulkus-Blutungs-Index (mSBI) nach Mombelli (214) wurde genutzt, um den Entzündungsgrad der Weichgewebe qualitativ zu beurteilen. Der Entzündungsgrad der periimplantären Weichgewebe ist relevant, um die Prävalenz der periimplantären Erkrankungen zu bestimmen. Direkt nach der Inspektion der Weichgewebe wurde mit einer stumpfen Sonde der

Sulkus vestibulär und oral vorsichtig ausgestrichen. Anschließend wurde die Reaktion beurteilt. Jedem Implantat wurde ein Code zwischen null und drei nach folgender Definition zugeordnet (214):

- Code 0 keine Blutung
- Code 1 vereinzelte Blutungspunkte bei geringer Blutungsstärke
- Code 2 durchgehende Blutungslinie im Sulkus
- Code 3 starke Blutung

3.3.3 Blutung auf Sondieren

Klinisch wird die periimplantäre Entzündung konventionell über das Bluten nach Sondieren (BOP) überprüft, das von Lang et al. (218) 1990 beschrieben wurde. Es ist ein essenzielles Diagnosekriterium zur Beurteilung des Vorliegens periimplantärer Entzündungen (192). Der BOP wird während der klinischen Untersuchung an den vier Messstellen mesial, distal, vestibulär und oral jedes Implantats erhoben. Die Anzahl der Blutungspunkte je Implantat wurde addiert, sodass sich ein Wert von 0-4 ergab.

3.3.4 Gingivales Erythem

Die periimplantäre Gesundheit ist durch den Workshop zur Klassifikation periodontaler und periimplantärer Krankheiten und Konditionen definiert als die Abwesenheit von Rötung und Blutung auf Sondieren (196). Somit wurde im Rahmen der klinischen Inspektion des Implantats das morphologische Erscheinungsbild als „gerötet“ oder „nicht auffällig gerötet“ klassifiziert, um die Prävalenz periimplantärer Erkrankungen zu erheben.

3.3.5 Suppuration

Suppuration um das Implantat beschreibt die Absonderung von Pus auf Sondieren oder auf manuelle Kompression. Suppuration ist ein typisches Merkmal einer floriden Periimplantitis (219, 220) und ein Indikator für einen Implantatmisserfolg (194, 195). Für jedes Implantat wurde nach Messung der ST notiert, ob Pus vorhanden war oder nicht.

3.3.6 Sondierungstiefen

Die Sondierungstiefe ist definiert als der Abstand zwischen dem Sulkusboden und dem koronalen Saum der marginalen Gingiva. Dabei wird vorsichtig parallel zur Implantatachse sondiert, um den Sulkusboden nicht zu verletzen und um einheitliche Ergebnisse zu erzielen.

Die Messung der ST wurde mesial, vestibulär, distal und oral durchgeführt um, neben den röntgenologischen Aufnahmen, Hinweise auf erhöhten Knochenabbau und einer Vorhandenen Periimplantitis zu erhalten. Insb. oral und vestibulär ist die ST aufgrund der zweidimensionalen röntgenologischen Bildgebung oft der einzige Anhaltspunkt für einen vorliegenden Knochenabbau (221). Dabei sollten möglichst Referenz-ST vom Zeitpunkt der prothetischen Eingliederung genutzt werden, andernfalls gilt eine $ST \geq 6$ mm als pathologisch (191, 192). Da keine Referenz-ST vorliegen, wurden die ST ab 6 mm als pathologisch eingeordnet. Da die prothetische Versorgung bei der klinischen Untersuchung nicht entfernt wurde, können die ST durch die Dimensionierung der prothetischen Versorgungen beeinflusst werden (222).

3.3.7 Gingivale Rezessionen

Gingivale Rezessionen können durch periimplantären Knochenabbau entstehen, insb. durch bukkalen Knochenabbau (196). Zudem begünstigen ein dünner gingivaler Biotyp und die chirurgische Fehlpositionierung des Implantats Rezessionen (223, 224). Ein weiterer begünstigender Faktor zur Entstehung gingivaler Rezessionen ist eine ungünstige Morphologie der prothetischen Versorgung (224). Da eine Rezession die ST reduziert, soll der Wert der Rezession zur ST addiert werden, um den Zustand der periimplantären Hart- und Weichgewebe beurteilen zu können (196). Durch Addition von ST und Rezession wird somit das Clinical Attachment Level (CAL) ermittelt, das sich vom Sulkusboden bis zur definierten Schmelz-Zement-Grenze erstreckt (225).

Aufgrund fehlender Referenzdaten des Zeitpunkts der prothetischen Eingliederung, wurde bei Inspektion der Implantate die Rezession vestibulär und oral von der prothetisch definierten Schmelz-Zement-Grenze gemessen. Falls keine prothetische Schmelz-Zement-Grenze erkennbar war, wurde das koronale Ende des Abutments als Referenzpunkt genutzt.

3.3.8 Lockerungsgrad

Zur Beurteilung der Osseointegration dient die Ermittlung des Lockerungsgrades (226–228). Der Lockerungsgrad wurde manuell in mesiodistaler, orovestibulärer und apikaler Richtung geprüft. Da jegliche Mobilität des Implantats heutzutage als Misserfolg und somit als Indikation zur Explantation gilt, wurde für jedes Implantat der Zustand fest oder mobil notiert (194, 195). Zusätzlich wurde notiert, wenn die Mobilität mit großer Wahrscheinlichkeit der prothetischen Versorgung zuzuordnen war.

3.3.9 Keratinisierte Mukosa

Die keratinisierte Mukosa erstreckt sich zwischen der mukogingivalen Grenzlinie und der periimplantären Mukosagrenze (107). Zuletzt wurde die zentrale Bedeutung einer ausreichenden perimplantären keratinisierten Mukosa durch den DGI/SEPA Osteology Workshop dargelegt (115, 196). Zwei systematische Literatur Reviews ergaben, dass das Fehlen einer ausreichenden Breite keratinisierter Mukosa mit Plaqueakkumulation, Patientendiskomfort und periimplantärer Entzündung korreliert (116–118). Deswegen soll zur implantären Kontrolluntersuchung regelmäßig das Vorhandensein keratinisierter Mukosa überprüft werden.

Die Messung der keratinisierten Mukosa erfolgte während der Inspektion mithilfe einer PA-Sonde vestibulär und lingual als Abstand zwischen mukogingivaler Grenzlinie und der periimplantären Mukosagrenze. Da eine palatinale mukogingivale Grenzlinie nicht vorhanden ist, wurde im OK kein oraler Wert notiert.

3.4 Prothetische Versorgung

Die prothetische Versorgung hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Belastung des Implantats (39, 75–77) und die Plaqueakkumulation (216). Insb. die Verblockung von Implantaten hat einen entscheidenden Einfluss auf die Belastung und den Verlust der Implantate (79, 229). Folglich ist die Prothetik, neben der durch den Patienten durchgeführten Mundhygiene, ein entscheidender Parameter bei der Entstehung einer periimplantären Mukositis, Periimplantitis und letztendlich dem Implantaterfolg und -überleben (71, 74, 90, 230–232).

Die prothetische Versorgung wurde, im studienspezifischen Fragebogen erfragt, bei der klinischen Untersuchung inspiziert und aufgrund aktueller Röntgenaufnahmen verifiziert. Die prothetischen Versorgungsarten wurden in die in Tabelle 9 dargestellten Kategorien eingeteilt:

| | nicht verblockt | verblockt |
|------------------------------------|------------------------------|---|
| Festsitzender Zahnersatz | Einzelzahnkrone Anderes** | verblockte Kronen Implantatbrücke Hybridbrücke Anderes** |
| Herausnehmbarer Zahnersatz* | Teleskop/ Lokator | Steg |

*versorgt mit Voll- oder Teilprothesen

**weitspannige verschraubte Suprakonstruktionen im zahnlosen Kiefer oder unversorgte freigelegte oder nicht freigelegte Implantate

Tabelle 9: Kategorien zur Erfassung der prothetischen Versorgung

3.5 Röntgenologischer Knochenabbau

Bei der klinischen Untersuchung wurden Panoramaschichtaufnahmen (PSA) und/oder Einzelzahaufnahmen (EZA) der Implantate angefertigt. Falls die Patienten nicht zur klinischen Untersuchung erscheinen konnten oder aktuelle Aufnahmen vorhanden waren, wurden vorhandene externe oder interne röntgenologische Aufnahmen angefordert.

Die aktuellen röntgenologischen Aufnahmen wurden zwischen dem 19.11.2020 und dem 29.06.2023 angefertigt. Laut Cassetta et al. (233) ist die Vermessung von EZAs die zuverlässigste Methode zur Beurteilung des periimplantären Knochenabbaus. Wenn möglich wurden auch in dieser Studie EZAs vermessen.

Die Stabilität des krestalen Knochenniveaus um die Implantate wurde unter Berücksichtigung der unmittelbar postoperativ angefertigten Aufnahmen ermittelt. Da der überwiegende Teil der Implantate alio loco versorgt wurde, konnte die empfohlen Aufnahme bei prothetischer Eingliederung nicht genutzt werden (196). Die Messung erfolgte nach zuvor beschriebener Methode von Schiegnitz et al. (234) mithilfe von Sidexis. Dabei wird die in der Implantatdatenbank impDAT notierte Länge als Referenzstrecke genutzt. Im Fall der Camlog® Implantate wurde der Beginn des Implantathalses als gut reproduzierbarer Punkt gewählt bis zu dem sich das Knochenniveau im Idealfall erstrecken sollte. Abbildung 20 stellt das Messverfahren exemplarisch dar. Der Knochenabbau wurde für jedes Implantat und als mittlerer Knochenabbau je Messstelle pro Patient ermittelt.

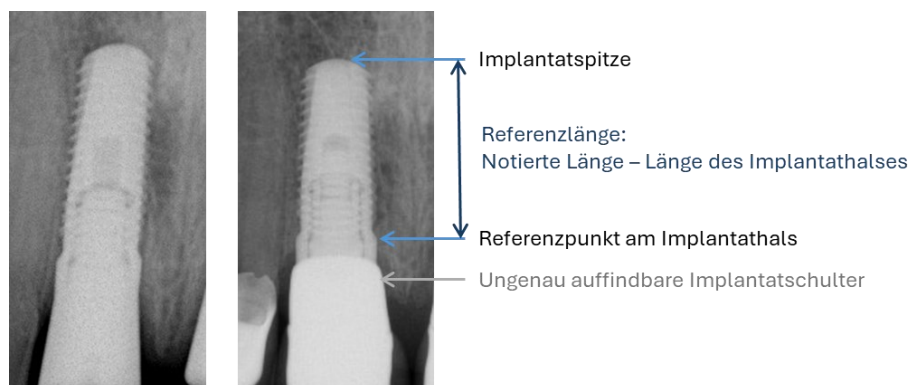


Abbildung 20: Beispielmessung des periimplantären Knochenniveaus.

Auf der unmittelbar postoperativen Aufnahme reicht das Knochenniveau bis zur Implantatschulter (links). Auf der aktuellen EZA befindet sich das Knochenniveau koronal des Implantathalses (rechts). Wäre das Knochenniveau apikal des Referenzpunktes, würde der Knochenabbau über die Referenzlänge aus impDAT abzüglich der Länge des Implantathalses (1,6 mm) berechnet.

3.6 Erfolgskriterien

3.6.1 Erfolg nach Albrektsson und Buser

Um den Implantaterfolg zu ermitteln wurden die Kriterien nach Albrektsson et al. (195) und Buser et al. (194) genutzt. Beide Kriterien sind die am häufigsten verwendeten Kriterien zur Validierung des dentalen Implantaterfolgs und erfordern das gleichzeitige Vorliegen aktueller radiologischer und klinischer Daten (193).

Der Implantaterfolg nach Albrektsson et al. (195) definiert sich über die Abwesenheit aller folgenden Parameter:

- Mobilität des Implantats (bei unverblocktem Implantat)
- röntgenologische periimplantäre Transluzenz
- vertikaler Knochenverlust von > 0,2 mm/Jahr nach dem ersten Jahr in situ
- Präsenz implantatbezogener persistierender Symptome insb. Schmerzen, neurologische Symptome (Neuropathie, Parästhesie), Infektionen, Beschädigung des Alveolarkanal
- (Verlust des Implantats)

Buser et al. (194) schließt den vertikalen Knochenverlust nicht mit ein, bewertet aber zusätzlich die Möglichkeit einer prothetischen Versorgung und die Abwesenheit von persistierender eitriger Infektion. Nach Buser et al. (194) ist die Abwesenheit aller folgenden Parameter notwendig:

- Mobilität des Implantats (bei unverblocktem Implantat)
- durchgehende röntgenologische periimplantäre Transluzenz
- Präsenz implantatbezogener Symptome (z.B. Schmerzen, Parästhesien)
- rezidivierende eitrige periimplantäre Infektionen
- Unmöglichkeit der prothetischen Versorgung aufgrund fehlerhafter chirurgischer Positionierung
- (Verlust des Implantats)

Aufgrund des großen Anteils verstorbener Patienten und Patienten, die aus anderen Gründen nicht an der klinischen und röntgenologischen Untersuchung teilnehmen konnten, wurde zunächst die Erfolgsrate der untersuchten Implantate berechnet. Anschließend wurde für die Ermittlung des Erfolgs im gesamten Implantatkollektiv angenommen, dass die Erfolgsrate der nicht untersuchbaren, überlebenden Implantate der Erfolgsrate der untersuchten Implantate entspricht. Für alle explantierten Implantate wurde eine Erfolgsrate von 0 % berücksichtigt. Das Verfahren ist in Abbildung 21 dargestellt.

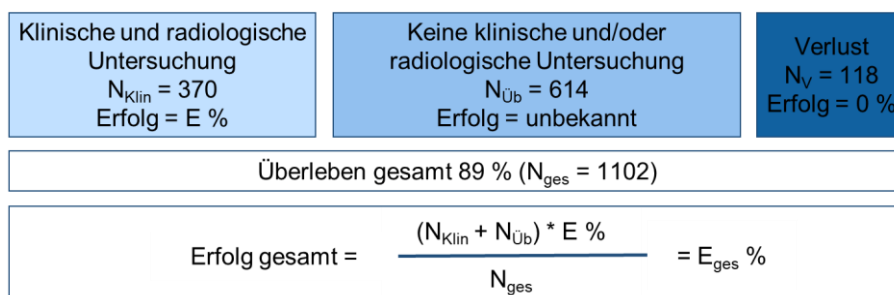


Abbildung 21: Methode zur Hochrechnung des Implantaterfolgs auf das Gesamtkollektiv

3.6.2 Prävalenz Periimplantärer Erkrankungen

Die neue S3-Leitlinie „Die Behandlung periimplantärer Infektionen an Zahnimplantaten“ (191) zeigt konkrete Kriterien zur Beurteilung des Vorliegens periimplantärer Erkrankungen anhand

der Ergebnisse des „World Workshop on the Classification of Periodontal and Perimplant Diseases and Conditions“ (196) auf. Diese in Tabelle 10 dargestellten Kriterien wurden wie folgt für die eindeutige Auswertung der vorliegenden Daten genutzt:

- Perimplantäre Gesundheit: Abwesenheit aller definierten Kriterien insb. jeglicher Entzündungszeichen bei ggf. vorhandenem Knochenabbau und/oder erhöhten ST
- Perimplantäre Mukositis: Anwesenheit von mindestens einem Entzündungszeichen (BOP/mSBI/Erythem) ohne Vorliegen einer Periimplantitis
- Periimplantitis: Anwesenheit von mindestens einem Entzündungszeichen (BOP/mSBI/Erythem) plus röntgenologischem Nachweis von Knochenabbau

| | Periimplantäre Gesundheit | Periimplantäre Mukositis | Periimplantitis |
|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| Klinische Entzündungszeichen, d.h. | - | + | + |
| - mSBI > 0 | | | |
| - Erythem | | | |
| BOP > 0 | - | + | + |
| Suppuration | - | -(/+) | -/+ |
| ST (plus Rezession) ≥ 6 mm | - | -(/+) | + |
| Radiologischer Knochenabbau ≥ 3 mm | -(/+) | -(/+) | + |

Tabelle 10: Kriterien zur Diagnostik periimplantärer Zustände (nach (146, 196))

3.7 Fragebögen

Alle 137 Patienten, die an der klinischen Untersuchung teilgenommen haben, erhielten die zwei in diesem Kapitel beschriebenen Fragebögen. Zusätzlich wurden Fragebögen postalisch versendet.

3.7.1 OHIP-G14

Für diese Studie wurde die deutsche Version des OHIP G-14 Fragebogens genutzt (235), eine Kurzversion des OHIP G-35 nach Slade et al. (118), die suffiziente Informationen zur aktuellen mundgesundheitsbezogene Lebensqualität des Patienten ermittelt (236). Der skalierte Fragebogen besteht aus 14 Fragen zu Lebensbeeinträchtigungen, die im vergangenen Monat im Zusammenhang mit der oralen Situation auftraten. Es werden insb. psychosoziale Beeinträchtigungen, die stomatognathe Funktionalität und Schmerzen abgefragt. Die Antwortmöglichkeiten sind ordinal skaliert mit den Möglichkeiten „nie“, „kaum“, „ab und zu“, „oft“ und „sehr oft“. Je Frage werden nach zunehmender Häufigkeitsangabe 0-4 Punkte vergeben. Schlussendlich ergibt sich eine Maximalpunktzahl in Höhe von 56 Punkten bei einer Minimalpunktzahl in Höhe von null Punkten, während null Punkte der höchsten OHRQOL entsprechen. Die reduzierte Fragenanzahl gegenüber dem originalen OHIP-G38 reduziert den Zeitaufwand des Ausfüllens.

3.7.2 Studienspezifischer Fragebogen

Der studienspezifische Fragebogen ergänzt den OHIP-G14 Fragebogen durch einen anamnestischen und einen implantatbezogenen Teil. Der implantatbezogene Teil gliedert sich wiederum in einen ordinalskalierten Teil mit fünf Fragen und einen Freitextteil mit vier Fragen. Der Fragebogen befindet sich im Anhang 8.2.

Der ordinalskalierte implantatbezogene Fragebogen dient der Vervollständigung der Daten des OHIP-G14, indem er alle anderen Komponenten des stomatognathen Systems ausschließt. In Tabelle 11 sind die Fragen des implantatbezogenen Fragebogens dargestellt. Die Skala 0-4 bezieht sich aufsteigend auf folgende Antwortmöglichkeiten:

„trifft voll zu“ - „trifft eher zu“ - „trifft bedingt zu“ - „trifft eher nicht zu“ - „trifft gar nicht zu“

Zur Auswertung wurde eine Gesamtsumme aus den pro Frage erreichten Punkten gebildet, um das subjektive Empfinden gegenüber dem Implantat/der Implantate zu klassifizieren. Null entspricht dabei einem sehr zufriedenen Patienten mit subjektiv sehr guter Mundhygiene.

Die Bewertung des Implantats und der Prothetik wurden erfragt, um einen Eindruck davon zu gewinnen, wie die Patienten beides subjektiv und im Vergleich empfinden. Die Einschätzung der eigenen Mundhygiene kann ein Indikator für die Gebisspflege inkl. der Implantate sein. Die häusliche Mundhygiene wird als relevanter Faktor zur Prävention periimplantärer Erkrankungen beschrieben (108).

Die sorgenfreie Belastung der Implantate wurde erhoben, um das subjektive Kauerlebnis mit den Implantaten und die daraus entstehende psychosoziale Beeinträchtigung abzuleiten. Implantaten fehlt der klassische mechanosensorische Feedbackmechanismus, wie er bei Zähnen zu finden ist (237, 238). Das Konzept der „Osseoperception“ erwägt jedoch die Möglichkeit, dass sich ein peripherer mechanosensorischer Feedbackmechanismus um das Implantat entwickeln kann (239, 240). Die psychologisch versierte Studie von Johannsen et al. (241) berichtete, dass einige Patienten durch das fehlende Druckgefühl Ängste bei der Belastung der Implantate empfinden. Anhaltende Fremdkörper- oder Unsicherheitsgefühle können zur Vermeidung von Implantatbelastung trotz objektiv erfolgreicher Versorgung führen.

Die Beschwerdefreiheit in Bezug auf die Implantate wurde zur Einbeziehung in den Implantaterfolg nach Albrektsson ermittelt. Implantatassoziierte Beschwerden führen zur Erhöhung des OHIP-G14 Scores. Dabei gilt dieser Zusammenhang im Umkehrschluss nicht, da andere schmerzende Anteile des stomatognathen Systems, wie Zähne, ebenfalls den OHIP-G14 Score erhöhen können.

| Thema | Fragestellung | Skala |
|------------------------------|--|-------|
| Implantat Bewertung | Ich bin sehr zufrieden mit meinen Implantaten. | 0-4 |
| Prothetik Bewertung | Ich bin sehr zufrieden mit meiner prothetischen Versorgung. | 0-4 |
| Mundhygiene | Ich bewerte meine Mundhygiene als sehr gut. | 0-4 |
| Sorgenfreie Belastung | Ich belaste meine Implantate sorgenfrei beim Kauen. | 0-4 |
| Beschwerdefreiheit | Ich habe keine Beschwerden bezogen auf meine Implantate (z.B. Schmerzen, Unwohlsein, etc.) | 0-4 |
| Gesamtergebnis | --- | 0-20 |

Tabelle 11: Studienspezifischer bepunkteter Fragebogen zur Zufriedenheit mit dem Implantat

Im ergänzenden Freitextteil des implantatbezogenen Fragebogens wurden explorativ folgende Fragen gestellt:

- Wie viele Implantate haben Sie? Wie viele sind verloren gegangen? Wann?
- Wie oft musste Ihr Implantat getragener Zahnersatz erneuert werden? Wieso?
- Wie oft gehen Sie zur zahnärztlichen Kontrolluntersuchung?

Falls die Patienten nicht persönlich zur Kontrolluntersuchung erscheinen konnten, wurde zusätzlich nach dem Zahnersatz auf den Implantaten gefragt.

Im anamnestischen Teil des Fragebogens wurden Vorerkrankungen und Medikamente abgefragt, die von der DGI (191) und/oder Schwarz et al. (192) als Einflussfaktoren auf periimplantäre Konditionen thematisiert werden. Die nominal skalierten Ja-Nein-Fragen sind in Tabelle 12 dargestellt. Die Relevanz der knochenstoffwechselbeeinflussenden Konditionen für den Implantaterfolg und das Implantatüberleben wurde bereits in Abschnitt 2.6.5 dargestellt.

| Ja-Nein-Frage | Zusatzangaben |
|---|--------------------|
| Raucher | Zigaretten/Tag |
| Diabetes mellitus | HbA1c-Wert |
| Osteoporose | - |
| Bestrahlung im Kopf-Hals-Bereich | Jahr und Dosis |
| Chemotherapie | Jahr und Dauer |
| Anderes | Art der Erkrankung |
| Antiresorptiva Einnahme | - |
| Kortison Einnahme | - |
| Immunsuppressiva Einnahme | - |
| Bruxismus | - |
| Parodontitis | - |

Tabelle 12: Übersicht der anamnestischen Befragung mithilfe des studienspezifischen Fragebogens

3.8 Statistische Auswertung

3.8.1 Statistische Ergebnisevaluation

Zur Auswertung aller erhobenen Daten wurde das Programm SPSS Version 27.0 (IBM®, USA) genutzt. Je nach Datenqualität wurden deskriptive, explorative und vergleichende Analysen durchgeführt. Das verwendete Signifikanzniveau ist $p < 0,05$. Die Ergebnisse werden wie empfohlen auf Implantat- und auf Patientenniveau beschrieben (242). Die statistische Analyse wurde durch einen Experten des Instituts für medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik der Johannes Gutenberg-Universität Mainz verifiziert.

3.8.2 Kaplan-Meier Verweildaueranalyse

Die Verweildaueranalyse nach Kaplan-Meier beschreibt, ob und nach welchem Zeitraum ein bestimmtes Ereignis eintritt (243). Das Ereignis in der vorliegenden Studie war der Implantatverlust. Der Zeitraum begann mit der Insertion des Implantats. Endet der Beobachtungszeitraum eines Implantats ohne dessen Verlust, so wird dies in der Kaplan-Meier Analyse „zensiert“ dargestellt. Das Ende des Beobachtungszeitraums ist in dieser Studie entweder durch den zufälligen letzten Kontakt der MKG Mainz mit dem Patienten, den Patiententod oder den Verlust des Implantats definiert. Die Häufigkeit des Versterbens oder des nicht aktuellen letzten Kontakts ist in Abbildung 12 dargestellt. Dadurch wird für jedes Beobachtungsintervall eine Überlebenswahrscheinlichkeit ermittelt. Man spricht von einer kumulativen Überlebenswahrscheinlichkeit, da die prozentualen Überlebenswerte jedes vorangegangenen Beobachtungszeitraums multipliziert werden (243).

Der Log-Rank Test dient der standardmäßigen Ermittlung der Unterschiede zwischen Überlebenswahrscheinlichkeiten verschiedener Gruppen auf Implantatniveau (8, 9, 71). Er wurde genutzt, um den Unterschied der Überlebenskurven nach Kaplan-Meier für patientenspezifische Faktoren, operative Faktoren und implantatbezogene Faktoren zu überprüfen. Er kann die Interkorrelation der Implantate innerhalb eines Patientenmundes nicht berücksichtigen.

Der Effekt des Implantattyps auf das Implantatüberleben wurde durch Anpassung von Cox-Regressionsmodellen ermittelt. Daraus ergaben sich das Hazard-Ratio mit 95% Konfidenzintervall als Maß für die Effektstärke. Um die Korrelation der Ergebnisse zu verschiedenen Implantaten in einer Person zu berücksichtigen, wurden Cox-Modelle für korrelierte Daten mit robuster Fehlervarianzschätzung verwendet.

3.8.3 Auswertung des Knochenabbaus

Aus der in Kapitel 3.5 beschriebenen Messung des periimplantären Knochenabbaus ergaben sich metrische Werte für den Knochenabbau mesial und distal jedes Implantats. Aus beiden Werten wurde für jedes Implantat der arithmetische Mittelwert gebildet. Über diesen Wert wurden die Implantate zunächst ohne Berücksichtigung der Interkorrelation innerhalb eines Patienten berücksichtigt. Zur Berücksichtigung der Interkorrelation der Implantate innerhalb eines Patienten wurde zusätzlich der durchschnittliche Knochenabbau je Messstelle pro Patienten ermittelt. Die so errechneten Mittelwerte für den Knochenabbau je Implantat und je Patient wurden anschließend genutzt, um die Signifikanzen der Unterschiede zwischen Gruppen zu bestimmen.

Der Mann-Whitney-U-Test ermöglicht bei nicht normalverteilten unverbundenen metrischen Daten, den Zusammenhang mit einer Kovariablen zu analysieren. Er ist damit eine Alternative zum T-Test, da er auf wesentlich schwächeren Voraussetzungen basiert (243). Er wurde genutzt, um den nicht normal verteilten Knochenabbau in Abhängigkeit von patienten-, operations- und implantatspezifischen Faktoren zu vergleichen. Das Ergebnis ist die Ausgabe, ob der Unterschied zwischen zwei Gruppen auf Implantatniveau signifikant oder nicht signifi-

kant ist. Wenn mehr als zwei Gruppen verglichen wurden, wurde der Kruskal-Wallis-Test (auch H-Test genannt) genutzt.

Da jeder Studienpatient mit seiner Genetik, individuellen Knochenphysiologie und Compliance durchschnittlich 3,4 Studienimplantate besitzt, wurden die ermittelten Werte des Knochenverlusts unter Berücksichtigung der Patientenindividualität analysiert. Mehrere Implantate in einem Patienten können nicht als unabhängige Variablen angesehen werden. Beim Modell mit zufälligen Effekten wird angenommen, dass die erklärenden Variablen nicht mit der unbeobachteten Heterogenität zusammenhängen. Es wird eine sog. gepoolte Kleinst-Quadrat-Schätzung durchgeführt und dessen Residuen ermittelt. Der zufällige Effekt wird über den konstanten Term ausgegeben (244, 245). Es wurden Random-Effekt-Modelle in SPSS für die potenziellen Einflussfaktoren auf den Knochenabbau berechnet. So kann die Signifikanz der vorliegenden Unterschiede unter Berücksichtigung der Patientenindividualität ermittelt werden. Schließlich wurde mit folgender Formel berechnet, inwieweit die Modellvarianz auf die Personenebene zurückzuführen ist (sog. Intraclass-Korrelation):

$$\text{Intraclass – Korrelation} = \frac{\text{Konstanter Term}}{(\text{Konstanter Term} + \text{Residuum})} \times 100$$

3.8.4 Unterschiede der Gruppen der Implantattypen

Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns wurden verschiedene operative Techniken in verschiedenen Kieferlokalisationen eingesetzt. Es besteht auch die Möglichkeit, dass bestimmte Implantattypen häufiger in Patienten eines bestimmten Alters oder Geschlechts inseriert wurden. Um den potenziellen Einfluss der Gruppenstruktur der verschiedenen Implantattypen zu berücksichtigen, wurden somit neben der Erfassung der Häufigkeit der Patienten-, Implantat- und OP-Merkmale auch die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Gruppen überprüft. Es wurde eine logistische Regression mit allgemeinen Schätzwerten verwendet.

4 Ergebnisse

4.1 Kumulatives Überleben

Das kumulative Überleben nach Kaplan-Meier über einen mittleren Beobachtungszeitraum von $157,8 \pm 64,1$ Monaten ($= 13,2 \pm 5,3$ Jahre) bei Berücksichtigung aller Studienimplantate ($n = 1102$) betrug 89,3 % (Abbildung 22). Bei 79,1 % der Patienten blieben alle Implantate in situ, während bei 93,8 % der Patienten mindestens ein Studienimplantat überlebte. Die maximale Beobachtungsdauer betrug 260 Monate ($= 21,7$ Jahre), während der minimale Zeitraum in situ null Monate betrug (Abbildung 23). Die 353 vor September 2005 inserierten Implantate, welche schon von Al-Nawas et al. (23) untersucht wurden, wiesen nach durchschnittlich $187,8 \pm 63,5$ Monaten ein Implantatüberleben von 88,1 % auf.

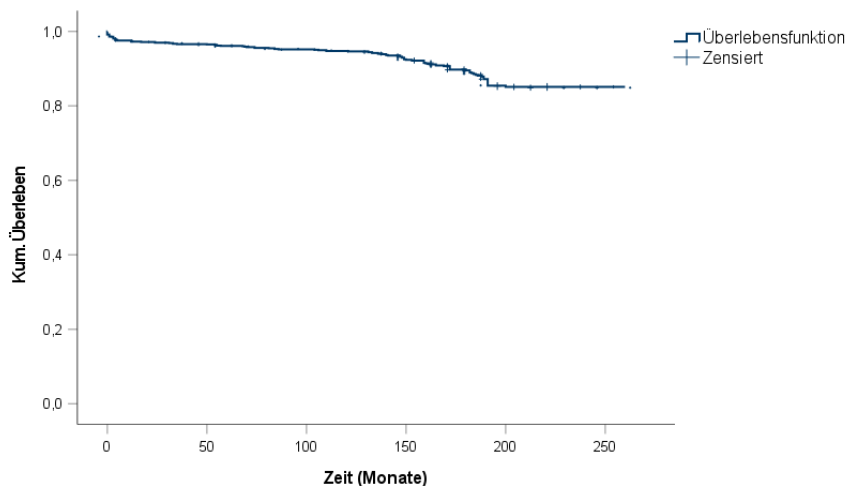


Abbildung 22: Kaplan-Meier Überlebensfunktion aller Studienimplantate

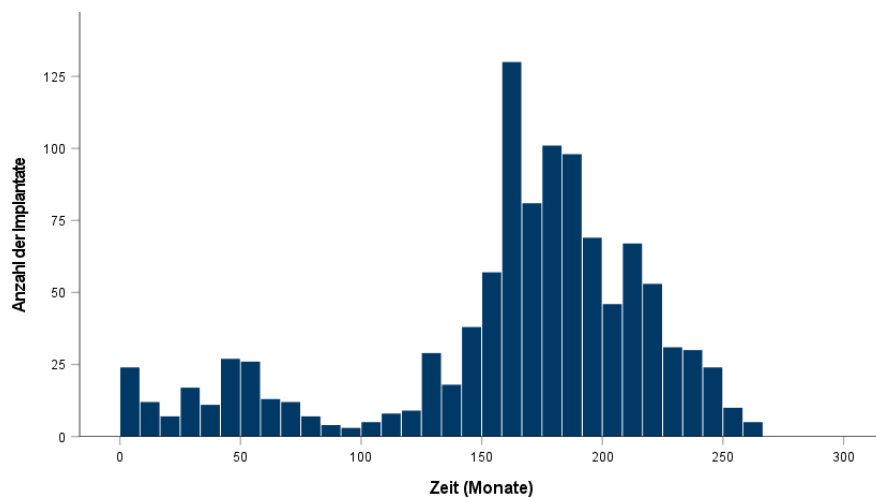


Abbildung 23: Beobachtungszeitraum bis zum Implantatverlust oder letztem Kontakt zum Implantat

Werden nur die nach 12 Monaten osseointegrierten Implantate berücksichtigt, reduziert sich das Patientenkollektiv auf 302 Patienten mit 1072 Implantaten über einen mittleren Zeitraum von $162,0 \pm 59,4$ Monate ($= 13,5 \pm 5,0$ Jahre). Die Überlebensrate nach Kaplan-Meier beträgt 92,1 %. Bei 84,4 % der Patienten haben alle Implantate nach erfolgreicher Osseointegration überlebt.

4.2 Implantatverluste

Es traten 118 Implantatverluste bei 68 Patienten auf. Davon waren 85 Spätverluste, von denen 80 Implantate aufgrund von Periimplantitis und fünf Implantate aufgrund einer Implantatfraktur verloren gingen. Der mittlere Zeitraum bis zum Verlust nach erfolgreicher Osseointegration betrug $134,4 \pm 51,4$ Monate (Abbildung 25). Ein Spätverlust trat bei 47 Patienten auf. Ein Frühverlust trat bei 23 Patienten mit 33 Implantaten auf (keine Osseointegration innerhalb von zwölf Monaten). Bei einem Implantat kam es intraoperativ zur Fraktur des Einbringpfostens, sodass es intraoperativ entfernt und anschließend ersetzt wurde (Abbildung 24).

Die fünf Spätverluste durch Implantatfrakturen traten in drei Patientinnen mit fünf SLP+ Implantaten im UK nach durchschnittlich $155,2 \pm 6,7$ Monaten auf. Der Durchmesser der Implantate betrug 3,3 bis 4,3 mm und die Länge 11 mm oder 13 mm.

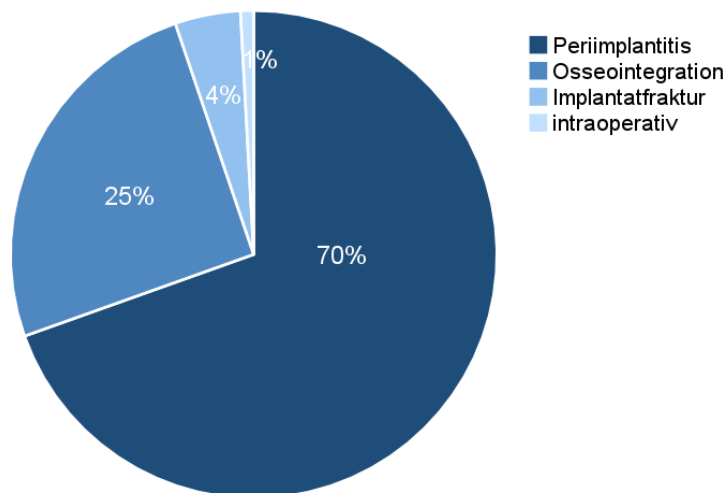


Abbildung 24: Ursachen der Implantatverluste

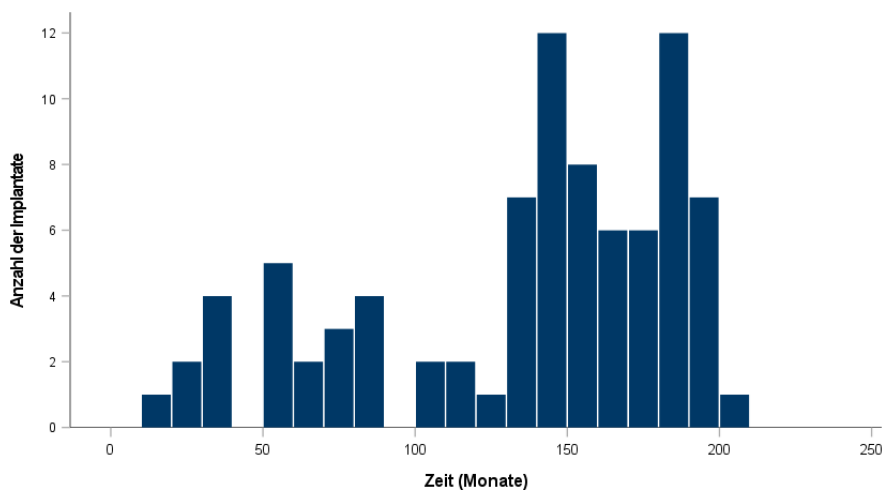


Abbildung 25: Zeit bis zum Spätverlust des Implantats

4.3 Korrelation des kumulativen Überlebens

4.3.1 Kumulatives Überleben nach patientenbezogenen Parametern

Die Implantatüberlebensraten getrennt nach Geschlecht, Alter und knochenstoffwechselfeinflussender Kondition sind mit der jeweiligen Signifikanz laut Log-Rank Test in Tabelle 13 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass das Geschlecht und das Bestehen einer knochenstoffwechselfeinflussenden Kondition keinen signifikanten Einfluss auf das Implantatüberleben hatte. Die Altersgruppe zwischen 30 und 49 Jahren hatte signifikant schlechtere Ergebnisse als die jüngere und ältere Alterskohorte (Tabelle 13 und Abbildung 26). Starke Raucher hatten eine signifikant reduzierte Implantatüberlebensrate (Tabelle 13 und Abbildung 27).

| | Überleben (%) | p-Wert |
|---|-----------------------------|-----------|
| Geschlecht (m / w) | I 88,9 / 89,6 | 0,53 |
| | P 78,4 / 79,1 | 0,9 |
| Alter (15-29 / 30-49 / 50-64 / 65-90 Jahre) | I 92,3 / 79,8 / 90,0 / 93,1 | < 0,001** |
| | P 81,8 / 67,1 / 81,1 / 83,8 | 0,23 |
| Knochenstoffwechselfeinflussende Kondition (ja / nein) | I 92,6 / 93,6 | 0,76 |
| | P 80,9 / 86,2 | 0,5 |
| davon starker Raucher (ja/nein) | I 84,4 / 93,9 | 0,049** |
| | P 54,5 / 86,7 | 0,02** |

Tabelle 13: Kumulatives Überleben nach patientenbezogenen Parametern
(I = Implantate, P = Patienten ohne Implantatverlust, **=signifikante Unterschiede nach Log-Rank Test)

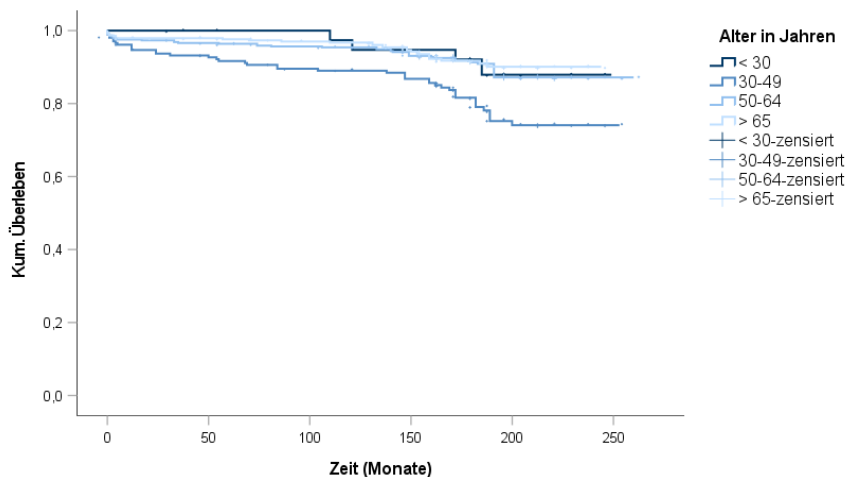


Abbildung 26; Kaplan-Meier Überleben nach Alter bei Implantation

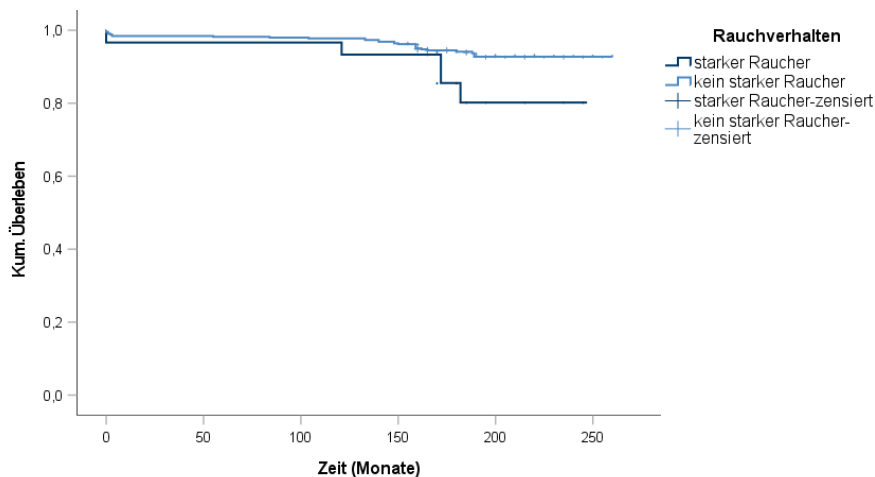


Abbildung 27: Kaplan-Meier Überleben nach Rauchverhalten (starker Raucher = >10 Zigaretten/Tag)

4.3.2 Kumulatives Überleben nach anatomischer Lokalisation

Die Differenzierung des Implantatüberlebens nach anatomischer Lokalisation zeigt, dass das kumulative Implantatüberleben im OK-Frontzahnbereich mit 92,5 % (n = 173) am größten war, gefolgt vom OK-Seitenzahnbereich mit 90,6 % (n = 361). Das kumulative Überleben im UK-Frontzahnbereich betrug 88,4 % (n = 121) und im UK-Seitenzahnbereich 87,2 % (n = 447). (Abbildung 28) Das Implantatüberleben im OK lag somit bei 91,2 % (n = 534) und das Überleben im UK betrug 87,5 % (N = 568). Der Unterschied zwischen im OK und im UK inserierten Implantaten ist laut Log-Rank-Test statistisch signifikant ($p = 0,023$). Die Cox-Regression unter Einbeziehung des Patientenclusters ergibt eine nicht signifikante höhere Überlebensrate im Oberkiefer (Hazard Ratio: 1,55; 95 % Konfidenzintervall: 0,70-3,36; $p = 0,34$).

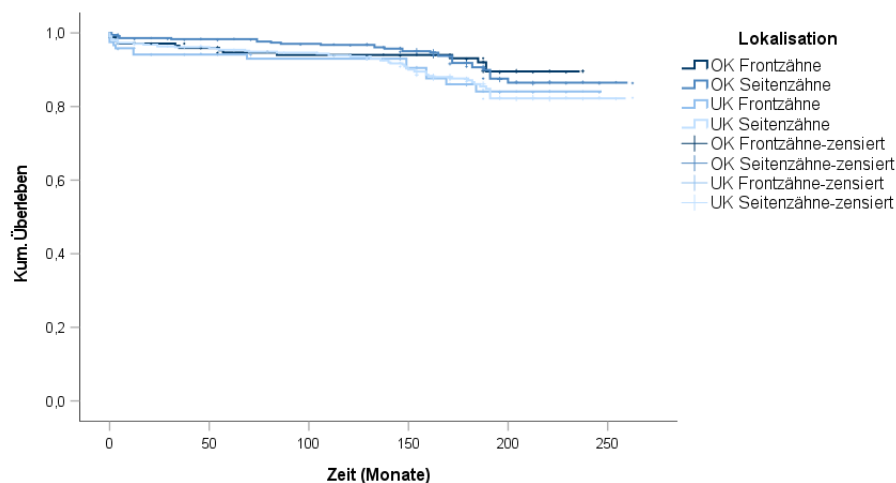


Abbildung 28: Kaplan-Meier Überleben nach anatomischer Lokalisation

4.3.3 Kumulatives Überleben nach Implantattyp

Die Überlebenswahrscheinlichkeiten nach Kaplan-Meier differenziert nach Implantattypen sind in Abbildung 29 dargestellt. Die Unterschiede sind nicht signifikant beim Vergleich aller Implantattypen (Log-Rank Test $p = 0,09$). Der Unterschied zwischen SLP und SLP+ Implantaten ist laut Log-Rank Test signifikant ($p = 0,004$). Die Cox-Regression unter Einbeziehung des Patientenclusters ergibt eine nicht signifikante geringere Verlustwahrscheinlichkeit für SLP Implantate verglichen mit SLP+ Implantaten (Hazard Ratio: 0,53; 95 % Konfidenzintervall: 0,23-1,17; $p = 0,12$).

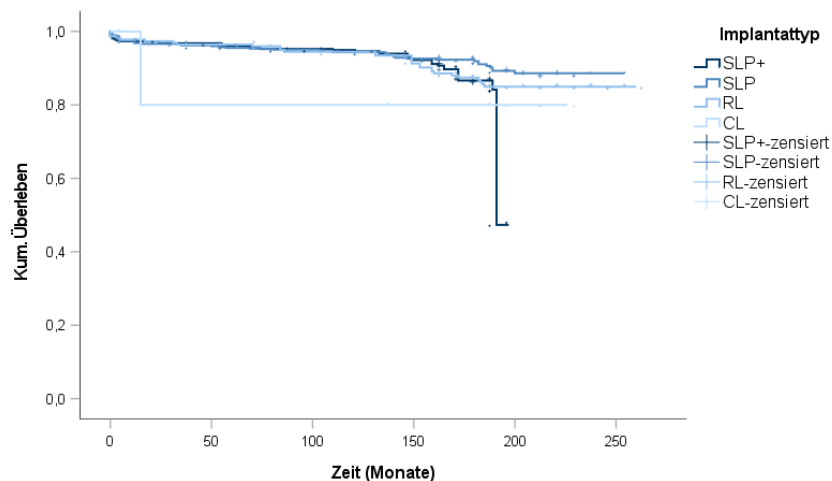


Abbildung 29: Kaplan-Meier Überleben nach Implantattyp

Die Klassifizierung von Implantatverlusten in Früh- und Spätverluste nach Implantattyp ist in Tabelle 14 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Frühverlustrate der SLP Implantate im Vergleich zu SLP+ und RL Implantaten höher war, während die Spätverlustrate der SLP Implantate im Vergleich zu den beiden anderen Schraubenimplantaten niedriger war ($p = 0,004$).

| | | SLP+ | SLP | RL | CL | |
|----------------------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|---|
| Frühverluste | I | 2,7 % (10) | 3,3 % (16) | 2,2 % (5) | 13,3 % (2) | |
| | P | 7,3 % (9) | 6,3 % (11) | 4,9 % (4) | 12,5 % (1) | |
| Spätverluste | Periimplantitis | I | 8,0 % (30) | 5,4 % (26) | 10,5 % (24) | - |
| | | P | 7,7 % (8) | 4,4 % (7) | 8,8 % (6) | - |
| | Implantatfraktur | I | 1,3 % (5) | - | - | - |
| | | P | 2,4 % (3) | - | - | - |
| Implantatüberleben gesamt | I | 88,0 % (374) | 91,3 % (484) | 87,3 % (229) | 86,7 % (15) | |
| | P | 78,0 % (123) | 85,8 % (176) | 75,6 % (82) | - | |

Tabelle 14: Früh- und Spätverluste nach Implantattyp
(I = Implantate, P = Patienten der betroffenen Implantate jeweils in % (Anzahl))

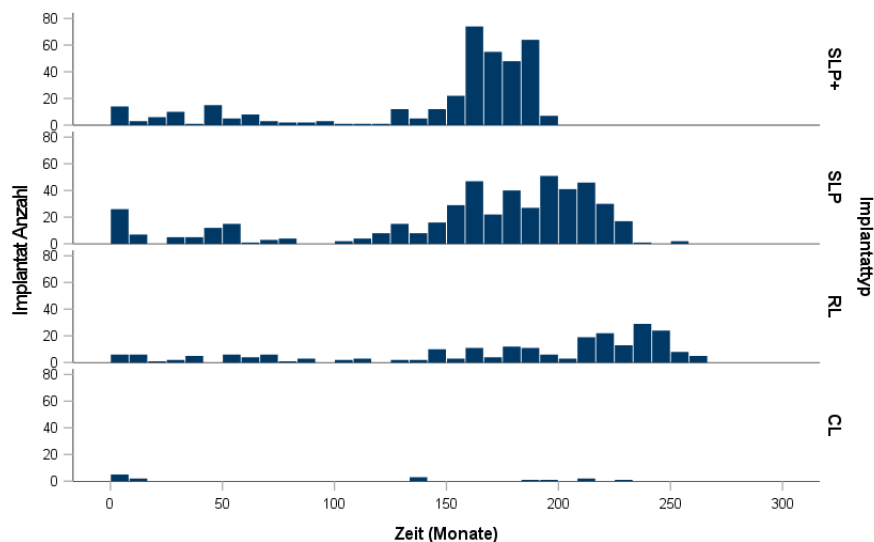


Abbildung 30: Beobachtungszeitraum bis zum Implantatverlust oder letztem Kontakt nach Implantattyp

Aufgrund der Chronologie der Produktentwicklung, war der durchschnittliche Zeitraum zwischen Implantatinsertion und letztem Kontakt zum Implantat für SLP+ Implantate mit 144 ± 55 Monaten geringer als für SLP (159 ± 63 Monate) und RL (180 ± 72 Monate) Implantate. Die Häufigkeit der mittleren Beobachtungsdauer je nach Implantattyp ist in Abbildung 30 dargestellt. Das Implantatüberleben unterschied sich nicht signifikant zwischen den Implantaten verschiedener Durchmesser ($p = 0,48$) oder verschiedener Längen ($p = 0,87$).

4.3.4 Kumulatives Überleben nach operativer Technik

Implantate, die mit einem Sofortimplantationsprotokoll implantiert wurden, zeigten eine signifikant höhere kumulative Überlebensrate ($n = 75$) gegenüber Implantaten, die nach knöcherner Ausheilung implantiert wurden ($n = 1027$) (96,0 % vs. 88,8 %). Dieser Zusammenhang bleibt auch bei Berücksichtigung des Patientenclusters bestehen. Das angepasste Cox-Modell ergibt ein Hazard Ratio von 2,91 bei einem 95 % Konfidenzintervall von 0,87-9,78 ($p = 0,03$). (Abbildung 31)

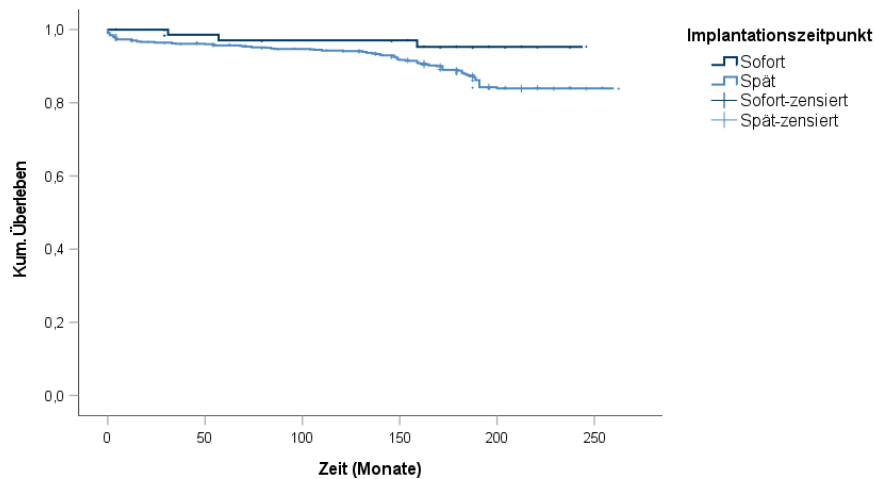


Abbildung 31: Kaplan-Meier Überleben nach Implantationszeitpunkt

Implantate, die in ein- oder zweizeitig augmentierte Kieferkämme inseriert wurden (n = 386), hatten ein statistisch nicht signifikantes geringeres kumulatives Überleben als Implantate, die in nativen Knochen eingebracht wurden (n = 716) (87,3 % vs. 90,4 %; p = 0,15 im Log-Rank-Test bzw. Hazard-Ratio=0,77 (95%-CI: 0,44-1,34) mit p=0,37)).

Die Überlebensraten der Implantate in augmentierten Kieferkämmen unterschieden sich signifikant nach genutztem KEM (Log-Rank Test p = 0,04). Die geringste Überlebensrate hatten Implantate in Kieferkämmen, die ausschließlich mit TCP augmentiert wurden (71,4 % für n = 21), gefolgt von Augmentationen, die allein mit xenogenem Material durchgeführt wurden (73,1 % für n = 26). Für rein autologe Augmentation betrug das kumulative Implantatüberleben 90,9 %. Im angepassten Cox-Modell ergibt sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den KEM (p = 0,94).

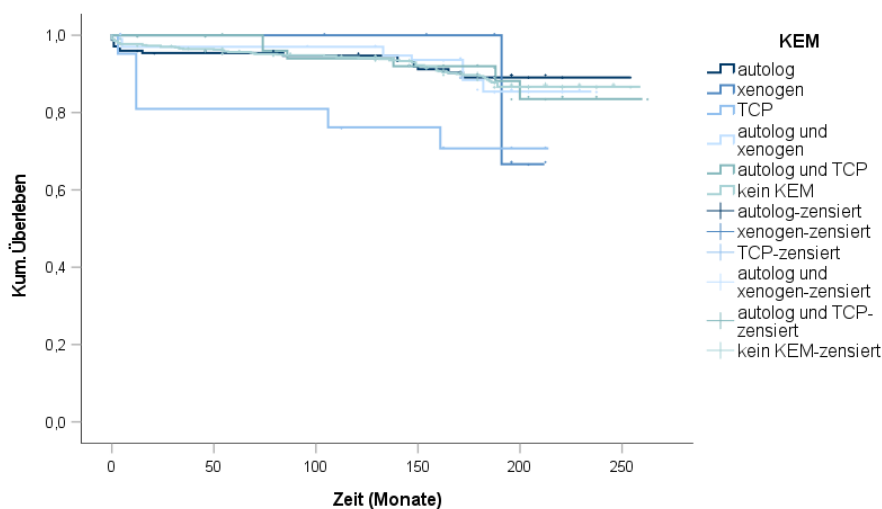


Abbildung 32: Kaplan-Meier Überleben nach Knochenersatzmaterial

4.4 Ergebnisse der klinischen Untersuchung

Von den klinisch untersuchten Patienten waren 72 männlich (190 Implantate) und 65 weiblich (197 Implantate). Die untersuchten Implantate waren 147 SLP+ Implantate in 58 Patienten, 174 SLP Implantate in 75 Patienten, 64 RL Implantate in 27 Patienten und 2 CL Implantate in zwei Patienten. Für einen Patienten mit zwei Implantaten konnten aufgrund der fehlenden Freilegung der Implantate nicht alle klinischen Parameter erhoben werden.

4.4.1 Modifizierter Plaqueindex

Der mittlere mPBI betrug $0,8 \pm 0,9$. 50,6 % der Implantate ($n = 196$) hatten einen mPBI von 0. Die Verteilung der mPBI-Werte ist Abbildung 33 zu entnehmen. Die 147 SLP+ Implantate und die 174 SLP Implantate wiesen ähnliche mPBI-Werte auf.

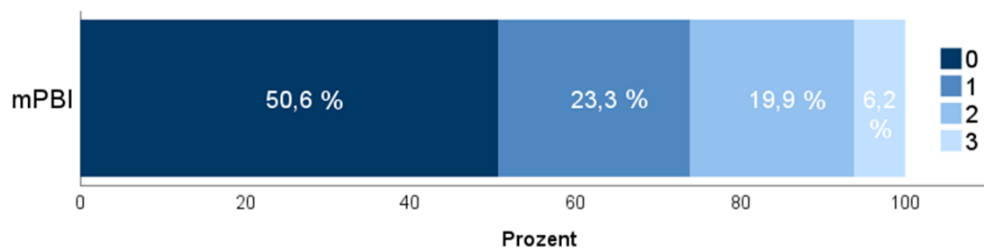


Abbildung 33: Verteilung des mPBI-Indexes

4.4.2 Sulkus-Blutungs-Index

88,4 % der Implantate ($n = 342$) zeigten einen mSBI von null. Für 39 Implantate (= 10,1 %) wurde ein mSBI von zwei erhoben. Um vier Implantate (1,0 %) blutete es gemäß mSBI Code 2. Die ermittelten mSBI-Werte für SLP und SLP+ Implantate sind vergleichbar. ($\bar{x} 0,15 \pm 0,4$)

4.4.3 Blutung auf Sondieren

Es wurden je Implantat die Blutungspunkte auf Sondieren mesial, distal, vestibulär und oral notiert. Die Häufigkeit der Blutungspunkte wird in Abbildung 34 dargestellt. Durchschnittlich zeigte jedes Implantat $0,9 (\pm 1,1)$ Blutungspunkte. Die BOP-Werte für SLP+ und SLP Implantate sind vergleichbar. 52,3 % der SLP-Implantate wiesen im Vergleich zu 43,5 % der SLP+-Implantate einen BOP-Wert von null auf.

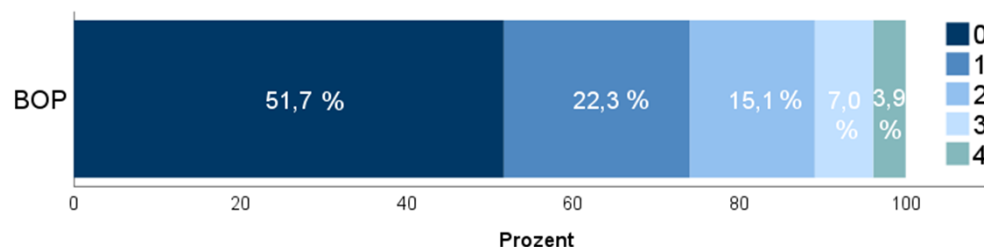


Abbildung 34: Anzahl der Blutungspunkte je Implantat

4.4.4 Gingivales Erythem

An 47 Implantaten (12,1 %) wurde eine entzündliche Veränderung der Gingiva in Form von Rötung und/oder ödematöser Schwellung festgestellt. Alle anderen Implantate (87,9 %) wiesen inspektorisch gesundes periimplantäres Weichgewebe auf. Die Rötung der Weichgewebe wurde an 20,9 % der SLP Implantate und an 10,2 % der SLP+ Implantate festgestellt.

4.4.5 Suppuration

An den 387 Implantaten konnte durch Sondieren an 6 Implantaten bei vier Patienten Pus exprimiert werden. Das entspricht 1,6 % der untersuchten Implantate. 4/6 dieser Implantate waren SLP+ Implantate, während die anderen 2 SLP Implantate waren.

4.4.6 Sondierungstiefen

Die mittleren ST sind in Tabelle 15 dargestellt. Es ergibt sich eine mittlere ST von $2,8 \pm 1,6$ mm. Die maximale ST betrug 12 mm distal und mesial. Vestibulär und oral lag das Maximum bei jeweils 10 mm. Das Minimum lag jeweils bei 0 mm. Die gemittelte ST der SLP und SLP+ Implantate ist identisch.

| | oral | mesial | vestibulär | distal |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ST \pm SD mm | $2,85 \pm 1,6$ | $2,76 \pm 1,6$ | $2,43 \pm 1,5$ | $2,86 \pm 1,7$ |

Tabelle 15: Mittlere Sondierungstiefen nach Messstelle

4.4.7 Gingivale Rezessionen

Durchschnittlich belief sich die Rezession der untersuchten Implantate vestibulär und oral auf $0,6 \pm 1,3$ mm. In 73,4 % (n = 284) der Fälle war keine vestibuläre Rezession vorhanden. Oral hatten 75,7 % der Implantate (n = 293) keine Rezession. Die mittlere Rezession ist mit $0,7 \pm 1,5$ mm für SLP Implantate höher, als mit $0,4 \pm 1,1$ mm für SLP+ Implantate.

4.4.8 Lockerungsgrad

Zum Zeitpunkt der klinischen Untersuchung waren acht Implantate von fünf Patienten mobil (2,1 %). Bei weiteren sieben Implantaten wurde eine Lockerung der prothetischen Versorgung festgestellt (1,8 %). Somit waren 95,9 % der Implantate klinisch immobil (n = 368). 6/8 der gelockerten Implantate bei vier Patienten waren SLP+ Implantate, während die anderen zwei gelockerten Implantate bei einem Patienten SLP Implantate auftraten.

4.4.9 Keratinisierte Mukosa

Im Mittel hatte jedes Implantat eine vestibuläre keratinisierte Mukosa von $2,3 \pm 1,5$ mm Breite. Die mittlere orale Breite betrug $2,2 \pm 1,4$ mm. Das Maximum lag bei 7 mm. 115 Implantate (29,7 %) hatten vestibulär eine keratinisierte Mukosa kleiner als 2 mm. 60 UK-Implantate (28,2 %) hatten oral eine keratinisierte Mukosa kleiner als 2 mm. (Abbildung 35)

Die Breite der keratinisierte Mukosa war vergleichbar an SLP+ und SLP Implantaten. Der Mittelwert der SLP+ Implantate betrug $2,4 \pm 1,6$ mm vestibulär und $2,15 \pm 1,4$ mm oral. Für SLP Implantate lagen die Mittelwerte bei $2,2 \pm 1,5$ mm (vestibulär) und $2,1 \pm 1,4$ mm (oral).

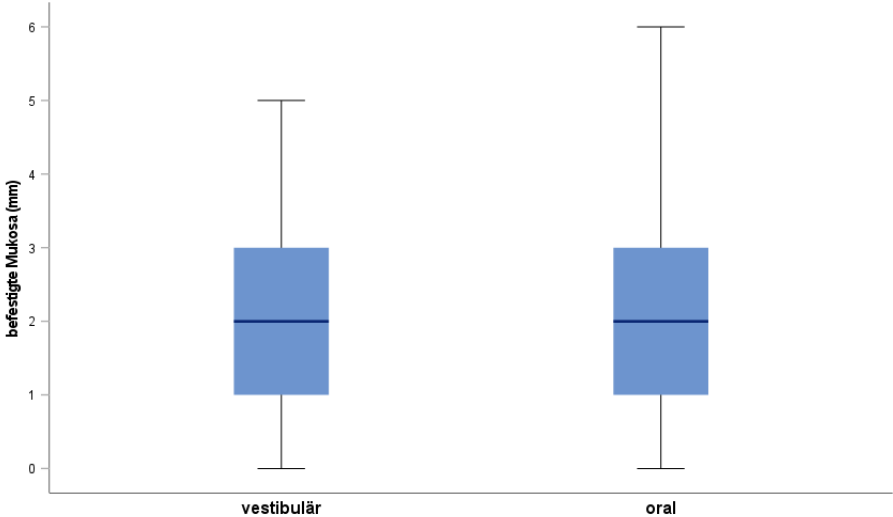


Abbildung 35: Breite der keratinisierten Mukosa nach Messstelle

4.5 Röntgenologischer Knochenabbau

Der periimplantäre Knochenabbau wurde nach 192 ± 27 Monaten für 391 Implantate bei 136 Patienten ermittelt. Die Anzahl der Implantate aufgeteilt nach der Aufnahmetechnik und des Aufnahmezeitpunktes ist in Tabelle 16 dargestellt. Zwei klinisch untersuchte Implantate konnten aufgrund von technischen Problemen nicht radiologisch untersucht werden, während 16 klinisch untersuchte Implantate aufgrund von fehlender Patientenzustimmung nicht radiologisch untersucht wurden.

Das Minimum lag bei 155 Monaten, während das Maximum 259 Monate betrug. Der mesiale und distale Knochenabbau waren, wie in Abbildung 36 dargestellt, ähnlich. Durchschnittlich betrug der Knochenabbau je Messstelle $0,8 \pm 1,5$ mm. 227 Implantate (58,1 %) zeigten keinen Knochenabbau. Der maximale Knochenabbau lag bei 10,76 mm mesial und bei 10,07 mm distal.

Der durchschnittliche periimplantäre Knochenabbau der einzelnen Patienten je Messstelle an ihren Studienimplantaten betrug $0,6 \pm 1,2$ mm. 71 Patienten wiesen keinen periimplantären Knochenabbau auf, während 13 Patienten einen Knochenabbau von durchschnittlich mindestens 2 mm aufwiesen.

| | EZA | PSA |
|---------------------------------|-----|-----|
| unmittelbar postoperativ | 33 | 378 |
| aktuell | 172 | 361 |

Tabelle 16: Anzahl der Implantate auf den unmittelbar postoperativen und aktuellen EZAs und PSAs

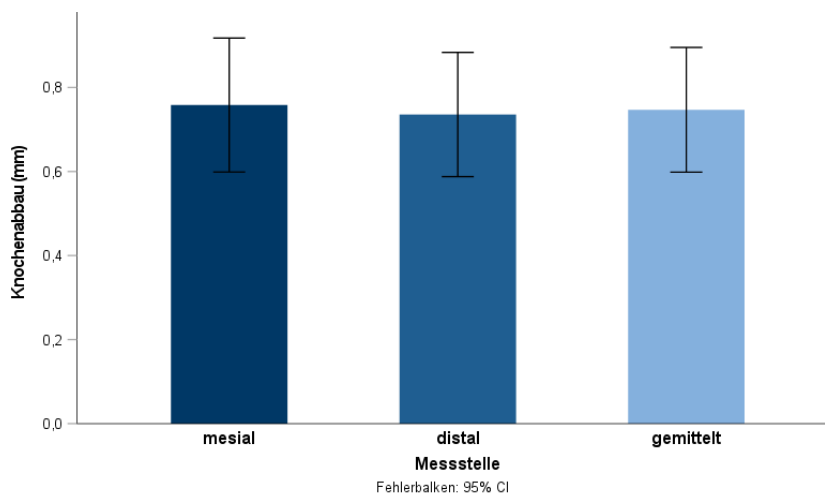


Abbildung 36: Mittlerer Knochenabbau je Messstelle

4.6 Korrelation des periimplantären Knochenabbaus

4.6.1 Knochenabbau nach patientenbezogenen Parametern

Tabelle 17 zeigt, dass sich der Knochenabbau teilweise signifikant zwischen den Patientengruppen unterscheidet. Der p-Wert nach Mann-Whitney-U bzw. Kruskal-Wallis-Test unterscheidet sich vom p-Wert des Random-Effekt Modells. Die Intraclass-Korrelation im Random-Effekt Modell beträgt ca. 43 %.

| | | Knochenabbau \pm SD mm | p1-Wert | p2-Wert |
|---|---|---|---------|---------|
| Geschlecht (m / w) | I | 0,5 \pm 1,1 / 1,0 \pm 1,7 | <0,001 | 0,12 |
| | P | 0,5 \pm 1,2 / 0,7 \pm 1,2 | 0,4 | |
| Alter (15-29 / 30-49 / 50-64 / 65-90 Jahre) | I | 1,1 \pm 1,5 / 0,6 \pm 1,3 / 0,9 \pm 1,7 / | <0,001 | 0,06 |
| | P | 0,4 \pm 0,9 | | |
| | | 0,6 \pm 1,0 / 0,6 \pm 1,4 / 0,7 \pm 1,2 / | | |
| | | 0,5 \pm 1,2 | | |
| Knochenstoffwechselbeeinflussende Kondition (ja / nein) | I | 1,3 \pm 2,1 / 0,5 \pm 1,1 | <0,001 | 0,004 |
| | P | 0,9 \pm 1,4 / 0,5 \pm 1,1 | 0,03 | |
| davon starker Raucher (ja/nein) | I | 1,5 \pm 1,5 / 0,7 \pm 1,6 | 0,003 | 0,24 |
| | P | 0,9 \pm 1,1 / 0,6 \pm 1,2 | 0,25 | |

Tabelle 17: Mittlerer Knochenabbau differenziert nach patientenbezogenen Parametern

(I = Implantate; P = Durchschnitt je Patient; p1-Wert = Signifikanz nach Mann-Whitney-U bzw. Kruskal-Wallis; p2-Wert = Signifikanz nach Random-Effekt-Modell)

Während das weibliche Geschlecht, junges Alter und starkes Rauchen im Mann-Whitney-U bzw. Kruskal-Wallis-Test einen signifikanten Einfluss hatten, waren diese Faktoren im Random-Effekt-Modell nicht mehr signifikant. Die knochenstoffwechselbeeinflussenden Konditionen wiesen anhand aller Tests signifikante Unterschiede im Knochenabbau zwischen den zwei Merkmalsausprägungen auf. 199 Implantate in Patienten mit knochenstoffwechselbeeinflussenden Konditionen zeigten einen durchschnittlich 0,8 mm höheren Knochenabbau als 257 Implantate in Patienten ohne eine solche Kondition. Abbildung 37 zeigt den unterschiedlichen Knochenabbau zusätzlich differenziert nach Art der knochenstoffwechselbeeinflussenden Kondition. Es wurden nur Erkrankungen dargestellt, für die die Implantatzahl > 10 vorlag. Für Patienten mit Osteoporose wurde der höchste mittlere Knochenabbau ermittelt.

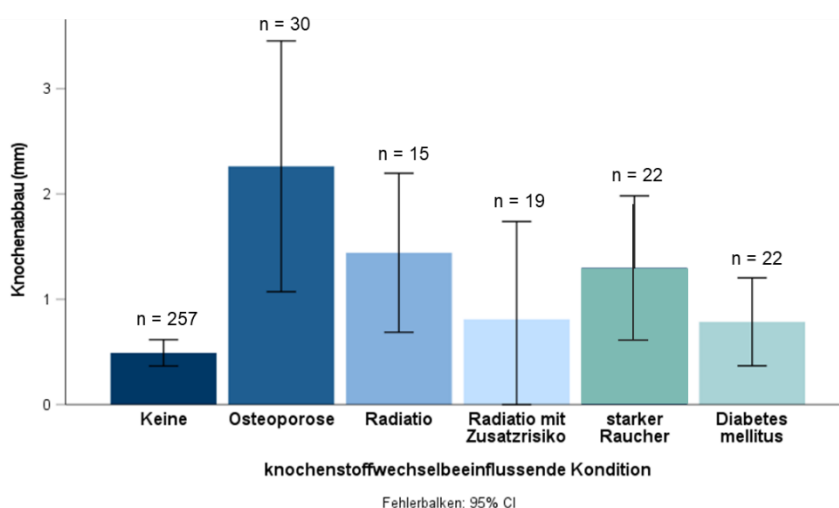


Abbildung 37: Mittlerer Knochenabbau nach Art der knochenstoffwechselbeeinflussenden Kondition

4.6.2 Knochenabbau nach anatomischer Lokalisation

Der höchste mittlere Knochenabbau wurde mit $2,1 \pm 2,9$ mm für die UK-Frontzähne ermittelt ($n = 31$). Den geringsten Knochenabbau mit $0,5 \pm 1,1$ mm wiesen UK-Seitenzähne auf ($n = 178$). Für Implantate im OK-Seitenzahnbereich ($n = 116$) und Frontzahnbereich ($n = 31$) wurde ein mittlerer Knochenabbau von $0,9 \pm 1,2$ mm bzw. $0,7 \pm 1,5$ mm gemessen (Abbildung 38). Der mittlere Knochenabbau unterscheidet sich laut Kruskal-Wallis-Test signifikant nach anatomischer Lokalisation der Implantate ($p < 0,001$). Der Knochenabbau zwischen den Implantatlokalisationen unterscheidet sich auch signifikant im Random-Effekt-Modell ($p < 0,001$). Die Intraclass-Korrelation beträgt 40,2 %. Insbesondere SLP+ Implantate hatten im OK-Seitenzahnbereich einen höheren mittleren periimplantären Knochenabbau als im UK-Seitenzahnbereich ($1,0 \pm 1,2$ mm; $0,4 \pm 1,1$ mm).

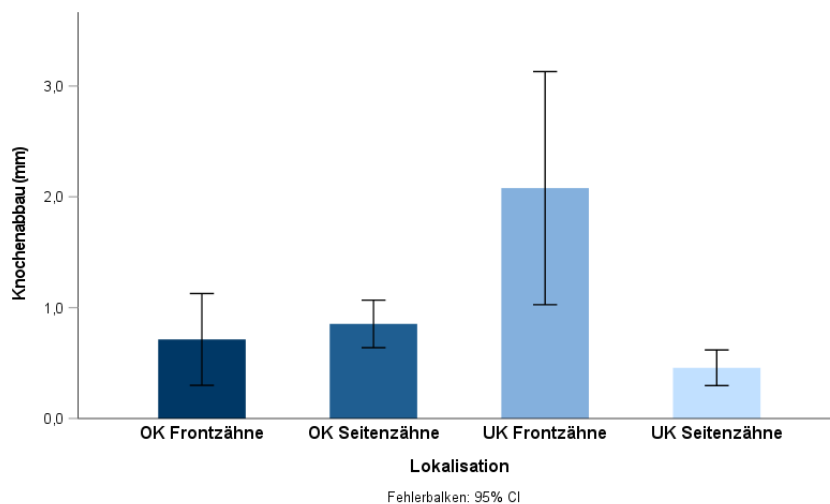


Abbildung 38: Mittlerer Knochenabbau nach anatomischer Lage des Implantats

4.6.3 Knochenabbau nach Implantattyp

Es wurde eine Vermessung des Knochenabbaus an 145 SLP+, 184 SLP, 61 RL und einem CL Implantat durchgeführt. SLP+ und RL Implantate hatten einen nicht signifikant geringeren mittleren Knochenabbau als SLP Implantate ($0,7 \pm 1,2$ mm vs. $0,4 \pm 1,0$ mm vs. $1,0 \pm 1,8$ mm; $p = 0,06$ nach Kruskal-Wallis-Test) (Abbildung 39). Der Knochenabbau zwischen den Implantattypen unterscheidet sich auch nicht signifikant bei Nutzung des Random-Effekt-Modells ($p = 0,78$). Die Intraclass-Korrelation beträgt 42,5 %. Auch Implantate unterschiedlicher Durchmesser und Längen zeigten ähnlichen Knochenabbau.

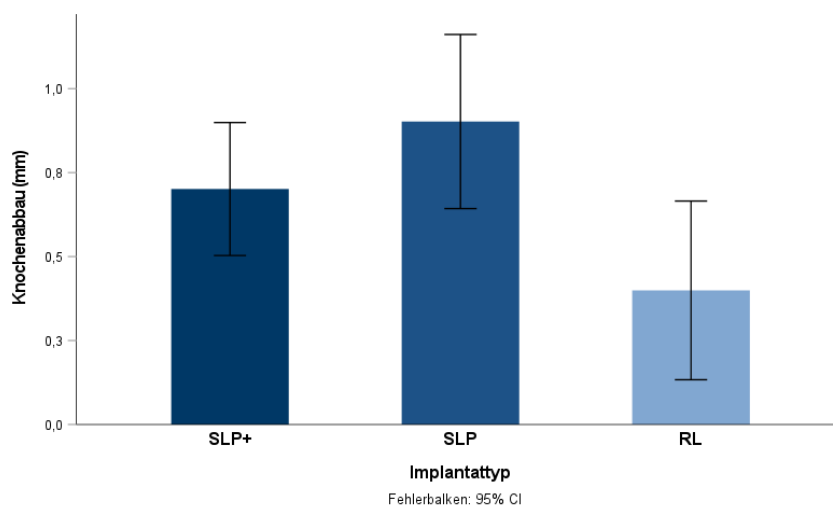


Abbildung 39: Mittlerer Knochenabbau nach Implantattyp

In Abbildung 40, Abbildung 41 und Abbildung 42 wird der mittlere periimplantäre Knochenabbau nach Lokalisation, Prothetik und knochenstoffwechselbeeinflussender Kondition abhängig vom Implantattyp dargestellt, da die Verteilungsunterschiede der SLP und SLP+ Implantate nach den drei Parametern signifikant waren (Anhang 8.4). An OK-Implantaten und festsitzend-versorgten Implantaten war der Knochenabbau an SLP geringer als an SLP+, während das umgekehrte Verhältnis für herausnehmbar versorgte Implantate und Implantate bei Patienten mit knochenstoffwechselbeeinflussender Kondition gilt. Der Knochenabbau bei „gesunden“ Patienten und im UK-Seitenzahnbereich war für beide Implantattypen vergleichbar.

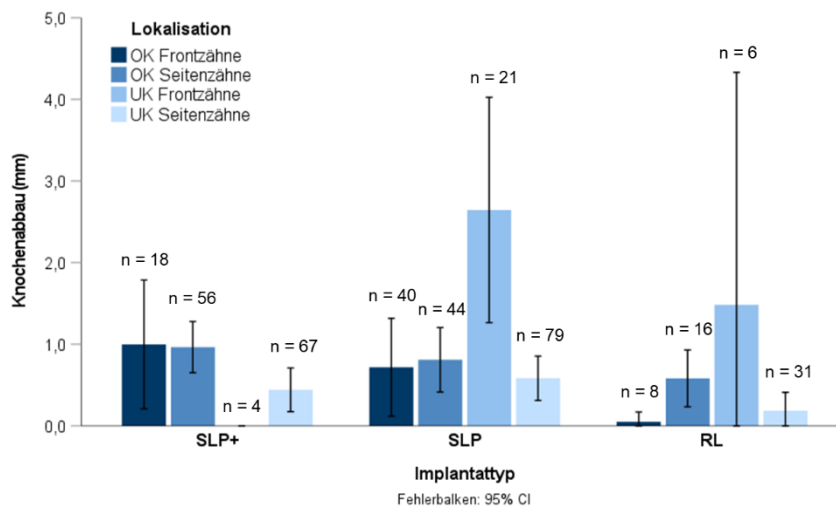


Abbildung 40: Mittlerer Knochenabbau nach Implantattyp und anatomischer Lokalisation

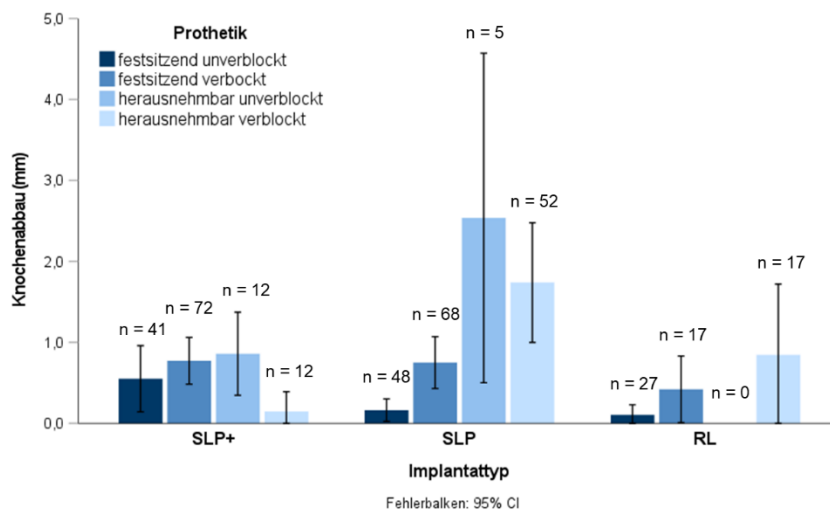


Abbildung 41: Mittlerer Knochenabbau nach Implantattyp und prothetischer Versorgung

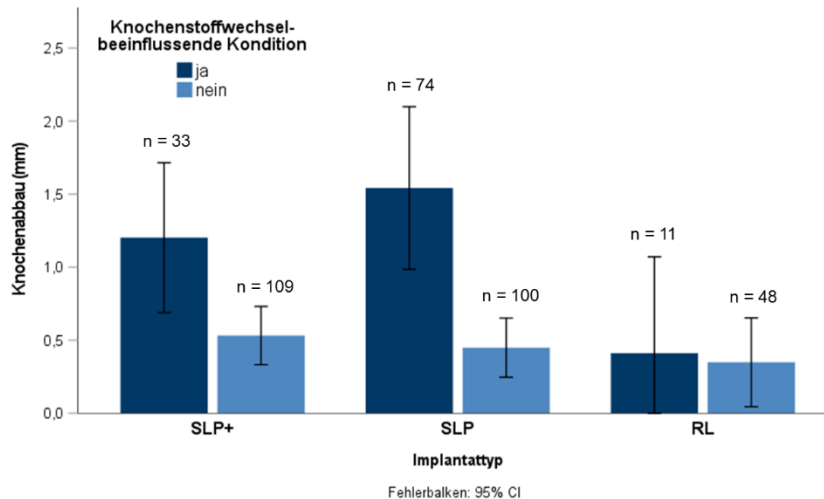


Abbildung 42: Mittlerer Knochenabbau nach Implantattyp und knochenstoffwechselbeeinflussender Kondition

4.6.4 Knochenabbau nach operativer Technik

Tabelle 18 stellt den mittleren Knochenabbau differenziert nach operativen Techniken und die Signifikanz der Unterschiede nach Mann-Whitney-U bzw. Kruskal-Wallis und Random-Effekt Modell dar. Die Intraclass-Korrelation beträgt ca. 43 %.

| | Knochenabbau ± SD mm | p1-Wert | p2-Wert |
|--|---|---------|---------|
| Implantationszeitpunkt (sofort / spät) | 0,4 ± 0,9 / 0,8 ± 1,5 | 0,03 | 0,43 |
| Augmentation (ja / nein) | 0,9 ± 1,5 / 0,7 ± 1,5 | <0,001 | 0,04 |
| KEM (autolog / xenogen / autolog-xenogen / autolog -TCP) | 0,5 ± 1,0 / 0,4 ± 0,6 / 1,1 ± 1,3 / 1,9 ± 3,0 | <0,001 | 0,02 |

Tabelle 18: Mittlerer Knochenabbau differenziert nach operativen Techniken. (p2-Wert = Signifikanz nach Mann-Whitney-U bzw. Kruskal-Wallis; p2-Wert = Signifikanz nach Random-Effekt-Modell)

Der Knochenabbau an Implantaten, die ohne Augmentation (n = 259), in xenogene (n = 13) oder in autologe (n = 47) Augmentate inseriert wurden, war signifikant geringer als in den anderweitig augmentierten Kieferkämme. Abbildung 43 stellt den durchschnittlichen Knochenabbau nach Augmentation und verwendetem KEM dar. TCP wurden aufgrund einer geringen Fallzahl (n = 2) nicht dargestellt.

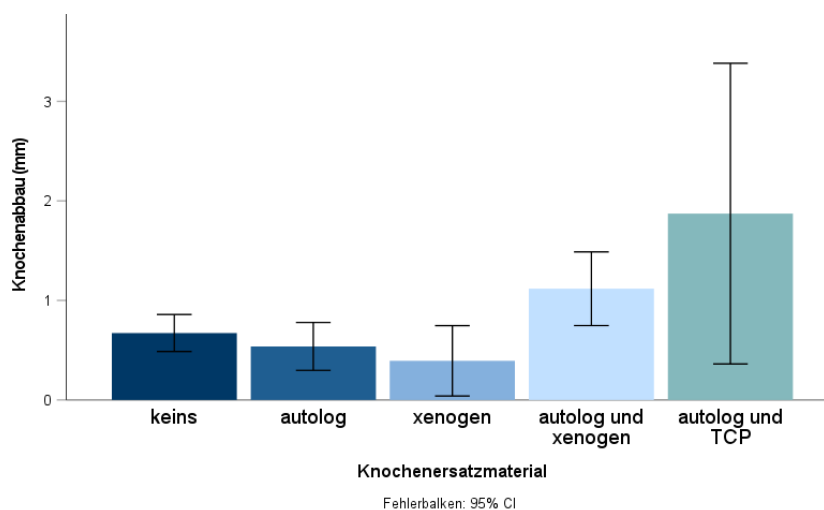


Abbildung 43: Mittlerer Knochenabbau nach Augmentation und KEM

4.7 Prothetische Versorgung

4.7.1 Verteilung der prothetischen Versorgung

Von den 1072 osseointegrierten Implantaten konnte für 49,1 % (n = 526) in 157 Patienten eine prothetische Versorgungsart zum Verlustzeitpunkt oder Zeitpunkt des aktuellen Patientenkontaktes ermittelt werden. 14,4 % der Implantate waren mit unverblockten Einzelzahnkronen versorgt (n = 154), während je 11 % der Implantate verblockte Implantatkronen oder Stege trugen (n = 123 und n = 114). Insgesamt dienten 14,3 % der Implantate nachweislich zur Befestigung von herausnehmbarem Zahnersatz und 35,1 % der Implantate befestigten festsitzenden Zahnersatz.

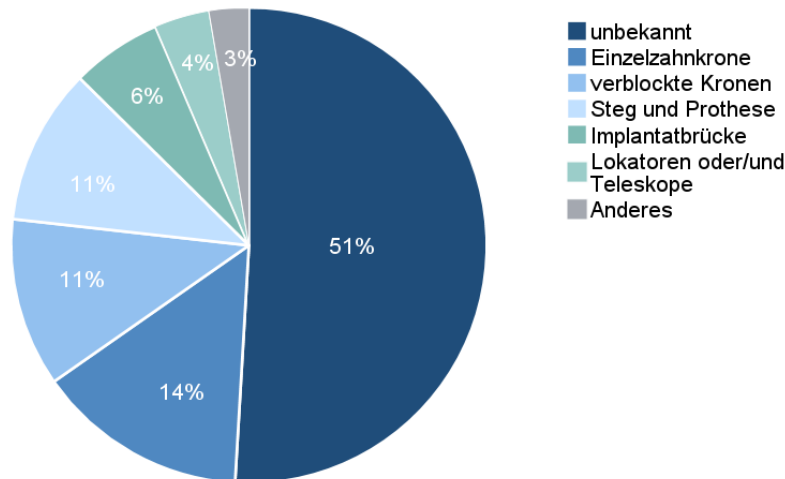


Abbildung 44: Prothetische Versorgung der Implantate zum Follow-up Zeitpunkt

Die prothetischen Versorgungsarten unterscheiden sich, wie in Tabelle 19 dargestellt, nach Implantattyp. Die Verteilung unterscheidet sich signifikant zwischen SLP+ und SLP Implantaten, sowie zwischen SLP+ und RL Implantaten (vgl. Anhang 8.3).

| | nicht verblockt | verblockt |
|-----------------------------------|---|---|
| Festsitzender Zahnersatz | SLP+: 25,6 % SLP: 27,6 % RL: 40,0 % | SLP+: 39,3 % SLP: 31,3 % RL: 38,9 % |
| Herausnehmbarer Zahnersatz | SLP+: 15,6 % SLP: 2,9 % RL: 2,2 % | SLP+: 8,0 % SLP: 16,7 % RL: 7,4 % |

Tabelle 19: Prothetische Versorgung nach Implantattyp

4.7.2 Knochenabbau nach prothetischer Versorgung

Der Knochenabbau unterscheidet sich unter Berücksichtigung der prothetischen Versorgung des jeweiligen Implantats. Implantate, die herausnehmbaren Zahnersatz verankerten hatten einen mittleren Knochenabbau von $1,4 \pm 1,3$ mm (Lokatoren oder Teleskope) und $1,4 \pm 2,3$ mm (Stegversorgung). Mit Einzelzahnkronen versorgte Implantate, zeigten den geringsten Knochenabbau in Höhe von $0,3 \pm 0,9$ mm. Implantate mit verblockten Implantatkronen hatten mit $0,5 \pm 1,1$ mm den zweitniedrigsten Knochenabbau. (Abbildung 45)

Der Knochenabbau zwischen den Implantaten der festsitzend unverblockt zu festsitzend verblockt und herausnehmbar unverblockt versorgten Implantaten unterscheidet sich signifikant bei Nutzung des Random-Effekt-Modells ($p < 0,001$). Die Intraclass-Korrelation beträgt 40,3 %. Die verschiedenen Versorgungsarten unterschieden sich signifikant nach Implan-

tattyp. Die exakten Verteilungsunterschiede der Implantate, für die der Knochenabbau ermittelt wurde, sind in Anhang 8.4 dargestellt.

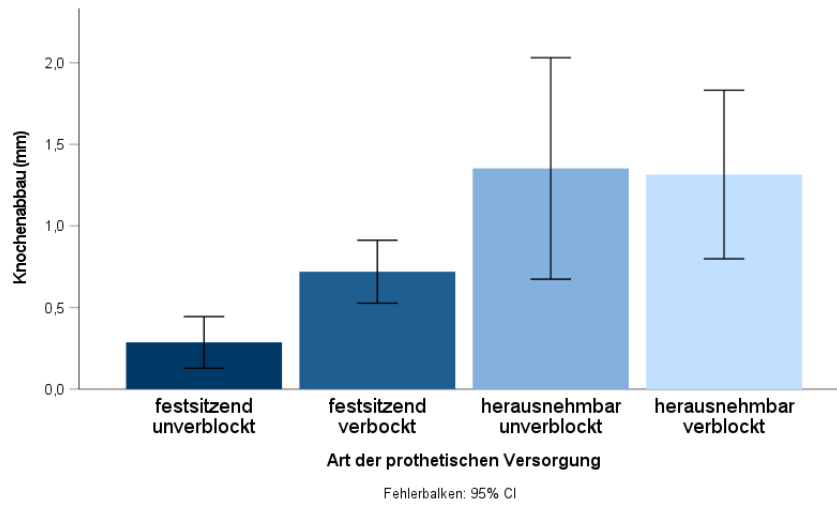


Abbildung 45: Mittlerer Knochenabbau nach prothetischer Versorgung des Implantats

4.8 Langzeiterfolg der Implantate

4.8.1 Erfolg nach Albrektsson und Buser

Der Implantaterfolg wurde für 141 SLP+, 169 SLP, 59 RL und 1 CL Implantate ermittelt. Der Erfolg nach Albrektsson betrug für die klinisch und röntgenologisch untersuchten Implantate 89,2 % (n = 370). Der Erfolg der SLP+ Implantate war mit 88,7 % etwas höher als von SLP Implantaten mit 87,0 %. Bei Hochrechnung auf das Gesamtkollektiv unter Einbeziehung der Spätverluste ergibt sich eine Erfolgsrate von 81,9 % (SLP+: 80,2 %, SLP: 82,3 %). Werden die Frühverluste zusätzlich einbezogen reduziert sich der Erfolg auf 80,0 %. Zwei Misserfolge sind auf prothetisch nicht versorgbare Implantate aufgrund von Implantatfrakturen zurückzuführen. Es handelte sich um zwei SLP+ Implantate bei einem Patienten (14 Jahre in situ).

Der Erfolg nach Buser betrug für die klinisch untersuchten Implantate 94,9 % (n = 370). Der Erfolg der SLP+ Implantate ist mit 91,5 % niedriger als von SLP Implantaten mit 96,5 %. Bei Hochrechnung auf das Gesamtkollektiv unter Einbeziehung der Spätverluste ergibt sich eine Erfolgsrate von 87,1 % (SLP+: 82,7 %; SLP: 91,2 %). Werden die Frühverluste zusätzlich einbezogen reduziert sich der Erfolg auf 84,7 %. 9 von 18 Implantaten, die nach Buser klinische Misserfolge darstellten, wurden im unmittelbarem Zeitraum nach der klinischen Untersuchung explantiert. Drei Patienten mit fünf Implantaten lehnten trotz Lockerung und Infektion des Implantats eine Explantation ab.

4.8.2 Prävalenz periimplantärer Erkrankungen

46,8 % der 370 klinisch und röntgenologisch untersuchten Implantate bei 62,5 % der 128 Patienten wiesen periimplantäre Gesundheit auf. 45,1 % der Implantate und 67,2 % der Patienten hatten eine periimplantäre Mukositis. Die Prävalenz der Periimplantitis betrug 8,1 % an den Implantaten und 11,3 % in den Patienten. Im Kollektiv der periimplantär gesunden Implantate betrug an 2,3 % der Implantate der Knochenabbau > 3 mm und an 7,5 % der Implantate betrug die ST an mindestens einer Messstelle \geq 6 mm.

Die Prävalenz periimplantärer Erkrankungen unterscheidet sich, wie in Abbildung 46 dargestellt, nach Implantattyp. Während 39,0 % der 141 SLP+ Implantate periimplantäre Gesundheit aufwiesen, wiesen 45,5 % der 169 SLP Implantate periimplantäre Gesundheit auf. Dagegen hatten 7,1 % der SLP+ Implantate und 11,2 % der SLP Implantate eine Periimplantitis. Die höchste Rate periimplantärer Gesundheit bei niedrigster Prävalenz der Periimplantitis wurde für die 59 untersuchten RL Implantate bestimmt. Der Unterschied von SLP und SLP+ zu RL Implantaten ist statistisch signifikant ($p = 0,01-0,02$).

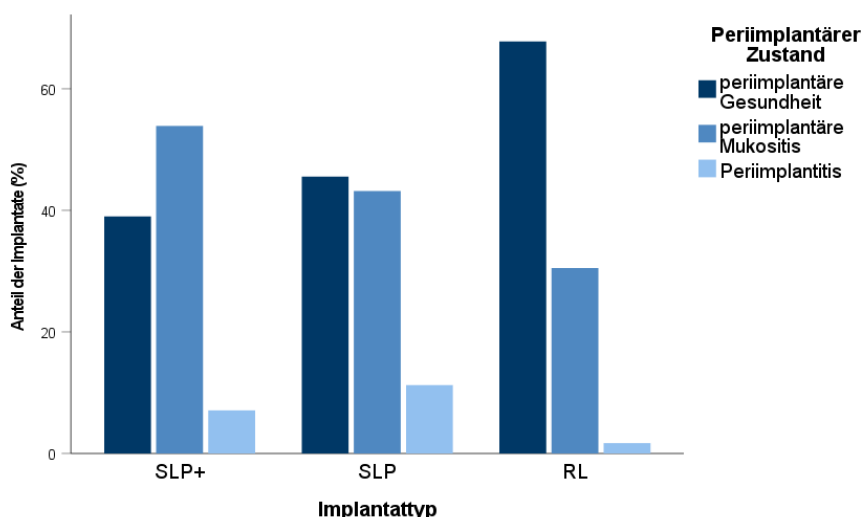


Abbildung 46: Prävalenz periimplantärer Zustände nach Implantattyp

4.9 Fragebögen

Die Fragebogen wurden von 135 Patienten, die an der klinischen Untersuchung teilgenommen haben ausgefüllt und von 26 weiteren Patienten, die den Fragebögen außerhalb der MKG Mainz ausfüllten. Zwei Patienten, die klinisch untersucht wurden, füllten beide Fragebögen nicht aus. Eine Patientin füllte den OHIP-G14 nicht aus. Daher umfasst das Patientenkollektiv 161 Patienten mit 477 Implantaten. Es wurden 185 SLP+, 211 SLP, 80 RL und ein CL Implantate erfasst.

4.9.1 OHIP-G14

Durchschnittlich ergab sich ein OHIP-Score von $3,5 \pm 5,7$ Punkten je Patient ($n = 161$). 66 Patienten hatten einen OHIP-Score von 0 Punkten. Mehr als 13 Punkte erreichten zehn Patienten. Die Ergebnisse des OHIP-Fragebogens sind in Abbildung 47 dargestellt. Patienten mit unterschiedlichen Implantattypen hatten vergleichbare OHIP-Scores.

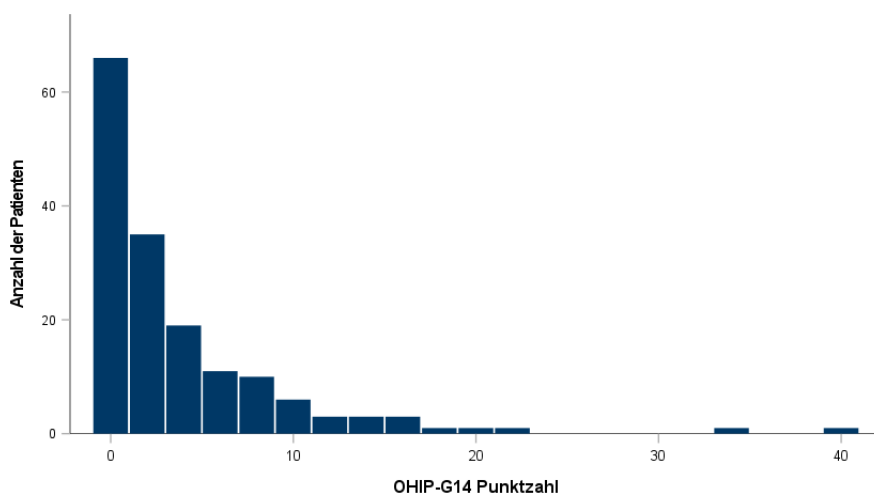


Abbildung 47: Mittlere OHIP-G14 Punktzahl zum Zeitpunkt der aktuellen Studie

4.9.2 Studienspezifischer Fragebogen

Die durchschnittliche Punktzahl im studienspezifischen Fragebogen betrug $1,73 \pm 2,3$ Punkte, während null Punkte einen zufriedenen Patienten repräsentieren. 65 Patienten erreichten die minimale Punktzahl null. Zwei Patienten erreichten die maximale Punktzahl 11. Die Subskala der erreichten Punktzahlen ist in Tabelle 20 dargestellt.

| Fragestellung | Mittelwert | Standardabweichung | Maximum |
|------------------------------|------------|--------------------|---------|
| Implantat Bewertung | 0,2 | $\pm 0,5$ | 2 |
| Prothetik Bewertung | 0,4 | $\pm 0,9$ | 4 |
| Mundhygiene | 0,6 | $\pm 0,7$ | 3 |
| Sorgenfreie Belastung | 0,3 | $\pm 0,7$ | 4 |
| Beschwerdefreiheit | 0,2 | $\pm 0,7$ | 3 |
| Gesamtergebnis | 1,73 | $\pm 2,3$ | 11 |

Tabelle 20: Punktzahlen im studienspezifischen Fragebogen

Die Ergebnisse der anamnestischen Befragung sind in Tabelle 21 dargestellt. 49 Patienten (30,8 %) mit 162 Implantaten gaben bei der aktuellen Befragung an, dass mindestens eine der erfassten Vorerkrankungen zutrifft.

| | Patienten | |
|---|-----------|--------|
| | Anzahl | Anteil |
| Raucher (> 10 Zigaretten/Tag) | 10 | 6,3 % |
| Diabetes mellitus | 7 | 4,4 % |
| Osteoporose | 11 | 6,9 % |
| Bestrahlung im Kopf-Hals-Bereich | 10 | 6,3 % |
| Chemotherapie | 3 | 1,9 % |
| Anderes | 4 | 2,5 % |
| Antiresorptiva Einnahme | 2 | 1,3 % |
| Kortison Einnahme | 3 | 1,9 % |
| Immunsuppressiva Einnahme | 0 | 0 % |
| Keine relevanten allg. Vorerkrankung | 110 | 69,2 % |
| Bruxismus | 31 | 19,5 % |
| Parodontitis | 29 | 18,2 % |

Tabelle 21: Ergebnisse der anamnestischen Befragung

Abbildung 48 stellt die Antworten der Patienten zu den Freitextfragen dar. 89,3 % der Patienten gehen laut eigenen Angaben mindestens einmal jährlich zur zahnärztlichen Kontrolluntersuchung. Des Weiteren hatte die Mehrheit der Studienpatienten zum Befragungszeitpunkt mehr als ein Implantat im Zahnstatus zu vermerken (81,9 %). 21,3 % der Patienten berichteten in ihrem Leben schon ein dentales Implantat verloren zu haben. Die Erneuerung des implantatgetragenen Zahnersatzes war bei 17,5 % der befragten Patienten im Beobachtungszeitraum notwendig (nicht im Diagramm dargestellt).

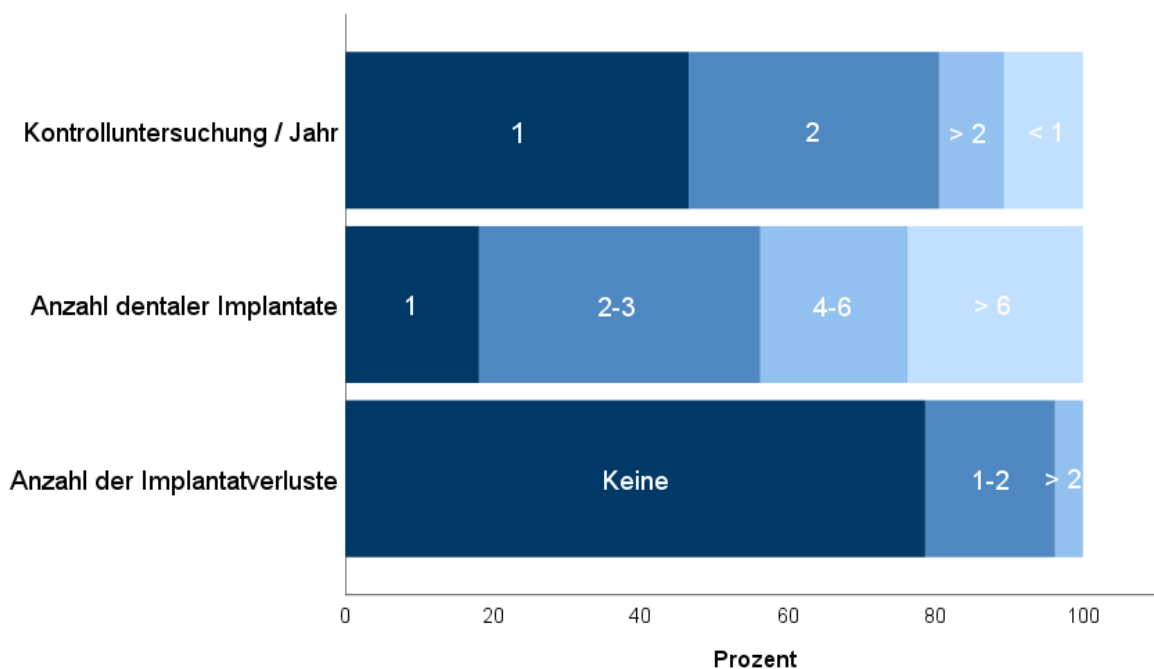


Abbildung 48: Antworthäufigkeiten der Zusatzfragen des studienspezifischen Fragebogens

4.10 Fallbeispiele

4.10.1 Erfolgreiche Einzelzahnversorgungen mit SLP Implantaten

Herr B. war bei Implantation 18 Jahre alt. Zur Follow-up Untersuchung erschien er nach 19 Jahren. Er bekam aufgrund von Nichtanlage der OK 2er zwei SLP Implantate der Länge 11 mm des Durchmessers 3,3 mm inseriert. Herr B. hat keine knochenstoffwechselbeeinflussenden Erkrankungen, ist Nichtraucher und leidet unter Bruxismus.

Die röntgenologischen und klinischen Ergebnisse sind in Tabelle 22, sowie in Abbildung 49 und Abbildung 50 dargestellt. Das Weichgewebe ist entzündungsfrei und das Knochenniveau ist bei sehr guter Mundhygiene stabil. Somit weisen beide Implantate periimplantäre Gesundheit auf. Im OHIP-Fragebogen erreichte er eine Punktzahl von sieben. Im studien-spezifischen Fragebogen erzielte er fünf Punkte. Somit war er zufrieden mit der implantologischen und prothetischen Versorgung. Er gab an, die Implantate nur teilweise sorgenfrei zu belasten.

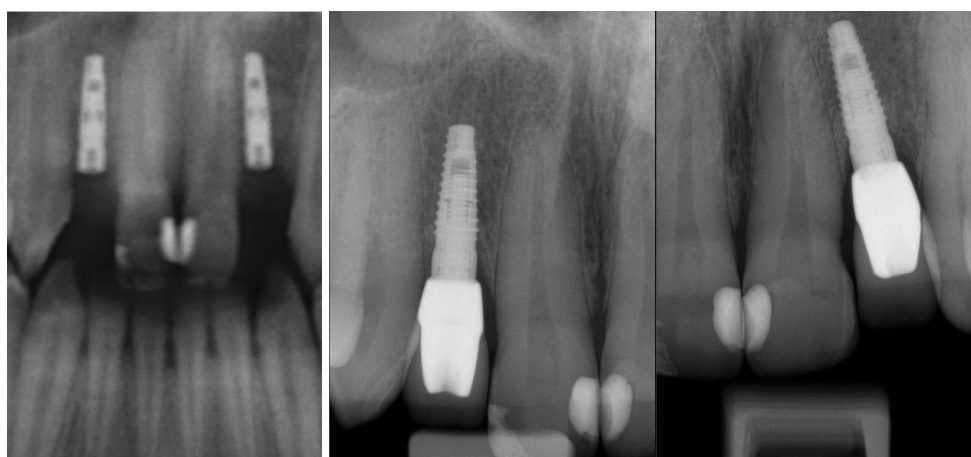


Abbildung 49: Röntgenologische Situation bei Herrn B. unmittelbar postoperativ (links) und zum Zeitpunkt der Follow-up Untersuchung (rechts)



Abbildung 50: Klinische Situation bei Herrn B. von vestibulär (links) und inzisal (rechts).

| Region | mPBI | mSBI | LKG | Keratinisierte Mukosa vest | ST distal | ST vestibulär | ST mesial | ST oral | BOP | Pus | Schmerzen | Gingivales Erythem | Rezession vestibulär | Rezession oral |
|--------|------|------|-----|----------------------------|-----------|---------------|-----------|---------|-----|-----|-----------|--------------------|----------------------|----------------|
| 12 | 0 | 0 | 2 | 6 | 3 | 3 | 2 | 3 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 22 | 0 | 0 | 2 | 6 | 4 | 2 | 3 | 6 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 |

Tabelle 22: Ergebnisse der klinischen Untersuchung bei Herrn B.

(1 = ja, 2 = nein, bei metrisch oder ordinal skalierten Merkmalen in mm oder entsprechend des Indexwertes (vgl. Kapitel 3.3))

4.10.2 Langzeitstabile Einzelzahnversorgung mit SLP+ Implantaten

Herr H. war bei Implantation in Regio 35 28 Jahre alt. Die Follow-up Untersuchung fand nach 15 Jahren und 7 Monaten statt. Es wurde ein SLP+ Implantat der Länge 13 mm des Durchmessers 3,8 mm inseriert. Herr H. hat keine knochenstoffwechselbeeinflussenden Erkrankungen und ist Nichtraucher.

Die klinischen und röntgenologischen Untersuchungsergebnisse sind in Abbildung 51, Abbildung 52 und Tabelle 23 dargestellt. Bei sehr guter Mundhygiene bestand ein entzündlich verändertes periimplantäres Weichgewebe bei fehlendem Knochenabbau. Somit lag eine periimplantäre Mukositis vor. Herr H. erreichte sowohl im OHIP-G14 als auch im studienspezifischen Fragebogen einen Punkt. Er schätzte seine Mundhygiene als gut ein.



Abbildung 51: Röntgenologische Situation bei Herrn H. unmittelbar postoperativ (links) und zum Zeitpunkt der Follow-up Untersuchung (rechts)



Abbildung 52: Klinische Situation bei Herrn H. von okklusal (links) und vestibulär (rechts).

| Region | mPBI | mSBI | LKG | Keratinisierte Mukosa vest | ST distal | ST vestibulär | ST mesial | ST oral | BOP | Pus | Schmerzen | Gingivales Erythem | Rezession vestibulär | Rezession oral |
|--------|------|------|-----|----------------------------|-----------|---------------|-----------|---------|-----|-----|-----------|--------------------|----------------------|----------------|
| 25 | 0 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 1 | 5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 |

Tabelle 23: Ergebnisse der klinischen Untersuchung bei Herrn H.

(1 = ja, 2 = nein, bei metrisch oder ordinal skalierten Merkmalen in mm oder entsprechend des Indexwertes (vgl. Kapitel 3.3))

4.10.3 Langzeitstabile prothetische Rehabilitation mit SLP und SLP+ Implantaten

Frau K. bekam mit 69 Jahren vier Implantate in den zahnlosen UK inseriert, die anschließend mit einem Steg für den Prothesenhalt versorgt wurden. Während im dritten Quadranten SLP+ Implantate inseriert wurden, wurden im vierten Quadranten SLP Implantate inseriert. Alle Implantate haben den Durchmesser 3,8 mm. Die SLP+ Implantate sind 13 mm lang und die SLP Implantate sind 11 mm lang. Die Follow-up Untersuchung fand nach 13 Jahren und 3 Monaten statt. Frau K. gibt bei der anamnestischen Befragung zum Zeitpunkt der Follow-up Untersuchung an Osteoporose zu haben. Sie ist Nichtraucherin.

Die klinischen und röntgenologischen Ergebnisse sind in Abbildung 53, Abbildung 54 und Tabelle 24 dargestellt. Bei guter Mundhygiene im dritten Quadranten bestand ein entzündlich verändertes periimplantäres Weichgewebe bei fehlendem Knochenabbau. Somit lag eine periimplantäre Mukositis vor. Der vierte Quadrant war bei sehr guter Mundhygiene entzündungsfrei mit einem mesialen Knochenabbau von 0,96 mm und 1,02 mm an Implantat 44 bzw. 45. Im vierten Quadranten lag somit periimplantäre Gesundheit mit geringem Knochenabbau vor. Frau K. erzielte im OHIP-G14 drei Punkte und im studienspezifischen Fragebogen null Punkte.

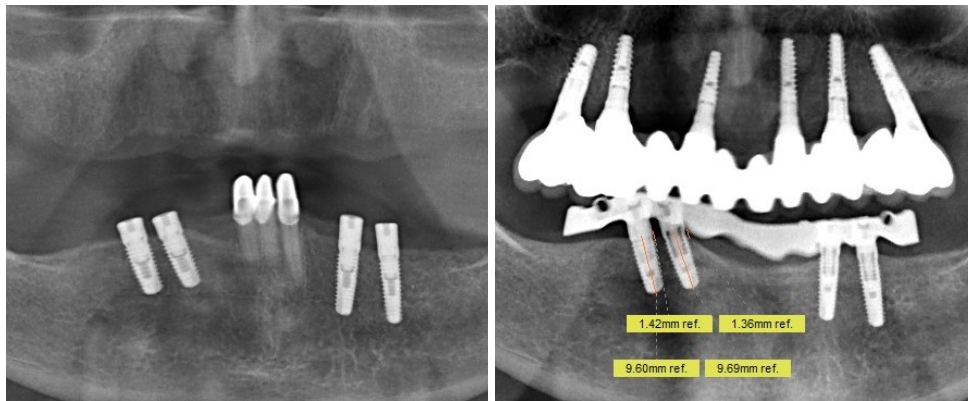


Abbildung 53: Röntgenologische Situation bei Frau K. unmittelbar postoperativ (links) und zum Zeitpunkt der Follow-up Untersuchung (rechts)



Abbildung 54: Klinische Situation bei Frau K. von okklusal (oben rechts), labial (oben links) und vestibulär (unten)

| Region | mPBI | mSBI | LKG | Keratinisierte Mukosa vest | Keratinisierte Mukosa oral | ST distal | ST vestibulär | ST mesial | ST oral | BOP | Pus | Schmerzen | Gingivales Erythem | Rezession vestibulär | Rezession oral |
|--------|------|------|-----|----------------------------|----------------------------|-----------|---------------|-----------|---------|-----|-----|-----------|--------------------|----------------------|----------------|
| 34 | 1 | 1 | 2 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 35 | 1 | 1 | 2 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 44 | 0 | 0 | 2 | 5 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 45 | 0 | 0 | 2 | 5 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 |

Tabelle 24: Ergebnisse der klinischen Untersuchung bei Frau K.

(1 = ja, 2 = nein, bei metrisch oder ordinal skalierten Merkmalen in mm oder entsprechend des Indexwertes (vgl. Kapitel 3.3))

5 Diskussion

5.1 Kumulatives Überleben

Im durchschnittlichen Follow-up Zeitraum von $157,8 \pm 64,1$ Monaten lag das Implantatüberleben der 1102 Implantate in 325 Patienten bei 89,3 %. Bei 79,1 % der Patienten überlebten alle Implantate. Nach erfolgreicher Osseointegration betrug die Überlebensrate 92,1 %. Die Überlebensraten sind vergleichbar mit den Überlebensraten, die für Camlog® Implantate geschildert wurden (Tabelle 8). Auch der Vergleich zu anderen aktuellen Studien (ab 2010) mit einem durchschnittlichen Mindest-Follow-up von 12 Jahren (Tabelle 7) lässt ähnliche Überlebensraten erkennen.

Das Langzeitüberleben der Camlog® Implantate lag in Studien nach 5-7 Jahren bei 95,2-100% und nach 10-15 Jahren bei 93,9-98,6 %. Die retrospektive Studie von Knöpfler et al. 2017 (29) untersuchte, wie die vorliegende Studie, unter anderem 4460 SLP und 566 SLP+ Implantate nach durchschnittlich 10 bzw. 15 Jahren. Die Überlebensraten lagen mit 96,2 % für SLP und 98,6 % für SLP+ etwas höher als in der vorliegenden Studie. Der Unterschied könnte durch das unterschiedliche Patientenkollektiv in privaten Zahnarztpraxen verglichen mit Universitätskliniken mit einem höheren Anteil an Risikopatienten begründet sein. In der Studie von Knöpfler et al. wurden zudem keine Angaben zu Allgemeinerkrankungen und der Patientencompliance gemacht.

Die Studien von Siebers et al. 2010 (206) und Steyer et al. 2024 (25) untersuchten ausschließlich RL Implantate. Nach bis zu sieben Jahren zeigten 222 Implantate in 76 Patienten ein Überleben von 97,8 %, während das Überleben von 245 Implantaten bei 112 Patienten nach bis zu 14 Jahren bei 93,9 % lag. Das Implantatüberleben dieser Studie war geringer als in den beschriebenen Studien.

Das vorangehende Follow-up der Studienimplantate, die von August 2001 bis August 2005 inseriert und nach 32 Monaten untersucht wurden, zeigte gemäß Al-Nawas et al. (23) eine Implantatüberlebensrate von 96,5 % bei 318 Implantaten in 104 Patienten. Somit hat sich das Überleben dieser Implantate in den folgenden ca. 16 Jahren um 6,7 % auf 89,6 % reduziert.

Für andere Implantatsysteme wurden Überlebensraten von 73,4-95,9 % nach durchschnittlich 12-24 Jahren beschrieben. In einer Metaanalyse von Howe et al. von 2019 (11) mit 2688 Implantaten aus 18 prospektiven und randomisierten Studien ergab sich eine Überlebensrate von 96,4 % nach 10 Jahren. Die Metaanalyse von Moraschini et al. von 2015 (10) mit 23 retrospektiven, prospektiven und randomisierten Studien und 7711 Implantaten berichtete über 94,6 % Überleben nach durchschnittlich 13,4 Jahren. Es ist zu beachten, dass Frühverluste nicht berücksichtigt wurden. Unter Ausschluss der Frühverluste ergibt sich in der vorliegenden Studie eine sehr ähnliche Implantatüberlebensrate wie in der Metaanalyse.

Im Großen und Ganzen zeigt die vorliegende Studie vergleichbare Überlebensraten dentaler Implantate wie die internationale Literatur. Die Lage am eher unteren Rand der Überlebensraten könnte durch die wenigen Ausschlusskriterien in der vorliegenden Studie, insb. bezogen auf Allgemeinerkrankungen, parodontale Erkrankungen und Patientencompliance bedingt sein. Auch die Zuverlässigkeit von patienteneigenen Aussagen bezüglich ihres Implantatverlustes sollte kritisch betrachtet werden.

5.2 Implantatverluste

Von den 118 Implantatverlusten bei 68 Patienten wurden in dieser Studie 5 Verluste auf Implantatfrakturen zurückgeführt, während 80 Implantate aufgrund von Periimplantitis verloren gingen und 33 Verluste als Frühverluste eingestuft wurden. Die Spätverluste traten nach durchschnittlich $134,4 \pm 51,4$ Monaten auf, während im Histogramm (Abbildung 25) eine ansteigende Häufigkeit der Verlustraten ab 120 Monaten erkennbar ist.

Eine Frühverlustrate von 2,5 % liegt innerhalb der in der Literatur beschriebenen Frühverlustraten (0-6 %), während Studien mit vergleichbaren Implantatzahlen über Frühverlustraten von 1-2 % berichteten (190). Die leicht erhöhten Frühverluste könnten mit dem Rauchverhalten, den Allgemeinerkrankungen, sowie der häufigen prothetischen Außerhausversorgung der Studienpatienten zusammenhängen (189, 190).

Siebers et al. (206) ermittelten eine Frühverlustrate von RL Implantaten in Höhe von 2,25 %. Al-Nawas et al. (23) berichteten über eine Frühverlustrate in Höhe von 1,9 % in der MKG Mainz nach der Insertion von Camlog® Implantaten. Für RL Implantate mit 2 mm hohem maschinierem Implantathals wurde nach 13 Jahren von Steyer et al. (25) berichtet, dass es 1,6 % Frühverluste gab (von 245 Implantaten). Die beschriebenen Publikationen beobachteten somit etwas weniger Frühverluste an Camlog®-Implantaten als die vorliegende Studie.

Zur Ätiologie von Spätverlusten liegen in der Literatur heterogene Angaben vor. Die meisten Studien berichten über Periimplantitis als Hauptfaktor für Spätverluste (190). Einzelne Studien berichteten allerdings, dass bis zu 94 % der Spätverluste durch Implantat- oder Schraubenfrakturen bedingt waren (127, 129). Vermutlich entsprachen die in den Studien untersuchten Implantatsysteme nicht den heutigen Qualitätsstandards. Bei Camlog® Implantaten wurde bisher selten über Implantatfrakturen berichtet. Eine Studie von Yu et al. 2022 (246) beschrieb acht Implantatfrakturen nach durchschnittlich 6,9 Jahren bei acht Patienten bei der Beobachtung von 1402 Camlog® Implantaten (0,57 %). Die Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie, in der 0,54 % der verlorenen Implantate bei 3 Patientinnen nach durchschnittlich 13 Jahren frakturierten. Zusätzlich waren 2 klinisch untersuchte SLP+ Implantate nach 14 Jahren in einem Patienten frakturiert. Aufgrund der Erhebungsmethodik kann nicht ausgeschlossen werden, dass mehr verlorene Implantate frakturierten, da Patienten unter Umständen keine ausreichende Kenntnis über den Grund des Verlustes ihres Implantates haben.

Insgesamt sind die Prävalenz von Früh- und Spätverlusten in der vorliegenden Studie vergleichbar mit derer der internationalen Literatur. Die Camlog® Implantate zeigten eine geringe Frakturanfälligkeit und eine gute Osseointegration im untersuchten Patientenkollektiv.

5.3 Korrelation des Implantatüberlebens

5.3.1 Kumulatives Überleben nach patientenbezogenen Parametern

Das Implantatüberleben wurde aufgrund von Geschlecht, Alter und Vorhandensein knochenstoffwechselbeeinflussender Konditionen untersucht. Lediglich das Rauchen von >10 Zigaretten/Tag wurde sowohl im Implantat- als auch im Patientenkollektiv mit signifikant geringeren Überlebensraten korreliert. Die Ergebnisse entsprechen dem Stand der Literatur.

Das Implantatüberleben in 153 Männern und 172 Frauen unterschied sich nicht signifikant (88,9 % und 89,6 %). Die Geschlechterverteilung in dieser Studie ist ähnlich zu der üblichen Verteilung in Studien zu dentalen Implantaten. Ein etwas höherer Frauenanteil von bis zu 70 % ist der Regelfall. In vielen Langzeitstudien wird nicht über Geschlechterunterschiede berichtet oder es kann kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (184). Eine Review und Metaanalyse von Chrcanovic et al. (247) von 2015 ergab signifikant höhere Überlebensrate bei Frauen. Als mögliche Begründung werden eine höhere Kaukraft, eine höhere Prävalenz der Parodontalerkrankungen und eine geringere Compliance bei Männern genannt. In dieser Studie zeigten Männer keine signifikant geringeren Implantatüberlebensraten.

Die Implantatüberlebensraten für die Altersgruppen betragen 92,3 % (< 30-Jährige), 79,8 % (30-49-Jährige), 90,0 % (50-64-Jährige) und 93,1 % (> 64-Jährige). Geringere Implantatüberlebensraten für jüngere Patienten wurden auch in der internationalen Literatur beschrieben (248, 249). Jemt et al. (248) berichtete in einer retrospektiven Studie mit 2566 Patienten, dass jüngere Patienten signifikant mehr Frühverluste erlitten mit insgesamt einheitlicher Tendenz über die Altersgruppen. Die Studie schloss nur Patienten mit einem zahnlosen Kiefer und maschinieren Implantaten ein. Eine mögliche Erklärung für die höheren Verlusten bei jüngeren Patienten ist, dass jüngere Patienten mit Implantationsbedarf vermehrt eine genetisch, strahlenbedingt oder compliancebedingt kompromittierte Gebissituation aufwiesen (248). Das mittlere Alter des vorliegenden Patientenkollektivs ($55,4 \pm 14,4$ Jahre) ist vergleichbar mit dem anderer Langzeitstudien (128, 131, 132). In der Studie zur Implantathalsstruktur von Raval et al. (130) war das mittlere Patientenalter mit 73,1 Jahren deutlich höher als in dieser Studie. Den Hartog et al. (135) hatte dagegen ein jüngeres Studienkollektiv ($38,7 \pm 13,7$ Jahre).

Interessanterweise thematisieren die meisten Autoren jedoch, dass höheres Alter (statt jüngeres) in gesunden Patienten einen Risikofaktor für Implantatverluste darstellt (250). Ein möglicher Grund ist die abnehmende motorische Geschicklichkeit und daraus resultierende schlechtere Mundhygiene (128). Mit modernen Nachsorgeprogrammen können Plaque- und Entzündungswerte jedoch suffizient reduziert werden. (251)

Im befragten Patientenkollektiv (161 Patienten mit 491 Implantaten) bestand kein Unterschied zwischen dem Implantatüberleben bei Patienten mit und ohne knochenstoffwechselbeeinflussende Kondition (92,6 % und 93,6 %). Für die 32 Implantate in zehn starken Rauchern konnte jedoch eine signifikant höhere Implantatverlustrate ermittelt werden (84,4 % und 93,9 %). Das ist konsistent mit der kontroversen internationalen Literatur (191, 192, 252). Für die anderen knochenstoffwechselbeeinflussenden Konditionen wurde aufgrund der geringen Prävalenz auf eine separate Überlebensanalyse verzichtet.

Reviews und Leitlinien zum Einfluss patientenbedingter Faktoren beschreiben, dass für Rauchverhalten und lokale Radiatio genügend Daten vorliegen, um einen Zusammenhang zu reduzierten Überlebensraten herzustellen (191, 252–254). Eine Studie von Moy et al. 2005 (255) analysierte retrospektiv Daten von 1140 Patienten mit 4680 Implantaten über 20 Jahre. Signifikante Zusammenhänge für Rauchverhalten, Diabetes mellitus und Kopf-Hals-Bestrahlung wurden identifiziert. In dieser Studie konnte trotz ähnlicher Prävalenz der genannten Erkrankungen nur eine Korrelation von Rauchverhalten und Implantatüberleben hergestellt werden. Es wird vermutet, dass aufgrund der häufig geringen Fallzahlen und ho-

hen Implantatüberlebensraten selten Zusammenhänge zwischen Implantatüberleben und Allgemeinerkrankungen gezeigt werden können. In vielen randomisierten kontrollierten und prospektiven Studien werden Patienten mit knochenstoffwechselbeeinflussenden Konditionen ausgeschlossen (252).

Bei der Interpretation dieser Daten sollte beachtet werden, dass aufgrund des Ablaufs der 10-jährigen Aufbewahrungsfrist der Anamnesen zu OP-Beginn und der überwiegenden externen zahnärztlichen Betreuung der Studienpatienten nur die aktuellen anamnestischen Daten berücksichtigt werden konnten. Daher liegen für einige Patienten mit Implantatverlusten keine aktuellen anamnestischen Daten vor. Zudem war die Anzahl der Implantate in der Altersgruppe über 50 Jahren signifikant größer als in der Altersgruppe unter 50 Jahren.

Insgesamt sind die beschriebenen patientenspezifischen Einflussfaktoren von untergeordneter klinischer Relevanz, da eine Elimination der Faktoren, außer des Rauchverhaltens, nicht möglich ist. Stattdessen erscheint vielmehr die Aufklärung über vermeidbare patientenspezifische Risikofaktoren, z.B. durch Rauchentwöhnungsprogramme und Hygieneinstruktionen, sowie eine Anpassung des Recallintervalls sinnvoll.

5.3.2 Kumulatives Überleben nach anatomischer Lokalisation

In der vorliegenden Studie hatten die 568 Implantate im UK eine signifikant geringere Überlebensrate (87,5 %), als die 534 Implantate im OK (91,2 %). Die Unterschiede zwischen anterior und posterior inserierten Implantaten waren nicht signifikant. SLP Implantate hatten ausschließlich in der posterioren Maxilla ein signifikant höheres Überleben als SLP+ Implantate in derselben Region (92,8 % und 88,7 %).

Wie in Kapitel 2.2.1 erläutert hängt die Knochenqualität mit der anatomischen Lokalisation zusammen (82). Es wurde zudem ein Einfluss auf den periimplantären Knochenabbau beschrieben (89, 90). Aufgrund des geringeren Spongiosaanteils (Knochenqualität 1-2) gilt der UK als geringer durchblutet und damit weniger regenerationsfähig als der OK (86). Beides kann einen Grund für geringere Überlebenswahrscheinlichkeiten im UK darstellen. Andere Autoren berichteten über höhere Überlebensraten im UK (179, 256). Chrcanovic et al. (179) führten die höheren Verluste im OK nach mittleren 24 Jahren in deren Studie auf die Knochenqualität zurück. 35 % der Verluste waren Frühverluste und somit womöglich auf eine unzureichende Primärstabilität zurückzuführen (179).

In der aktuellen Studie von Steyer et al. zu 245 RL Implantaten wurde über ähnliche Überlebensraten in Maxilla (94,5 %) und Mandibula (93,4 %) berichtet. Zafiropoulos et al. (204) stellten das gleiche an 241 RL und SC Implantaten nach fünf Jahren fest. Becker et al. (184) berichteten in einer Studie mit 388 Implantaten bei 92 Patienten ebenfalls über eine identische Zahl Implantatverluste in Maxilla und Mandibula nach 24 Jahren.

Insgesamt berichten Publikationen kontrovers über die lokalisationsabhängigen Überlebensraten dentaler Implantate. Aus klinischer Sicht hat die Lokalisation dentaler Implantate als Risikofaktor wenig Relevanz, da sie häufig bei Indikationsstellung gegeben ist. Die Wahl des Implantattyps nach Lokalisation ist jedoch von klinischer Bedeutung, erfolgt jedoch primär aus Gesichtspunkten der Primärstabilität und der Ästhetik (47, 123, 124). Alle untersuchten Implantate scheinen in jeder Lokalisation des Kiefers gutes Überleben zu zeigen.

5.3.3 Kumulatives Überleben nach Implantattyp

Die Überlebensraten nach Implantattyp betragen für 484 SLP Implantate 91,3 %, für 374 SLP+ Implantate 88,0 %, für 229 RL Implantate 87,3 %, für 15 CL Implantate 86,7 %. Der Unterschied zwischen RL und SLP, sowie SLP und SLP+ war laut Log-Rank-Test signifikant. Unter Berücksichtigung des Patientenclusters ergab sich keine Signifikanz der Unterschiede.

Die Überlebensraten der einzelnen Implantattypen liegen jeweils unterhalb der in der Literatur berichteten Überlebensraten. (vgl. Tabelle 8)

Die Literatur berichtet mit 93,9 % bis 99,8 % über höhere Langzeitimplantatüberlebensraten der RL Implantate (vgl. Tabelle 8). In 5/6 der Studien wurde über regelmäßige Erhaltungstherapie mittels Prophylaxesitzungen berichtet. Des Weiteren weisen alle Studien, bis auf die Studie von Steyer et al. (25) einen kürzeren Follow-up Zeitraum auf. Da nicht alle Patienten in der vorliegenden Studie regelmäßige zahnärztliche Kontroll- und Prophylaxetermine wahrgenommen haben, könnte dies ein Grund für die geringeren Überlebensraten sein (251, 257).

Auch die Langzeitüberlebensraten von SLP und SLP+ Implantaten waren in dieser Studie geringer als in der vorhandenen Literatur (vgl. Tabelle 8: für SLP: 96,2-98,6 %, für SLP+: 98,6 %). Es gibt kaum Studien, die ausdrücklich SLP+ Implantate untersuchten. Auch in diesem Fall können die geringeren Überlebensraten mit dem unkontrollierten Design dieser Studie und dem längeren Follow-up Zeitraum zusammenhängen. Zudem gehören alle Implantate, die für die in der Kaplan-Meier-Kurve der SLP+ Implantate verzeichnete Reduktion der Überlebenswahrscheinlichkeit nach 190 Monaten (Abbildung 29) in dieser Studie verantwortlich sind, zu einer Patientin, die telefonisch berichtete, dass alle Ihre sechs Camlog® Implantate aufgrund von ausgeprägtem Knochenabbau gleichzeitig entfernt wurden.

Die Häufigkeit der Ursache für Implantatverluste unterschied sich für SLP und SLP+ Implantate. Während SLP Implantate häufiger als SLP+ Implantate Frühverluste erlitten, war der Verlust durch Periimplantitis bei SLP+ Implantaten höher. Die verbesserte Osseointegration durch rauere Implantatthalsoberflächen deckt sich mit den Ergebnissen der Review von Messias et al. 2019 (18). Dagegen wurden höherer Knochenabbau und vermehrte Periimplantitis an raueren Implantatoberflächen von Jordana et al 2018 (32) beschrieben.

Höhere Frühverlusten für maschinierete Implantate verglichen mit mittel-rauen Implantaten wurden in der Literatur beschrieben (18, 138, 258). Eine reduzierte Rauheit reduziert die mögliche Kontaktfläche der Osteoblasten und zur Proteinadhäsion. Es resultiert eine schlechtere Osseointegration verglichen mit mittel-rauen Implantatoberflächen (68, 92, 93). Dies könnte auch für einen langen maschiniereten Implantatthals gelten und somit die höheren Frühverluste in der SLP Gruppe erklären, wie bereits von Karlsson et al. (258) beschrieben.

Periimplantitis als Hauptursache für Spätverluste ist dagegen mit raueren Implantatoberflächen assoziiert. Es wird vermutet, dass die vermehrte Plaqueakkumulation auf raueren Oberflächen zur beschleunigten Progression und Therapieresistenz der Entzündung führt (32). Für moderne Implantatoberflächen mittlerer Rauheit, wie in dieser Studie, wird dieser Zusammenhang allerdings in Frage gestellt (31). Solange das Implantat ausreichend von Knochen und Weichgewebe bedeckt ist, gilt eine Plaqueanlagerung an der Implantatoberfläche als unwahrscheinlich. Folglich berichtete die Review von Messias et al. (18) über vergleichbare Periimplantitisraten an maschiniereten und raueren Implantatthälsen.

Die unterschiedlichen Überlebensraten werden unter anderem durch die Differenzen des Follow-up Zeitraums der Implantattypen beeinflusst. Da SLP+ Implantate erst ab dem Jahr 2006 inseriert worden sind, war die Beobachtungsdauer durchschnittlich 15 Monate kürzer als für SLP Implantate. Umso bemerkenswerter ist die signifikant höhere Spätverluste für SLP+ verglichen mit SLP Implantaten. Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass die Implantatverluste nicht immer direkt mit dem tatsächlichen Implantaterfolg zusammenhängt (vgl. Kapitel 5.8).

Es ist möglich, dass die vorliegende Studie das beschriebene „Trade-off“-Phänomen zwischen guter Osseointegration durch Oberflächenvergrößerung und geringer Plaqueakkumulation durch glatte Oberflächen mithilfe der SLP und SLP+ Implantaten beschreibt (14). Aufgrund vieler unkontrollierter Einflussfaktoren auf die Studienimplantate sind die vorliegenden

Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren. Klinisch könnte ein verlängerter maschinierter Anteil des Implantathalses bei Patienten ohne regelmäßige Erhaltungstherapie Vorteile bieten.

5.3.4 Kumulatives Überleben nach operativer Technik

In dieser Studie wurde das Überleben nach Implantationszeitpunkt und nach der Art und dem Vorhandensein eines augmentierten Kieferkamms verglichen. Die Überlebensrate der 75 Sofortimplantate war mit 96,0 % signifikant höher als die Überlebensrate der 1027 Spätimplantate (88,8 %). Implantate in augmentierten und nativen Kieferkämme zeigten unabhängig vom genutzten KEM ähnliche Überlebensraten (87,3 % und 90,4 %).

Das Überleben von Sofortimplantaten wurde lange kontrovers diskutiert (145), während heute das operative Vorgehen und die Patientenselektion als Schlüssel zum Erfolg gelten (142–144). Eine aktuelle Meta-Analyse von Mello et al. (145) kam zu dem Schluss, dass die Überlebensraten nach Spätimplantation signifikant höher sind als nach Sofortimplantation (98,38 % vs. 95,21 %). Es ist zu beachten, dass in 13 von 30 analysierten Studien der Follow-up Zeitraum 6-12 Monate betrug und Frühverluste damit dominant repräsentiert wurden.

Zafiropoulos et al. (204) untersuchten das Überleben von 73 RL Sofortimplantaten mit Spätbelastung in 73 Parodontitispatienten. Die 3-Jahres-Überlebensrate betrug 94,1 % und war zwischen den Implantationszeitpunkten vergleichbar. Da auch in dieser Studie die Sofortimplantate mit einer Spätbelastung kombiniert wurden, sind die Daten vergleichbar. Die Überlebensrate ist ähnlich hoch wie in dieser Studie, mit dem Unterschied, dass in dieser Studie die Follow-up-Zeit über 10 Jahre länger war.

Aufgrund des geringen Anteils der Sofortimplantate (6,8 %) in dieser Studie, ist eine Verzerrung der Ergebnisse möglich. Die Tendenz zu besserem Überleben der Sofortimplantate kann durch die Patienten- und Fallselektion erklärt werden. Sofortimplantationen wurden in den Jahren 2001 bis 2009 idR nur bei entzündungsfreiem parodontalen und knöchernen Gewebe und hoher Patientencompliance inseriert. In der MKG Mainz konnte schon von Schiegnitz et al. 2015 (234) und Noelken et al. (259) gezeigt werden, dass die Sofortimplantation ein erfolgreiches Behandlungskonzept mit hohen Implantatüberlebensraten darstellt.

Die Langzeitstabilität augmentierter Kieferkämme und damit das Langzeitimplantatüberleben werden in der Literatur kontrovers diskutiert (148, 172, 173). Eine Review von Jensen et al. (260) kam unter Berücksichtigung vertikaler und horizontaler Augmentationstechniken zu dem Schluss, dass das Implantatüberleben in nativen und augmentierten Kieferkämme nach 12-105 Monaten vergleichbar ist. Zudem kamen Terheyden et al. (151) und Al-Nawas et al. (261) in ihren Reviews mit 184 bzw. 52 eingeschlossenen Studien zu dem Schluss, dass das KEM keinen Einfluss auf das Implantatüberleben hat. Die Aussagekraft dieser beiden Reviews zum Langzeitüberleben der Implantate in augmentierten Kieferkämme ist limitiert, da der Follow-up Zeitraum der berücksichtigten Studien 3-60 Monate betrug. Die Literatur entspricht insgesamt den vorliegenden Studienergebnissen.

Der Erfolg und die Qualität des Kieferkammaugmentats hängen von der mechanischen Stabilität sowie dem regenerativen Potenzial des Defekts und des Materials ab (102, 157). Aufgrund der Annahme, dass augmentierte Kieferkämme ein geringeres Regenerationspotenzial aufweisen, als native Kieferkämme (102, 163), könnte es sein, dass das „Fremdkörperreaktions-Gleichgewicht“ (68) an Implantaten in augmentierten Kieferkämme sensibler reagiert. Dadurch könnte die höhere Langzeitverlustrate erklärt werden (262).

Da in der vorliegenden Studie Daten zum Ausmaß der Augmentation in horizontaler und vertikaler Richtung sowie zur genauen Defektconfiguration fehlen, sind die Daten hierzu wenig aussagekräftig. Eine höhere Knochenresorption bei ausgedehnten Augmentationen kann angenommen werden (163). Zudem unterscheidet die vorliegende Studie nicht nach genutzter Augmentationstechnik, die indikations- und materialabhängig einen signifikanten Einfluss

auf den Erfolg der Augmentation haben kann (102). Des Weiteren kann aufgrund der Erhebungsmethodik nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne augmentierte Kieferkämme nicht als solche identifiziert wurden. Aufgrund der Heterogenität der KEM resultieren geringe Fallzahlen je KEM.

Die vorliegenden Studienergebnisse demonstrieren, die Langzeitstabilität von Sofortimplantaten bei wohlbedachter Indikationsstellung und hoher Expertise des Behandlers. In dieser Studie wurden Sofortimplantate über einen durchschnittlichen Follow-up-Zeitraum von 13 Jahren untersucht, was darauf hindeutet, dass die höheren Frühverlustraten, wie sie in der Literatur beschrieben werden, durch die geringeren Spätverlustraten relativiert werden könnten. Das Implantatüberleben in nativen und augmentierten Kieferkammen war in dieser Studie vergleichbar.

5.4 Ergebnisse der klinischen Untersuchung

5.4.1 Modifizierter Plaqueindex

50,6 % 388 untersuchten Implantate waren plaquefrei, während 23,3 % eine marginale Plaque auswiesen (mPBI = 1). Insgesamt lag der mittlere mPBI bei $0,8 \pm 0,9$. SLP und SLP+ Implantate zeigten ähnliche mPBI-Werte. Die Werte sind im Vergleich zur Literatur hoch.

Al-Nawas et al. (23) berichteten in der vorrausgehenden Studie über einen Teil des Implantatkollektivs, dass 79 % der Implantate mPBI null oder eins aufwiesen, während 16 % einen mPBI von drei aufwiesen. Diese Werte sind vergleichbar mit denen der vorliegenden Studie und geben somit einen Hinweis darauf, dass sich die Mundhygiene des Patientenkollektivs über den Follow-up Zeitraum nicht verändert hat.

Camarda et al. (126) beschrieben, dass 40-43 % der Implantate nach 25 Jahren plaquefrei waren ohne Unterschied zwischen der untersuchten Mikro- und Makrostruktur der Implantathäse. Die Ergebnisse von Ravald et al. (130) beschrieben einen ähnlichen Sachverhalt (32-44 % Plaqueprävalenz). Beide Studien konnten, wie die vor die vorliegende Studie, keinen Unterschied in der Plaqueakkumulation zwischen verschiedenen Implantathalsstrukturen nachweisen.

Es sollte berücksichtigt werden, dass trotz des Versuchs der Objektivierung der oralen Mundhygiene, der erhobene mPBI-Wert untersucherabhängig ist (263). Des Weiteren kann eine ungünstige Morphologie der prothetischen Versorgung zu erhöhten mPBI-Werten führen (216).

Im Vergleich zur Literatur wies das Patientenkollektiv dieser Studie eine schlechtere Mundhygiene auf. Somit sind erhöhte Verlust- und Entzündungswerte zu erwarten, da in den meisten Studien regelmäßige Prophylaxe-Termine zur Plaquekontrolle durchgeführt wurden. Wie in Kapitel 2.6.5 beschrieben gilt eine regelmäßige Erhaltungstherapie mit adäquater Mundhygiene als wesentlicher Erfolgsfaktor für dentale Implantate (146, 192).

5.4.2 Sulkus-Blutungs-Index

Der mSBI lag zu 88,4 % bei Code 0, zu 10,1 % bei Code 1 und bei < 1 % bei Code 3. Der Durchschnittswert von $0,15 \pm 0,4$ beschreibt für SLP und SLP+ Implantate eine geringe Entzündung des marginalen Weichgewebes. Die mSBI-Werte waren vergleichbar niedrig.

Beschmidt et al. (211) berichteten in einer prospektiven Studie über einen mittleren mSBI von $0,32 \pm 0,49$ an SLP Implantaten, der über den Studienverlauf von 5 Jahren signifikant zunahm. Zudem war der mSBI signifikant niedriger in der Platform-switching Gruppe, was auch durch die signifikant geringeren Plaquewerte bedingt sein kann. Die Ergebnisse zeigten einen deutlich höheren Entzündungsgrad der Weichgewebe als in dieser Studie. Chappius et al. (180) berichteten über einen mittleren mSBI von 0,11 nach 20 Jahren und damit ähnliche Werte wie die vorliegende Studie. Da der mPBI von Chappius et al. jedoch signifikant geringer war, wären in dieser Studie höhere Blutungswerte zu erwarten gewesen.

Der mSBI kann von den Instrumenteneigenschaften, der Sondierungskraft, dem Weichgewebstyp des Patienten sowie modulierenden Faktoren wie der Einnahme von Antikoagulantien beeinflusst werden (264). Bei Rauchern wird der mSBI durch Gefäßveränderungen reduziert (264, 265). Deswegen ist die Kombination des mSBI mit anderen periimplantären Entzündungsindices zur Diagnostik der periimplantären Mukositis sinnvoll.

5.4.3 Blutung auf Sondieren

Die vorliegende Studie ermittelt einen mittlere BOP von $0,9 \pm 1,1$ je Implantat ohne Unterschiede zwischen den Implantattypen SLP und SLP+. 51,7 % der 387 Implantate zeigten kein BOP. Die BOP-Werte internationaler Publikationen variieren stark.

Al-Nawas et al. (23) beschrieben in der vorausgehenden Studie zu RL und SLP Implantaten über einen BOP in 40 % der Fälle. An RL Implantaten fanden Steyer et al. (25) BOP an $18,3 \pm 28,7$ % der Messstellen. In dieser Studie lag der BOP pro Messstelle in der mit Steyer et al. vergleichbaren Höhe von $22,5 \pm 27,5$ %.

Camarda et al. (126) erhoben nach 25 Jahren einen mittleren BOP von 0,44 bis $0,48 \pm 0,06$ ohne Unterschied zwischen den Implantattypen. Obwohl die BOP-Werte größer sind als in der vorliegenden Studie, kommt auch Camarda zu dem Ergebnis, dass das Implantatdesign keinen signifikanten Einfluss auf die Prävalenz des BOP hatte. Auch Ravald et al. (130) und Jacobs et al. (128) fanden in ihren Studien zu unterschiedlichen Implantatstrukturen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Implantattypen. Ravald et al. berichtete über BOP an 43 % der Messstellen, während Jacobs et al. über 20 % BOP berichtete.

Der BOP stellt eine Standardmethode in der Parodontologie dar. Trotzdem gilt auch für den BOP, dass er von patienten- und untersucherbedingten Faktoren abhängt (264). Die Heterogenität zwischen den Studien legt eine hohe Varianz in der Interpretation und Erhebung des BOP nahe. Insgesamt sollte das Ergebnis, dass die Studienimplantate aufgrund des vergleichsweise geringen BOPs eine niedrige Entzündungsrate aufweisen, mit Vorsicht interpretiert werden. Denn fast 50 % der Implantate zeigten an mind. einer Messstelle BOP.

5.4.1 Gingivales Erythem

An 12,1 % der Implantate wurde eine entzündliche Veränderung der periimplantären Gingiva beobachtet. Ein Erythem wurde an 20,9 % der SLP und an 10,2 % der SLP+ Implantate festgestellt. Nur wenige Studien berichteten über die Prävalenz der morphologisch sichtbaren marginalen Veränderungen der Gingiva.

Dennoch wurde im World Workshop zu periimplantären Erkrankungen beschlossen, dass die Morphologie der periimplantären Gewebe zu den diagnostischen Kriterien bei der Beurteilung einer periimplantären Infektion zählt (196). Deswegen wurde in dieser Studie die Prävalenz erhoben. Die dichotomische Erhebung des Vorliegens klinischer Entzündungszeichen ist ein subjektives, untersucherabhängiges Verfahren. Mit diesem Verfahren kann keine Aussage über die Ausprägung des Entzündungsgrades getroffen werden.

Karlsson et al. (258) berichteten nach zwei Jahren über eine Rötung von 5 % und einer Schwellung von 3 % der periimplantären Gewebe. In der vorliegenden Studie wurden die beiden Zustände unter Entzündungszeichen zusammengefasst. Im Vergleich zeigen die periimplantären Gewebe der vorliegenden Studienpatienten mehr klinische Entzündungszeichen. Der Unterschied der Entzündungszeichen zwischen den Implantattypen in dieser Studie ist unklar und kann ggf. auf patientenindividuelle Risikofaktoren zurückgeführt werden.

5.4.2 Suppuration

An sechs Implantaten in vier Patienten wurde zum Zeitpunkt der klinischen Untersuchung Pus exprimiert. Dies entspricht einer Prävalenz von 1,6 % der Implantate und 2,9 % der Patienten. Einzelne Autoren berichteten über eine häufige Prävalenz von Pus im Rahmen periimplantärer Entzündungen (219, 266). Jedoch beschreibt die Mehrheit der Autoren eine geringe Prävalenz von Pus im Rahmen der in Studien durchgeführten klinischen Untersuchung.

Camarda et al. (126) fanden an 1/110 Implantaten nach 25 Jahren Pus. Ravald et al. (130) diagnostizierten an 4/73 Implantaten von 46 Patienten Pus. Es bestand kein Unterschied zwischen den Implantattypen. In der vorliegenden Studie lag die Prävalenz der Suppuration zwischen den beschriebenen Werten.

Die Prävalenz von Pus als Entzündungszeichen um dentale Implantate wurde auch im „World Workshop on the Classification of periodontal and periimplant disease and conditions“ thematisiert. Pus wird dabei als nicht obligat für die Diagnose Periimplantitis erachtet (196). Auch im Rahmen dieser Studie konnte an wenigen Implantaten, die von stark entzündetem periimplantärem Hartgewebe und Weichgewebe umgeben waren, Pus exprimiert werden.

5.4.3 Sondierungstiefen

Die mittlere ST der vier Messstellen an 388 Implantaten betrug $2,8 \pm 1,6$ mm bei einem Maximum von 12 mm. Es gab keine ST-Unterschiede zwischen den Implantattypen SLP und SLP+. An 334 Implantaten (86 %) wurden $ST < 4$ mm und an 372 Implantaten (96 %) wurden $ST < 6$ mm gemessen. Die ST waren geringfügig höher als in vergleichbaren Studien.

Al-Nawas et al. (23) berichteten über eine mittlere ST von < 4 mm für 64 % der Implantate und ein Maximum von 10 mm. Die angegebene ST ist deutlich höher als in dieser Studie, während das gemessene Maximum ähnlich ist. Die Unterschiede könnten durch die Erhebung durch verschiedene Untersucher bedingt sein (263). Steyer et al. (25) ermittelte an RL Implantaten mittlere ST in Höhe von $2,74 \pm 1,21$ mm, während Beschnidt et al. (211) an SLP Implantaten ST in Höhe von $2,34 \pm 1,18$ mm maß. In der 5-Jahres-Studie von Beschnidt war die Zunahme der ST ab der prothetischen Eingliederung signifikant, mit 0,16 mm jedoch als klinisch wenig relevant einzustufen. Eine Zunahme der ST (im Vergleich zu den Ergebnissen von Al-Nawas et al. (23)) konnte in der vorliegenden Studie nicht festgestellt werden.

Camarda et al. (126) maßen nach der Entfernung der Suprakonstruktion ST von $2,09-2,34 (\pm 0,14-0,18)$ mm ohne signifikanten Unterschied zwischen den Implantathalsstrukturen. Da in der vorliegenden Studie die prothetische Versorgung nicht entfernt wurde, wären in dieser Studie geringere ST zu erwarten. Jacobs et al. (128) fanden nach 16 Jahren mit $2,5 \pm 0,4$ mm ebenfalls keine signifikanten unterschiedlichen ST an maschinieren und TiO beschichteten Implantaten ohne Abnahme der Suprakonstruktion. Dies ist konsistent mit den vorliegenden Studienergebnissen.

Obgleich die ST ein Standardverfahren in der Zahnmedizin ist, sind die ermittelten Werte untersucherabhängig und werden von der Morphologie der prothetischen Restauration beeinflusst (222). Deswegen sind die Werte bedingt vergleichbar mit anderen Studien (263). Außerdem sollten für Implantate Referenzwerte nach erfolgter prothetischer Eingliederung erhoben werden, die in anschließenden Messungen als Vergleich herangezogen werden (191). Aufgrund der fehlenden Referenzwerte in dieser Studie, ist die Aussagekraft limitiert. Trotzdem wird heute angenommen, dass Werte bis ≤ 6 mm um gesunde Implantate existieren können (196). Insbesondere oral und vestibulär und im Primärstadium periimplantärer Infektionen, können erhöhte ST ein erstes Indiz für entzündlichen periimplantären Knochenabbau sein (221).

Insgesamt wies der überwiegende Anteil der untersuchten Implantate physiologische ST auf. Physiologische ST geben einen Hinweis auf fehlenden Knochenabbau und sollten mit der ermittelten Rezession verrechnet werden, um ein Gesamtbild des periimplantären Hartgewebes zu erhalten (196). Aufgrund des Vorhandenseins aktueller röntgenologischer Daten für über 95 % der untersuchten Implantate, waren die ST in der Diagnostik der periimplantären Kondition in dieser Studie von untergeordneter, aber dennoch ergänzender Bedeutung.

5.4.4 Gingivale Rezessionen

Die Rezession an den Implantaten vestibulär und oral betrug durchschnittlich $0,6 \text{ mm} \pm 1,3 \text{ mm}$, während die Prävalenz der Rezession sich vestibulär auf 26,6 % der Implantate beschränkt hat. Die Rezession war an SLP mit $0,7 \pm 1,5 \text{ mm}$ höher als an SLP+ Implantaten mit $0,4 \pm 1,1 \text{ mm}$. Die ermittelten Werte sind vergleichbar mit Werten anderer Publikationen.

Vroom et al. (131) berichteten nach zwölf Jahren über eine Rezession von 0,36 mm an maschinieren Implantathälsen und 0,54 mm an titanoxidbeschichteten Implantaten. Somit ermittelten die Autoren eine geringere mittlere Rezession als die vorliegende Studie. Raval et al. (130) beobachteten, dass 5/45 Patienten (= 11,1 %) nach zwölf Jahren freiliegende Implantatgewinde aufwiesen ohne Unterschiede zwischen den Implantathalsstrukturen. Die Werte sind vergleichbar mit den vorliegenden Ergebnissen.

Ausgeprägtere Rezessionen an Tissue-Level Implantaten beobachteten Moberg et al. (267). Insgesamt gelten Tissue-Level als weniger ästhetisch (123, 124). Auch für SLP Implantate könnten aufgrund der vergleichsweise höheren Rezessionswerte in dieser Studie weniger gute ästhetische Resultate erwartet werden als an SLP+ Implantaten. Zusätzlich ist auch das operative Vorgehen zu berücksichtigen, das inadäquate Weichgewebsverhältnisse, z.B. aufgrund eines insertionstiefenbedingten Knochenabbaus, bewirken kann (223).

Es ist bekannt, dass Rezessionen an Zähnen im Laufe der Zeit zunehmen und sich ohne Therapie nicht zurückbilden. Dies wird auch für Implantate angenommen (121). Aufgrund des längeren Follow-up Zeitraums für SLP verglichen mit SLP+ Implantaten (192 ± 22 und 173 ± 11 Monate), könnte die von uns beobachtete höhere mittlere Rezession an SLP Implantaten durch die längere Beobachtungszeit zu erklären sein.

Bei der Interpretation der erhobenen Daten sollte beachtet werden, dass die Referenzhöhe des periimplantären Weichgewebes bei prothetischer Eingliederung nicht verfügbar war. Weichgewebeverlust ist ein häufig beobachteter Trend, der mit der Zeit progredient ist (123, 180). Da die Rezession mit dem Knochenabbau korreliert (268), kann vermutet werden, dass der Knochenabbau an SLP höher ist als an SLP+ Implantaten. Während im Frontzahnbereich die Ästhetik beeinträchtigt sein kann, kann eine Rezession im Seitenzahnbereich aufgrund erhöhter Plaqueretention und daraus resultierender Mukositis ebenfalls nachteilig sein.

5.4.5 Lockerungsgrad

Bei der klinischen Untersuchung waren acht Implantate (2,1 %) in fünf Patienten mobil. Davon befanden sich sechs SLP+ Implantate in vier Patienten und zwei SLP Implantate in einem Patienten. In internationalen Studien wird selten über gelockerte Implantate berichtet.

Camarda et al. (126) und Al-Nawas et al. (23) berichteten, dass an den untersuchten RL und SLP Implantaten keine Mobilität diagnostiziert wurde. Raval et al. (130) diagnostizierte dagegen 3/73 mobile Implantate (4,1 %) bei 46 Patienten nach Abnahme der Prothetik. Die vergleichsweise geringere Implantatmobilität in der vorliegenden Studie könnte dadurch bedingt sein, dass die Prothetik nicht entfernt wurde.

Die meisten Studien beschrieben keine Mobilität der Implantate zum Zeitpunkt der klinischen Untersuchung. Dennoch ist zu bedenken, dass die Studienpatienten bei prospektiven kontrollierten Studien idR einem engmaschigen Recall folgen und die Implantate somit bei vorliegendem massivem Knochenabbau und/oder Mobilität wahrscheinlich zu anderen Zeitpunkten mobil waren (und daraufhin umgehend entfernt wurden). Hinzu kommt die prothetische Verblockung von Implantaten, die einzelne Implantate auch bei fehlender Osseointegration noch stabilisiert. Des Weiteren könnte auch der überdurchschnittlich lange Follow-up Zeitraum und die überdurchschnittlich hohe Anzahl dentaler Implantate einen Einfluss auf die Prävalenz der Implantatmobilität darstellen.

Neben der manuellen Prüfung des Lockerungsgrades ist der Periotest ein häufig eingesetztes instrumentelles Verfahren (269). Jacobs et al. (128) berichteten bei der Periotestmessung nach zehn Jahren über kleinere Werte als nach einem Jahr, also eine Zunahme der Implantatstabilität.

Insgesamt stellt die klinische Prüfung des Lockerungsgrades ein sinnvolles Verfahren dar. Es kann der Zustand der Prothetik und die Osseointegration des Implantats geprüft werden (270). Wenn eine radiologische Aufnahme angefertigt werden kann, kann in den überwiegenden Fällen gelockerter Implantate zusätzlich ein Knochenabbau identifiziert werden. Falls röntgenologisch kein Knochenabbau vorliegt, gilt eine Lockerung der prothetischen Versorgung durch Schraubenlockerung, -fraktur oder Dezementierung als wahrscheinlich. Durch adäquates Handeln kann folglich eine Fehlbelastung des Implantats durch eine gelockerte Suprakonstruktion und ein damit einhergehender Knochenabbau verhindert werden (270).

Insgesamt differieren die vorliegenden Ergebnisse der Lockerungsgrade von bisherigen Publikationen. Dennoch sind die Ergebnisse nicht anzuzweifeln, da die Lockerungen radiologisch verifiziert wurden. Vielmehr reflektieren die Studienergebnisse die hohe Anzahl untersuchter Implantate und die Eigenschaften des Patientenkollektivs. Drei von fünf Patienten mit gelockerten Implantaten lehnten die Implantatentfernung trotz florider Entzündung ab.

5.4.6 Keratinisierte Mukosa

Die Breite der keratinisierten Mukosa war vestibulär ($2,3 \pm 1,5$ mm) vergleichbar mit der oralen Breite ($2,2 \pm 1,4$ mm). Insgesamt war bei 29,7 % der Implantate vestibulär keine ausreichende Breite keratinisierter Mukosa (≥ 2 mm) vorhanden. Die Breite der keratinisierten Mukosa war um SLP Implantate etwas geringer als um SLP+ Implantate.

Al-Nawas et al. (23) berichteten, dass bis August 2005 inserierte Studienimplantate, in 41 % vestibulär und in 15 % oral eine Breite der keratinisierten Mukosa < 4 mm aufwiesen. Diese Ergebnisse stimmen teilweise mit den aktuellen Untersuchungsergebnissen überein. Im Vergleich mit Al-Nawas Ergebnissen scheint es eine Reduktion der Breite der keratinisierten Mukosa im Verlauf zu geben. Jedoch sind Messungenauigkeiten und Untersucherdifferenzen zu beachten. Dennoch schilderten auch Chappius et al. (180), dass sich die Breite der keratinisierten Mukosa vom ersten bis zum 20. Jahr nach Implantation signifikant verkleinerte.

Camarda et al. (126) fanden bei ihrem Vergleich der Höhe der keratinisierten Mukosa an drei verschiedenen Implantattypen signifikant geringere mittlere Breiten an Implantaten mit 1,2 mm im Vergleich zu 3,6 mm maschinierem Implantat (0,51 \pm 0,08 mm, 0,74 \pm 0,10 mm). Diese Werte sind geringer als die Mukosabreiten dieser Studie. Eine vollständig fehlende keratinisierte Mukosa fand Ravald et al. (130) an 18,5 % der inspizierten Stellen. Zudem stellt er eine Tendenz zu höheren Werten für maschinierete epikrestale Implantate fest. Dies ist in Übereinstimmung mit den vorliegenden Studienergebnissen.

Die in dieser Studie genutzte Messmethode mittels millimeterskaliertes Sonde ist die in Studien häufig verwendete Messmethode (115, 116). Diese Studie ist eine der wenigen Studien, die neben der bukkalen Breite auch die linguale Breite der keratinisierten Mukosa mit einschließt, wie im Konsensusbericht des DGI/SEPA/Osteology-Workshops empfohlen (110).

Die Reduktion der keratinisierten Mukosa ist ein häufig beobachtetes Phänomen bei der Langzeitbeobachtung dentaler Implantate (180) und könnte einen Einfluss auf die Langzeitstabilität dentaler Implantate haben. Das Ausmaß könnte klinisch als Indikation für lokale Weichgewebsaugmentationen dienen (149). Die unzureichende adäquate Breite der keratinisierten Mukosa an beinahe 30 % des Studienkollektivs könnte zur erhöhten Plaqueakkumulation, vermehrter Mukositis und verstärkter Rezession der Weichgewebe führen (116–118). Die entstehende periimplantäre Entzündung kann von Knochenabbau begleitet werden und konsekutiv die Implantatverluste erhöhen (149).

5.5 Röntgenologischer Knochenabbau

Der mittlere Knochenabbau je Messstelle betrug nach 192 ± 27 Monaten für 391 Implantate in 136 Patienten 0,8 ± 1,5 mm. Die ermittelten Werte liegen im mittleren Bereich der Literatur, während zu beachten ist, dass in der vorliegenden Studie ausschließlich der Knochenabbau und kein Knochengewinn berücksichtigt wurde, wie in anderen Studien (131).

In der Studie von Al-Nawas et al. (23) über die bis August 2005 inserierten SLP und RL Studienimplantate wurde ein höherer mittlerer Knochenabbau zwischen OP Datum und dem Follow-up nach durchschnittlich 32 Monaten ermittelt (1,7 ± 1,1 mm und 1,0 ± 0,8 mm). Die höheren Werte sind möglicherweise auf die unterschiedliche Messmethodik zurückzuführen. Daher ist es nicht möglich, die absoluten Werte direkt mit der vorliegenden Studie zu vergleichen, die 15 Jahre später an teilweise identischen Implantaten durchgeführt wurde.

Der stark variable mittlere Knochenabbau verschiedener Langzeitstudien zu Camlog® Implantaten und anderen Implanattypen ist in Tabelle 7 und Tabelle 8 dargestellt. Krennmair et al. (27) beschrieben in Studien nach 5-7 Jahren einen höheren Knochenabbau von 1,8 ± 0,4 mm bzw. 2,1 ± 0,6 mm an RL Implantaten als in dieser Studie. Der Referenzpunkt zur Messung des Knochenabbaus war das unmittelbar postoperative Knochenniveau. Ozkan et al. (205) und Beschnidt et al. (211) berichteten an SLP Implantaten mit 0,27 ± 0,06 mm und 0,28 ± 0,6 mm über deutlich geringeren Knochenabbau nach fünf Jahren. Beschnidt et al. nutzten als Referenzpunkt das Knochenniveau bei der prothetischen Eingliederung. Die Autoren nutzten PSAs und EZAs sowie die vorliegende Studie.

In internationalen Publikationen sind verschiedene Messmethoden für den Knochenabbau zu finden. Die Heterogenität der Messmethoden ist bedingt durch die Variabilität der Implanattypen und durch differierende Meinungen der Wissenschaftler. Insgesamt muss jede Angabe zum Knochenabbau immer unter der Berücksichtigung der Art der röntgenologischen Aufnahme, der Messmethode und der gewünschten Aussage betrachtet werden (271). Zudem zeigten Chrcanovic et al. (179) in ihrer Studie, dass die Streuung der Werte des periimplantären Knochenabbaus mit Zunahme der Beobachtungsdauer sichtbar zunimmt. Folglich ist zu bedenken, dass mit zunehmender Follow-up-Zeit die Mittelwerte des Knochenabbaus weniger aussagekräftig werden, da die Prävalenz und Größe der Ausreißer zunehmen.

Die Anwendung zweidimensionaler Bildaufnahmen ist trotz ihrer Limitationen die Standardbildgebung zur Beurteilung des periimplantären Knochenabbaus. Auch in dieser Studie wurde mit PSA und EZA eine zweidimensionale Bildgebung zur Vermessung des Knochenabbaus verwendet. Es ist zu bedenken, dass der vestibuläre und orale Knochenabbau nur unzureichend erfasst werden können, sodass nur die ST oral und vestibulär als Hinweis auf dortigen Knochenabbau verbleibt (196). Idealerweise wären für alle Implantate EZAs angefertigt worden (233). Aufgrund von Zeit-, Strahlen- und Kosteneffizienz wurden allerdings v.a. bei Patienten mit vielen weit verteilten Implantaten in dieser Studie eine PSA angefertigt.

Die vorliegenden Ergebnisse können den Langzeitknochenabbau nur ungenügend erfassen. Grund dafür ist, dass das initiale Knochenremodeling aufgrund der fehlenden Röntgenaufnahmen zum Zeitpunkt der prothetischen Eingliederung nicht berücksichtigt werden konnte. Zur Berücksichtigung des Knochenremodelings wurde in dieser Studie deswegen ein Referenzpunkt 1,2 mm unterhalb der Insertionstiefe auf dem postoperativen Bild gewählt.

Zusammengefasst ist der ermittelte Knochenabbau dieser Studie vergleichbar mit den Werten anderer Studien. Somit sind die Studienimplantate gut geeignet, um langzeitstabiles periimplantäres Hartgewebe zu unterstützen. Die Ermittlung des Knochenabbaus ist von ästhetischer, funktioneller und prognostischer Relevanz, da in vielen Fällen eine schleichende Progredienz beobachtet werden kann (94, 106). Mithilfe von geeigneten Maßnahmen, kann die Progredienz des Knochenabbaus ähnlich wie an Zähnen verlangsamt oder gestoppt werden und so das Implantatüberleben verlängert werden (191, 196).

5.6 Korrelation des periimplantären Knochenabbaus

5.6.1 Knochenabbau nach patientenbezogenen Parametern

Der mittlere periimplantäre Knochenabbau wurde zwischen den Geschlechtern, Altersgruppen und Vorerkrankungen verglichen. Nach Berücksichtigung des Patientenclusters ergab sich ein signifikant höherer Knochenabbau für die 199 Implantate bei Patienten mit knochenstoffwechselbeeinflussender Kondition ($1,3 \pm 2,1$ mm), verglichen mit Patienten ohne eine entsprechende Kondition ($n = 257$; $0,5 \pm 1,1$ mm). Die anderen Gruppen wiesen im Vergleich der Patienten keine signifikanten Unterschiede im periimplantären Knochenabbau auf.

Die Wahl der eingeschlossenen knochenstoffwechselbeeinflussenden Konditionen berücksichtigt vergleichsweise gut belegte Risikofaktoren, wie starkes Rauchverhalten (253) und lokale Radiatio (191), und auch kontroverse Risikofaktoren, wie Diabetes mellitus, Osteoporose, Antiresorptivtherapie und Chemotherapie (252, 253). Des Weiteren kann ein geringes Knochenvolumen bereits bei OP Beginn und die Vermeidung augmentativer Maßnahmen bei Risikopatienten einen höheren Knochenabbau im beschriebenen Patientenkollektiv bewirken (173). Bei der Betrachtung der Studienergebnisse muss berücksichtigt werden, dass der Beginn der knochenstoffwechselbeeinflussenden Kondition keine Berücksichtigung findet, sondern nur die Prävalenz zum Follow-up Zeitpunkt erhoben wurde.

Der ermittelte Knochenabbau bei Risikopatienten liegt im Mittelfeld im Vergleich zur internationalen Literatur. Insb. über einen Zeitraum von >12 Jahren zeigten die meisten Studien höhere Knochenverluste (Vgl. Tabelle 7 und Tabelle 3). Die verwendeten Messmethodiken sind heterogen. Die Messmethode in dieser Studie lässt einen höheren mittleren Knochenabbau erwarten als in Studien, die auch Knochengewinn mit den Knochenverlusten verrechnen (131, 179).

Obwohl Dudley et al. (272) darauf hinwiesen, dass Osteoporose eine lokal begrenzte Erkrankung sein kann und nur zwei Studienpatienten Bisphosphonate einnahmen, war der mittlere Knochenabbau von Studienpatienten mit Osteoporose am höchsten. Dudley erklärte, dass die Belastung des Knochens ein entscheidender Faktor ist und Osteoporose kaum in der anterioren Mandibula vorkommt. Insgesamt gilt jedoch die geringere Knochendichte, wie sie in osteoporotischen Patienten vorliegt, als Risikofaktor für erhöhten periimplantären Knochenabbau (90). Al-Nawas et al. (23) stellten in den osteoporotischen Patienten, die zwischen August 2001 und August 2005 Camlog®-Implantate in der MKG Mainz erhielten, bereits eine reduzierte Implantaterfolgsrate fest.

Der Knochenabbau an 177 Implantaten in weiblichen Patienten betrug $1,0 \text{ mm} \pm 1,7 \text{ mm}$, während der Knochenabbau an 208 Implantaten von männlichen Patienten $0,5 \text{ mm} \pm 1,1 \text{ mm}$ betrug. Geschlechtsunterschiede im Knochenabbau wurden in einzelnen anderen Studien beobachtet. Eine Review von Chrcanovic et al. (247) kam zu dem Ergebnis, dass die Datenlage zu Geschlechtsunterschieden im periimplantären Knochenabbau unzureichend ist. Unter Berücksichtigung von sieben Studien, fand die Review $0,2 \text{ mm}$ höheren periimplantären Knochenabbau bei männlichen Patienten. Vandeweghe et al. (129) beschrieben signifikant höheren periimplantären Knochenabbau bei weiblichen Patienten als bei männlichen Patienten nach durchschnittlich 14 Jahren. Dies entspricht den vorliegenden Ergebnissen und den Ergebnissen von Mortazavi et al. (271). Zu den möglichen Ursachen für den höheren periimplantären Knochenabbau gehören hormonelle Faktoren (250), eine höhere Prävalenz der Osteoporose bei Frauen und ein geringeres Kieferkammvolumen bei Frauen (247). Insbesondere das Einsetzen der Menopause kann auch in dieser Studie einen signifikanten Effekt gehabt haben (250).

Der periimplantäre mittlere Knochenabbau für die Altersgruppen betrug $0,4 \text{ mm} \pm 0,9$ für die über 65-Jährigen und $1,1 \pm 1,5 \text{ mm}$ für die unter 30-Jährigen. Der geringere Knochenabbau für die älteste Patientengruppe zusammen mit den geringeren Verlusten bei älteren Pati-

enten könnten einen Hinweis auf eine bessere Implantatprognose bei älteren Patienten sein. Mögliche Gründe könnten ein reduzierter Knochenumbau (273), eine veränderte Funktion des Immunsystems und veränderte Hormonlevel sein (274). Dagegen lässt eine erhöhte Plaqueakkumulation, bedingt durch abnehmende motorische Geschicklichkeit, einen höheren Knochenabbau bei älteren Patienten erwarten (272). Aufgrund des Rentenalters ist es möglich, dass Patienten > 65 Jahren häufiger zahnärztliche Recall-Programme und professionelle Zahnreinigungen nutzen. Das retrospektive Studiendesign könnte dazu geführt haben, dass vor allem ältere gesunde Patienten zur Kontrolluntersuchung kamen. Bei Berücksichtigung der gesamten Patientengruppe, einschließlich verstorbener Patienten und solcher mit Komorbiditäten, die sich nicht untersuchen lassen wollten, hätte möglicherweise ein höherer periimplantärer Knochenverlust festgestellt werden können.

Letztendlich ist der periimplantäre Knochenabbau in dieser Studie trotz Einschluss von Risikopatienten nach bis zu 22 Jahren vergleichbar gering. Dentale Implantate können auch bei älteren Patienten erfolgreich sein, wie die vorliegende Studie bestätigt (130, 250, 272). Die analysierten knochenstoffwechselbeeinflussenden Konditionen sind heterogener Art und die Fallzahlen jeweils gering, sodass die Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren sind. Dennoch könnte die aktuelle Anamnese und der aktuelle Knochenabbau Hinweise auf die zukünftige Implantatprognose liefern. Klinisch bedeutet dies, dass Patienten mit knochenstoffwechselbeeinflussenden Konditionen ein engmaschiges Recall und regelmäßige professionelle Zahnreinigungen benötigen, um entzündlich bedingten Knochenabbau zu vermindern.

5.6.2 Knochenabbau nach anatomischer Lokalisation

Der höchste mittlere Knochenabbau wurde mit $2,1 \pm 2,9$ mm an den 31 UK-Frontimplantaten ermittelt. Der mittlere periimplantäre Knochenabbau in den anderen Regionen betrug $0,5 \pm 1,1$ mm (UK-Seitenzähne), $0,9 \pm 1,2$ mm (OK-Seitenzähne) und $0,7 \pm 1,5$ mm (OK-Frontzähne). Der regionale Unterschied war nach Berücksichtigung des Clustering in Patienten signifikant.

Krennmair et al. (27) und Lops et al. (187) fanden keine signifikanten Unterschiede des periimplantären Knochenabbaus zwischen anterioren und posterioren Implantaten. Die Studie von Lops et al. kombiniert jedoch UK und OK trotz sehr unterschiedlicher regionaler Knochenqualität und -morphologie. Die Studie von Krennmair dagegen bezieht sich nur auf den OK. Das Ergebnis, dass der periimplantäre Knochenabbau in der OK-Front und im OK-Seitenzahnbereich ähnlich ist, ist konsistent mit den Studienergebnissen. Chrcanovic et al. (179) fanden keine Kieferunterschiede nach über 20 Jahren Follow-up. (Mandibula: $1,4 \pm 1,3$ mm und Maxilla: $1,4 \pm 1,7$ mm.) Dies ist aufgrund der Differenz im UK-Frontzahn- und UK-Seitenzahnbereich in Übereinstimmung mit den vorliegenden Studienergebnissen.

Es gibt verschiedene Erklärungsansätze für den erhöhten Knochenabbau in der UK-Front. Aufgrund eines horizontalen Kieferkammdefizits in der UK-Front (275), entstehen bei Implantatinsertion häufiger dünne bukkale Lamellen, die prädisponierende Faktoren für vermehrten periimplantären Knochenabbau darstellen (252). Der verbleibende vorwiegend kortikalen Knochen in der UK-Front gilt als risikobehaftet für Knochenverlust (252). Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die UK-Front-Implantate vorwiegend herausnehmbaren Zahnersatz verankern, für den ebenfalls ein höherer Knochenabbau beschrieben wurde (276).

Der höhere Knochenverlust im OK- verglichen mit dem UK-Seitenzahnbereich kann durch Messungenauigkeiten und durch eine geringere Knochenqualität im OK erklärt werden. Messungen im UK-Seitenzahnbereich sind aufgrund weniger Überlagerungseffekten sowie höherer Dichte potenziell präziser als im OK-Seitenzahnbereich und in den Frontzahnbereichen. Es konnte mehrfach gezeigt werden, dass die geringere Knochenqualität im OK zu vermehrtem periimplantärem Knochenabbau führen kann (277).

Bei der Betrachtung der Studienergebnisse muss das retrospektive Studiendesign und die vergleichsweise geringen Implantatzahl in der UK-Front beachtet werden. Es wird dennoch ersichtlich, dass es langfristig starke regionale Unterschiede des periimplantären Knochenabbaus gibt, wie dies auch für zahnlose Kiefer bekannt ist (278).

5.6.3 Knochenabbau nach Implantattyp

Der mittlere Knochenabbau nach Implantattyp betrug $0,7 \pm 1,2$ mm (SLP+), $1,0 \pm 1,8$ mm (SLP), $0,4 \pm 1,0$ mm (RL). Die Unterschiede waren bei Betrachtung der Implantate als unabhängige Entitäten signifikant. Wurde jedoch das Patientencluster berücksichtigt, waren die Unterschiede nicht mehr signifikant. Unterschiedliche Durchmesser und Längen zeigten keinen Effekt. Die nicht signifikanten Unterschiede sind konsistent mit bisherigen Publikationen (128, 130, 135).

Vergleichbare Studien sind in Tabelle 3 dargestellt. Jacobs et al. (128), Ravald et al. (130) und Vroom et al. (131) berichteten über keine signifikanten Unterschiede des Knochenabbaus um maschinierete Bränemark Implantate und titanoxidbeschichtete AstraTech®-Implantate nach 12-16 Jahren. Für andere Implantatsysteme wurde ebenfalls kein Unterschied im Knochenabbau um verschiedene Implantathalsstrukturen nach 2-5 Jahren festgestellt (67, 135, 136). Dies übereinstimmend mit den vorliegenden Ergebnissen. Einige Studien kamen jedoch zu einem anderen Ergebnis. Sanchez-Siles et al. (132) stellten signifikant höhere Implantatverluste an halslosen epikrestal inserierten Implantaten nach 10 Jahren fest, verglichen mit suprakrestal inserierten Implantaten mit einem 2,5 mm langen maschnierten Implantathals. Camarda et al. (126) schilderten dagegen nach 25 Jahren über einen signifikant höheren Knochenverlust an Implantaten mit einem 3,6 mm langen Implantathals verglichen mit 1,2 mm langen Implantathälsen.

Reviews und Metaanalysen zur Oberflächenbeschaffenheit dentaler Implantate und Implantathälse sind in Tabelle 4 dargestellt. Während Messias et al. (18) und Koodaryan et al. (138) erhöhten Knochenabbau an maschnierten Implantathälsen nach 1-16 Jahren beschrieben, berichteten Albrahimsson et al. (31) und Jordana et al. (32) über eine Tendenz zu höherem Langzeitknochenabbau (3-23 Jahre) an raueren Implantatoberflächen. Es ist möglich, dass ein initial höherer Knochenabbau an maschnierten Implantathälsen/Implantaten den möglichen geringeren Knochenabbau in den anschließenden Jahren in Studien zum periimplantären Knochenabbau kaschiert. So ist dies auch in der vorliegenden Studie nicht ausgeschlossen.

SLP+ Implantate hatten im OK-Seitenzahnbereich einen höheren mittleren periimplantären Knochenabbau als im UK-Seitenzahnbereich ($1,0 \pm 1,2$ mm; $0,4 \pm 1,1$ mm), während der Zusammenhang für SLP Implantate weniger ausgeprägt war. Auch in der Studie von Ravald et al. (130) unterschied sich der Knochenabbau nach Implantatsystem und Kiefer. Während maschnierte Implantate im OK einen geringeren Knochenabbau als im UK aufwiesen ($0,05 \pm 0,43$ mm und $0,27 \pm 0,58$ mm), bestand für mittel-raue Implantate kein Kieferunterschied. Dies steht in Kontrast zu den vorliegenden Ergebnissen. Mendonca et al. (134) beschrieben, dass die Implantathalsstruktur den periimplantären Knochenabbau im UK beeinflusst. Maschnierte Implantathälse hatten einen signifikant höheren Knochenabbau als raue Implantathälse im UK ($1,20 \pm 0,52$ mm und $1,58 \pm 0,73$ mm). Jedoch berücksichtigt der Studienzeitraum vor allem frühen periimplantären Knochenabbau. Trotzdem sind die Werte mit den vorliegenden Studienwerten vergleichbar, da aufgrund der in der vorliegenden Studie verwendeten Messmethode auch der unmittelbar postoperative Knochenverlust Einfluss auf die Messwerte hatte. In dieser Studie zeigten SLP+ im UK-Seitenzahnbereich ebenfalls einen geringeren Knochenabbau als die SLP Implantate. Für den OK wurde der inverse Trend beobachtet.

Während der Knochenabbau in gesunden Patienten vergleichbar war, war er in Patienten mit knochenstoffwechselbeeinflussenden Konditionen für SLP ca. 0,3 mm größer als für SLP+ Implantate. Die Reduktion der immunologischen Abwehr und der Regenerationsfähigkeit des Knochens in den betroffenen Patienten, könnte eine höhere Sensibilität des Fremdkörpergleichgewichts (68) bedingen. Ein schwächerer knöcherner Verbund zur glatteren Implantatoberfläche (57), könnte somit einen beschleunigten Knochenabbau begünstigen. Sayardoust et al. (279) berichteten über ein ähnliches Phänomen in Rauchern verglichen mit Nichtrauchern. Der Knochenabbau an rauen Implantaten war für die Gruppen ähnlich. Um maschinierete Implantate befand sich ausschließlich bei Rauchern ein signifikant höherer Knochenabbau.

Es wurde gezeigt, dass der erhöhte Knochenabbau an SLP gegenüber SLP+ Implantaten nicht für feststehend versorgte Implantate zu gelten scheint. Unverblockte feststehend versorgte SLP Implantate hatten einen durchschnittlich 0,4 mm niedrigeren Knochenabbau als identisch versorgte SLP+ Implantate. Der höhere mittlere Knochenabbau resultierte somit primär durch den hohen Knochenabbau an herausnehmbar versorgten SLP Implantaten (SLP+: $0,6 \pm 0,6$ mm; SLP: $1,8 \pm 2,4$ mm). SLP Implantate waren doppelt so häufig herausnehmbar versorgt wie SLP+ Implantate. Insgesamt schilderten die meisten Studien, dass keine Unterschiede zwischen dem Knochenabbau nach Implantathalsstruktur existierten oder maschinierete Implantate einen geringeren Knochenabbau aufwiesen. In allen Studien der Tabelle 3 mit Ausnahme der Studien von Vandeweghe, Vroom, Glibert und Hänggi et al. (129, 131, 133, 136) wurde ausschließlich feststehende Prothetik verwendet. Somit werden die vorliegenden Studienergebnisse durch die Literatur gestützt.

Zusätzlich konnte auch mehrfach gezeigt werden, dass die Insertionstiefe der Rau-Glatt-Grenze einen Einfluss auf den initialen Knochenabbau hat (18, 138). Auch Al-Nawas et al. (23) zeigten für die Studienimplantate vor August 2005, dass SLP und RL Implantate teilweise krestal statt suprakrestal inseriert wurden und daraus bei RL und SLP Implantaten signifikante Unterschiede im periimplantären Knocheniveau entstanden. Der Begriff epikrestal und suprakrestal wird jedoch nicht genauer definiert. Werden SLP und SLP+ Implantate laut Herstellerprotokoll inseriert, so ergeben sich Differenzen in der Relation der Rau-Glatt-Grenze zum Knocheniveau. Damit könnte auch der von Schwarz et al. berichtete initial höhere Knochenabbau an SLP gegenüber SLP+ Implantaten in Hunden begründet werden (22). Insgesamt ist fraglich, ob der Vergleich des Knochenabbaus an unterschiedlichen Implantathälsen sinnvoll ist (67).

Al-Nawas et al. schilderten ebenfalls einen geringeren Knochenabbau um RL Implantate. Der Unterschied zwischen RL and SLP war signifikant (RL: $1,02 \pm 0,8$ mm; SLP: $1,71 \pm 1,1$ mm). Es zeigt sich ein ca. 0,6-0,7 mm höherer mittlere Knochenverlust als in dieser Studie. Ein Grund könnte die unterschiedliche Messmethode sein (OP- zu Follow-up-Niveau). Bei einer Implantathalslänge von 1,6 mm entspricht der Betrag etwas mehr als einem Drittel der Länge. Die Vergleichbarkeit trotz gleichem Implantatsystem bleibt jedoch eingeschränkt. Ein nicht separat erfasster initial erhöhter Knochenabbau um SLP Implantate, wie in der Literatur für maschinierete Implantathälse beschrieben (22), könnte die vorliegenden Langzeitergebnisse maskieren.

Dennoch sind Kompromisse der Messmethode stets notwendig. Wäre die Messung nach deutscher Leitlinie durchgeführt worden, also auf Grundlage der Lage der Rau-Glatt-Grenze bei fehlenden Referenzaufnahmen zum Zeitpunkt der prothetischen Eingliederung, so wäre der Knochenabbau um SLP+ Implantate erhöht und somit die Differenz zwischen den Implantaten reduziert worden. Gleichzeitig würde bei gleicher Insertionstiefe von SLP und SLP+ Implantaten das operative Vorgehen nach Hersteller kaum Berücksichtigung finden. SLP Implantaten würde ein Knochenverlust von 1,6 mm „zugestanden werden“, während SLP+ Implantaten ab < 0 mm Berücksichtigung finden würde. Insgesamt sollte berücksichtigt werden, dass eine Osseointegration auch an maschiniereten Oberflächen erfolgreich ist (126).

Auch ein Vergleich der operativen Insertionstiefe und dem aktuellen Knochenniveau bei fehlenden röntgenologischen Daten zum Zeitpunkt der prothetischen Eingliederung wäre kompromissbehaftet. Der initiale Knochenumbau würde überproportional stark gewichtet werden. Dies könnte dazu führen, dass der Langzeitknochenabbau von SLP Implantaten erhöht dargestellt wird, da viele Autoren über erhöhten Knochenabbau im Rahmen des initialen Remodelings um maschinierete Implantatanteile berichten (18, 22, 138) (vgl. Tabelle 4). Aufgrund der Verjährungsfrist und teilweise kompromittierten Qualität der alten Röntgenaufnahmen wurde in der vorliegenden Studie die tatsächliche Insertionstiefe nur in wenigen Fällen berücksichtigt.

Führt man die Messung nach internationaler Empfehlung bei Fehlen von Daten des Zeitpunktes der prothetischen Eingliederung aus, so soll der ossäre Anteil des Implantats als Referenz genutzt werden. Wie der ossäre Part des Implantats definiert ist, wird nicht näher erläutert. Nimmt man den ossären Part gemäß Herstellerdefinition, so ist der ossäre Anteil von SLP und SLP+ Implantaten identisch (vgl. Abbildung 11). Der gewählte Messpunkt auf Höhe der markanten Ecke am Implantatals der Camlog® Implantate befindet sich ca. 0,5 mm apikal des von Camlog® dargestellten Knochenniveaus. Dennoch zeigten Schwarz et al. (22) in einer histomorphologischen Studie an Hunden, dass nach initialem Knochenremodeling das Knochenniveau auf Höhe der beschriebenen Ecke am Implantatals zu liegen kommt. Somit wurde die Ecke in der vorliegenden Studie als realistischer, angemessener und reproduzierbarer Punkt bei der Messung des Langzeitknochenabbaus gewertet.

Insgesamt kann trotz der Limitationen der Messmethodik und des retrospektiven Studiendesigns ein Vergleich der unterschiedlichen Implantattypen erfolgen. Während RL Implantate vermutlich aufgrund ihrer Makrostruktur einen geringeren Knochenabbau aufwiesen, könnte die Implantatalsmikrostruktur einen kieferabhängigen Einfluss auf den Knochenabbau haben. Kontrollierte prospektive Studien sind nötig, um die Zusammenhänge genauer zu untersuchen. Alle Implantattypen weisen vergleichsweise stabile periimplantäre Knochenverhältnisse auf.

5.6.4 Knochenabbau nach operativer Technik

Der Knochenabbau wurde nach Implantationszeitpunkt, Augmentation und KEM differenziert. Für KEM und Augmentation bestanden nach Berücksichtigung des Patientenclusters signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Implantate in augmentierten Kieferkämme zeigten mit $0,9 \pm 1,5$ mm einen signifikant höheren periimplantären Knochenabbau als Implantate in nativen Kieferkämme ($0,7 \pm 1,5$ mm).

Der mittlere Knochenabbau betrug $0,4 \pm 0,9$ mm an 31 Sofortimplantaten und $0,8 \pm 1,5$ mm an 360 Spätimplantaten. Auch andere Studien zeigten stabile Knochenverhältnisse um Sofortimplantate. Noelken et al. (259) berichteten bereits über sehr stabile Knochenniveaus um Sofortimplantate, die in der MKG Mainz inseriert wurden. Unter Berücksichtigung von Knochengewinn und -verlust nach fünf Jahren betrug der Knochengewinn $0,04 \pm 0,65$ mm. In der Studie von Krennmair et al. (210) betrug der mittlere Knochenabbau nach fünf Jahren an SLP+ Sofortimplantaten $0,9 \pm 0,7$ mm und an Spätimplantaten $1,0 \pm 0,6$ mm. Zudem beschrieben die Autoren, dass der Unterschied über die Zeit zugunsten der Sofortimplantate zunahm. Somit könnte der längere Follow-up Zeitraum in dieser Studie einen Einfluss auf den reduzierten Knochenabbau an Sofortimplantaten haben. Insgesamt kam die Review von Cosyn et al. zu dem Ergebnis, dass die Daten zum Knochenverlust verglichen zwischen Sofort- und Spätimplantaten kontrovers sind (280). Die Aussagekraft der vorliegenden Studienergebnisse ist durch die ungleiche Anzahl der Spät- und Sofortimplantate limitiert. Dennoch ist die Anzahl von 31 Sofortimplantaten vergleichbar oder sogar höher als untersuchte Gruppen in manchen prospektiven Studien (vgl. Tabelle 3). Wie schon in Abschnitt 5.3.4 be-

schrieben ist die Stabilität des Knochenniveaus unter anderem von der Patientencompliance abhängig, die bei den Patienten, die Sofortimplantate erhielten, vermutlich hoch war.

Die Langzeitstabilität augmentierter Kieferkämme abhängig vom KEM wird in der Literatur kontrovers diskutiert (159, 281). Terheyden et al. (151) schilderten in ihrer aktuellen Review, dass eine bessere Knochenformation in autolog-kombinierten Augmentaten entsteht, aber keine signifikanten Unterschiede zwischen den Materialien in den insgesamt 184 untersuchten Studien herauskristallisiert werden konnten. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten jedoch, dass die Kombination von autologem Material und TCP langfristig in einem signifikant höheren Knochenabbau resultieren können. Insgesamt sollte jedoch berücksichtigt werden, dass die Kombination von autologen Knochen und KEM vor allem bei größeren Defekten zum Einsatz kommt, die dazu neigen stärker zu resorbieren (163). Ob die stärkere Resorption jedoch auch einen langfristigen Zeitraum betrifft, ist fraglich. Zudem war die Fallzahl für TCP-Augmentate gering. Dennoch berichteten Troeltzsch et al. (163) in ihrer Metaanalyse, dass alloplastische Materialien von allen untersuchten KEM den geringsten Volumengewinn erzielen.

Rocuzzo et al. (251) zeigten in einer Studie, dass Implantate in vertikal mit intraoral autologem Knochen augmentierten Kieferkämmen (mind. 4 mm) nach zehn Jahren einen geringen mittleren Knochenabbau von $0,58 \pm 0,57$ mm aufwiesen. Damit ermittelten sie einen ähnlichen Knochenverlust wie in der vorliegenden Studie. Auch Araujo et al. (185) berichteten nach 10 Jahren über langzeitstabile autolog augmentierte Kieferkämme (Knochenabbau: $2,01 \pm 1,58$ mm). Implantate in autologen Augmentaten zeigten in dieser Studie die höchsten Überlebensraten und geringe periimplantäre Knochenverluste. Somit erscheint der autologe Knochen, der als Goldstandard gilt, sehr gute Langzeitstabilität um die Studienimplantate zu ermöglichen (281).

Insgesamt erlaubt der Einsatz von Knochenaugmentationstechniken im Idealfall die Schaffung ausreichender Kieferkammdimensionen zur Insertion dentaler Implantate (260). Durch insuffiziente Kieferkammdimensionen könnte ohne Augmentation an den betroffenen Implantaten ein höherer Knochenabbau resultieren (90). Jedoch ist die Durchführung augmentativer Techniken und Wahl des KEM von patientenbedingten Faktoren abhängig (102). Dies sollte bei der Interpretation der vorliegenden retrospektiven Ergebnisse Berücksichtigung finden.

Die vorliegenden Studienergebnisse zeigen, dass das Knochenniveau insb. um Sofortimplantate und in nativen Kieferkämmen stabil ist, unabhängig vom genutzten Implantattyp. Für Implantate in autologen, xenogenen und autolog-xenogenen Augmentaten konnten ebenfalls gute Langzeitergebnisse beobachtet werden. Der in dieser Studie ermittelte Unterschied in augmentierten und nativen Kieferkämmen (0,2 mm) erscheint trotz statistischer Signifikanz klinisch nicht relevant.

5.7 Prothetische Versorgung

5.7.1 Verteilung der prothetischen Versorgung

Die Implantate wurden festsitzend oder herausnehmbar versorgt. Die meisten Implantate wurden außerhalb der Universitätsklinik Mainz prothetisch versorgt, sodass für Patienten, die aus diversen Gründen nicht zur Follow-up Untersuchung kommen konnten keine entsprechenden Daten erhoben werden konnten. Die klinisch untersuchten Implantate waren zu 65 % festsitzend und zu 35 % herausnehmbar versorgt. Es bestand ein signifikanter Unterschied zwischen der Verteilung der prothetischen Versorgungsarten zwischen SLP und SLP+ Implantaten. Somit reduziert sich die Vergleichbarkeit der Implantattypen.

Im Vergleich zu anderen Studien zu Camlog® Implantaten berichtet die vorliegende Studie über die größte Vielfalt prothetischer Versorgungsarten. Die Studie von Steyer et al. (25) wies ebenfalls eine vielfältige prothetische Versorgung auf mit Einzelzahnversorgungen (80,4 %), Implantatbrücken (4,1 %), Hybridbrücken (5,3 %) und Teleskopen (10,2 %). Andererseits wurden in den Studien von Franchini et al. (207) und von Siebers et al. (206) ausschließlich festsitzende Versorgungen verwendet im Verhältnis 34-40 % unverblockt zu 57-66 % verblockt. Krennmair et al. (27) und Nelson et al. (28) versorgten zahnlose Patienten mittels Stegkonstruktionen.

Andere Autoren betrachteten auch die Art der Befestigung der Versorgung, das Kronen-Längen-Implantat-Längen-Verhältnis und die Breite und sonstige Morphologie der Krone (74). Trotz der gezeigten Einflüsse auf den Implantaterfolg (74), wurde in dieser Studie auf eine detaillierte Vermessung der prothetischen Versorgung verzichtet.

Die Heterogenität der prothetischen Versorgung verdeutlicht die Heterogenität des Studienkollektivs. Während dadurch die spezifische Aussagekraft reduziert wird, ergibt sich die Möglichkeit einer generischen Beurteilung des Implantaterfolgs in einem annähernd repräsentativen Patientenkollektiv deutscher Implantatpatienten (282).

5.7.2 Knochenabbau nach prothetischer Versorgung

Der Knochenabbau unterschied sich signifikant zwischen den prothetischen Versorgungsarten auf Implantat- und Patientenebene. Die Höhe des mittleren Knochenabbaus stieg mit der Herausnehmbarkeit der Versorgung von $0,3 \pm 0,9$ mm an mit Einzelkronen versorgten Implantaten zu $1,4 \pm 1,3$ mm an mit Lokator/Teleskop versorgten Implantaten. In der Literatur wird der Einfluss der Art der prothetischen Versorgung kontrovers diskutiert (74, 230, 283).

Kesar et al. (230) zeigten in ihrer retrospektiven Studie, dass der Knochenabbau nach mittleren 18 Jahren signifikante Unterschiede an Implantaten mit Einzelkronen ($0,21 \pm 1,08$ mm), festsitzenden Teilprothesen ($0,49 \pm 1,14$ mm) und herausnehmbaren Prothesen ($1,03 \pm 1,29$ mm) aufwies. Die Werte sind vergleichbar mit denen in der vorliegenden Studie.

In der Studie von Steyer et al. (25), die über den Knochenabbau an RL Implantaten differenziert nach prothetischer Versorgung nach 14 Jahren berichtete, wurde kein Unterschied im Knochenabbau zwischen festsitzenden und herausnehmbaren prothetischen Versorgungen festgestellt. Auch eine Review von Saravi et al. (283) stellte keinen Einfluss der Herausnehmbarkeit von implantatgetragenen Prothesen auf den Knochenabbau fest. Die Ergebnisse stehen im Gegensatz zu den vorliegenden ermittelten Daten, die einen höheren Knochenabbau für herausnehmbaren Zahnersatz darlegen. Es konnten keine Studien identifiziert werden, die über einen höheren Knochenabbau an festsitzenden Versorgungen berichteten.

Insgesamt ist zu beachten, dass die Patientenmerkmale festsitzend und herausnehmbar versorgter Patienten unterschiedlich sind. Herausnehmbar versorgte Patienten haben häufiger weniger Restzähne, eine eingeschränkte Mundhygiene und einen niedrigeren sozioöko-

nomischen Status (284, 285). Zudem ist eine vermehrte Prävalenz knochenstoffwechselbeeinflussender Konditionen anzunehmen (286). Diese Faktoren sind direkt oder indirekt mit einem erhöhten Knochenabbau assoziiert (74, 90). Auch die Präsenz von Nachbarzähnen hat einen stabilisierenden Einfluss auf das periimplantäre Knochenniveau (287).

Wagenberg et al. (231) beobachteten ebenfalls einen signifikant höheren Knochenabbau an verblockten Restaurationen im Vergleich zu unverblockten Restaurationen nach zehn Jahren ($0,3 \pm 0,6$ mm und $0,5 \pm 0,8$ mm). Die Werte sind vergleichbar mit dieser Studie. Im Gegensatz dazu beschrieben aktuelle Reviews, dass der Knochenabbau an verblockten und unverblockten Implantaten keine signifikante Unterschiede aufwies (288) bzw., dass der Knochenabbau an verblockten Implantaten geringer war (79). Es ist zu bedenken, dass für verblockte Implantate der Implantatverlust verzögert eintritt, da das Implantat auch bei generalisiertem periimplantärem Knochenabbau durch andere Implantate in situ gehalten wird. Somit wurden die Maxima des Knochenabbaus an verblockten Implantaten gemessen, sodass die Mittelwerte stark beeinträchtigt wurden. Entsprechend sind in dieser Studie die erhöhten Knochenverluste in direkt verblockten Implantaten (d.h. Implantatbrücken, Hybridbrücken, Stegen und verblockten Einzelimplantaten) zu erklären.

Aufgrund der großen Diversität der prothetischen Versorgungen ist die Aussagekraft der vorliegenden retrospektiven Studie begrenzt. Neben den erhobenen Parametern konnte auch für Platform-Switching, das Kronenlängen-Implantatlängen-Verhältnis und die Befestigungsart ein Einfluss auf das periimplantäre Knochenniveau demonstriert werden (71, 75, 90, 232). In der vorliegenden Studie wurde nur ein geringer Teil der Implantate mit Platform-Switch Prothetik versorgt und, wenn immer möglich, ein angemessenes Kronenlängen-Implantatlängen-Verhältnis, sowie eine verschraubte Versorgung gewählt. Somit ist die Einflussnahme auf das Studienergebnis vermutlich gering.

Insgesamt kann retrospektiv anhand der Studiendaten ein eindeutiger Trend zu reduziertem Knochenabbau an feststehend versorgten Implantaten an einer adäquaten Anzahl untersuchter Implantate identifiziert werden. Es ist möglich, dass die Ergebnisse beispielsweise durch die Nutzung von Platform-Switching-Abutments und eine frühzeitige Explantation verblockter, aber nicht mehr knöchern umgebener Implantate, andere Trends aufzeigen würden. Klinisch sollte dennoch, insbesondere bei Patienten mit herausnehmbaren und verblockten Versorgungen, ein engmaschiger Recall erfolgen.

5.8 Langzeiterfolg der enossalen Implantate

5.8.1 Erfolg nach Albrektsson und Buser

Der Langzeiterfolg der klinisch untersuchten Implantate betrug nach Albrektsson 89,2 % und nach Buser 94,9 %. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der Spätverluste betrug der Erfolg nach Albrektsson 81,9 % und nach Buser 87,1 %. Die Erfolge der SLP und SLP+ Implantate waren nach Albrektsson vergleichbar hoch. Nach Buser war der klinische Erfolg der SLP Implantate mit 96,5 % höher als für SLP+ Implantate mit 91,5 %. Die Werte sind vergleichbar mit den Erfolgsraten, die in anderen Langzeitstudien ermittelt wurden (vgl. Tabelle 7).

Beschmidt et al. (211) ermittelten nach fünf Jahren an SLP Implantaten einen Erfolg nach Albrektsson von 97,1 % und von 98 % nach Buser. Krennmair et al. (26) und Siebers et al. (206) schilderten nach sieben Jahren einen Erfolg nach Buser von 97,3 % bzw. 97,8 % an Camlog® Implantaten. Die Erfolgsraten dieser Studie sind ähnlich den Überlebensraten etwas geringer, während ein deutlich längerer Follow-up Zeitraum von bis zu 21,6 Jahren vorliegt.

In Relation zu den von Al-Nawas et al. (23) ermittelten Werten zu einem Teil des Studienkollektivs nach ca. 3 Jahren sind die Erfolgsraten der vorliegenden Studie, wie zu erwarten, ebenfalls geringer. Der Erfolg nach Buser betrug 97% und 96% für RL und SLP Implantate. Der Erfolg nach Albrektsson betrug 97 % (RL) und 93 % (SLP). Der Erfolg nach Buser war aufgrund der weniger strengen Kriterien zum Knochenabbau höher. Die meisten Implantate, die nach Buser einen Misserfolg darstellen, sind nach heutigen Standards explantationswürdig. Eine Ausnahme stellt eine behandelbare putride Infektion dar (289).

Die Erfolgsraten nach Buser betragen in Studien nach mindestens zwölf Jahren mittlerem Follow-up, wie in Tabelle 7 dargestellt, 73,4-88,1 %. Die Erfolgsraten nach Albrektsson betragen in der Studie von Lops et al. (187) und Chappuis et al. (180) 81,4 % bzw. 89,5 % für standardlängen Implantate nach 20 Jahren. Die Review von Moraschini et al. (10) schilderte einen mittleren Erfolg nach Albrektsson von 89,7 % nach durchschnittlich 15,7 Jahren. Im Vergleich sind die Erfolgsraten dieser Studie mittelwertig. Aufgrund der Vielschichtigkeit der Kriterien entstehen jedoch Untersucherdifferenzen in der Entscheidung zwischen Erfolg und Misserfolg, die durch die verschiedenen Messmethoden des Knochenabbaus, wie oben erläutert, verstärkt werden. Daher sind die Implantaterfolge der Studien trotz Objektivierungsversuch bedingt vergleichbar. Es ist möglich, dass der Erfolg dieser Studienimplantate durch die teilweise fehlende regelmäßige Erhaltungstherapie und eine vergleichsweise schlechte Mundhygiene des Studienkollektivs reduziert wurde.

Für die unterschiedlichen Implantatstruktturen wurde in keiner der in Tabelle 3 gelisteten Langzeitstudien (≥ 3 Jahre) ein Erfolg nach Buser oder Albrektsson erhoben, sodass kein Vergleich mit den vorliegenden Ergebnissen möglich ist. Bedenkt man jedoch die höhere Überlebensraten und die höheren Erfolgsraten nach Buser von SLP Implantaten verglichen mit SLP+ Implantaten verstärkt sich der Eindruck, dass die Langzeitergebnisse von SLP Implantaten trotz höherem mittlerem Knochenabbau besser sind.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse gute Erfolgsraten unabhängig vom genutzten Implantattyp. Somit kann auch für einen Zeitraum von bis zu 22 Jahren von stabilen periimplantären Verhältnissen gesprochen werden. Die Erfolgskriterien nach Buser und Albrektsson gelten heute in vielen Expertenkreisen als überholt (211, 290), sodass heute vermehrt die Rate periimplantärer Entzündung als Erfolgskriterium für dentale Implantate herangezogen wird (291).

5.8.2 Prävalenz periimplantärer Erkrankungen

Die Prävalenz der Periimplantitis, periimplantären Mukositis und periimplantären Gesundheit betrug 8 %, 45 % und 47 % im Implantatkollektiv bzw. 11 %, 67 % und 63 % im Patientenkol-

lektiv. Während SLP und SLP+ ähnliche Raten periimplantärer Gesundheit aufwiesen (46 % und 39 %), war die Periimplantitisrate höher für SLP (11,2 %) verglichen mit SLP+ Implantaten (7,1 %). Dagegen wiesen SLP+ Implantate vermehrt periimplantäre Mukositis auf, verglichen mit SLP Implantaten (54 %; 43 %). Interessanterweise hatten RL Implantate eine sehr hohe Rate periimplantärer Gesundheit (68 %). Die vorliegenden Studiendaten fügen sich im Mittelfeld der kontroversen Daten der internationalen Literatur ein.

Von Steyer et al. (25) wurde an RL Implantaten eine Periimplantitisrate von 11,1 % nach ca. 14 Jahren ermittelt. Für SLP+ Implantate ermittelte Krennmair et al. (210) nach 5 Jahren eine Prävalenz der Periimplantitis von 1,5 %. Dieser Wert liegt wiederum deutlich unter dem an den SLP+ Studienimplantaten ermittelten Wert. Die in dieser Studie ermittelte Periimplantitisprävalenz liegt zwischen den Prävalenzen der beiden Studien zu Camlog® Implantaten.

Während Sanchez-Siles et al. (132) eine höhere Prävalenz der Periimplantitis an rauen Implantathälsen (14 %) verglichen mit maschinieren Implantathälsen (3 %) ermittelten, schilderte Vandeweghe et al. (129) eine Prävalenz von 4,1 % nach 14 Jahren ohne Unterschied zwischen der maschinieren und mittel-rauen Implantatoberflächen. Auch die Reviews zum Effekt der Implantatmikrostruktur kamen, wie in Tabelle 4 dargestellt, zu unterschiedlichen Ergebnissen. Während Jordana et al. (32) eine höhere Prävalenz der Periimplantitis an rauen Implantaten identifizierten, kamen Messias et al. (18) zu dem Ergebnis, dass maschinieren und raue Implantathälse vergleichbare Periimplantitisraten aufweisen. Die Beobachtung der vorliegenden Studie einer höheren Prävalenz der Periimplantitis an Implantaten mit längerer maschinierter Implantathalsoberfläche (SLP) steht im Gegensatz zu den beschriebenen Studienergebnissen. Allerdings kann der Implantathals allein nicht für die hohe Prävalenz verantwortlich sein, da RL Implantate mit der gleichen Implantathalsstruktur sehr geringe Periimplantitisraten aufwiesen. Ein Zusammenhang mit der prothetischen Versorgung und der erhöhten Prävalenz knochenstoffwechselbeeinflussender Konditionen im SLP Kollektiv wird vermutet.

Während die Auswertung der Spätverluste eine höhere Spätverlustrate (durch Periimplantitis) für SLP+ Implantate ergab, wurde klinisch eine höhere Periimplantitisrate für SLP Implantate diagnostiziert, bei ähnlichen mPBI-Werten der Patientengruppen. Somit erscheinen die Ergebnisse kontrovers. Jedoch relativiert die höhere Prävalenz der periimplantären Mukositis um SLP+ Implantate das Ergebnis. Vermutlich ist der höhere Knochenabbau um SLP Implantate über eine längere Beobachtungsdauer dafür verantwortlich, dass in dieser Studie die Diagnose Periimplantitis statt periimplantäre Mukositis gestellt wurde. Wie in Anhang 8.4 dargestellt, waren signifikant mehr SLP Implantate prothetisch verblockt, wodurch ihr Verlust verhindert und ein höherer Knochenabbau am Implantat in situ möglich wurde.

Wenige Langzeitstudien berichteten über die Prävalenz der periimplantären Mukositis. Krennmair et al. (210) ermittelte für SLP+ Implantate nach fünf Jahren eine Prävalenz von 13,6 %. Konstantinidis et al. bestimmten nach > 5 Jahren eine Prävalenz von 64,5% auf Patientenlevel (292). Roos-Jansäker et al. (293) ermittelten eine Prävalenz von 48 % nach 9-12 Jahren, während eine ST von über 4 mm neben BOP eine Voraussetzung zur Diagnose war. Die vorliegende erhobene Prävalenz der periimplantären Mukositis ist somit vergleichbar mit anderen Publikationen.

Die inkonsistente Definition von Periimplantitis und periimplantärer Mukositis bis 2018 führt zu wenig vergleichbaren Angaben zur Prävalenz in der Literatur (294). Der World Workshop 2017 zur Parodontalerkrankungen hat Kriterien für die Bewertung periimplantärer Zustände eingeführt, um die Definitionen zu vereinheitlichen und die Vergleichbarkeit zwischen Studien zu verbessern (196). Trotz dieser Bemühungen bleiben Interpretationsspielräume in Bezug auf die Diagnose Periimplantitis bestehen. Zum einen wird nicht deutlich, ab wie viel Millimeter Knochenabbau nach dem initialen Remodeling von Periimplantitis gesprochen wird und zum anderen fehlt der Zustand einer „ausgeheilten stabilen Periimplantitis“ wie es bei Zähnen „stabile Parodontitis“ genannt wird (294). Auch die Berücksichtigung von ST und Kno-

chenabbau führt zur Unschärfe und erfordert die Ermittlung einer Vielzahl klinischer Parameter über den gesamten Behandlungszeitraum. Zusätzlich unterscheidet sich der Wert zur Periimplantitis je nachdem, ob er zu einem bestimmten Zeitpunkt oder über den gesamten Verlauf ermittelt wurde. Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns und der vorwiegend externen zahnärztlichen Betreuung war eine kontinuierliche Verlaufskontrolle in dieser Studie nicht möglich.

Zusammenfassend ist die vorliegende Prävalenz der periimplantären Zustände vergleichbar hoch wie in anderen Langzeitstudien. Aufgrund der multifaktoriellen Ätiologie der Periimplantitis ist eine Aussage zum Einfluss des Implantatdesigns in dieser retrospektiven Studie nur begrenzt möglich. Die hohe Prävalenz periimplantärer Gesundheit um wurzelförmige RL Implantate wurde jedoch eindrücklich im Vergleich zu SLP und SLP+ Implantaten dargestellt.

5.9 Fragebögen

5.9.1 OHIP-G14

Mithilfe des OHIP-G14 wurde die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität des Patientenkollektivs ermittelt. Die durchschnittliche Punktzahl von $3,5 \pm 5,7$ Punkte ist vergleichbar mit Daten zur implantologischen Rehabilitation aus der internationalen Literatur.

Die durchschnittlichen OHIP-G14 Punktzahlen in den Studien von Schiegnitz et al. (156) und Doornewaard et al. (295) betragen $3,8 \pm 5$ und $4,4 \pm 5,0$ Punkte nach 3-5 Jahren. Glibert et al. (133) ermittelten einen Median in Höhe von 3,8 Punkten nach 6 Jahren und stellten zusätzlich fest, dass sich die Lebensqualität nach dem ersten Jahr des Implantats in situ nicht signifikant verändert. Somit entspricht die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität des Patientenkollektivs der vorliegenden Studie weitestgehend der des durchschnittlichen Implantatpatientenkollektivs.

Sanchez-Siles et al. (132) beschrieben, dass Patienten mit Implantaten mit maschinieren Implantathälsen ($8,73 \pm 5,50$ Punkte) trotz ästhetischer Einbußen eine höhere Lebensqualität laut OHIP-14 aufwiesen, als Patienten mit Bone-Level-Implantaten ($10,86 \pm 6,05$ Punkte). Die von den Autoren ermittelte Punktzahl wirkt sehr hoch, zumal es sich um feststehend versorgte Implantate handelt.

Der OHIP-G14 Fragebogen zeigt eine hohe Wiederholungsgenauigkeit (156), sehr gute statistische Auswertbarkeit und ermöglicht einen Vergleich zwischen internationalen Studien. Allerdings müssen sprach- und kulturbedingte Unterschiede sowie Bias durch das Setting in der Zahnarztpraxis während des Ausfüllens berücksichtigt werden (296). Die Ergebnisse des OHIP werden zudem kritisiert, da die Daten retrospektiv für die Ereignisse des letzten Monats erhoben werden und dadurch bereits ein Bias entsteht (156).

Allgemein ermöglichen alle untersuchten Studienimplantate eine sehr gute mundgesundheitsbezogene Lebensqualität, sodass ein wichtiges Behandlungsziel der Patientenzufriedenheit langfristig erreicht werden kann. Da in den in Tabelle 8 gelisteten Studien keine OHRQOL erhoben wurde, sind die vorliegenden Studiendaten die ersten, die über einen langzeitstabile OHRQOL durch Camlog® Implantate berichten.

5.9.2 Studienspezifischer Fragebogen

Im studienspezifischen Fragebogen mit fünf Fragen wurde eine durchschnittliche Punktzahl von $1,73 \pm 2,3$ erreicht, während null Punkte einen sehr zufriedenen Patienten mit eigenberichteter sehr guter Mundhygiene darstellt. Am wenigsten zufrieden waren die Patienten mit der prothetischen Versorgung ($0,4 \pm 0,9$ Punkte) und am zufriedensten mit dem Implantat ($0,2 \pm 0,5$ Punkte). Die Ergebnisse sind aufgrund der fehlenden Standardisierung des Fragebogens nur schwer mit Ergebnissen der internationalen Literatur vergleichbar.

Al-Nawas et al. (23) befragten einen Teil des Studienkollektivs bereits nach ca. drei Jahren zur Zufriedenheit mit dem Implantat und der Prothetik. 4 % der befragten Patienten waren unzufrieden mit dem Implantat, während 8 % unzufrieden mit der prothetischen Versorgung waren. Der von uns beobachtete Trend bestand somit bereits drei Jahre nach der Implantation. Die Unterschiede könnten durch die häufige Betreuung der Patienten durch multiple Zahnärzte (intern oder extern) bedingt sein (190). Zudem könnte die Erhebung im Rahmen einer durch die Implantologie erhobenen Studie ein Akquieszenz Bias entstehen (297). Dennoch ermittelten Schiegnitz et al. (156) bei Patienten, die ebenfalls in der MKG Mainz mit einem ähnlichen Behandlungskonzept behandelt wurden, keine Unterschiede zwischen der hohen Zufriedenheit mit dem Implantat und der prothetischen Versorgung nach bis zu fünf Jahren.

Beschnidt et al. (211) beschrieben nach 5 Jahren von Camlog® Implantaten in situ ebenfalls sehr zufriedene Patienten in Bezug auf die Kaufunktion, die Ästhetik und die allgemeine Zufriedenheit mit der implantat-prothetischen Versorgung. Die Ergebnisse sind im konsistent mit den vorliegenden Ergebnissen, die ebenfalls eine sorgenfreie Belastung der Implantate bei den meisten Patienten erkennen lassen.

Aufgrund der Erhebungsmethodik und des vorwiegenden Ausfüllvorgangs des Fragebogens vor der klinischen Untersuchung, wurde die Ansicht der Patienten mit Implantatverlusten nicht verhältnismäßig repräsentiert (sog. „Attritions-Bias“ (297)). Vor allem viele Patienten, die alle ihre Implantate verloren hatten, waren nicht bereit, den Fragebogen auszufüllen. Somit repräsentieren die Daten vermutlich eine höhere Zufriedenheit als im gesamten Studienkollektiv tatsächlich vorliegt.

Zusätzlich wurden die Studienpatienten zur Teilnahme an zahnärztlichen Kontrolluntersuchungen, Implantatanzahl und Erfahrung mit Implantatverlusten befragt. Es ist zu erwähnen, dass einige Patienten keine verlässlichen Angaben zur Implantatverlusten und Anzahl ihrer Implantate machen konnten. Wenn möglich wurden die Daten nach Vergleich röntgenologischer Aufnahmen oder auch interner Dokumentationen ergänzt oder korrigiert.

Lediglich 11 % der Patienten gaben an, weniger als einmal im Jahr zur zahnärztlichen Kontrolluntersuchung zu gehen. Diese Ergebnisse sind konsistent mit den Ergebnissen von Chappuis et al. (180), die in einer retrospektiven Patientenbefragung ihres Studienkollektivs feststellten, dass 9 % der Patienten keine jährlichen Kontrolluntersuchungen wahrnehmen. In der Studie von Krennmair et al. (27) wird eine Erhaltungstherapie alle 6-12 Monate über fünf Jahre durchgeführt, während Zafiropoulos et al. (204) die RL Implantate vierteljährlich kontrollierte. Anhand der vorliegenden Studiendaten kann keine Inanspruchnahme professioneller Zahnreinigung beurteilt werden, die in vielen kontrollierten Studien Bestandteil der Studie oder bei Nichtteilnahme Ausschlusskriterien sind (25, 28, 204). Außerdem ist aufgrund der suggerierten Erwartungshaltung des untersuchenden Zahnarztes (Konzept der sozialen Erwünschtheit (298)) anzunehmen, dass die Patienten eine höhere Frequenz der Teilnahme an zahnärztlichen Kontrolluntersuchen angeben, als der Realität entspricht. Insgesamt ist deswegen aufgrund der Befragungsergebnisse für mindestens 11 % des Patientenkollektivs ein erhöhtes Risiko für Periimplantitis und Implantatverluste anzunehmen (257).

42 % der Studienpatienten hatten mindestens vier Implantate zum Zeitpunkt der Befragung, während 18 % der Patienten lediglich ein Implantat besaßen. Das von uns untersuchte Patientenkollektiv hat somit insgesamt vergleichbar viele Implantate. Die Anzahl der Implantate konnte als Risikofaktor für Implantatverluste identifiziert werden (189) und sollte damit bei der Betrachtung der leicht erhöhten Implantatverlustrate berücksichtigt werden. Die große Anzahl dentaler Implantate je Patient ist vermutlich durch die Überungsstruktur der MKG Mainz bedingt, wodurch einfache Einzelzahnimplantationen vergleichbar selten vorkommen.

21,3 % der Studienpatienten hatten laut eigenen Angaben in ihrem Leben mindestens einen Implantatverlust erfahren. Aufgrund der Selbstauskunft ist eine hohe Dunkelziffer von Nicht-Studienimplantaten möglich. Die Verlustraten auf Patientenebene sind signifikant höher als die 7,6 % von Derks et al. (299) angegebenen Verlustraten in 2765 zufällig ausgewählten schwedischen Implantatpatienten. Somit erscheint das Patientenkollektiv in dieser Studie anfälliger für Implantatverluste zu sein. Es ist bekannt, dass ein sogenanntes Clustering der Implantatverluste in bestimmten Patienten prävalent ist (300).

Insgesamt beschreibt der studienspezifische Fragebogen nicht nur die hohe Zufriedenheit des Patientenkollektivs, sondern auch das Verhalten und das erhöhte Risiko des Patientenkollektivs für Implantatverluste. Dennoch stellen die Ergebnisse aufgrund der unvollständigen Rücklaufquote des Fragebogens nicht das gesamte Patientenkollektiv dar. Der erstellte Fragebogen stellt ein effizientes Tool dar, um potenzielle Einflussfaktoren auf den Implantaterfolg zu beschreiben.

6 Zusammenfassung

Die Verkürzung des maschinieren Implantathalses an SLP Implantaten hatte bei Markteinführung 2005 das Ziel den periimplantären Knochenabbau zu reduzieren. In Studien zu unterschiedlichen Mikro- und Makrostrukturen des Implantathalses werden kontroverse Ergebnisse zum periimplantären Knochenabbau präsentiert. Die Limitation vieler Studien besteht darin, dass die verglichenen Implantathälse keine identische Makrostruktur aufweisen oder der gesamte Implantatkörper eine unterschiedliche Makrostruktur ausweist. Zudem begrenzen die vorwiegend kurzen Evaluationszeiträume und geringen Implantat- und Patientenzahlen die Aussagekraft vieler Studien. Somit war das Ziel dieser retrospektiv deskriptiven Studie insbesondere Implantate identischer Makrostruktur mit dem alleinigen Unterschied in der Mikrostruktur des Implantathalses über einen Zeitraum von bis zu 22 Jahren klinisch und röntgenologisch zu vergleichen.

In dieser retrospektiven Studie wurde das Überleben von 1102 Implantaten in 325 Patienten sowie klinische Parameter und der röntgenologische Knochenabbau an 385 bzw. 391 Implantaten in 137 bzw. 136 Patienten ermittelt. Davon hatten 484 Implantate einen 2 mm langen vollständig maschinieren Implantathals (= SLP) und 372 Implantate einen gleich langen Implantathals mit einem koronal maschinierem Implantathalsanteil von 0,4 mm. Alle Implantate der Marke Camlog® wurden von August 2001 bis Dezember 2009 in der MKG Mainz inseriert.

Nach $157,8 \pm 64,1$ Monaten betrug das Implantatüberleben 89,3 % inklusive Frühverluste und 92,1 % exklusive Frühverluste. SLP Implantate zeigten mit 91,3 % eine bessere Überlebensrate als SLP+ Implantate mit 88,0 %. Auch der klinische Erfolg nach Buser war für SLP Implantate höher als für SLP+ Implantate (96,5 %; 91,5 %). Der klinische Erfolg der SLP+ Implantate nach Albrektsson war mit 88,7 % jedoch höher als der Erfolg der SLP Implantate (87,0 %). Dies steht im unmittelbaren Zusammenhang mit dem höheren Knochenabbau an SLP Implantaten verglichen mit SLP+ Implantaten. Der mittlere periimplantäre Knochenabbau betrug $0,7 \pm 1,2$ mm und $1,0 \pm 1,8$ mm. Interessanterweise betrug der Knochenabbau an RL Implantaten mit identischer Implantathalsstruktur wie SLP Implantaten, bei wurzelförmiger statt leicht konischer Makrogeometrie $0,4 \pm 1,0$ mm. Somit ist ein alleiniger Einfluss der Mikrostruktur des Implantathalses unwahrscheinlich und ein Zusammenspiel mit der gewindetragenden Makrogeometrie wahrscheinlich.

Die Korrelation verschiedener Parameter (z.B. Geschlecht, Alter, Lokalisation) mit dem Überleben sowie dem Knochenabbau wurde in der Studie zwischen den einzelnen Implantaten und unter Berücksichtigung des Patientenclusters geprüft. Unter Berücksichtigung der Interkorrelation der Implantate in einem Patienten ergaben sich signifikante Unterschiede im Implantatüberleben zwischen dem Rauchverhalten und den Implantationszeitpunkten. Für den periimplantären Knochenabbau waren die Gruppenunterschiede für die knochenstoffwechselbeeinflussende Konditionen, die Lokalisation, die Prothetik und die Augmentation signifikant. Untergruppenanalysen ergaben, dass der Knochenabbau an feststehend-versorgten SLP geringer war als an ebenso versorgten SLP+ Implantaten.

Die im Vergleich zur internationalen Literatur erhöhten Implantatverlustraten sind vermutlich durch das Studiendesign und die Eigenschaften des Patientenkollektivs begründet, dass eine mäßige Mundhygiene, eine mittelmäßige Compliance und vermehrt knochenstoffwechselbeeinflussende Konditionen aufwies. Die vorliegende Studie präsentiert die ersten Langzeitergebnisse nach bis zu 17 Jahren zu SLP+ Implantaten und vergleicht als erste den Einfluss dessen verkürzten maschinieren Implantathalsanteils beim Menschen. Es konnte keine signifikante Reduktion des langfristigen periimplantären Knochenabbaus an SLP+ gegenüber SLP Implantaten, wie von Schwarz et al. (22) und Al-Nawas et al. (23) beschrieben, festgestellt werden.

Alle in die Studie eingeschlossenen Implantattypen weisen eine gute Langzeitosseointegration auf. Die Studienergebnisse verdeutlichen die Wichtigkeit der Berücksichtigung der Mikro- und Makrostruktur bei der Insertion dentaler Implantate. Um optimale langzeitstabile klinische Ergebnisse zu erzielen, sollte die Höhe des Knochenabbaus zusätzlich vor dem Hintergrund der prothetischen Versorgung sowie der anatomischen Lokalisation berücksichtigt werden.




| | SLP+ | SLP | RL |
|---------------------------------------|---|--|---|
| Mikro- und Makrogeometrie |  |  |  |
| Überleben | | | |
| inkl. Frühverluste | 88,0 % | 91,3 % | 87,3 % |
| exkl. Frühverluste | 90,4 % | 94,4 % | 89,3 % |
| Mittlerer Knochenabbau ± SD mm | 0,7 ± 1,2 | 1,0 ± 1,8 | 0,4 ± 1,0 |
| Erfolg (klinisch) | | | |
| nach Albrektsson | 88,7 % | 87,0 % | 96,6 % |
| nach Buser | 91,5 % | 96,5 % | 98,3 % |
| Periimplantäre Kondition | | | |
| Periimplantäre Gesundheit | 39,0 % | 45,5 % | 67,8 % |
| Periimplantäre Mukositis | 53,9 % | 43,2 % | 30,5 % |
| Periimplantitis | 7,1 % | 11,2 % | 1,7 % |

Tabelle 25: Zusammenfassung der Ergebnisse nach Implantattyp

| | Überleben p-Wert Log-Rank /Cox-Regression | Knochenabbau p-Wert Mann-Whitney-U /Mixed-Effekt-Modell |
|---|--|--|
| Patientenbezogen | | |
| Geschlecht (m/w) | 0,53 / 0,9 | < 0,001 / 0,12 |
| Alter (15-93 Jahre) | < 0,001 / 0,23 | <0,001 / 0,06 |
| Knochenstoffwechselbeeinflussende Kondition (ja/nein) | 0,76 / 0,5 | <0,001 / 0,004 ** |
| Rauchen (ja/nein) | 0,049 / 0,02 ** | 0,003 / 0,24 |
| Lokalisation (Sextanten) | 0,023 / 0,34 | 0,003 / <0,001 ** |
| Implantatbezogen | | |
| Typ (SLP+/SLP/RL) | 0,09 / 0,12 | 0,02-0,72 / 0,78 |
| Durchmesser (3,3-6 mm) | 0,87 / 0,87 | 0,7 / 0,55 |
| Länge (9-16 mm) | 0,48 / 0,56 | 0,7 / 0,43 |
| Operationsbezogen | | |
| Zeitpunkt (sofor/spät) | 0,046 / 0,03 ** | 0,03 / 0,43 |
| Augmentation (ja/nein) | 0,15 / 0,37 | <0,001 / 0,04 ** |
| KEM (autolog, xenogen, autolog-TCP) | 0,04 / 0,94 | <0,001 / 0,02 ** |
| Prothetik (festsitzend unverblockt bis herausnehmbar verblockt) | ----- | <0,001/<0,001 ** |

Tabelle 26: Zusammenfassung der Signifikanz von Patienten-, Implantat- und Operationseigenschaften

7 Literaturverzeichnis

1. Adell R, Lekholm U, Rockler B, Brånemark P-I. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. *International Journal of Oral Surgery* 1981; 10(6):387–416. doi: 10.1016/s0300-9785(81)80077-4.
2. Azar R, Semyari H, Kharazifard MJ. Oral Health Related Quality of Life of Patients Using Conventional Dentures versus Implant-Supported Overdentures. *Front Dent* 2020; 17(4):1–7. doi: 10.18502/fid.v17i1.3964.
3. Schiegnitz E, Kämmerer PW, Sagheb K, Wendt AJ, Pabst A, Al-Nawas B et al. Impact of maxillary sinus augmentation on oral health-related quality of life. *Int J Implant Dent* 2017; 3(1):10. doi: 10.1186/s40729-017-0072-8.
4. Schiegnitz E, Müller LK, Sagheb K, Theis L, Cagiran V, Kämmerer PW et al. Clinical long-term and patient-reported outcomes of dental implants in oral cancer patients. *Int J Implant Dent* 2021; 7(1):93. doi: 10.1186/s40729-021-00373-4.
5. Turkyilmaz I, Tözüm TF. 30-Year Outcomes of Dental Implants Supporting Mandibular Fixed Dental Prostheses: A Retrospective Review of 4 Cases. *Implant Dent* 2015; 24(5):620–4. doi: 10.1097/ID.0000000000000321.
6. Rasmusson L, Roos J, Bystedt H. A 10-year follow-up study of titanium dioxide-blasted implants. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005; 7(1):36–42. doi: 10.1111/j.1708-8208.2005.tb00045.x.
7. Zafiroopoulos G-G, Abuzayeda M, Al-Asfour AA, Qasim S-S-B, Pelekos G, Murray C-A. Tooth-implant connection with fixed partial dentures in partially edentulous arches. A retrospective cohort study over an 11.8 year observation period. *J Clin Exp Dent* 2021; 13(7):e659-e668. doi: 10.4317/jced.58170.
8. Karoussis IK, Salvi GE, Heitz-Mayfield LJA, Brägger U, Hämmerle CHF, Lang NP. 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. *Clin Oral Implants Res* 2003; 14(3):329–39. doi: 10.1034/j.1600-0501.000.00934.x.
9. Simonis P, Dufour T, Tenenbaum H. Long-term implant survival and success: a 10-16-year follow-up of non-submerged dental implants. *Clin Oral Implants Res* 2010; 21(7):772–7. doi: 10.1111/j.1600-0501.2010.01912.x.
10. Moraschini V, Da Poubel LAC, Ferreira VF, Barboza EdSP. Evaluation of survival and success rates of dental implants reported in longitudinal studies with a follow-up period of at least 10 years: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2015; 44(3):377–88. doi: 10.1016/j.ijom.2014.10.023.
11. Howe M-S, Keys W, Richards D. Long-term (10-year) dental implant survival: A systematic review and sensitivity meta-analysis. *J Dent* 2019; 84:9–21. doi: 10.1016/j.jdent.2019.03.008.
12. Tomasi C, Wennström JL, Berglundh T. Longevity of teeth and implants - a systematic review. *J Oral Rehabil* 2008; 35 Suppl 1:23–32. doi: 10.1111/j.1365-2842.2007.01831.x.
13. Levin L, Halperin-Sternfeld M. Tooth preservation or implant placement: a systematic review of long-term tooth and implant survival rates. *J Am Dent Assoc* 2013; 144(10):1119–33. doi: 10.14219/jada.archive.2013.0030.
14. Mattheos N, Vergoullis I, Janda M, Miseli A. The Implant Supracrestal Complex and Its Significance for Long-Term Successful Clinical Outcomes. *Int J Prosthodont* 2021; 34(1):88–100. doi: 10.11607/ijp.7201.

15. Lin W-S, Eckert SE. Clinical performance of intentionally tilted implants versus axially positioned implants: A systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2018; 29 Suppl 16:78–105. doi: 10.1111/clr.13294.
16. Gomez-Meda R, Esquivel J, Blatz MB. The esthetic biological contour concept for implant restoration emergence profile design. *J Esthet Restor Dent* 2021; 33(1):173–84. doi: 10.1111/jerd.12714.
17. Laleman I, Lambert F. Implant connection and abutment selection as a predisposing and/or precipitating factor for peri-implant diseases: A review. *Clin Implant Dent Relat Res* 2023; 25(4):723–33. doi: 10.1111/cid.13185.
18. Messias A, Nicolau P, Guerra F. Titanium dental implants with different collar design and surface modifications: A systematic review on survival rates and marginal bone levels. *Clin Oral Implants Res* 2019; 30(1):20–48. doi: 10.1111/clr.13389.
19. Alltec Dental GmbH. Unternehmensgeschichte; 2022. Verfügbar unter: <https://alltecdental.at/de-at/unternehmen/unternehmensgeschichte/>.
20. PLANUNG DER CAMLOG® Implantatposition; 2009 [Stand: 20.10.2022]. Verfügbar unter: https://www.camlog.de/flipbooks/de/planung_implantatposition/files/assets/common/downloads/Planung%20der%20CAMLOG%20Implantatposition.pdf.
21. CAMLOG Vertriebs GmbH, Hrsg. Produktkatalog: CAMLOG® Implantatsystem. Wimsheim 2020.
22. Schwarz F, Herten M, Bieling K, Becker J. Crestal bone changes at nonsubmerged implants (Camlog) with different machined collar lengths: a histomorphometric pilot study in dogs. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008; 23(2):335–42.
23. Al-Nawas B, Kämmerer PW, Morbach T, Ophoven F, Wagner W. Retrospective clinical evaluation of an internal tube-in-tube dental implant after 4 years, with special emphasis on peri-implant bone resorption. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011; 26(6):1309–16.
24. CAMLOG Biotechnologies AG, Hrsg. Literature Overview. Basel 2021; M-0404-BRO-EN-GLO-BHCL-00-062021.
25. Steyer E, Theisen K, Hulla H, Ubaidha Maheen C, Sokolowski A, Lorenzoni M. Eleven- to fifteen-year outcome for two-piece implants with an internal tube-in-tube connection: a cross-sectional analysis of 245 implants. *Oral Maxillofac Surg* 2024. doi: 10.1007/s10006-024-01215-4.
26. Krennmair G, Seemann R, Schmidinger S, Ewers R, Piehslinger E. Clinical outcome of root-shaped dental implants of various diameters: 5-year results. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2010; 25(2):357–66.
27. Krennmair G, Krainhöfner M, Piehslinger E. Implant-supported maxillary overdentures retained with milled bars: maxillary anterior versus maxillary posterior concept--a retrospective study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008; 23(2):343–52.
28. Nelson K, Semper W, Hildebrand D, Ozyuvaci H. A retrospective analysis of sand-blasted, acid-etched implants with reduced healing times with an observation period of up to 5 years. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008; 23(4):726–32.
29. Knöpfler W, Barth T, Graul R, Krampe D, Schmenger K. Study on 10,000 implants over 20 years - A retrospective observation influence of implant length, diameter and type on the survival rate. In: *Implantologie*. S. 413–21 [Stand: 02.02.2024].
30. Happe A, Glasser GS von, Neugebauer J, Strick K, Smeets R, Rutkowski R. Clinical performance of zirconia implant abutments luted to a titanium base - a retrospective cross-sectional study. *Int J Comput Dent* 2022; 25(1):37–45.

31. Abrahamsson I, Berglundh T. Effects of different implant surfaces and designs on marginal bone-level alterations: a review. *Clin Oral Implants Res* 2009; 20 Suppl 4:207–15. doi: 10.1111/j.1600-0501.2009.01783.x.
32. Jordana F, Susbielles L, Colat-Parros J. Periimplantitis and Implant Body Roughness: A Systematic Review of Literature. *Implant Dent* 2018; 27(6):672–81. doi: 10.1097/ID.0000000000000834.
33. Peñarrocha-Diago MA, Flichy-Fernández AJ, Alonso-González R, Peñarrocha-Oltra D, Balaguer-Martínez J, Peñarrocha-Diago M. Influence of implant neck design and implant-abutment connection type on peri-implant health. Radiological study. *Clin Oral Implants Res* 2013; 24(11):1192–200. doi: 10.1111/j.1600-0501.2012.02562.x.
34. Montemezzi P, Ferrini F, Pantaleo G, Gherlone E, Capparè P. Dental Implants with Different Neck Design: A Prospective Clinical Comparative Study with 2-Year Follow-Up. *Materials (Basel)* 2020; 13(5). doi: 10.3390/ma13051029.
35. Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie Giessen. Dentale Implantate [Stand: 24.01.2024]. Verfügbar unter: https://www.ukgm.de/ugm_2/deu/ugi_mkg/4192.html.
36. Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Patienteninformation Implantate: Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde; 2008 [Stand: 24.01.2024]. Verfügbar unter: https://www.bzaek.de/fileadmin/PDFs/pati/bzaekdgzmk/5_01_implantate.pdf.
37. Albrektsson T, Wennerberg A. On osseointegration in relation to implant surfaces. *Clin Implant Dent Relat Res* 2019; 21 Suppl 1:4–7. doi: 10.1111/cid.12742.
38. Brånemark PI, Hansson BO, Adell R, Breine U, Lindström J, Hallén O et al. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Scand J Plast Reconstr Surg Suppl* 1977; 16:1–132.
39. Kern M, Wolfart S, Heydecke G, Witkowski S, Türp JC, Strub JR. Curriculum Prothetik. 5., überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Quintessence Publishing; 2022.
40. Das CAMLOG Implantatsystem: Wissenschaft und Praxis; 2008 [Stand: 01.02.2024]. Verfügbar unter: https://www.camlog.de/fileadmin/user_upload/06_Mediocenter/DE/Wissenschaft/PDF/CAMLOG_Wissenschaft_und_Praxis_01092008.pdf.
41. Zahedi B. Was ist ein Zahnimplantat?: Aufbau, Material und Funktion: implantate.com; 2021 [Stand: 15.03.2024]. Verfügbar unter: <https://www.implantate.com/was-ist-ein-zahnimplantat-aufbau-material-und-funktion.html>.
42. SDS SWISS DENTAL SOLUTIONS AG. Keramik-Implantate von SDS: Ein- und zweiteilige Keramik-Implantate aus dem hochleistungswerkstoff Zirkonoxid [Stand: 15.03.2024]. Verfügbar unter: <https://www.swissdentalsolutions.com/keramikimplantate>.
43. Prof. Dr. med. dent. Frank Schwarz. 1,3 Millionen Zahnimplantate pro Jahr [Stand: 24.01.2024]. Verfügbar unter: <https://www.zm-online.de/news/detail/13-millionen-zahnimplantate-pro-jahr>.
44. Alghamdi HS, Jansen JA. The development and future of dental implants. *Dent Mater J* 2020; 39(2):167–72. doi: 10.4012/dmj.2019-140.
45. Elani HW, Starr JR, Da Silva JD, Gallucci GO. Trends in Dental Implant Use in the U.S., 1999-2016, and Projections to 2026. *J Dent Res* 2018; 97(13):1424–30. doi: 10.1177/0022034518792567.
46. Esposito M, Coulthard P, Thomsen P, Worthington HV. Interventions for replacing missing teeth: different types of dental implants. *Cochrane Database Syst Rev* 2005; (1):CD003815. doi: 10.1002/14651858.CD003815.pub2.

47. Heimes D, Becker P, Pabst A, Smeets R, Kraus A, Hartmann A et al. How does dental implant macrogeometry affect primary implant stability? A narrative review. *Int J Implant Dent* 2023; 9(1):20. doi: 10.1186/s40729-023-00485-z.
48. Lesmes D, Laster Z. Innovations in dental implant design for current therapy. *Dent Clin North Am* 2011; 55(4):649–61. doi: 10.1016/j.cden.2011.07.004.
49. Staedt H, Palarie V, Staedt A, Wolf JM, Lehmann KM, Ottl P et al. Primary Stability of Cylindrical and Conical Dental Implants in Relation to Insertion Torque-A Comparative Ex Vivo Evaluation. *Implant Dent* 2017; 26(2):250–5. doi: 10.1097/ID.0000000000000531.
50. Atieh MA, Alsabeeha N, Duncan WJ. Stability of tapered and parallel-walled dental implants: A systematic review and meta-analysis. *Clin Implant Dent Relat Res* 2018; 20(4):634–45. doi: 10.1111/cid.12623.
51. Bozkaya D, Muftu S, Muftu A. Evaluation of load transfer characteristics of five different implants in compact bone at different load levels by finite elements analysis. *J Prosthet Dent* 2004; 92(6):523–30. doi: 10.1016/j.prosdent.2004.07.024.
52. Geckili O, Bilhan H, Geckili E, Cilingir A, Mumcu E, Bural C. Evaluation of possible prognostic factors for the success, survival, and failure of dental implants. *Implant Dent* 2014; 23(1):44–50. doi: 10.1097/ID.0b013e3182a5d430.
53. Dau M, Kämmerer PW. Kurze Implantate vs. Augmentation. *der junge zahnarzt* 2017; 8(2):14–24. doi: 10.1007/s13279-016-5345-8.
54. Hobkirk JA, Wiskott HWA. Biomechanical aspects of oral implants. Consensus report of Working Group 1. *Clin Oral Implants Res* 2006; 17 Suppl 2:52–4. doi: 10.1111/j.1600-0501.2006.01358.x.
55. Schiegnitz E, Hill N, Sagheb K, König J, Sagheb K, Al-Nawas B. Short versus Standard Length Implants with Sinus Floor Elevation for the Atrophic Posterior Maxilla. *Acta Stomatol Croat* 2022; 56(2):143–53. doi: 10.15644/asc56/2/5.
56. Jan H. Koch. Ein biologisch fundiertes Implantatdesign: Die Tissue Level Story: Institut Straumann AG; 2022 [Stand: 25.01.2024]. Verfügbar unter: <https://www.straumann.com/de/de/discover/yooth/article/immediacy/2022/ein-biologisch-fundiertes-implantatdesign-die-tissue-level-story.html>.
57. Donkiewicz P, Kämmerer PW. Implantatoberflächen und klinische Performance: wo ist die Evidenz? *wissen kompakt* 2022; 16(2):69–78. doi: 10.1007/s11838-022-00150-y.
58. Thiem DGE, Stephan D, Kniha K, Kohal RJ, Röhling S, Spies BC et al. German S3 guideline on the use of dental ceramic implants. *Int J Implant Dent* 2022; 8(1):43. doi: 10.1186/s40729-022-00445-z.
59. Pushp P, Dasharath SM, Arati C. Classification and applications of titanium and its alloys. *Materials Today: Proceedings* 2022; 54:537–42. doi: 10.1016/j.matpr.2022.01.008.
60. Müller-Heupt LK, Schiegnitz E, Kaya S, Jacobi-Gresser E, Kämmerer PW, Al-Nawas B. Diagnostic tests for titanium hypersensitivity in implant dentistry: a systematic review of the literature. *Int J Implant Dent* 2022; 8(1):29. doi: 10.1186/s40729-022-00428-0.
61. International Organization for Standardization. Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Areal: - Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters. 2:2021. Genf, Schweiz; 2021. (Bd. 17.040.20) 12.2021.
62. Albrektsson T, Wennerberg A. Oral implant surfaces: Part 1--review focusing on topographic and chemical properties of different surfaces and in vivo responses to them. *Int J Prosthodont* 2004; 17(5):536–43.

63. Sun X-D, Liu T-T, Wang Q-Q, Zhang J, Cao M-S. Surface Modification and Functionalities for Titanium Dental Implants. *ACS Biomater Sci Eng* 2023; 9(8):4442–61. doi: 10.1021/acsbiomaterials.3c00183.
64. Sadati Tilebon SM, Emamian SA, Ramezanzpour H, Yousefi H, Özcan M, Naghib SM et al. Intelligent modeling and optimization of titanium surface etching for dental implant application. *Sci Rep* 2022; 12(1):7184. doi: 10.1038/s41598-022-11254-0.
65. Conserva E, Generali L, Bandieri A, Cavani F, Borghi F, Consolo U. Plaque accumulation on titanium disks with different surface treatments: an in vivo investigation. *Odontology* 2018; 106(2):145–53. doi: 10.1007/s10266-017-0317-2.
66. Wennerberg A, Albrektsson T. Effects of titanium surface topography on bone integration: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2009; 20 Suppl 4:172–84. doi: 10.1111/j.1600-0501.2009.01775.x.
67. Rothamel D, Heinz M, Ferrari D, Eissing A, Holtmann H, Schorn L et al. Impact of machined versus structured implant shoulder designs on crestal bone level changes: a randomized, controlled, multicenter study. *Int J Implant Dent* 2022; 8(1):31. doi: 10.1186/s40729-022-00432-4.
68. Trindade R, Albrektsson T, Tengvall P, Wennerberg A. Foreign Body Reaction to Biomaterials: On Mechanisms for Buildup and Breakdown of Osseointegration. *Clin Implant Dent Relat Res* 2016; 18(1):192–203. doi: 10.1111/cid.12274.
69. Lazzara RJ, Porter SS. Platform switching: a new concept in implant dentistry for controlling postrestorative crestal bone levels. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006; 26(1):9–17.
70. Canullo L, Fedele GR, Iannello G, Jepsen S. Platform switching and marginal bone-level alterations: the results of a randomized-controlled trial. *Clin Oral Implants Res* 2010; 21(1):115–21. doi: 10.1111/j.1600-0501.2009.01867.x.
71. Chrcanovic BR, Albrektsson T, Wennerberg A. Platform switch and dental implants: A meta-analysis. *J Dent* 2015; 43(6):629–46. doi: 10.1016/j.jdent.2014.12.013.
72. DGI D. Ersatz fehlender Zähne mit Verbundbrücken; 2019 [Stand: 26.01.2024]. Verfügbar unter: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/083-031.htm>.
73. Tsigarida A, Chochlidakis K. A Comparison Between Fixed and Removable Mandibular Implant-Supported Full-Arch Prostheses: An Overview of Systematic Reviews. *Int J Prosthodont* 2021; 34:s85-s92. doi: 10.11607/ijp.6911.
74. Kern J-S, Kern T, Wolfart S, Heussen N. A systematic review and meta-analysis of removable and fixed implant-supported prostheses in edentulous jaws: post-loading implant loss. *Clin Oral Implants Res* 2016; 27(2):174–95. doi: 10.1111/clr.12531.
75. Maminskas J, Puisys A, Kuoppala R, Raustia A, Juodzbaly G. The Prosthetic Influence and Biomechanics on Peri-Implant Strain: a Systematic Literature Review of Finite Element Studies. *J Oral Maxillofac Res* 2016; 7(3):e4. doi: 10.5037/jomr.2016.7304.
76. Caetano CR, Mesquita MF, Consani RLX, Correr-Sobrinho L, Dos Santos MBF. Overdenture retaining bar stress distribution: a finite-element analysis. *Acta Odontologica Scandinavica* 2015; 73(4):274–9. doi: 10.3109/00016357.2014.923111.
77. Lemos CAA, Verri FR, Santiago Junior JF, Souza Batista VE de, Kemmoku DT, Noritomi PY et al. Splinted and Nonsplinted Crowns with Different Implant Lengths in the Posterior Maxilla by Three-Dimensional Finite Element Analysis. *J Healthc Eng* 2018; 2018:3163096. doi: 10.1155/2018/3163096.
78. Fu J-H, Hsu Y-T, Wang H-L. Identifying occlusal overload and how to deal with it to avoid marginal bone loss around implants. *Eur J Oral Implantol* 2012; 5 Suppl:S91-103.

79. Shah AH, Patel P, Trivedi A, Shah A, Desai N, Talati M. A comparison of marginal bone loss, survival rate, and prosthetic complications in implant-supported splinted and nonsplinted restorations: A systematic review and meta-analysis. *J Indian Prosthodont Soc* 2022; 22(2):111–21. doi: 10.4103/jips.jips_365_21.
80. Atieh MA, Shah M, Ameen M, Tawse-Smith A, Alsabeeha NHM. Influence of implant restorative emergence angle and contour on peri-implant marginal bone loss: A systematic review and meta-analysis. *Clin Implant Dent Relat Res* 2023; 25(5):840–52. doi: 10.1111/cid.13214.
81. Marx RE. Bone and bone graft healing. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2007; 19(4):455-66, v. doi: 10.1016/j.coms.2007.07.008.
82. Alt W, Gollhofer A, Schwameder H. Mechanik, Belastbarkeit, Struktur und Funktionen biologischer Materialien. In: Güllich A, Krüger M, Hrsg. *Bewegung, Training, Leistung und Gesundheit*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2020. S. 1–21.
83. Elsässer H-P. Binde- und Stützgewebe. In: Elsässer H-P, Hrsg. *Allgemeine Histologie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2021. S. 75–152.
84. Munakata M, Tachikawa N, Honda E, Shiota M, Kasugai S. Influence of menopause on mandibular bone quantity and quality in Japanese women receiving dental implants. *Arch Osteoporos* 2011; 6(1):51–7. doi: 10.1007/s11657-011-0058-8.
85. Slaidina A, Springe B, Abeltins A, Uribe SE, Lejniaks A. The Effect of General Bone Mineral Density on the Quantity and Quality of the Edentulous Mandible: A Cross-Sectional Clinical Study. *Dent J (Basel)* 2023; 11(1). doi: 10.3390/dj11010017.
86. Oliveira MR, Gonçalves A, Gabrielli MAC, Andrade CR de, Vieira EH, Pereira-Filho VA. Evaluation of Alveolar Bone Quality: Correlation Between Histomorphometric Analysis and Lekholm and Zarb Classification. *J Craniofac Surg* 2021; 32(6):2114–8. doi: 10.1097/SCS.00000000000007405.
87. Di Stefano DA, Arosio P, Pagnutti S, Vinci R, Gherlone EF. Distribution of Trabecular Bone Density in the Maxilla and Mandible. *Implant Dent* 2019; 28(4):340–8. doi: 10.1097/ID.0000000000000893.
88. Ayati S, Ghasemi S. Bone Quantity. In: Stevens MR, Ghasemi S, Tabrizi R, Hrsg. *Innovative Perspectives in Oral and Maxillofacial Surgery*. Cham: Springer International Publishing; 2021. S. 25–8.
89. Pandey C, Rokaya D, Bhattarai BP. Contemporary Concepts in Osseointegration of Dental Implants: A Review. *Biomed Res Int* 2022; 2022:6170452. doi: 10.1155/2022/6170452.
90. Nimbalkar S, Dhattrak P, Gherde C, Joshi S. A review article on factors affecting bone loss in dental implants. *Materials Today: Proceedings* 2021; 43:970–6. doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.428.
91. Albrektsson T, Brånemark PI, Hansson HA, Lindström J. Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. *Acta Orthop Scand* 1981; 52(2):155–70. doi: 10.3109/17453678108991776.
92. Brånemark PI. Osseointegration and its experimental background. *J Prosthet Dent* 1983; 50(3):399–410. doi: 10.1016/S0022-3913(83)80101-2.
93. Hao C-P, Cao N-J, Zhu Y-H, Wang W. The osseointegration and stability of dental implants with different surface treatments in animal models: a network meta-analysis. *Sci Rep* 2021; 11(1):13849. doi: 10.1038/s41598-021-93307-4.

94. Monje A, Ravidà A, Wang H-L, Helms JA, Brunski JB. Relationship Between Primary/Mechanical and Secondary/Biological Implant Stability. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2019; 34:s7-s23. doi: 10.11607/jomi.19suppl.g1.
95. Krisam J, Ott L, Schmitz S, Klotz A-L, Seydaliyeva A, Rammelsberg P et al. Factors affecting the early failure of implants placed in a dental practice with a specialization in implantology - a retrospective study. *BMC Oral Health* 2019; 19(1):208. doi: 10.1186/s12903-019-0900-8.
96. Staedt H, Rossa M, Lehmann KM, Al-Nawas B, Kämmerer PW, Heimes D. Potential risk factors for early and late dental implant failure: a retrospective clinical study on 9080 implants. *Int J Implant Dent* 2020; 6(1):81. doi: 10.1186/s40729-020-00276-w.
97. Di Lorenzo M, Torsani A, Tonveronachi P, Baruch S, Caldari C. Risk factors for early implant failure: a retrospective-multicentric study of 2323 implants in screw retained fixed full arch rehabilitation. *J Oral Med Oral Surg* 2023; 29(2):24. doi: 10.1051/mbcb/2023022.
98. Sagnori RS, Da Fonseca VJ, Lima LHF, Goulart DR, Asprino L, Moraes M de et al. Early dental implant failure associated with postoperative infection: A retrospective 21-year study. *Oral Surgery* 2024. doi: 10.1111/ors.12875.
99. Kang D-Y, Kim M, Lee S-J, Cho I-W, Shin H-S, Caballé-Serrano J et al. Early implant failure: a retrospective analysis of contributing factors. *J Periodontal Implant Sci* 2019; 49(5):287–98. doi: 10.5051/jpis.2019.49.5.287.
100. Dutta SR, Passi D, Singh P, Atri M, Mohan S, Sharma A. Risks and complications associated with dental implant failure: Critical update. *Natl J Maxillofac Surg* 2020; 11(1):14–9. doi: 10.4103/njms.NJMS_75_16.
101. Crockett JC, Rogers MJ, Coxon FP, Hocking LJ, Helfrich MH. Bone remodelling at a glance. *J Cell Sci* 2011; 124(Pt 7):991–8. doi: 10.1242/jcs.063032.
102. Donos N, Akcali A, Padhye N, Sculean A, Calciolari E. Bone regeneration in implant dentistry: Which are the factors affecting the clinical outcome? *Periodontol 2000* 2023; 93(1):26–55. doi: 10.1111/prd.12518.
103. Nandiraju D, Ahmed I. Human skeletal physiology and factors affecting its modeling and remodeling. *Fertil Steril* 2019; 112(5):775–81. doi: 10.1016/j.fertnstert.2019.10.005.
104. Insua A, Monje A, Wang H-L, Miron RJ. Basis of bone metabolism around dental implants during osseointegration and peri-implant bone loss. *J Biomed Mater Res A* 2017; 105(7):2075–89. doi: 10.1002/jbm.a.36060.
105. Ramanauskaite A, Rocuzzo A, Schwarz F. A systematic review on the influence of the horizontal distance between two adjacent implants inserted in the anterior maxilla on the inter-implant mucosa fill. *Clin Oral Implants Res* 2018; 29 Suppl 15:62–70. doi: 10.1111/clr.13103.
106. Monje A, Rocuzzo A, Buser D, Wang H-L. Influence of buccal bone wall thickness on the peri-implant hard and soft tissue dimensional changes: A systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2023; 34(3):157–76. doi: 10.1111/clr.14029.
107. LISTGARTEN MA, Lang NP, Schroeder HE, Schroeder A. 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. *Clin Oral Implants Res* 1991; 2(3):1–19. doi: 10.1034/j.1600-0501.1991.020309.x.
108. Jepsen S, Caton JG, Albandar JM, Bissada NF, Bouchard P, Cortellini P et al. 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. *J Clin Periodontol* 2018; 45 Suppl 20:S219-S229. doi: 10.1111/jcpe.12951.
109. Narimatsu I, Atsuta I, Ayukawa Y, Oshiro W, Yasunami N, Furuhashi A et al. Epithelial and Connective Tissue Sealing around Titanium Implants with Various Typical Surface Finishes. *ACS Biomater Sci Eng* 2019; 5(10):4976–84. doi: 10.1021/acsbiomaterials.9b00499.
110. Sanz M, Schwarz F, Herrera D, McClain P, Figuero E, Molina A et al. Importance of keratinized mucosa around dental implants: Consensus report of group 1 of the DGI/SEPA/Osteology Workshop. *Clin Oral Implants Res* 2022; 33 Suppl 23:47–55. doi: 10.1111/clr.13956.
111. Kim J-J, Lee J-H, Kim JC, Lee J-B, Yeo I-SL. Biological Responses to the Transitional Area of Dental Implants: Material- and Structure-Dependent Responses of Peri-Implant Tissue to Abutments. *Materials (Basel)* 2019; 13(1). doi: 10.3390/ma13010072.
112. Wang Y, Zhang Y, Miron RJ. Health, Maintenance, and Recovery of Soft Tissues around Implants. *Clin Implant Dent Relat Res* 2016; 18(3):618–34. doi: 10.1111/cid.12343.
113. Araujo MG, Lindhe J. Peri-implant health. *J Clin Periodontol* 2018; 45 Suppl 20:S230-S236. doi: 10.1111/jcpe.12952.
114. Bosshardt DD, Lang NP. The junctional epithelium: from health to disease. *J Dent Res* 2005; 84(1):9–20. doi: 10.1177/154405910508400102.
115. Kabir L, Stiesch M, Grischke J. The effect of keratinized mucosa on the severity of peri-implant mucositis differs between periodontally healthy subjects and the general population: a cross-sectional study. *Clin Oral Investig* 2021; 25(3):1183–93. doi: 10.1007/s00784-020-03422-1.
116. Schiegnitz E, Noelken R, Moergel M, Berres M, Wagner W. Survival and tissue maintenance of an implant with a sloped configurated shoulder in the posterior mandible—a prospective multicenter study. *Clin Oral Implants Res* 2017; 28(6):721–6. doi: 10.1111/clr.12869.
117. Hämmerle CHF, Tarnow D. The etiology of hard- and soft-tissue deficiencies at dental implants: A narrative review. *J Clin Periodontol* 2018; 45 Suppl 20:S267-S277. doi: 10.1111/jcpe.12955.
118. Slade GD, Spencer AJ. Development and evaluation of the Oral Health Impact Profile. *Community Dent Health* 1994; 11(1):3–11.
119. Bressan E, Guazzo R, Tomasi C, Peña TG, Galindo-Moreno P, Caponio VCA et al. Influence of soft tissue thickness on marginal bone level around dental implants: A systematic review with meta-analysis and trial-sequential analysis. *Clin Oral Implants Res* 2023; 34(5):405–15. doi: 10.1111/clr.14032.
120. Heitz-Mayfield LJA, Salvi GE. Peri-implant mucositis. *J Clin Periodontol* 2018; 45 Suppl 20:S237-S245. doi: 10.1111/jcpe.12953.
121. Cosgarea R, Sculean A. Behandlung von Rezessionen an Zahn und Implantat. *DFZ* 2019; 63(12):68–75. doi: 10.1007/s12614-019-8027-5.
122. Hansson S. The implant neck: smooth or provided with retention elements. A biomechanical approach. *Clin Oral Implants Res* 1999; 10(5):394–405. doi: 10.1034/j.1600-0501.1999.100506.x.
123. Lago L, Da Silva L, Fernández-Formoso N, Rilo B. Systematic assessment of soft tissue level and bone level dental implants. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology* 2023; 35(5):375–82. doi: 10.1016/j.ajoms.2023.02.007.

124. Schiegnitz E. Next Level – moderne Tissue-Level-Implantate. Dentale Implantologie und Parodontologie 07.12.2021 [Stand: 25.01.2024].
125. Esposito M, Ardebili Y, Worthington HV. Interventions for replacing missing teeth: different types of dental implants. *Cochrane Database Syst Rev* 2014; (7):CD003815. doi: 10.1002/14651858.CD003815.pub4.
126. Camarda AJ, Durand R, Benkarim M, Rompré PH, Guertin G, Ciaburro H. Prospective randomized clinical trial evaluating the effects of two different implant collar designs on peri-implant healing and functional osseointegration after 25 years. *Clin Oral Implants Res* 2021; 32(3):285–96. doi: 10.1111/clr.13699.
127. Donati M, Ekestubbe A, Lindhe J, Wennström JL. Marginal bone loss at implants with different surface characteristics - A 20-year follow-up of a randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res* 2018; 29(5):480–7. doi: 10.1111/clr.13145.
128. Jacobs R, Pittayapat P, van Steenberghe D, Mars G de, Gijbels F, van der Donck A et al. A split-mouth comparative study up to 16 years of two screw-shaped titanium implant systems. *J Clin Periodontol* 2010; 37(12):1119–27. doi: 10.1111/j.1600-051X.2010.01626.x.
129. Vandeweghe S, Ferreira D, Vermeersch L, Mariën M, Bruyn H de. Long-term retrospective follow-up of turned and moderately rough implants in the edentulous jaw. *Clin Oral Implants Res* 2016; 27(4):421–6. doi: 10.1111/clr.12602.
130. Ravald N, Dahlgren S, Teiwik A, Gröndahl K. Long-term evaluation of Astra Tech and Brånemark implants in patients treated with full-arch bridges. Results after 12-15 years. *Clin Oral Implants Res* 2013; 24(10):1144–51. doi: 10.1111/j.1600-0501.2012.02524.x.
131. Vroom MG, Sipos P, Lange GL de, Gründemann LJMM, Timmerman MF, Loos BG et al. Effect of surface topography of screw-shaped titanium implants in humans on clinical and radiographic parameters: a 12-year prospective study. *Clin Oral Implants Res* 2009; 20(11):1231–9. doi: 10.1111/j.1600-0501.2009.01768.x.
132. Sánchez-Siles M, Muñoz-Cámara D, Salazar-Sánchez N, Ballester-Ferrandis JF, Camacho-Alonso F. Incidence of peri-implantitis and oral quality of life in patients rehabilitated with implants with different neck designs: A 10-year retrospective study. *J Craniomaxillofac Surg* 2015; 43(10):2168–74. doi: 10.1016/j.jcms.2015.10.010.
133. Glibert M, Matthys C, van Lancker A, Segers A, Bruyn H de. A Long-Term Split-Mouth Randomized Controlled Trial to Assess Implant Treatment Outcome Using Implants with a Different Surface Roughness. *Applied Sciences* 2024; 14(4):1658. doi: 10.3390/app14041658.
134. Mendonça JA, Senna PM, Francischone CE, Francischone Junior CE, Souza Picorelli Assis NM de, Sotto-Maior BS. Retrospective Evaluation of the Influence of the Collar Surface Topography on Peri-implant Bone Preservation. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2017; 32(4):858–63. doi: 10.11607/jomi.4094.
135. Hartog L den, Meijer HJA, Vissink A, Raghoobar GM. Anterior single implants with different neck designs: 5 Year results of a randomized clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res* 2017; 19(4):717–24. doi: 10.1111/cid.12498.
136. Hänggi MP, Hänggi DC, Schoolfield JD, Meyer J, Cochran DL, Hermann JS. Crestal bone changes around titanium implants. Part I: A retrospective radiographic evaluation in humans comparing two non-submerged implant designs with different machined collar lengths. *J Periodontol* 2005; 76(5):791–802. doi: 10.1902/jop.2005.76.5.791.
137. Doornewaard R, Christiaens V, Bruyn H de, Jacobsson M, Cosyn J, Vervaeke S et al. Long-Term Effect of Surface Roughness and Patients' Factors on Crestal Bone Loss at

- Dental Implants. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clin Implant Dent Relat Res* 2017; 19(2):372–99. doi: 10.1111/cid.12457.
138. Koodaryan R, Hafezeqoran A. Evaluation of Implant Collar Surfaces for Marginal Bone Loss: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biomed Res Int* 2016; 2016:4987526. doi: 10.1155/2016/4987526.
139. Hartman GA, Cochran DL. Initial implant position determines the magnitude of crestal bone remodeling. *J Periodontol* 2004; 75(4):572–7. doi: 10.1902/jop.2004.75.4.572.
140. Albrektsson T, Chrcanovic B, Östman P-O, Sennerby L. Initial and long-term crestal bone responses to modern dental implants. *Periodontol 2000* 2017; 73(1):41–50. doi: 10.1111/prd.12176.
141. Schwarz F, Hegewald A, Becker J. Impact of implant-abutment connection and positioning of the machined collar/microgap on crestal bone level changes: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2014; 25(4):417–25. doi: 10.1111/clr.12215.
142. DGI D. Implantationszeitpunkte; 2022 [Stand: 30.01.2024]. Verfügbar unter: <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/083-040.html>.
143. Buser D, Chappuis V, Belser UC, Chen S. Implant placement post extraction in esthetic single tooth sites: when immediate, when early, when late? *Periodontol 2000* 2017; 73(1):84–102. doi: 10.1111/prd.12170.
144. Tonetti MS, Jung RE, Avila-Ortiz G, Blanco J, Cosyn J, Fickl S et al. Management of the extraction socket and timing of implant placement: Consensus report and clinical recommendations of group 3 of the XV European Workshop in Periodontology. *J Clin Periodontol* 2019; 46 Suppl 21:183–94. doi: 10.1111/jcpe.13131.
145. Mello CC, Lemos CAA, Verri FR, Dos Santos DM, Goiato MC, Pellizzer EP. Immediate implant placement into fresh extraction sockets versus delayed implants into healed sockets: A systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2017; 46(9):1162–77. doi: 10.1016/j.ijom.2017.03.016.
146. DGI D. Periimplantäre Weichgewebsaugmentation; 2021 [Stand: 30.01.2024]. Verfügbar unter: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/083-033.html>.
147. Valles C, Vilarrasa J, Barallat L, Pascual A, Nart J. Efficacy of soft tissue augmentation procedures on tissue thickening around dental implants: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2022; 33 Suppl 23:72–99. doi: 10.1111/clr.13920.
148. Raghoobar GM, Onclin P, Boven GC, Vissink A, Meijer HJA. Long-term effectiveness of maxillary sinus floor augmentation: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol* 2019; 46 Suppl 21:307–18. doi: 10.1111/jcpe.13055.
149. Thoma DS, Bienz SP, Figuero E, Jung RE, Sanz-Martín I. Efficacy of lateral bone augmentation performed simultaneously with dental implant placement: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol* 2019; 46 Suppl 21:257–76. doi: 10.1111/jcpe.13050.
150. Nickenig H-J, Riekert M, Zirk M, Lentzen M-P, Zöller JE, Kreppel M. 3D-based buccal augmentation for ideal prosthetic implant alignment-an optimized method and report on 7 cases with pronounced buccal concavities. *Clin Oral Investig* 2022; 26(5):3999–4010. doi: 10.1007/s00784-022-04369-1.
151. Terheyden H. Knochenaugmentation in der Implantologie. 6/2010. *Deutsche Zahnärztliche Zeitung*; 2010. (320-330).
152. Nørgaard Petersen F, Jensen SS, Dahl M. Implant treatment after traumatic tooth loss: A systematic review. *Dent Traumatol* 2022; 38(2):105–16. doi: 10.1111/edt.12730.

153. Priest G. The treatment dilemma of missing maxillary lateral incisors-Part II: Implant restoration. *J Esthet Restor Dent* 2019; 31(4):319–26. doi: 10.1111/jerd.12483.
154. Al-Nawas B, Aghaloo T, Aparicio C, Bedrossian E, Brecht L, Brennand-Roper M et al. ITI consensus report on zygomatic implants: indications, evaluation of surgical techniques and long-term treatment outcomes. *Int J Implant Dent* 2023; 9(1):28. doi: 10.1186/s40729-023-00489-9.
155. Araújo MG, Hürzeler MB, Dias DR, Matarazzo F. Minimal invasiveness in the alveolar ridge preservation, with or without concomitant implant placement. *Periodontol 2000* 2023; 91(1):65–88. doi: 10.1111/prd.12441.
156. Schiegnitz E, Kämmerer PW, Hellwich P, König J, Sagheb K, Al-Nawas B. Treatment concepts of horizontally deficient ridges-A retrospective study comparing narrow-diameter implants in pristine bone with standard-diameter implants in augmented bone. *Clin Oral Implants Res* 2021; 32(10):1159–67. doi: 10.1111/clr.13807.
157. Sanz-Sánchez I, Sanz-Martín I, Ortiz-Vigón A, Molina A, Sanz M. Complications in bone-grafting procedures: Classification and management. *Periodontol 2000* 2022; 88(1):86–102. doi: 10.1111/prd.12413.
158. Yu S-H, Saleh MHA, Wang H-L. Simultaneous or staged lateral ridge augmentation: A clinical guideline on the decision-making process. *Periodontol 2000* 2023; 93(1):107–28. doi: 10.1111/prd.12512.
159. DGI D. Knochenersatzmaterialien zur Verwendung bei Kieferkammdefiziten und -defekten; 2020 [Stand: 30.01.2024]. Verfügbar unter: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/083-009.html>.
160. Ye M, Liu W, Cheng S, Yan L. Outcomes of implants placed after osteotome sinus floor elevation without bone grafts: a systematic review and meta-analysis of single-arm studies. *Int J Implant Dent* 2021; 7(1):72. doi: 10.1186/s40729-021-00358-3.
161. Goldberg VM. Bone grafts and their substitutes: facts, fiction, and futures. *Orthopedics* 2001; 24(9):875–6. doi: 10.3928/0147-7447-20010901-22.
162. Fernandez de Grado G, Keller L, Idoux-Gillet Y, Wagner Q, Musset A-M, Benkirane-Jessel N et al. Bone substitutes: a review of their characteristics, clinical use, and perspectives for large bone defects management. *J Tissue Eng* 2018; 9:2041731418776819. doi: 10.1177/2041731418776819.
163. Troeltzsch M, Troeltzsch M, Kauffmann P, Gruber R, Brockmeyer P, Moser N et al. Clinical efficacy of grafting materials in alveolar ridge augmentation: A systematic review. *J Craniomaxillofac Surg* 2016; 44(10):1618–29. doi: 10.1016/j.jcms.2016.07.028.
164. Sakkas A, Schramm A, Winter K, Wilde F. Risk factors for post-operative complications after procedures for autologous bone augmentation from different donor sites. *J Craniomaxillofac Surg* 2018; 46(2):312–22. doi: 10.1016/j.jcms.2017.11.016.
165. Miron RJ, Gruber R, Hedbom E, Saulacic N, Zhang Y, Sculean A et al. Impact of bone harvesting techniques on cell viability and the release of growth factors of autografts. *Clin Implant Dent Relat Res* 2013; 15(4):481–9. doi: 10.1111/j.1708-8208.2012.00440.x.
166. Kloss FR, Offermanns V, Kloss-Brandstätter A. Comparison of allogeneic and autogenous bone grafts for augmentation of alveolar ridge defects-A 12-month retrospective radiographic evaluation. *Clin Oral Implants Res* 2018; 29(11):1163–75. doi: 10.1111/clr.13380.
167. Wildemann B, Kadow-Romacker A, Pruss A, Haas NP, Schmidmaier G. Quantification of growth factors in allogenic bone grafts extracted with three different methods. *Cell Tissue Bank* 2007; 8(2):107–14. doi: 10.1007/s10561-006-9021-0.

168. Sanz M, Vignoletti F. Key aspects on the use of bone substitutes for bone regeneration of edentulous ridges. *Dent Mater* 2015; 31(6):640–7. doi: 10.1016/j.dental.2015.03.005.
169. Fukuba S, Okada M, Nohara K, Iwata T. Alloplastic Bone Substitutes for Periodontal and Bone Regeneration in Dentistry: Current Status and Prospects. *Materials (Basel)* 2021; 14(5). doi: 10.3390/ma14051096.
170. Danesh-Sani SA, Engebretson SP, Janal MN. Histomorphometric results of different grafting materials and effect of healing time on bone maturation after sinus floor augmentation: a systematic review and meta-analysis. *J Periodontol Res* 2017; 52(3):301–12. doi: 10.1111/jre.12402.
171. Burchardt H. The biology of bone graft repair. *Clin Orthop Relat Res* 1983; (174):28–42.
172. Cucchi A, Maiani F, Franceschi D, Sassano M, Fiorino A, Urban IA et al. The influence of vertical ridge augmentation techniques on peri-implant bone loss: A systematic review and meta-analysis. *Clin Implant Dent Relat Res* 2023. doi: 10.1111/cid.13282.
173. Jensen SS, Aghaloo T, Jung RE, Bertl K, Buser D, Chappuis V et al. Group 1 ITI Consensus Report: The role of bone dimensions and soft tissue augmentation procedures on the stability of clinical, radiographic, and patient-reported outcomes of implant treatment. *Clin Oral Implants Res* 2023; 34 Suppl 26:43–9. doi: 10.1111/clr.14154.
174. Terheyden H. Lokale Risikofaktoren für Implantatverluste. *MKG-Chirurg* 2016; 9(2):116–23. doi: 10.1007/s12285-016-0048-3.
175. Onclin P, Slot W, Vissink A, Raghoobar GM, Meijer HJA. Incidence of peri-implant mucositis and peri-implantitis in patients with a maxillary overdenture: A sub-analysis of two prospective studies with a 10-year follow-up period. *Clin Implant Dent Relat Res* 2022; 24(2):188–95. doi: 10.1111/cid.13071.
176. Buser D, Janner SFM, Wittneben J-G, Brägger U, Ramseier CA, Salvi GE. 10-year survival and success rates of 511 titanium implants with a sandblasted and acid-etched surface: a retrospective study in 303 partially edentulous patients. *Clin Implant Dent Relat Res* 2012; 14(6):839–51. doi: 10.1111/j.1708-8208.2012.00456.x.
177. Vrielinck L, Blok J, Politis C. Survival of conventional dental implants in the edentulous atrophic maxilla in combination with zygomatic implants: a 20-year retrospective study. *Int J Implant Dent* 2022; 8(1):27. doi: 10.1186/s40729-022-00425-3.
178. Horikawa T, Odatsu T, Itoh T, Soejima Y, Morinaga H, Abe N et al. Retrospective cohort study of rough-surface titanium implants with at least 25 years' function. *Int J Implant Dent* 2017; 3(1):42. doi: 10.1186/s40729-017-0101-7.
179. Chrcanovic BR, Kisch J, Albrektsson T, Wennerberg A. A retrospective study on clinical and radiological outcomes of oral implants in patients followed up for a minimum of 20 years. *Clin Implant Dent Relat Res* 2018; 20(2):199–207. doi: 10.1111/cid.12571.
180. Chappuis V, Buser R, Brägger U, Bornstein MM, Salvi GE, Buser D. Long-term outcomes of dental implants with a titanium plasma-sprayed surface: a 20-year prospective case series study in partially edentulous patients. *Clin Implant Dent Relat Res* 2013; 15(6):780–90. doi: 10.1111/cid.12056.
181. Rocuzzo A, Imber J-C, Marruganti C, Salvi GE, Ramieri G, Rocuzzo M. Clinical outcomes of dental implants in patients with and without history of periodontitis: A 20-year prospective study. *J Clin Periodontol* 2022; 49(12):1346–56. doi: 10.1111/jcpe.13716.
182. Deporter D, Pharoah M, Yeh S, Todescan R, Atenafu EG. Performance of titanium alloy sintered porous-surfaced (SPS) implants supporting mandibular overdentures

- during a 20-year prospective study. *Clin Oral Implants Res* 2014; 25(2):e189-95. doi: 10.1111/clr.12043.
183. Anitua E, Alkhraisat MH. 15-year follow-up of short dental implants placed in the partially edentulous patient: Mandible Vs maxilla. *Ann Anat* 2019; 222:88–93. doi: 10.1016/j.aanat.2018.11.003.
184. Becker ST, Beck-Broichsitter BE, Rossmann CM, Behrens E, Jochens A, Wiltfang J. Long-term Survival of Straumann Dental Implants with TPS Surfaces: A Retrospective Study with a Follow-up of 12 to 23 Years. *Clin Implant Dent Relat Res* 2016; 18(3):480–8. doi: 10.1111/cid.12334.
185. Araújo Nobre M de, Salgado F, Correia JA, Teixeira MCF, Coutinho FA. Long-Term Outcome of Dental Implants in Immediate Function Inserted on Autogenous Grafted Bone. *J Clin Med* 2022; 12(1). doi: 10.3390/jcm12010261.
186. Park W-B, Han J-Y, Kang K-L. Long-Term Comparison of Survival and Marginal Bone of Implants with and without Sinus Augmentation in Maxillary Molars within the Same Patients: A 5.8- to 22-Year Retrospective Study. *J Clin Med* 2021; 10(7). doi: 10.3390/jcm10071360.
187. Lops D, Bressan E, Pisoni G, Cea N, Corazza B, Romeo E. Short implants in partially edentulous maxillae and mandibles: a 10 to 20 years retrospective evaluation. *Int J Dent* 2012; 2012:351793. doi: 10.1155/2012/351793.
188. Ryoo K-S, Kim P-J, Kim S, Cho Y-D, Ku Y. A retrospective study of the long-term survival of RESTORE® dental implants with resorbable blast media surface. *J Periodontal Implant Sci* 2023; 53(6):444–52. doi: 10.5051/jpis.2203340167.
189. Jemt T. A retro-prospective effectiveness study on 3448 implant operations at one referral clinic: A multifactorial analysis. Part I: Clinical factors associated to early implant failures. *Clin Implant Dent Relat Res* 2017; 19(6):980–8. doi: 10.1111/cid.12539.
190. Tomasi C, Derks J. Etiology, occurrence, and consequences of implant loss. *Periodontol 2000* 2022; 88(1):13–35. doi: 10.1111/prd.12408.
191. DGI D. Periimplantäre Infektionen an Zahnimplantaten, Behandlung. Langfassung, Version 2.0, AWMF-Registriernummer: 083-023; 2022 2022. Verfügbar unter: <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/083-023> [Stand: 19.01.2024].
192. Schwarz F, Derks J, Monje A, Wang H-L. Peri-implantitis. *J Clin Periodontol* 2018; 45 Suppl 20:S246-S266. doi: 10.1111/jcpe.12954.
193. Papaspyridakos P, Chen C-J, Singh M, Weber H-P, Gallucci GO. Success criteria in implant dentistry: a systematic review. *J Dent Res* 2012; 91(3):242–8. doi: 10.1177/0022034511431252.
194. Buser D, Weber HP, Lang NP. Tissue integration of non-submerged implants. 1-year results of a prospective study with 100 ITI hollow-cylinder and hollow-screw implants. *Clin Oral Implants Res* 1990; 1(1):33–40. doi: 10.1034/j.1600-0501.1990.010105.x.
195. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1986; 1(1):11–25.
196. Berglundh T, Armitage G, Araújo MG, Avila-Ortiz G, Blanco J, Camargo PM et al. Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *J Clin Periodontol* 2018; 45 Suppl 20:S286-S291. doi: 10.1111/jcpe.12957.

197. CAMLOG Biotechnologies GmbH. Company history: Good ideas win the day: CAMLOG Biotechnologies GmbH [Stand: 23.10.2022]. Verfügbar unter: <https://www.camlog.com/en/company/history/>.
198. Staedt H, Heimes D, Lehmann KM, Ottl P, Bjelopavlovic M, Wagner W et al. Does the Modification of the Apical Geometry of a Dental Implant Affect Its Primary Stability? A Comparative Ex Vivo Study. *Materials (Basel)* 2021; 14(7). doi: 10.3390/ma14071728.
199. CAMLOG Biotechnologies GmbH. The Promote surface: a state of the art Titanium surface for implant dentistry; 2021 [Stand: 01.02.2023]. Verfügbar unter: https://www.biohorizonscamlog.com/fileadmin/user_upload/06_Mediacenter/EN/Science/PDF/Science/Whitepaper_Reintitan_Promote_M-0173-WPR-EN-GLO-BHCL-00-012021.pdf.
200. Jemat A, Ghazali MJ, Razali M, Otsuka Y. Surface Modifications and Their Effects on Titanium Dental Implants. *Biomed Res Int* 2015; 2015:791725. doi: 10.1155/2015/791725.
201. CAMLOG Biotechnologies GmbH. Camlog Screw-Line Implantat Basisinformationen: Chirurgisches Vorgehen; 2020 [Stand: 01.02.2024]. Verfügbar unter: <https://www.camlog.de/flipbooks/de/camlog-screw-line-chirurgisches-vorgehen/>.
202. Manuel Gappitz. Klinische Langzeitergebnisse von CAMLOG®-ROOT-LINE-Implantaten anhand einer retrospektiven Studie [Diplomarbeit]. Graz: Medizinische Universität Graz; 2019.
203. Krennmair G, Seemann R, Weinländer M, Piehslinger E. Comparison of ball and telescopic crown attachments in implant-retained mandibular overdentures: a 5-year prospective study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011; 26(3):598–606.
204. Zafiroopoulos G-GK, Deli G, Bartee BK, Hoffmann O. Single-tooth implant placement and loading in fresh and regenerated extraction sockets. Five-year results: a case series using two different implant designs. *J Periodontol* 2010; 81(4):604–15. doi: 10.1902/jop.2009.090316.
205. Ozkan Y, Akoğlu B, Kulak-Ozkan Y. Five-year treatment outcomes with four types of implants in the posterior maxilla and mandible in partially edentulous patients: a retrospective study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011; 26(3):639–47.
206. Siebers D, Gehrke P, Schliephake H. Delayed function of dental implants: a 1- to 7-year follow-up study of 222 implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2010; 25(6):1195–202.
207. Franchini I, Capelli M, Fumagalli L, Parenti A, Testori T. Multicenter retrospective analysis of 201 consecutively placed camlog dental implants. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2011; 31(3):255–63.
208. Pieralli S, Spies BC, Schweppe F, Preissner S, Nelson K, Heiland M et al. Retrospective long-term clinical evaluation of implant-prosthetic rehabilitations after head and neck cancer therapy. *Clin Oral Implants Res* 2021; 32(4):470–86. doi: 10.1111/clr.13716.
209. Graf T, Kraus V, Schubert O, Erdelt K, Edelhof D, Stimmelmayer M. Up to 10-Year Incidence of Complications in Fixed vs Removable Implant-Supported Restorations for Edentulous Arches. *Int J Prosthodont* 2022; 35(3):269–77. doi: 10.11607/ijp.7650.
210. Krennmair S, Malek M, Forstner T, Krennmair G, Stimmelmayer M, Hunger S. Immediately loaded implants simultaneously placed in fresh extraction and healed sites supporting four-implant-supported fixed mandibular prostheses using the all-on-4 concept: A 5-year prospective study. *Clin Oral Implants Res* 2022; 33(2):158–71. doi: 10.1111/clr.13879.

211. Beschmidt SM, Cacaci C, Dedeoglu K, Hildebrand D, Hulla H, Iglhaut G et al. Implant success and survival rates in daily dental practice: 5-year results of a non-interventional study using CAMLOG SCREW-LINE implants with or without platform-switching abutments. *Int J Implant Dent* 2018; 4(1):33. doi: 10.1186/s40729-018-0145-3.
212. Schiegnitz E, Al-Nawas B. Narrow-diameter implants: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2018; 29 Suppl 16:21–40. doi: 10.1111/clr.13272.
213. Jung RE, Al-Nawas B, Araujo M, Avila-Ortiz G, Barter S, Brodala N et al. Group 1 ITI Consensus Report: The influence of implant length and design and medications on clinical and patient-reported outcomes. *Clin Oral Implants Res* 2018; 29 Suppl 16:69–77. doi: 10.1111/clr.13342.
214. Mombelli A, van Oosten MA, Schurch E, Land NP. The microbiota associated with successful or failing osseointegrated titanium implants. *Oral Microbiol Immunol* 1987; 2(4):145–51. doi: 10.1111/j.1399-302X.1987.tb00298.x.
215. Løe H, Silness J. Periodontal Disease in Pregnancy I. Prevalence and Severity. *Acta Odontologica Scandinavica* 1963; 21(6):533–51. doi: 10.3109/00016356309011240.
216. Kissov HK, Todorova BP, Popova EV. Correlation between overcontouring of fixed prosthetic constructions and accumulation of dental plaque. *Folia Med (Plovdiv)* 2001; 43(1-2):80–3.
217. Burkhart PV, Sabaté E. Adherence to long-term therapies: evidence for action. *J Nurs Scholarsh* 2003; 35(3):207.
218. Lang NP, Adler R, Joss A, Nyman S. Absence of bleeding on probing. An indicator of periodontal stability. *J Clin Periodontol* 1990; 17(10):714–21. doi: 10.1111/j.1600-051x.1990.tb01059.x.
219. Monje A, Vera M, Muñoz-Sanz A, Wang H-L, Nart J. Suppuration as diagnostic criterium of peri-implantitis. *J Periodontol* 2021; 92(2):216–24. doi: 10.1002/JPER.20-0159.
220. Ramanauskaitė A, Becker K, Schwarz F. Clinical characteristics of peri-implant mucositis and peri-implantitis. *Clin Oral Implants Res* 2018; 29(6):551–6. doi: 10.1111/clr.13152.
221. Lang NP, Hill RW. Radiographs in periodontics. *J Clin Periodontol* 1977; 4(1):16–28. doi: 10.1111/j.1600-051X.1977.tb01879.x.
222. García-García M, Mir-Mari J, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E. Probing single-tooth dental implants with and without prostheses: a cross-sectional study comparing healthy and peri-implant mucositis sites. *J Clin Periodontol* 2021; 48(4):581–9. doi: 10.1111/jcpe.13436.
223. Nisapakultorn K, Suphanantachat S, Silkosessak O, Rattanamongkolgul S. Factors affecting soft tissue level around anterior maxillary single-tooth implants. *Clin Oral Implants Res* 2010; 21(6):662–70. doi: 10.1111/j.1600-0501.2009.01887.x.
224. Romandini M, Pedrinaci I, Lima C, Soldini MC, Araoz A, Sanz M. Prevalence and risk/protective indicators of buccal soft tissue dehiscence around dental implants. *J Clin Periodontol* 2021; 48(3):455–63. doi: 10.1111/jcpe.13417.
225. van der Velden U. On the reliability of clinical attachment level measurements. *J Clin Periodontol* 2022; 49(11):1229–31. doi: 10.1111/jcpe.13702.
226. Swami V, Vijayaraghavan V, Swami V. Current trends to measure implant stability. *J Indian Prosthodont Soc* 2016; 16(2):124–30. doi: 10.4103/0972-4052.176539.
227. Peñarrocha-Diago M, Boronat-Lopez A, García-Mira B. Inflammatory implant periapical lesion: etiology, diagnosis, and treatment--presentation of 7 cases. *J Oral Maxillofac Surg* 2009; 67(1):168–73. doi: 10.1016/j.joms.2007.12.022.

228. Anil L, Sharma N, KL V. Implant mobility: Revisited. *J Clin Images Med Case Rep* 2021; 2(6). doi: 10.52768/2766-7820/1408.
229. Rammelsberg P, Lorenzo-Bermejo J, Kappel S. Effect of prosthetic restoration on implant survival and success. *Clin Oral Implants Res* 2017; 28(10):1296–302. doi: 10.1111/clr.12974.
230. Kesar N, Weigl P, Nentwig G-H, Krebs M. Prevalence and risk of peri-implant diseases based on the type of prosthetic restoration: A retrospective study after 17 to 23 years. *J Prosthet Dent* 2023; 130(5):690–7. doi: 10.1016/j.prosdent.2021.11.030.
231. Wagenberg B, Froum SJ. Long-Term Bone Stability around 312 Rough-Surfaced Immediately Placed Implants with 2-12-Year Follow-Up. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015; 17(4):658–66. doi: 10.1111/cid.12262.
232. Garaicoa-Pazmiño C, Del Suárez-López Amo F, Monje A, Catena A, Ortega-Oller I, Galindo-Moreno P et al. Influence of crown/implant ratio on marginal bone loss: a systematic review. *J Periodontol* 2014; 85(9):1214–21. doi: 10.1902/jop.2014.130615.
233. Cassetta M, Di Giorgio R, Barbato E. Are intraoral radiographs reliable in determining peri-implant marginal bone level changes? The correlation between open surgical measurements and peri-apical radiographs. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2018; 47(10):1358–64. doi: 10.1016/j.ijom.2018.05.018.
234. Schiegnitz E, Al-Nawas B, Tegner A, Sagheb K, Berres M, Kämmerer PW et al. Clinical and Radiological Long-Term Outcome of a Tapered Implant System with Special Emphasis on the Influence of Augmentation Procedures. *Clin Implant Dent Relat Res* 2016; 18(4):810–20. doi: 10.1111/cid.12338.
235. Institut der Deutschen Zahnärzte. OHIP-G 14: Fragebogen zur mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität: Institut der Deutschen Zahnärzte; 2005 [Stand: 21.01.2024]. Verfügbar unter: https://www.idz.institute/fileadmin/Content/Publikationen-PDF/IDZ-2005-Fragebogen_OHIP-G-14.pdf.
236. John MT, Patrick DL, Slade GD. The German version of the Oral Health Impact Profile--translation and psychometric properties. *Eur J Oral Sci* 2002; 110(6):425–33. doi: 10.1034/j.1600-0722.2002.21363.x.
237. Klineberg I, Murray G. Osseoperception: sensory function and proprioception. *Adv Dent Res* 1999; 13:120–9. doi: 10.1177/08959374990130010101.
238. Meyer G, Fanghänel J, Proff P. Morphofunctional aspects of dental implants. *Ann Anat* 2012; 194(2):190–4. doi: 10.1016/j.aanat.2011.09.006.
239. Song D, Shujaat S, Politis C, Orhan K, Jacobs R. Osseoperception following dental implant treatment: A systematic review. *J Oral Rehabil* 2022; 49(5):573–85. doi: 10.1111/joor.13296.
240. Mishra SK, Chowdhary R, Chrcanovic BR, Brånemark P-I. Osseoperception in Dental Implants: A Systematic Review. *J Prosthodont* 2016; 25(3):185–95. doi: 10.1111/jopr.12310.
241. Johannsen A, Westergren A, Johannsen G. Dental implants from the patients perspective: transition from tooth loss, through amputation to implants - negative and positive trajectories. *J Clin Periodontol* 2012; 39(7):681–7. doi: 10.1111/j.1600-051X.2012.01893.x.
242. Schwarz F, Messias A, Sanz-Sánchez I, Carrillo de Albornoz A, Nicolau P, Taylor T et al. Influence of implant neck and abutment characteristics on peri-implant tissue health and stability. Oral reconstruction foundation consensus report. *Clin Oral Implants Res* 2019; 30(6):588–93. doi: 10.1111/clr.13439.

243. Wei C. Basiswissen medizinische statistik. [Place of publication not identified]: Springer; 2013.
244. Fahrmeir L, Kneib T, Lang S. Regression. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2009.
245. McNeish D, Kelley K. Fixed effects models versus mixed effects models for clustered data: Reviewing the approaches, disentangling the differences, and making recommendations. *Psychol Methods* 2019; 24(1):20–35. doi: 10.1037/met0000182.
246. Yu H, Qiu L. Analysis of fractured dental implant body from five different implant systems: a long-term retrospective study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2022; 51(10):1355–61. doi: 10.1016/j.ijom.2022.04.010.
247. Chrcanovic BR, Albrektsson T, Wennerberg A. Dental implants inserted in male versus female patients: a systematic review and meta-analysis. *J Oral Rehabil* 2015; 42(9):709–22. doi: 10.1111/joor.12308.
248. Jemt T, Nilsson M, Olsson M, Stenport VF. Associations Between Early Implant Failure, Patient Age, and Patient Mortality: A 15-Year Follow-Up Study on 2,566 Patients Treated with Implant-Supported Protheses in the Edentulous Jaw. *Int J Prosthodont* 2017; 30(2):189–97. doi: 10.11607/ijp.4933.
249. Fretwurst T, Nelson K. Influence of Medical and Geriatric Factors on Implant Success: An Overview of Systematic Reviews. *Int J Prosthodont* 2021; 34:s21-s26. doi: 10.11607/ijp.7000.
250. Sendyk DI, Rovai ES, Pannuti CM, Deboni MCZ, Sendyk WR, Wennerberg A. Dental implant loss in older versus younger patients: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *J Oral Rehabil* 2017; 44(3):229–36. doi: 10.1111/joor.12465.
251. Rocuzzo M, Bonino L, Dalmasso P, Aglietta M. Long-term results of a three arms prospective cohort study on implants in periodontally compromised patients: 10-year data around sandblasted and acid-etched (SLA) surface. *Clin Oral Implants Res* 2014; 25(10):1105–12. doi: 10.1111/clr.12227.
252. Monje A, Kan JY, Borgnakke W. Impact of local predisposing/precipitating factors and systemic drivers on peri-implant diseases. *Clin Implant Dent Relat Res* 2023; 25(4):640–60. doi: 10.1111/cid.13155.
253. Sun TC, Chen C-J, Gallucci GO. Prevention and management of peri-implant disease. *Clin Implant Dent Relat Res* 2023; 25(4):752–66. doi: 10.1111/cid.13206.
254. Bohner L, Daume L, Sadilina S, Kleinheinz J. Zahnimplantate bei Risikopatienten. *DFZ* 2022; 66(7-8):62–9. doi: 10.1007/s12614-022-0372-0.
255. Moy PK, Medina D, Shetty V, Aghaloo TL. Dental implant failure rates and associated risk factors. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2005; 20(4):569–77.
256. Buser D, Mericske-Stern R, Bernard JP, Behneke A, Behneke N, Hirt HP et al. Long-term evaluation of non-submerged ITI implants. Part 1: 8-year life table analysis of a prospective multi-center study with 2359 implants. *Clin Oral Implants Res* 1997; 8(3):161–72. doi: 10.1034/j.1600-0501.1997.080302.x.
257. Costa FO, Costa AM, Ferreira SD, Lima RPE, Pereira GHM, Cyrino RM et al. Long-term impact of patients' compliance to peri-implant maintenance therapy on the incidence of peri-implant diseases: An 11-year prospective follow-up clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2023; 25(2):303–12. doi: 10.1111/cid.13169.
258. Karlsson U, Gotfredsen K, Olsson C. A 2-year report on maxillary and mandibular fixed partial dentures supported by Astra Tech dental implants. A comparison of 2 im-

- plants with different surface textures. *Clin Oral Implants Res* 1998; 9(4):235–42. doi: 10.1034/j.1600-0501.1998.090404.x.
259. Noelken R, Moergel M, Kunkel M, Wagner W. Immediate and flapless implant insertion and provisionalization using autogenous bone grafts in the esthetic zone: 5-year results. *Clin Oral Implants Res* 2018; 29(3):320–7. doi: 10.1111/clr.13119.
260. Jensen SS, Terheyden H. Bone augmentation procedures in localized defects in the alveolar ridge: clinical results with different bone grafts and bone-substitute materials. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; 24 Suppl:218–36.
261. Al-Nawas B, Schiegnitz E. Augmentation procedures using bone substitute materials or autogenous bone - a systematic review and meta-analysis. *Eur J Oral Implantol* 2014; 7 Suppl 2:S219-34.
262. Qian S-J, Mo J-J, Si M-S, Qiao S-C, Shi J-Y, Lai H-C. Long-term outcomes of osteotome sinus floor elevation with or without bone grafting: The 10-year results of a randomized controlled trial. *J Clin Periodontol* 2020; 47(8):1016–25. doi: 10.1111/jcpe.13260.
263. Hasturk H, Cugini M. Examiner standardization and calibration for oral and periodontal regenerative studies. *Osteology Guidelines for Oral and Maxillofacial Regeneration: Clinical Research*. Batavia: Quintessence Publishing Co Inc 2014:97–120.
264. Farina R, Tomasi C, Trombelli L. The bleeding site: a multi-level analysis of associated factors. *J Clin Periodontol* 2013; 40(8):735–42. doi: 10.1111/jcpe.12118.
265. Peruzzo DC, Gimenes JH, Taiete T, Casarin RCV, Feres M, Sallum EA et al. Impact of smoking on experimental gingivitis. A clinical, microbiological and immunological prospective study. *J Periodontol* 2016; 87(6):800–11. doi: 10.1111/jre.12363.
266. Albrektsson T, Buser D, Sennerby L. Crestal bone loss and oral implants. *Clin Implant Dent Relat Res* 2012; 14(6):783–91. doi: 10.1111/cid.12013.
267. Moberg LE, Köndell PA, Sagulin GB, Bolin A, Heimdahl A, Gynther GW. Brånemark System and ITI Dental Implant System for treatment of mandibular edentulism. A comparative randomized study: 3-year follow-up. *Clin Oral Implants Res* 2001; 12(5):450–61. doi: 10.1034/j.1600-0501.2001.120504.x.
268. Vouros ID, Kalpidis CDR, Horvath A, Petrie A, Donos N. Systematic assessment of clinical outcomes in bone-level and tissue-level endosseous dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012; 27(6):1359–74.
269. Khalaila W, Nasser M, Ormianer Z. Evaluation of the relationship between Periotest values, marginal bone loss, and stability of single dental implants: A 3-year prospective study. *J Prosthet Dent* 2020; 124(2):183–8. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.08.023.
270. Barrak F, Caga D, Crean S. What every dental practitioner should know about how to examine patients with dental implants. *Br Dent J* 2023; 234(5):309–14. doi: 10.1038/s41415-023-5574-6.
271. Mortazavi H, Khodadoustan A, Kheiri A, Kheiri L. Bone loss-related factors in tissue and bone level dental implants: a systematic review of clinical trials. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 2021; 47(3):153–74. doi: 10.5125/jkaoms.2021.47.3.153.
272. Dudley J. Implants for the ageing population. *Aust Dent J* 2015; 60 Suppl 1:28–43. doi: 10.1111/adj.12282.
273. Boskey AL, Coleman R. Aging and bone. *J Dent Res* 2010; 89(12):1333–48. doi: 10.1177/0022034510377791.
274. Montecino-Rodriguez E, Berent-Maoz B, Dorshkind K. Causes, consequences, and reversal of immune system aging. *J Clin Invest* 2013; 123(3):958–65. doi: 10.1172/JCI64096.


275. Tolstunov L. Implant Zones of the Jaws: Implant Location and Related Success Rate. *Journal of Oral Implantology* 2007; 33(4):211–20. doi: 10.1563/1548-1336(2007)33[211:IZOTJI]2.0.CO;2.
276. Tandlich M, Ekstein J, Reisman P, Shapira L. Removable prostheses may enhance marginal bone loss around dental implants: a long-term retrospective analysis. *J Periodontol* 2007; 78(12):2253–9. doi: 10.1902/jop.2007.070113.
277. Ayele S, Sharo N, Chrcanovic BR. Marginal bone loss around dental implants: comparison between diabetic and non-diabetic patients-a retrospective clinical study. *Clin Oral Investig* 2023; 27(6):2833–41. doi: 10.1007/s00784-023-04872-z.
278. Cordaro L, Terheyden H. *Ridge Augmentation Procedures in Implant Patients: A Staged Approach*: Quintessenz Verlag; 2019.
279. Sayardoust S, Gröndahl K, Johansson E, Thomsen P, Slotte C. Implant survival and marginal bone loss at turned and oxidized implants in periodontitis-susceptible smokers and never-smokers: a retrospective, clinical, radiographic case-control study. *J Periodontol* 2013; 84(12):1775–82. doi: 10.1902/jop.2013.120608.
280. Cosyn J, Lat L de, Seyssens L, Doornewaard R, Deschepper E, Vervaeke S. The effectiveness of immediate implant placement for single tooth replacement compared to delayed implant placement: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol* 2019; 46 Suppl 21:224–41. doi: 10.1111/jcpe.13054.
281. Sanz M, Dahlin C, Apatzidou D, Artzi Z, Bozic D, Calciolari E et al. Biomaterials and regenerative technologies used in bone regeneration in the craniomaxillofacial region: Consensus report of group 2 of the 15th European Workshop on Periodontology on Bone Regeneration. *J Clin Periodontol* 2019; 46 Suppl 21:82–91. doi: 10.1111/jcpe.13123.
282. Schwendicke F, Krois J. Data Dentistry: How Data Are Changing Clinical Care and Research. *J Dent Res* 2022; 101(1):21–9. doi: 10.1177/00220345211020265.
283. Saravi BE, Putz M, Patzelt S, Alkalak A, Uelkuemen S, Boeker M. Marginal bone loss around oral implants supporting fixed versus removable prostheses: a systematic review. *Int J Implant Dent* 2020; 6(1):20. doi: 10.1186/s40729-020-00217-7.
284. Enabulele JE, Omo J. Socio-Demographic Distribution of Patients with Fixed Dental Prosthesis in a Developing Economy. *Periodon Prosthodon* 2018; 04(01). doi: 10.21767/2471-3082.100042.
285. Srimaneepong V, Heboyan A, Zafar MS, Khurshid Z, Marya A, Fernandes GVO et al. Fixed Prosthetic Restorations and Periodontal Health: A Narrative Review. *J Funct Biomater* 2022; 13(1). doi: 10.3390/jfb13010015.
286. Schiegnitz E, Reinicke K, Sagheb K, König J, Al-Nawas B, Grötz KA. Dental implants in patients with head and neck cancer-A systematic review and meta-analysis of the influence of radiotherapy on implant survival. *Clin Oral Implants Res* 2022; 33(10):967–99. doi: 10.1111/clr.13976.
287. Dereci Ö, Mumcu E, Gojayeva G, Dayan Ç. Comparison of Periodontal Health and Marginal Bone Loss in Mandibular First Molar Single-Crown Dental Implants Placed in Different Positions. *J Long Term Eff Med Implants* 2023; 33(4):59–65. doi: 10.1615/JLongTermEffMedImplants.2022044552.
288. Al Amri MD, Kellesarian SV. Crestal Bone Loss Around Adjacent Dental Implants Restored with Splinted and Nonsplinted Fixed Restorations: A Systematic Literature Review. *J Prosthodont* 2017; 26(6):495–501. doi: 10.1111/jopr.12556.
289. Solderer A, Al-Jazrawi A, Sahrman P, Jung R, Attin T, Schmidlin PR. Removal of failed dental implants revisited: Questions and answers. *Clin Exp Dent Res* 2019; 5(6):712–24. doi: 10.1002/cre2.234.

290. Karthik K, Sivakumar, Sivaraj, Thangaswamy V. Evaluation of implant success: A review of past and present concepts. *J Pharm Bioallied Sci* 2013; 5(Suppl 1):S117-9. doi: 10.4103/0975-7406.113310.
291. Galindo-Moreno P, Catena A, Pérez-Sayáns M, Fernández-Barbero JE, O'Valle F, Padial-Molina M. Early marginal bone loss around dental implants to define success in implant dentistry: A retrospective study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2022; 24(5):630–42. doi: 10.1111/cid.13122.
292. Konstantinidis IK, Kotsakis GA, Gerdes S, Walter MH. Cross-sectional study on the prevalence and risk indicators of peri-implant diseases. *Eur J Oral Implantol* 2015; 8(1):75–88.
293. Roos-Jansåker AM, Lindahl C, Renvert H, Renvert S. Nine- to fourteen-year follow-up of implant treatment. Part I: implant loss and associations to various factors. *J Clin Periodontol* 2006; 33(4):283–9. doi: 10.1111/j.1600-051X.2006.00907.x.
294. Derks J, Ichioka Y, Dionigi C, Trullenque-Eriksson A, Berglundh J, Tomasi C et al. Prevention and management of peri-implant mucositis and peri-implantitis: A systematic review of outcome measures used in clinical studies in the last 10 years. *Clin Oral Implants Res* 2023; 34 Suppl 25:55–67. doi: 10.1111/clr.13925.
295. Doornewaard R, Glibert M, Matthys C, Vervaeke S, Bronkhorst E, Bruyn H de. Improvement of Quality of Life with Implant-Supported Mandibular Overdentures and the Effect of Implant Type and Surgical Procedure on Bone and Soft Tissue Stability: A Three-Year Prospective Split-Mouth Trial. *J Clin Med* 2019; 8(6). doi: 10.3390/jcm8060773.
296. Campos LA, Peltomäki T, Marôco J, Campos JADB. Use of Oral Health Impact Profile-14 (OHIP-14) in Different Contexts. What Is Being Measured? *Int J Environ Res Public Health* 2021; 18(24). doi: 10.3390/ijerph182413412.
297. Yule PL, Durham J, Playford H, Moufti MA, Steele J, Steen N et al. OHIP-TMDs: a patient-reported outcome measure for temporomandibular disorders. *Community Dent Oral Epidemiol* 2015; 43(5):461–70. doi: 10.1111/cdoe.12171.
298. Edwards P. Questionnaires in clinical trials: guidelines for optimal design and administration. *Trials* 2010; 11:2. doi: 10.1186/1745-6215-11-2.
299. Derks J, Håkansson J, Wennström JL, Tomasi C, Larsson M, Berglundh T. Effectiveness of implant therapy analyzed in a Swedish population: early and late implant loss. *J Dent Res* 2015; 94(3 Suppl):44S-51S. doi: 10.1177/0022034514563077.
300. Chrcanovic BR, Kisch J, Albrektsson T, Wennerberg A. Analysis of risk factors for cluster behavior of dental implant failures. *Clin Implant Dent Relat Res* 2017; 19(4):632–42. doi: 10.1111/cid.12485.

8 Anhang

8.1 Dokumentationsbogen der klinischen Untersuchung

Befund Implantat Follow-up



Name, Vorname, Geburtsdatum

Datum

Visident

Welche Art von Zahnersatz ist auf den Implantaten? Regio dahinter schreiben


| | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> Einzelne Krone/n | <input type="checkbox"/> verbundene Kronen | <input type="checkbox"/> Steg (Metallgerüst auf Implantaten) |
| <input type="checkbox"/> Brücke | <input type="checkbox"/> Vollprothese ein Kiefer | <input type="checkbox"/> Totale Prothese beide Kiefern |
| <input type="checkbox"/> Teleskopprothese | <input type="checkbox"/> klammerverankerte Prothese | <input type="checkbox"/> anders verankerte Prothese |

Sonstiges:

Implantat Regio

| Plaque Index (mPBI) | Blutungsindex (mSBI) | Lockerung | Eiter | Sondierung (mm) |
|---|--|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> 0 kein PLAque | <input type="checkbox"/> 0 Keine Blutung | <input type="checkbox"/> Ja | <input type="checkbox"/> Ja | Dist <input style="width: 20px;" type="text"/> <input type="checkbox"/> BOP |
| <input type="checkbox"/> 1 marginale PLAque | <input type="checkbox"/> 1 isolierte | <input type="checkbox"/> Nein | <input type="checkbox"/> Nein | Vest <input style="width: 20px;" type="text"/> <input type="checkbox"/> BOP |
| <input type="checkbox"/> 2 sichtbare PLAque | <input type="checkbox"/> 2 ausgedehnte | Ginigva | | Mes <input style="width: 20px;" type="text"/> <input type="checkbox"/> BOP |
| <input type="checkbox"/> 3 dicke PLAque | <input type="checkbox"/> 3 starke | <input type="checkbox"/> Rötung | <input type="checkbox"/> Rötung | Oral <input style="width: 20px;" type="text"/> <input type="checkbox"/> BOP |
| Schmerzen o.ä. | | <input type="checkbox"/> gesund | <input type="checkbox"/> gesund | Rezession (mm) |
| <input type="checkbox"/> Ja | | <input type="checkbox"/> befest ling <input style="width: 20px;" type="text"/> | <input type="checkbox"/> befest ling <input style="width: 20px;" type="text"/> | Vest <input style="width: 20px;" type="text"/> |
| <input type="checkbox"/> Nein | | <input type="checkbox"/> befest vest <input style="width: 20px;" type="text"/> | <input type="checkbox"/> befest vest <input style="width: 20px;" type="text"/> | Oral <input style="width: 20px;" type="text"/> |

8.2 Studienspezifischer Fragebogen

Fragebogen zu Ihrem Implantat 

Name, Vorname, Geburtsdatum _____
Datum _____

Wie viele Implantate haben Sie? ____ **Wie viele sind verloren gegangen?** ____ **Wann?** _____

Wie oft musste Ihr Implantat getragener Zahnersatz erneuert werden? _____
Wieso? _____

Wie oft gehen Sie zur zahnärztlichen Kontrolluntersuchung? _____

Rauchen Sie? Ja Nein
Wenn ja, wie viele Zigaretten pro Tag rauchen Sie? _____ Seit wann? _____

Allgemeinerkrankungen

Diabetes Ja Nein Wenn ja, wie ist Ihr HbA_{1c}-Wert? _____
Osteoporose Ja Nein
Bestrahlung Ja Nein Wenn ja, wann und wie lange? _____
Chemotherapie Ja Nein Wenn ja, wann und wie lange? _____
Infektionskrankheiten Ja Nein Wenn ja, welche? _____
Bruxismus/Knirschen Ja Nein
Parodontitis Ja Nein
Sonstige: _____

Welche der folgenden Medikamente nehmen Sie ein bzw. haben Sie eingenommen?
 Immunsuppressiva Kortison Antiresorptiva (Bisphosphonate/Denosumab)

Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen.

| | Trifft gar nicht zu | Trifft eher nicht zu | Trifft bedingt zu | Trifft eher zu | Trifft voll zu |
|--|--------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Ich bin sehr zufrieden mit meinen Implantaten | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ich bin sehr zufrieden mit meiner prothetischen Versorgung | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ich belaste meine Implantate sorgenfrei beim Kauen | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ich bewerte meine Mundhygiene als sehr gut | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ich habe keine Beschwerden bezogen auf meine Implantate (z.B. Schmerzen, Unwohlsein, etc.) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

8.3 Patienten- und Implantatkollektiv nach Implantattyp (gesamt)

| | SLP+ | SLP | RL |
|---|-------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Follow-up Zeitraum (Monate) | 144 ± 55 | 159 ± 63 ** | 180 ± 72 |
| Anzahl Implantate | | | |
| Gesamtüberleben | 374 | 484 | 229 |
| Klinisch untersucht | 147 | 174 | 64 |
| Röntgenologisch untersucht | 145 | 184 | 61 |
| verstorben | 70 | 133 ** | 94 |
| Anzahl Patienten | | | |
| Gesamtüberleben | 123 | 176 | 82 |
| Klinisch untersucht | 58 | 75 | 27 |
| Röntgenologisch untersucht | 59 | 79 | 26 |
| Patientenbezogen | | | |
| Geschlecht (m/w) | 151 / 233 | 228 / 256 | 95 / 134 |
| Alter (15-90 Jahre) | 26 / 69 / 134 / 145 | 20 / 93 / 209 / 162 | 6 / 44 / 106 / 73 |
| Knochenstoffwechselbeeinflussende Kondition (ja/nein) | 56 / 138 | 81 / 133 | 24 / 59 |
| Lokalisation (OK-F bis UK-SZ) | 59 / 136 / 32 / 147 | 82 / 145 / 66 / 191 | 32 / 76 / 21 / 100 |
| Implantatbezogen | | ** | |
| Durchmesser (3,3-6 mm) | 66 / 154 / 110 / 36 / 6 | 94 / 179 / 157 / 37 / 16 | 4 / 79 / 79 / 50 / 17 |
| Länge (9-16 mm) | 27 / 162 / 182 / 3 | 32 / 158 / 274 / 20 | 9 / 38 / 161 / 21 |
| Operationsbezogen | | | |
| Zeitpunkt (Sofort/Spät) | 25 / 349 | 33 / 451 | 15 / 214 |
| Augmentation (ja/nein) | 143 / 231 | 191 / 293 ** | 48 / 181 |
| Prothetik | | ** | |
| festsitzend unverblockt | 54 | 67 | 36 |
| festsitzend verblockt | 83 | 76 | 35 |
| herausnehmbar unverblockt | 33 | 7 | 2 |
| herausnehmbar verblockt | 30 | 81 | 17 |

** markieren signifikante Unterschiede in der logistischen Regression mit allgemeinen Schätzwerten zwischen den Patientenkollektiven der Implantatgruppen.

8.4 Implantatkollektiv des periimplantären Knochenabbaus nach Implantattyp

| | SLP+ | SLP | RL |
|---|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Follow-up Zeitraum (Monate) | 173 ± 12 | 193 ± 22 | 233 ± 20 |
| | ** | | |
| Anzahl gesamt | | | |
| Implantate | 145 | 184 | 61 |
| Patienten | 59 | 79 | 26 |
| Patientenbezogen | | | |
| Geschlecht (m/w) | 74 / 71 | 86 / 98 | 18 / 43 |
| Alter (15-90 Jahre) | 14 / 24 / 70 / 37 | 15 / 45 / 94 / 30 | 2 / 21 / 22 / 16 |
| Knochenstoffwechselbeeinflussende Kondition (ja/nein) | 33 / 109 | 74 / 100 | 11 / 48 |
| | ** | | |
| Lokalisation (OK-F bis UK-SZ) | 18 / 56 / 4 / 67 | 40 / 44 / 21 / 79 | 8 / 16 / 6 / 31 |
| Implantatbezogen | | | |
| Durchmesser (3,3-6 mm) | 31 / 59 / 35 / 14/4 | 43 / 69 / 51 / 16 / 5 | - / 28 / 15 / 10 / 8 |
| Länge (9-16 mm) | 13 / 71 / 61 / - | 13 / 58 / 107 / 6 | 3 / 14 / 42 / 2 |
| Operationsbezogen | | | |
| Zeitpunkt (sofort/spät) | 10 / 135 | 17 / 167 | 4 / 57 |
| Augmentation (ja/nein) | 55 / 90 | 71 / 113 | 11 / 50 |
| Prothetik | | | |
| | ** | | |
| festsitzend unverblockt | 41 | 48 | 27 |
| festsitzend verblockt | 72 | 68 | 17 |
| herausnehmbar unverblockt | 12 | 5 | - |
| herausnehmbar verblockt | 12 | 52 | 17 |

** markieren signifikante Unterschiede in der logistischen Regression mit allgemeinen Schätzwerten zwischen den Patientenkollektiven der Implantatgruppen.

9 Danksagung

Mein erster und größter Dank gilt dem Leiter der Implantologie und Augmentationschirurgie Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Eik Schiegnitz. Die großzügige Bereitstellung des Themas und seine großartige Unterstützung bei der Planung und Durchführung dieser Studie haben diese Dissertation erst ermöglicht.

Ebenso danke ich den anderen Ärzten und zahnmedizinischen Fachangestellten der MKG Mainz, die mich fachlich und organisatorisch bei der klinischen Untersuchung der Patienten unterstützt haben.

Auch den Zahnärzten und zahnmedizinischen Fachangestellten der prothetischen und konservierenden Abteilung der Zahnklinik Mainz, die eine Untersuchung in ihren Sprechstunden ermöglicht haben, danke ich herzlich. Ein besonderer Dank gilt hierbei Oberarzt Dr. med. dent. J. W., der einige Studienpatienten schon viele Jahre zahnmedizinisch betreut und mich in seiner Sprechstunde willkommen geheißen hat.

Zudem danke ich den Patienten, die an der Nachuntersuchung ihrer Implantate teilnahmen und die Fragebögen ausfüllten.

Dem Statistiker und Mathematiker des Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik Dr. J. K. sei hiermit für die Hilfe bei der komplexen statistischen Auswertung herzlichst gedankt.

Vielen Dank an PD Dr. med. dent. S. W. für die Zweitbegutachtung meiner Dissertation.

Die zeitintensive klinische Untersuchung im Rahmen dieser Dissertation wäre nicht möglich gewesen ohne die praktische und psychologische Unterstützung meiner lieben KommilitonInnen. Danke, dass ihr mir immer den Rücken frei gehalten habt.

Ein besonders großer Dank gilt Tim Ahlswede, der mich in jeglicher Hinsicht unermüdlich unterstützt und motiviert hat.

Letztendlich danke ich meiner Familie für die wertvolle Unterstützung, insbesondere meinem Vater und meiner Schwester für das konstruktive akademische Feedback.

10 Tabellarischer Lebenslauf

Persönliche Daten

Name Berit Wiebel
Geburtsdatum/-ort 25.04.1997 in Dortmund
Adresse

Hochschulstudium

Dezember 2023 Zahnärztliche Prüfung
Oktober 2018 bis Dezember 2023 Zahnmedizinstudium an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Januar bis Mai 2018 Auslandssemester an der Pablo Olavide Universidad Sevilla
Oktober 2016 bis August 2018 Duales Studium an der DHBW Heidenheim in International Business in Kooperation mit der Firma Voith GmbH & Ko. KGaA

Schulbildung

August 2007 bis Juni 2016 allgemeine Hochschulreife
September 2012 bis Juni 2013 Edward Marcus Highschool, Flower Mound, TX (USA)

Zahnmedizinischer Werdegang

Mai 2024 bis heute Assistenz Zahnärztin in Wiesbaden
Februar bis März 2023 Famulatur bei Minimolars Kambodscha e.V. für 29 Tage
August 2022 bis September 2024 Promotion in der Implantologie und Augmentationschirurgie
Mai 2022 bis November 2023 Wissenschaftliche Hilfskraft bei Prof Dr. Dr. Schiegnitz
August 2021 bis Oktober 2021 Werksstudentin in der Praxis Dr. Stephanie Schulz in Mainz
April bis Juli 2020 Studentische Hilfskraft am Institut für Anatomie und Neurobiologie (JGU Mainz) im Präparierkurs bei Jun-Prof. Dr. Schumann