

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

Retrospektive, monozentrische klinische Nachuntersuchung des
Camlog-iSy®-Implantatsystems

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

Vorgelegt von

Sara Pourdadasch-Miri
aus Mainz

Mainz, 2022

Wissenschaftlicher Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 12. Juli 2022

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	III
1 Einleitung.....	1
2 Literaturdiskussion.....	3
2.1 Geschichte der Implantologie.....	3
2.2 Osseointegration und Knochenphysiologie.....	4
2.3 Risikofaktoren.....	7
2.4 Einteilung Implantate.....	8
2.4.1 Aufbau.....	9
2.4.2 Material.....	10
2.4.3 Ankopplung (Innenverbindung/Außenverbindung).....	13
2.4.4 Platform-Switching.....	13
2.5 Indikationsklassen.....	14
2.6 Implantationszeitpunkte.....	16
2.7 Biologische und technische Komplikationen.....	20
2.8 Das Camlog-iSy®-Implantatsystem.....	21
3 Material und Methoden.....	25
3.1 Patientenkollektiv.....	25
3.2 Methodik zur Erfassung des Patientenkollektivs.....	25
3.3 Datenerhebung und -analyse.....	25
3.4 Röntgenologische Analyse.....	26
3.5 Klinische Untersuchung.....	26
4 Ergebnisse.....	27
4.1 Gesamtheit der Patienten.....	27
4.2 Alter und Geschlecht.....	27
4.3 Risikoprofil.....	28
4.4 Implantat-Statistik.....	29
4.5 Knochenabbau.....	32
4.5.1 Im Allgemeinen.....	32
4.5.2 Im Verhältnis zum Geschlecht.....	32
4.5.3 Im Verhältnis zu den Risiken.....	33
4.5.4 Im Verhältnis zu Ober- und Unterkiefer.....	33
4.5.5 Im Verhältnis zu Front- und Seitenzahnggebiet.....	33
4.5.6 Im Verhältnis zur Augmentation.....	34
4.5.7 Im Verhältnis zum Implantatdurchmesser.....	34
4.5.8 Im Verhältnis zur Implantatlänge.....	34
4.5.9 Im Verhältnis zur Prothetik.....	35
4.6 Nachbeobachtungszeitraum.....	35
4.7 Einfluss des Geschlechts auf das Implantat-Überleben.....	36
4.8 Einfluss Kieferhälfte auf das Implantat-Überleben.....	37

4.9	Einfluss Kieferregion auf das Implantat-Überleben	37
4.10	Einfluss Augmentation auf das Implantat-Überleben	38
4.11	Einfluss Einheilmodus auf das Implantat-Überleben.....	39
4.12	Einfluss Prothetik auf das Implantat-Überleben	39
4.13	Einfluss Implantatdurchmesser auf das Implantat-Überleben	40
4.14	Einfluss Implantatlänge auf das Implantat-Überleben.....	41
4.15	Einfluss des Risikos auf das Implantat-Überleben	41
5	Diskussion	43
6	Zusammenfassung	49
7	Literaturverzeichnis	51
8	Danksagung.....	56
9	Tabellarischer Lebenslauf	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klassifikation der Knochenqualität nach Lekholm und Zarb. Quelle: eigene Darstellung.....	5
Abbildung 2: Gewindesteigung und -tiefe. Quelle: eigene Darstellung.....	10
Abbildung 3: interne und externe Abutment-Verbindung. Quelle: eigene Darstellung.....	13
Abbildung 4: iSy [®] -Pilotbohrer, iSy [®] -Implantat und iSy [®] -Multifunktionskappe.....	22
Abbildung 5: iSy [®] -Implantat-Design	23
Abbildung 6: Formbohrer für iSy [®] -Implantate mit 3,8 mm und 4,4 mm Durchmesser.....	24
Abbildung 7: Altersverteilung mit einem iSy [®] -Implantat	27
Abbildung 8: Altersverteilung in Jahren und nach Geschlecht.....	28
Abbildung 9: Verteilung des Risikos in Bezug auf das Geschlecht.....	29
Abbildung 10: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit zur Verlustrate	36
Abbildung 11: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit vom Geschlecht	36
Abbildung 12: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit vom Kiefer der Insertion.....	37
Abbildung 13: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit von der Insertion in Front- oder Seitenzahnggebiet	38
Abbildung 14: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit zur Augmentation	38
Abbildung 15: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit des Einheilungsmodus.....	39
Abbildung 16: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit von der prothetischen Versorgung.....	40
Abbildung 17: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit vom Durchmesser des Implantats.....	40
Abbildung 18: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit von der Länge des Implantats	41

Abbildung 19: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit vom Vorhandensein eines
Risikofaktors.....42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifikation der Knochenqualität nach Lekholm und Zarb	4
Tabelle 2: sechs Resorptionsklassen nach Cawood und Howell.....	6
Tabelle 3: Indikationsklassen nach der Konsensuskonferenz Implantologie 2014	14
Tabelle 4: Implantation nach Zahnextraktion nach Chen und Buser	16
Tabelle 5: Einteilung des Belastungszeitpunkts nach Cochran et al.	17
Tabelle 6: Therapiekonzepte nach Gallucci et al.....	18
Tabelle 7: biologische und technische Komplikationen.....	20
Tabelle 8: Anzahl der Implantate nach Zahnregion	30
Tabelle 9: Anzahl der Augmentationen und Arten der Augmentation.....	30
Tabelle 10: Anzahl der inserierten Implantate nach Durchmesser und Länge	31

1 Einleitung

Der Ersatz verloren gegangener Zähne ist bereits seit dem Altertum bei den Ägyptern dokumentiert und ein kontinuierliches Bestreben in der Zahnheilkunde (1). Vor Beginn des 19. Jahrhunderts lag das Hauptaugenmerk der Zahnmedizin vor allem auf der Wiederherstellung der Kaufunktion beim zahnlosen Kiefer (2, 3). Mit der Entwicklung des dentalen Implantats Mitte des 20. Jahrhunderts eröffneten sich jedoch neue zahnmedizinische Therapieoptionen für den Behandler (4). Die Therapie des Zahnverlustes mit endossalen Implantaten ist inzwischen mit sehr guten klinischen und wissenschaftlichen Langzeitdaten in der Literatur dokumentiert und ist in der heutigen Zeit ein fester Bestandteil der modernen Zahnheilkunde (2, 3). Der therapeutische Fokus bei Implantaten liegt heute nicht mehr lediglich auf der Rehabilitation der Kaufunktion oder auf einer möglichst langen Überlebenszeit des Implantats nach der Insertion (5). Die Therapieangebote müssen darüber hinaus auch den zunehmenden ästhetischen Ansprüchen der Patienten gerecht werden.

Die dentalen Implantate haben seit ihrer Einführung einen großen Wandel hinsichtlich ihres Designs durchlaufen (6). Moderne Implantatsysteme werden immer mehr der Anatomie des natürlichen Zahns nachempfunden. So ist ein Implantat in der Regel ein zweiteiliges rotationssymmetrisches Schraubensystem, das genau wie ein Zahn aus einem Kronen- und einem Wurzelanteil besteht. Für den Erfolg und die Langlebigkeit eines Implantats spielen mehrere biologische sowie technische Faktoren eine Rolle (7). Zu Beginn der Therapie muss zunächst die richtige chirurgische Indikation getroffen werden. Die spätere prothetische Versorgung muss ebenfalls vor der Implantation geplant werden. Hier sind das Wissen, die Erfahrung und die chirurgischen Fertigkeiten des Behandlers von großer Bedeutung für den späteren Erfolg der Versorgung (8, 9).

Einer der wichtigsten biologischen Aspekte für eine erfolgreiche Implantation ist der Verbund von Implantatoberflächen mit dem umgebenden Knochen. Diese Anhaftung an den Knochen ist in der Implantologie als Osseointegration definiert (2). Wenn dieser Verbund nicht zustande kommt, dann wird dies laut wissenschaftlicher Literatur als Misserfolg der Implantation gewertet. Daher ist das vorrangige Ziel bei der Entwicklung eines Implantatsystems durch den Hersteller und bei der späteren Insertion durch den Behandler, diesen Verbund in einer optimalen Form zu erreichen und auch möglichst lange zu erhalten. Um dieses Ergebnis zu erzielen, wird seitens der Dentalfirmen viel

in die Entwicklung der Oberflächeneigenschaften der Implantate sowie in das Design des gesamten Implantatsystems investiert (10, 11). Zudem erweitern und optimieren die Behandler stetig ihr Wissen und ihre Fähigkeiten in Bezug auf das chirurgische Vorgehensprotokoll (12), das Hart- und Weichgewebsmanagement und das prothetische Know-how, um so die Misserfolgsraten zu minimieren.

Für die Auswahl des richtigen Implantatsystems aus der großen Menge der auf dem Markt existierenden Varianten ist zunächst eine korrekte Indikationsstellung seitens des Behandlers zu Beginn der Therapie nötig. Für nicht komplexe Indikationen hat die Firma Camlog mit Einführung des iSy[®]-Implantatsystems eine einfache und kostengünstige Lösung auf den Markt gebracht. Die iSy[®]-Implantate sind in vier Längen und in drei verschiedenen Durchmessern erhältlich. Gemeinsame Merkmale aller iSy[®]-Implantate sind das chirurgisch vereinfachte Bohrprotokoll sowie der einfache prothetische Workflow durch die Verwendung einer einzigen Prothetik-Plattform für alle Implantatdurchmesser. Laut Hersteller wird hierdurch die Behandlung vereinfacht und ist schneller durchführbar – unabhängig davon, ob ein klassischer oder ein digitaler Workflow gewählt wird. Diese Vereinfachung wird durch eine Vereinheitlichung des implantologischen Produktsortiments und der notwendigen Behandlungsschritte erreicht. Somit sind für die Patientenversorgung in der Praxis insgesamt weniger Implantat-Komponenten nötig, was die Komplexität hinsichtlich Logistik und chirurgischer Handhabung reduziert. Durch die vereinheitlichten Arbeitsschritte wird die Behandlungsdauer für den Patienten kürzer und aufgrund der geringeren Materialkosten kann die finanzielle Belastung für den Patienten gesenkt werden (13).

Seit Einführung dieses Implantatsystems im Jahr 2013 wird es bei vorheriger genauer Indikationsstellung auch bei Patienten der Universitätsmedizin Mainz verwendet. Ziel dieser Dissertationsschrift ist die Untersuchung der Langzeiterfolgsrate bei Implantationen mit dem iSy[®]-Implantatsystem seit dessen Einführung. Dabei liegt das Hauptaugenmerk dieser Arbeit auf den möglichen chirurgischen Einflussfaktoren hinsichtlich des Implantat-Überlebens.

2 Literaturdiskussion

2.1 Geschichte der Implantologie

Die Geschichte der Implantologie lässt sich bis ins alte Ägypten zurückverfolgen. Zum Ersetzen fehlender Zähne wurden z. B. geschnitzte Muscheln und Steine in den Kieferknochen eingebracht. Aus anderen Quellen geht hervor, dass die natürliche Zahnwurzel aus Edelmetallen nachgebildet wurde (1). Zwischen dem 16. und 19. Jahrhundert wurde in Europa unter anderem die Allotransplantation von Zähnen praktiziert, die entweder von Leichen oder Unterprivilegierten stammten (14).

Als Brånemark im Jahr 1966 die Biokompatibilität der Titanoberfläche entdeckte, war dies zugleich der Beginn der modernen oralen Implantologie (15). In der Anfangsphase der klinischen Erprobung von endossalen Implantaten wurden diese vorwiegend bei zahnlosen Patienten eingebracht. Die Langzeitergebnisse wurden in einigen retrospektiven Studien, vor allem für den zahnlosen Unterkiefer, als gut eingestuft (2, 3).

Die klinische Anwendung von Implantaten in der Zahnmedizin hat sich über die Jahre weiter ausgedehnt auf die Insertion bei Patienten mit teilbezahnten Kiefern, sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer. Die Erfolgsrate der Implantate nahm ununterbrochen zu. Dies führte zur Einführung einer beträchtlichen Anzahl an dentalen Implantatsystemen. Einige dieser Systeme werden mittlerweile international genutzt, es gibt allerdings auch viele, die wieder vom Markt genommen wurden (4). Zu den nicht mehr erhältlichen Systemen gehören beispielsweise die Blattimplantate. Diese wurden vor der Entwicklung der wurzelförmigen Schraubenimplantate als das erfolgversprechendste Implantatsystem angesehen (6).

Die 10-Jahres-Überlebensraten der heutigen endossalen oralen Implantate werden in der Literatur mit 95% und höher angegeben (16-19). Diese exzellenten Überlebensraten führten zu einer stetigen Erweiterung des prothetischen Versorgungsspektrums bei Zahnverlust. Dadurch kann eine nachhaltige Rehabilitation hinsichtlich Funktion und Ästhetik garantiert werden (20, 21).

Mit der Insertion von Implantaten zur Aufnahme von Einzelzahnkronen kann vermieden werden, dass gesunde Nachbarzähne unter Verlust von Zahnhartsubstanz für die konventionelle Brückenversorgung einer Lücke präpariert werden müssen.

Enossale Implantate können auch den Halt und die Funktion von herausnehmbarem Zahnersatz verbessern und in einigen Fällen kann dem Patienten mit deren Hilfe eine Therapie mit feststehendem Zahnersatz als Alternative zu einer herausnehmbaren Prothese angeboten werden (22).

2.2 Osseointegration und Knochenphysiologie

Das Knochengewebe zeichnet sich durch seine Formgebungs-, Bewegungs- und Stützfunktion sowie seine physiologische Rolle im Körper als Kalzium- und Phosphatspeicher aus. Die Makrostruktur des Knochens kann in eine äußere kompakte Kortikalis und eine innere schwammartige Spongiosa unterteilt werden (23).

Die Knochenqualität ist für die erfolgreiche Verankerung von enossalen Implantaten entscheidend. Durch radiologische Aufnahmen kann eine ungefähre Einschätzung der Knochendichte erfolgen. Jedoch kann durch diese Methode die Spongiosa nicht ohne Einschränkungen beurteilt werden, da deren röntgenologische Darstellung beeinflusst wird durch Überlagerungen der Kortikalis, gerätespezifische Darstellungsunterschiede und die angewandte Aufnahmetechnik (24).

Der Begriff der Knochenqualität ist nicht einheitlich definiert (25). Lekholm und Zarb haben die Knochenqualität im Hinblick auf das Verhältnis von kortikalem zu spongiösem Knochen klassifiziert und so vier Kategorien definiert (Tabelle 1). So ist beispielsweise in der ersten Kategorie der kortikale Knochen und in der vierten Kategorie der spongiöse Knochen überwiegend vorhanden (Abb. 1)(26).

Tabelle 1: Klassifikation der Knochenqualität nach Lekholm und Zarb

		Spongiosa	Kompakta
Klasse	1	wenig	überwiegend, homogen
	2	engmaschig	breit
	3	engmaschig	dünn
	4	weitmaschig	dünn

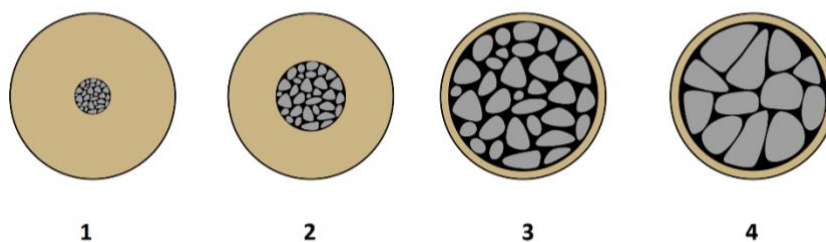


Abbildung 1: Klassifikation der Knochenqualität nach Lekholm und Zarb. Quelle: eigene Darstellung

Neben den patientenseitigen biologischen Einflussfaktoren spielen die chemischen, physikalischen, mechanischen und geometrischen Eigenschaften der Implantatoberfläche für eine erfolgreiche Osseointegration eine entscheidende Rolle (8, 9, 27). Für eine stabile Osseointegration nannte Albrektsson in seiner Veröffentlichung von 1986 eine Reihe notwendiger Faktoren. Diese lauten unter anderem:

1. Biokompatibilität des Implantatmaterials
2. Makro- und Mikrodesign der Implantatoberfläche
3. Qualität und Quantität des Empfängerknochens
4. Chirurgische Technik
5. Die unbelastete Einheilphase

Die Osseointegration ist ein Maß, um die Stabilität eines Implantats zu beurteilen. Die Implantatstabilität wird in ein primäres und ein sekundäres Stadium eingeteilt. Die Primärstabilität ist definiert als ein biomechanischer Verbund des Implantats mit dem kortikalen Knochen zum Zeitpunkt der Implantatinsertion. Als Sekundärstabilität wird hingegen der rein biologische Verbund bezeichnet, der während der Knocheneinheilungsphase und nach den Umbauprozessen entsteht (2).

Der Begriff der Stabilität kann unter dem klinischen und dem biologischen Aspekt betrachtet werden. Klinisch ist die starre asymptotische Verankerung eines alloplastischen Materials im Knochen als funktionelle Belastung zu beobachten. Biologisch entsteht hingegen eine direkte strukturelle und funktionelle Verbindung zwischen dem lebenden Knochen und der Oberfläche eines Implantats (27). Die Primärstabilität bzw. das Drehmoment zum Zeitpunkt der Implantatinsertion wird

mitunter durch biologische Faktoren wie der Knochenqualität beeinflusst, sie ist jedoch in erster Linie abhängig von der chirurgischen Technik und der Implantatgeometrie (27). Die Einheilung des Implantats im Kieferknochen läuft – ähnlich wie der Vorgang der Knochenneubildung während der Embryonalentwicklung – nach dem Prinzip der desmalen Osteogenese ab und geht mit einer Zunahme der Sekundärstabilität einher (27).

Wenn der Knochen nach Zahnverlust nicht physiologisch belastet wird, kann dies zu typischen Resorptionserscheinungen führen (28). Hierzu haben Cawood und Howell bei einer Stichprobenarbeit an 300 getrockneten Schädeln beobachten können, dass eine signifikante Formänderung des Alveolarfortsatzes sowohl in der vertikalen wie auch in der horizontalen Dimension im zahnlosen Ober- und Unterkiefer vorkommt. Diese Formänderungen folgen einem vorhersehbaren Muster und so konnten die Autoren eine Klassifizierung erstellen. Diese soll dem Behandler bei der Auswahl der geeigneten chirurgischen und prothetischen Therapie helfen (29).

Die sechs Resorptionsklassen von Cawood und Howell sind Tabelle 2 zu entnehmen (28):

Tabelle 2: sechs Resorptionsklassen nach Cawood und Howell

Resorptionsklassen	Definition
Klasse I	bezahnt
Klasse II	unmittelbar nach Zahnverlust
Klasse III	abgerundeter Kieferkamm ohne horizontalen bzw. vertikalen Knochenabbau
Klasse IV	spitzer Kieferkamm mit primärer horizontaler Atrophie
Klasse V	flacher Kieferkamm mit horizontalem und vertikalem Defizit
Klasse VI	stark atrophierter Kiefer mit negativen Kieferkämmen

Manche knöchernen Defekte müssen vor Insertion der gängigen Implantate mithilfe von augmentativen Verfahren erst aufgebaut werden (28). Vertikale Defekte des Alveolarknochens können durch Inlay- oder Onlaygrafts, gesteuerte Knochenregeneration (*Guided Bone Regeneration*, GBR) und Sinusbodenelevation ausgeglichen werden. Die GBR wird auch in der Parodontologie häufig angewandt und kann sowohl vertikale als auch horizontale Defizite am Zahn ausgleichen (30).

2.3 Risikofaktoren

Das Überleben von Implantaten ist abhängig von einer erfolgreichen Osseointegration nach der Insertion. Jede Beeinträchtigung dieses biologischen Prozesses kann sich negativ auf den Behandlungserfolg auswirken. Eine wichtige Rolle für die erfolgreiche Einheilung spielt dabei der Knochenstoffwechsel. Hierbei können sowohl lokale als auch systemische Risikofaktoren identifiziert werden (31). Erkrankungen und Medikamente, die einen negativen Einfluss auf die Immunabwehr sowie die Knochen- und Weichgewebsheilung haben, spielen dabei eine wichtige Rolle (32).

Risikopatienten in der Implantologie sind definiert als Patienten, bei denen trotz des strengen Befolgens eines Standardprotokolls die Komplikationsrate und die Misserfolgsrate erhöht sind und das gewünschte Therapieergebnis nicht erzielt wird (33). In der Literatur wird die Periimplantitis als häufigste biologische Ursache für einen Therapiemisserfolg durch Implantatverlust angegeben (34). Auch wenn der primäre ätiologische Grund für die Entzündung des periimplantären Gewebes der orale Biofilm ist, werden in einem Review von Sahrman et al. Diabetes mellitus, Tabakkonsum und mangelnde Mundhygiene als weitere Cofaktoren genannt, die eine Knochendestruktion beschleunigen können (34).

Patienten, die an Diabetes mellitus leiden, haben bedingt durch Mikro- und Makroangiopathien eine Vielzahl von Komplikationen (31). Bei Diabetikern werden häufig Parodontitis sowie anschließender Zahnverlust beobachtet (31, 32, 35, 36). Auch sind eine verzögerte Reaktion auf Infektionen und eine langsame Wundheilung bei diesen Patienten feststellbar (31). Eine deutlich verzögerte Osseointegration wird bei Diabetikern mit einem HbA1c-Wert $> 10\%$ und damit einem schlecht eingestellten Diabetes beobachtet (32). Laut der S3-Leitlinie zu Zahnimplantaten bei Diabetes mellitus sollte für diese Patienten aufgrund des höheren Risikos für Periimplantitis eine adaptierte Nachsorge nach der Implantatinsertion erfolgen (35).

Durch den Konsum von Zigaretten werden Veränderungen im menschlichen Gewebe hervorgerufen, was diverse Erkrankungen verursachen oder einen negativen Einfluss auf den Verlauf bereits vorliegender Krankheiten haben kann (37). Das Rauchen steht mit der Entstehung zahlreicher Erkrankungen in verschiedenen Organen im Zusammenhang, darunter fallen auch schädliche Effekte auf die orale Gesundheit (37, 38). Hierzu zählen die höhere Prävalenz zur Entwicklung einer mittelschweren bis schweren Parodontitis, Rezessionen, Attachmentverlust und eine höhere Anzahl

fehlender Zähne im Vergleich zu Nichtrauchern. Auch wurde die nachteilige Auswirkung des Tabakkonsums auf den Knochenstoffwechsel in direkter und indirekter Form sowie systematisch und lokal beobachtet (38). C. Walter hat in einem Review einige Studien zum Zusammenhang zwischen dem Rauchen und einer erhöhten Implantatverlustrate nachuntersucht. Dabei war bei allen überprüften Studien eine höhere Verlustrate bei Rauchern gegenüber Nichtrauchern feststellbar (37). Zu selben Ergebnis kamen auch Chrcanovic et al. in ihrer systematischen Übersichtsarbeit (38) und Adler et al. (39).

Die Parodontitis und die Periimplantitis weisen viele Gemeinsamkeiten hinsichtlich ihrer Pathogenese auf (40). Die Parodontitis ist definiert als eine chronisch entzündliche Infektion des Parodontiums (41) und führt zunächst zu einer Gingivitis mit Taschenbildung, im weiteren Verlauf kommt es dann zum Gewebeabbau mit Verlust von Alveolarknochen bis hin zum Verlust von Zähnen (36). Das Ausmaß und der Schweregrad des Verlaufs werden durch eine Vielzahl von Risikofaktoren und Prädispositionen bestimmt (36, 41). Als Beispiel können hier Alter, Geschlecht, Rauchen, Diabetes mellitus und genetische Faktoren genannt werden (36). Die schwere Form (definiert nach der alten PA-Klassifikation von 1999) gehört zu den am weitesten verbreiteten Erkrankungen (42). In der „Fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie“ (DMS V) des Instituts der Deutschen Zahnärzte (IDZ) aus dem Jahr 2014 lag die Prävalenz für die schwere Parodontitis (Grad 4 des *Community Periodontal Index*, CPI) für die Altersgruppe der 35- bis 44-Jährigen bei 10,4% und für die Altersgruppe der 65- bis 74-Jährigen bei 24,6% (12).

2.4 Einteilung Implantate

Es besteht bei enossalen Implantaten eine große Designvielfalt mit verschiedenen Struktur- und Geometrievarianten. Alle Varianten haben jedoch das Ziel, die Einheilrate und die Langzeitprognose von enossalen Implantaten verbessern (43). Das breite Spektrum an unterschiedlichen Implantatdesigns steht für die Vielzahl der bestehenden Behandlungsphilosophien und -modalitäten zur Verfügung. Zur besseren Übersicht dieser Vielfalt an Designs lassen sich die Implantate nach folgenden Kriterien unterscheiden: struktureller Aufbau, verwendetes Material, Form der Ankopplung zum Abutment und Geometrie der Schnittstelle des Implantat-Abutment-Komplexes. Der Knochen passt sich durch Hypertrophie oder Atrophie an die

Belastung an, die auf ihn ausgeübt wird. Aus diesem Grund ist die optimale Implantatform für eine gleichmäßige Verteilung der Belastung auf die umgebende Knochenmatrix von hoher Bedeutung (9).

2.4.1 Aufbau

Eine erste Unterteilung der Implantate kann erfolgen zwischen einem einteiligen oder zweiteiligen Aufbau für die Aufnahme der Prothetik-Suprakonstruktion. Der zweiteilige Aufbau kann weiterhin nach der Form der Implantat-Abutment-Verbindung (plan oder anatomisch) und zusätzlich nach interner oder externer Verbindung unterschieden werden. Die Verbindungsart selbst wird nochmals unterteilt in konisch, hexagonal oder eine Kombination dieser beiden Arten. Die Form des Implantatkörpers kann wiederum wurzelförmig, konisch, abgestuft oder parallelwandig sein.

Es sind auch unterschiedliche Gewindegeometrien möglich. Man unterscheidet etwa nach selbstschneidendem Gewinde, Gewinde mit vorher erforderlicher Aufbereitung des Knochens, grob oder fein strukturierte Gewinde, Gewindetiefe und -achse sowie Kombinationen aus den oben erwähnten Möglichkeiten.

Für enossale Implantate gibt es bezüglich des Makrodesigns drei wichtige Aspekte. Diese sind das Schraubengewinde, das Press-fit-Design des Implantatkörpers und eine porige Oberflächenbeschichtung. Diese Eigenschaften beeinflussen langfristig die biomechanischen Eigenschaften an der Schnittstelle zwischen Implantat und Knochen und tragen somit wesentlich zum Implantaterfolg bei (11).

Enossale Implantate mit Schraubengewinde stellen den am häufigsten verwendeten Implantattypus dar (11). Um eine hohe Haltekraft im Knochen zu erzielen, sind Gewindesteigung, -tiefe und -konfiguration (1) wichtige Faktoren (Abb. 2). Die Gewindesteigung ist definiert als der Abstand zwischen der Mitte eines Gewindes und der Mitte des nächsten Gewindes. Die Steigung ist ein entscheidender Konstruktionsparameter zur Bestimmung der verfügbaren Oberfläche für die Knocheninteraktion (1). Zwar wird der kortikale Knochen im Wesentlichen nicht von der Implantatform beeinflusst, das Verhalten des trabekulären Knochens jedoch ist abhängig von der Gewindeform (44).

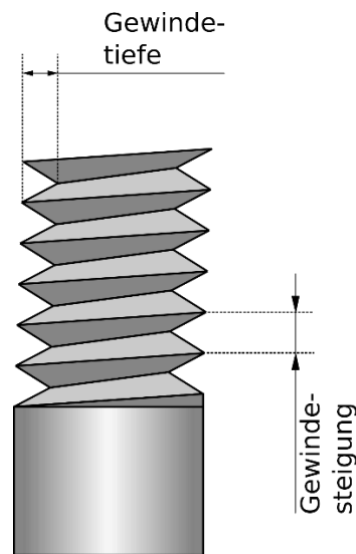


Abbildung 2: Gewindesteigung und -tiefe. Quelle: eigene Darstellung

2.4.2 Material

Die meisten Implantate bestehen aus Titan oder dessen Legierungen. Titan eignet sich besonders gut aufgrund seiner Werkstoffeigenschaften wie hohe Korrosionsbeständigkeit, Festigkeit, Elastizität, Zähigkeit und Steifigkeit bei geringer Dichte. Bei der Produktion von Titan-Implantaten können durch verschiedene Arten der Oberflächenkonditionierung unterschiedliche Gewebereaktionen erzielt werden. Auch können mit Sauerstoff-Dotierung verschiedene Gütegrade mit erhöhten Festigkeitswerten erreicht werden. Die Titan-Implantate können nach der Art der Oberflächenbearbeitung kategorisiert werden (45):

- ohne zusätzliche Oberflächenbearbeitung
- mit Oberflächenbearbeitung durch mineralische Säuren
- mit Oberflächenbearbeitung durch Strahlen
- Kombination von Strahlen und Ätzen
- Titan mit anodischer Oxidation
- Titanbeschichtung
- Hydroxylapatit-Beschichtung

Implantate ohne zusätzliche Oberflächenbearbeitung haben eine glatte Oberfläche und können deshalb einfacher periimplantär gereinigt werden. Sie haben unter anderem den Nachteil der kleineren Anlagerungsfläche für den Knochen und der

hieraus resultierenden langsameren Einheildauer bis zum Erreichen einer suffizienten Osseointegration.(45)

Bei der Oberflächenbearbeitung durch mineralische Säuren wird das Titan mit einem Gemisch verschiedener Säuren aufgeraut. So wird eine Andockmöglichkeit für die Osteoblastenausläufer geschaffen und eine verbesserte Knochenanlagerung ermöglicht. Durch diese Art der Oberflächenbehandlung ist eine weitere Verankerung im makroskopischen Bereich nicht möglich (45).

Durch das Abstrahlen der Oberfläche wird ein tieferes Anrauen erzielt. Der Strahl besteht aus Medien wie Al_2O_3 oder TiO_2 . Diese können wiederum als unerwünschte Verunreinigung auf der Oberfläche verbleiben (45).

Bei dem Verfahren aus initialem Abstrahlen gefolgt durch Ätzen der Oberfläche wird im Mikrobereich sowohl eine biologische als auch eine mechanische Kombinationsverankerung ermöglicht. Nachteilig bei dieser Methode ist, wie beim ausschließlichen Abstrahlen, das unerwünschte Verbleiben von Strahlmediumpartikeln auf der Oberfläche (45).

Bei der anodischen Oxidation wird in einem wässrigen Elektrolyten durch Funkenentladung eine anodische Titanoxidschicht auf der Implantatoberfläche produziert. So entsteht eine porige Oberfläche für eine bessere Anlagerung des Knochens. Jedoch können bei diesem Verfahren einige Oberflächenareale prozessbedingt unbehandelt bleiben ohne positiven Effekt auf die Knochenapposition. Zusätzlich kann bei der Insertion der Implantate im harten Knochen eine Ablösung der Titanoxidpartikel stattfinden (45).

Durch das Aufsprühen eines geschmolzenen Titanpulvers wird eine dreidimensional strukturierte Oberfläche erzeugt. In Kombination mit den gestrahlten und den geätzten Implantatoberflächen können so optimale Voraussetzungen zur Knochenanlagerung erzeugt werden. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist, dass bei so behandelten freiliegenden Implantatoberflächen die aufgesprühte Beschichtung wieder entfernt werden muss, um an diesen Stellen die lokale Plaqueadhäsion zu minimieren. Auch hier besteht die Gefahr der Ablösung von Titanpartikeln bei hoher Friktion während der Implantatinsertion (45).

Eine Hydroxylapatitschicht (HA) kann durch Aufsintern in einem Tauchbad auf die Implantatoberfläche aufgebracht werden. Es kommt an diesen Oberflächen selbst bei eingeschränkter Knochenqualität zu einer schnelleren Osseointegration. Auch hier besteht aber, wie bei den zuvor erwähnten Methoden der Oberflächenbearbeitung, die Gefahr einer Resorption der HA-Beschichtung (45, 46).

Als Alternative zu den Titanimplantaten wird vermehrt auf dem Gebiet der Keramikimplantate geforscht (47, 48). Bei Keramikimplantaten kommen die Materialien Aluminium- oder Zirkoniumdioxid zum Einsatz, wobei die Festigkeitswerte des letzteren vergleichbar sind mit denen von Implantaten aus Titan (45, 48). Obwohl die Aluminiumoxid-Implantate gute osseointegrative Eigenschaften aufweisen, liegt deren Überlebensrate bei lediglich 65 %–95 %. Die niedrige Untergrenze der Überlebensrate wird zurückgeführt auf die biomechanischen Eigenschaften des Materials und insbesondere auf dessen niedrigere Bruchzähigkeit im Vergleich zu Zirkoniumdioxid. Aufgrund der geringen Überlebensrate konnte für Implantate aus Aluminiumoxid keine Empfehlung ausgesprochen werden und somit wurden diese in den 1990er-Jahren vom Markt genommen (49). Die erste Generation der Zirkoniumdioxid-Keramikimplantate hatte glatte Oberflächen und diese wurden zudem im Laufe der Zeit durch neue Herstellungsverfahren weiter optimiert. Mittlerweile sind bei den Zirkoniumdioxid-Implantaten sowohl ausschließlich sandgestrahlte als auch sandgestrahlte und säuregeätzte Oberflächen verfügbar, die ähnlich hohe Osseointegrationsraten wie Titanimplantate aufweisen (50). Die ersten Generationen der Zirkoniumdioxid-Implantate bestanden aus einteiligen Systemen und hatten aufgrund dieses Designs eine hohe Stabilität und ein niedriges Risiko für technische Fehler. Jedoch war deren Einsatzmöglichkeit bedingt durch die geringe Flexibilität bei der prothetischen Ankopplung eingeschränkt. Aus diesem Grund wurde eine Weiterentwicklung zu zweiteiligen Systemen, bestehend aus einer Halterung und einem separatem Abutment, angeregt. Die Komponenten dieser zweiteiligen Systeme wurden anfänglich noch durch ein Klebematerial miteinander verbunden. Später wurde das aus prothetischer Sicht für die Reversibilität günstigere Schraubensystem entwickelt, das die Grundlage bildet für das Design zweiteiliger Zirkoniumdioxid-Implantatsysteme in den letzten Jahren (47).

2.4.3 Ankopplung (Innenverbindung/Außenverbindung)

Es gibt zwei Grundformen des Implantat-Abutment-Verbindungsstücks: das interne und das externe Verbindungsstück. Bei beiden Varianten muss der Kopfteil eine Rotationssicherung des Aufbaus sicherstellen und gleichzeitig die Verwendung von austauschbaren Teilen zum Ersatz ermöglichen (11).

Bei Implantaten mit einer externen Verbindung sitzt die Implantatschulter auf dem Implantat auf und ist nur durch die Abutmentschraube mit dem Körper verbunden (linkes Bild in Abbildung 3). Bei der internen Verbindung ragt das Abutment bis in den Implantatkörper hinein (rechtes Bild in Abbildung 3) (51).

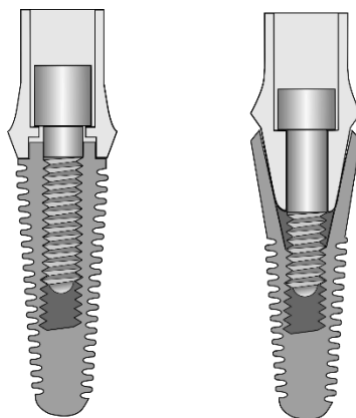


Abbildung 3: interne und externe Abutment-Verbindung. Quelle: eigene Darstellung

In einem Review von Lauritano et al. wurde in einer Stichprobe aus 2110 verschiedenen Implantaten festgestellt, dass die rein konische und die Kombinationsform aus konischer und Innenkant-Geometrie im Vergleich zur äußeren Verbindung oder zu einer Innensechskant-Verbindung einen kleineren Spalt aufwiesen und damit hygienisch vorteilhaft waren in Bezug auf ein bakterielles Mikroleck. Außerdem wiesen die rein konische und die Kombinationsform eine bessere Kraftverteilung bei mechanischer Belastung auf und die Kombinationsform besaß zusätzlich einen Rotationsschutz (52).

2.4.4 Platform-Switching

Eines der neueren Konzepte beim Implantatdesign ist das Platform-Switching. Hierbei handelt es sich um ein spezielles Implantat-Abutment-System. Der Durchmesser des Abutments bei diesem Designtyp fällt geringer aus als der Durchmesser des

Implantats. Dadurch soll die bakterielle Kolonisation nach zentral und damit weiter weg vom Knochen verschoben werden (20). In mehreren Studien konnte belegt werden, dass das Platform-Switching eine Knochenresorption potenziell minimieren kann (53-55).

2.5 Indikationsklassen

Auf der Konsensuskonferenz Implantologie im Jahr 2014 wurden drei aktualisierte Indikationsklassen für die Implantologie beschrieben. Diese sollen einen Leitfaden für die Regelfallversorgung in der Implantologie liefern. Nach diesem Konsensus besteht die optimale Therapie beim Zahnverlust durch dessen Ersatz mit einem Implantat. Die beste Therapie ist unter anderem limitiert durch anatomische sowie ökonomische Rahmenbedingungen. Der Ersatz der Sapientes ist in der Regel nicht nötig und beim zweiten Molaren eines Quadranten sollte die Entscheidung für ein Implantat nach kritischer Abwägung individuell erfolgen. Die Beschreibung der Indikationsklassen erfolgte im Sinne eines Goldstandards. Die Indikationsklassen sind in der folgenden Tabelle aufgelistet (12):

Tabelle 3: Indikationsklassen nach der Konsensuskonferenz Implantologie 2014

Indikationsklasse I	Einzelzahnersatz
Indikationsklasse Ia	Frontzähne
	Wenn bis zu vier Zähne der Oberkiefer-Front fehlen und die Nachbarzähne nicht behandlungsbedürftig sind → 1 Implantat je fehlendem Zahn Wenn bis zu vier Zähne der Unterkiefer-Front fehlen und die Nachbarzähne nicht behandlungsbedürftig sind → 1 Implantat soll zwei fehlende Zähne ersetzen
Indikationsklasse Ib	Seitenzähne
	Fehlen im Seitenzahnbereich Zähne aus der geschlossenen Zahnreihe, soll bei nicht behandlungsbedürftigen Nachbarzähnen jeder fehlende Zahn durch ein Implantat ersetzt werden.
Indikationsklasse II	Reduzierter Restzahnbestand
	Grundsatz:

	Bei der implantologischen Versorgung des reduzierten Restgebisses ist die Bezahnung des Gegenkiefers bei der Planung zu berücksichtigen. Darüber hinaus gelten die Regeln der konventionellen Prothetik.
Indikationsklasse IIa	Lückengebiss
	Für eine <u>feststehende</u> Versorgung im Oberkiefer werden 8 Pfeiler benötigt, im Unterkiefer 6 Pfeiler. Natürliche Pfeilerzähne können angerechnet werden, wenn diese an statisch günstiger Position stehen und eine gute Prognose aufweisen. Für eine <u>herausnehmbare</u> Versorgung im Oberkiefer werden 6 Pfeiler benötigt, im Unterkiefer 4 Pfeiler. Natürliche Pfeilerzähne können angerechnet werden, wenn diese an statisch günstiger Position stehen und eine gute Prognose aufweisen.
Indikationsklasse IIb	Freiendsituation
	Zähne 6 bis 8 fehlen → Indikation für 1 - 2 Implantate Zähne 5 bis 8 fehlen → Indikation für 2 - 3 Implantate Zähne 4 bis 8 fehlen → Indikation für 3 Implantate
Indikationsklasse III	Zahnloser Kiefer
Indikationsklasse IIIa	Zahnloser Oberkiefer
	Für die Verankerung eines <u>feststehenden</u> Zahnersatzes im zahnlosen Oberkiefer → 8 Implantate Für die Verankerung eines <u>herausnehmbaren</u> Zahnersatzes im zahnlosen Oberkiefer → 6 Implantate
Indikationsklasse IIIb	Zahnloser Unterkiefer
	Für die Verankerung eines <u>feststehenden</u> Zahnersatzes im zahnlosen Unterkiefer → 6 Implantate Für die Verankerung eines <u>herausnehmbaren</u> Zahnersatzes im zahnlosen Unterkiefer → 4 Implantate

2.6 Implantationszeitpunkte

Das klassische Protokoll für die Implantattherapie wurde von Brånemark in den 1980er-Jahren etabliert. Darin wurde eine Einheilzeit von mind. sechs Monaten nach Extraktion eines Zahns festgelegt, da die Überzeugung bestand, dass eine erfolgreiche Osseointegration nur in einem vollständig abgeheilten Weich- und Hartgewebe erfolgen könne (56). Diese konservative Vorgehensweise wurde in den darauffolgenden Jahren durch weitere wissenschaftliche Arbeiten zum Thema Implantationszeitpunkt revidiert und führte anschließend zur Entwicklung der Sofortimplantations-Protokolle (57, 58).

Nach einer Arbeit von Chen und Buser 2009 wird der Implantationszeitpunkt nach Zahnextraktion, wie in Tabelle 4 dargestellt, klassifiziert (59):

Tabelle 4: Implantation nach Zahnextraktion nach Chen und Buser

Klassifikation	Terminologie	Wartezeit nach Extraktion	Angestrebter klinischer Zustand bei Implantation
Typ 1	Sofortimplantation	sofort nach Extraktion	Extraktionsalveole ohne Heilung von Knochen oder Weichgewebe
Typ 2	Frühimplantation nach Weichgewebeheilung	normalerweise vier bis acht Wochen	Extraktionsalveole mit abgeheiltem Weichgewebe ohne nennenswerte Knochenheilung
Typ 3	Frühimplantation nach partieller Knochenheilung	normalerweise zwölf bis 16 Wochen	Extraktionsalveole mit abgeheiltem Weichgewebe und deutlicher Knochenheilung
Typ 4	Spätimplantation	Normalerweise ab sechs Monaten	vollständig ausgeheilte Extraktionsalveole

Zur Einteilung des Belastungszeitpunkts nach Implantation haben Cochran et al. ein Belastungsprotokoll erstellt (60):

Tabelle 5: Einteilung des Belastungszeitpunkts nach Cochran et al.

Belastungsprotokoll	Definition
Sofortversorgung	Eingliedern von Zahnersatz ohne Okklusionskontakt bis spätestens 48 Stunden nach der Implantation
Sofortbelastung	Eingliedern von Zahnersatz mit Okklusionskontakt bis spätestens 48 Stunden nach der Implantation
konventionelle Spätbelastung	Eingliedern von Zahnersatz nach drei bis sechs Monaten Einheildauer
Frühbelastung	Eingliedern von Zahnersatz mit Okklusionskontakt frühestens 48 Stunden und spätestens drei Monate nach der Implantation
verzögerte Belastung	Eingliedern von Zahnersatz nach frühestens sechs Monaten Einheildauer in einem zweiten Behandlungsschritt (später als die konventionelle Einheilzeit von drei bis sechs Monaten).

Die chirurgische sowie die prothetische Phase der Implantattherapie können heute jeweils nach dem Konzept der Sofort-, Früh- oder Spätbehandlung durchgeführt werden. Durch die damit möglichen Kombinationen entstehen so insgesamt neun verschiedene Therapiepfade, die der Behandler wählen kann.

Eine Sofortimplantation ist direkt nach der Zahnextraktion möglich und eine Frühimplantation nach dem Verheilen der Schleimhautwunde, also ungefähr acht bis zwölf Wochen nach Extraktion. Wenn eine Implantation ab dem sechsten Monat nach Extraktion erfolgt, wird diese als Spätimplantation bezeichnet. Das Einheilen des Implantats kann transgingival (offen) oder von Schleimhaut bedeckt (geschlossen) erfolgen. Eine Sofortbelastung liegt vor, wenn die prothetische Versorgung unmittelbar nach der Implantation erfolgt und initial in Okklusion steht (61).

Für die theoretisch neun verschiedenen Kombinationen aus den chirurgisch und prothetisch auswählbaren Behandlungszeitpunkten hat das Team von Gallucci in einer systematischen Übersichtsarbeit die dokumentierten Überlebensraten der Implantate bei teilbezahnten Patienten mit feststehendem Zahnersatz untersucht (Tabelle 6). Gallucci et al. haben die wissenschaftlichen Daten zu acht Therapiekonzepten vollständig ausgewertet. Für das Konzept der Frühimplantation in Kombination mit einer Sofortversorgung konnte aufgrund unzureichender Publikationen keine genaue Datenanalyse erfolgen (62).

Tabelle 6: Therapiekonzepte nach Gallucci et al.

Implantat- insertionszeitpunkt nach Extraktion	Versorgungs- zeitpunkt nach Implantation	Dokumentation	Implantat- Überlebensrate
sofort	sofort	klinisch gut	98,4 %
sofort	früh	klinisch gut	98,2 %
sofort	spät	klinisch und wissenschaftlich bestätigt *	96 %
früh	sofort	klinisch ungenügend	n. a.
früh	früh	klinisch ungenügend	100 %
früh	spät	klinisch und wissenschaftlich bestätigt*	96,3 %
spät	sofort	klinisch	97,9 %
spät	früh	klinisch und wissenschaftlich bestätigt*	98,3 %
spät	spät	klinisch und wissenschaftlich bestätigt*	97,7 %

Die Sofortimplantation und Sofortversorgung mit einer Überlebensrate von 98,4 % und die Spätimplantation und Sofortversorgung mit einer Überlebensrate von 97,9 %

wiesen vergleichsweise hohe Werte auf, aber die vorliegenden Daten zum Follow-up wichen hier stark nach unten ab.

Sowohl wissenschaftlich als auch klinisch gut dokumentiert sind hingegen die folgenden vier Varianten (62):

1. Sofortimplantation und Spätbelastung (Überlebensrate von 96%)
2. Frühimplantation und Spätbelastung (Überlebensrate 96,3%)
3. Spätimplantation und Frühbelastung (Überlebensrate 98,3%)
4. Spätimplantation und Spätbelastung (Überlebensrate 97,7%)

Unter den oben erwähnten Varianten weist die Sofortimplantation die geringste Überlebensrate aufweist. Es sind jedoch nach Zahnextraktion und Implantatinserion auch andere technische und biologische Faktoren wie der Zeitpunkt der Hart- und Weichgewebsheilung maßgeblich für den Erfolg der Implantation. Bei der Sofortimplantation sind vor allem folgende Faktoren entscheidend für den Erfolg: das Vorhandensein einer aktiven Infektion, die anfängliche vestibuläre Dicke des Alveolarknochens, der Grund der Zahnextraktion (vertikale oder horizontale Wurzelfraktur), Traumata, Paro-/Endo- oder kombinierte Läsionen und der Zeitraum zwischen Insertion und prothetischer Versorgung. Auch ist unabhängig vom Insertionszeitpunkt die chirurgische Erfahrung des Operateurs – vor allem im ästhetischen Bereich – für eine erfolgreiche Implantation ein maßgeblicher Faktor (63). Die meisten beobachteten Misserfolge traten beim Inserieren eines Implantats in nicht vollständig ausgeheiltem Knochen auf (63).

Krennmair et al. führten eine Fünf-Jahres-Evaluierung des periimplantären marginalen Knochenniveaus durch für die Implantatinserion in die frische Extraktionsalveole im Vergleich zur Insertion im ausgeheilten Knochen. Alle untersuchten Implantate in dieser Studie wurden nach dem All-on-4®-Konzept sofortversorgt. Es zeigte sich im Vergleich ein länger andauernder periimplantärer Umbauprozess bei den Implantaten, die in die frische Extraktionsalveole inseriert worden waren. Nach einem Beobachtungszeitraum von fünf Jahren war jedoch in beiden Gruppen ein ähnliches marginales Knochenniveau zu beobachten (64).

2.7 Biologische und technische Komplikationen

Seit Einführung der Implantattherapie in der Zahnmedizin wird auf diesem Gebiet fortlaufend geforscht, was wiederum zu kontinuierlichen Weiterentwicklungen führt. Ein wesentlicher Teil dieser Forschungen beziehen sich auf die Bewertung der Erfolgsrate und damit auch auf das Auftreten möglicher Komplikationen bei dieser Therapieform (5). Komplikationen, die im Zusammenhang mit dentalen Implantaten auftreten, können biologische und/oder technische Ursachen haben (7). Mögliche Komplikationen in Verbindung mit enossalen Implantaten sind in Tabelle 7 aufgeführt (65, 66):

Tabelle 7: biologische und technische Komplikationen

biologische Komplikationen	technische Komplikationen
chirurgische Komplikationen	Implantatfraktur
krestaler Knochenverlust	Schraubenbrüche
unerwünschte Weichgewebereaktionen	Schraubenlockerungen
Periimplantitis	Komplikationen im Zusammenhang mit Suprakonstruktion
Gingivitis	Bruch der Implantat-Komponenten und -verbindungen

Die Arbeitsgruppe von Berglundh et al. fassten in einer Literaturübersichtsarbeit Daten zu Komplikationen im Zusammenhang mit enossalen Implantaten zusammen. Hier zeigte sich, dass 2,16–2,53% der Implantate vor der Versorgung mit herausnehmbaren Prothesen oder festsitzendem Zahnersatz verloren gingen. Implantate, die nach der Versorgung verloren gingen, wurden nach der Art des Zahnersatzes unterschieden. So lag die Verlustrate für festsitzenden Zahnersatz bei 2,49–3,42% und für herausnehmbaren Zahnersatz bei 5,56–5,86%. Patienten, die mit festsitzendem Zahnersatz versorgt wurden, wiesen weniger Weichgewebekomplikationen auf als Patienten, die mit einer herausnehmbaren Prothese versorgt wurden. Frakturen von Implantaten waren mit einer Rate von 0,08–0,74% als seltene Komplikation einzustufen. In Bezug auf die Problematiken mit den Verbindungselementen wurden bei der Gruppe der Prothesenträger erneut höhere Verlustraten festgestellt als bei der Gruppe mit Brücken und Einzelkronen. Die

Inzidenz von Komplikationen im Zusammenhang mit der Suprakonstruktion war bei Patienten, die mit herausnehmbarem Zahnersatz versorgt wurden, etwa vier bis zehnmal höher als bei Patienten mit festsitzenden Konstruktionen (66).

Das Überleben der enossalen Implantate hängt laut diversen Publikationen von verschiedenen Faktoren wie Implantatoberfläche, Implantatdesign und Primärstabilität ab (67). Ein Schlüssel zum klinischen Erfolg scheint eine adäquate hohe Primärstabilität des Implantats nach Insertion zu sein (67, 68). Parameter, die Einfluss auf die Primärstabilität haben, können in patientenspezifische Faktoren wie Knochendichte und -volumen oder in verfahrensabhängige Faktoren wie chirurgisches Protokoll und Implantatdesign unterteilt werden (69).

Für die Untersuchung der Erfolgsrate enossaler Implantate gab es zunächst keine einheitlichen Kriterien in der Literatur. Dies brachte lange Zeit eine erschwerte Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit sich (70). Deshalb wurden diverse, international gültige Parameter festgelegt, die beim Recall auf Basis klinischer und röntgenologischer Kontrollparameter den Erfolg bewerten sollen. Bei den Parametern handelt es sich fast ausschließlich um Negativkriterien. Tritt ein Negativkriterium ein, so ist die Implantation als Misserfolg zu werten und beim Ausbleiben des Kriteriums kann folglich von einem Erfolg gesprochen werden (71).

Buch et al. haben verschiedene internationale Erfolgskriterien, unter anderem die von NIH, Albrektsson, Buser und Naert, miteinander verglichen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass es bei den verschiedenen Autoren abweichende Definitionen für die Erfolgsparameter gibt. Somit ist eine eindeutige Vergleichbarkeit von Aussagen verschiedener Arbeiten nicht gegeben (70).

2.8 Das Camlog-iSy®-Implantatsystem

Das Camlog-iSy®-Implantatsystem besteht aus zwei Sets, dem iSy®-Chirurgie- und Prothetik-Set und dem All-in-Set. Im All-in-Set sind alle Teile für die Erstversorgung des Patienten enthalten (13):

- Implantat mit vormontierter Implantatbasis
- Verschlusskappe, falls doch eine gedeckte Einheilung gewünscht ist
- Gingivaformer

- Multifunktionskappen für Abformen, Scannen und provisorische Versorgung
- Einpatienten-Formbohrer

Die enossalen Implantate des iSy®-Systems sind in vier unterschiedlichen Längen (7,3 mm, 9,0 mm, 11,0 mm und 13,0 mm) und drei unterschiedlichen Durchmessern (3,8 mm, 4,4 mm und 5,0 mm) erhältlich (13):



Abbildung 4: iSy®-Pilotbohrer, iSy®-Implantat und iSy®-Multifunktionskappe

Mit diesem System kann eine Versorgung von Einzelzahnimplantaten, von Implantatbrücken und von vollständig zahnlosen Kiefern erfolgen. Auch ist die Aufnahme von Provisorien für alle drei Indikationen möglich. Eine verschraubte Versorgung ist bei Einzelkronen und bei unbezahnten Kiefern (hier aber nur in Kombination mit DEDICAM®) umsetzbar. Auch wenn bei den möglichen Indikationen der Schwerpunkt des Systems nicht auf zementierten Einzelkronen oder Brücken liegt, wird auch diese Variante der Versorgungsbefestigung unterstützt. Für den zahnlosen Kiefer ist eine prothetische Versorgung mit dem Locater®-System möglich. Es kann mit einem digitalen oder auch klassischen Workflow gearbeitet werden. Je nach Indikationsstellung kann mit den iSy®-Implantaten eine transgingivale Einheilung – laut Hersteller die bevorzugte Variante – oder auch eine subgingivale Einheilung gewählt werden (13).



Abbildung 5: iSy®-Implantat-Design

Die sechs Hauptmerkmale des iSy®-Implantat-Designs sind (13):

1. sandgestrahlte und säuregeätzte Implantatoberfläche (Promote® plus) für eine schnellere Osseointegration
2. im koronalen Bereich parallelwandiges und im apikalen Bereich konisches Design
3. Mikro- und Makro-Gewinde für eine hohe Primärstabilität
4. 2+2-Schneidnutendesign für den Gewindeschnitt
5. vormontierte Implantatbasis für die transgingivale Einheilung und prothetische Versorgung auf Abutmenthöhe; somit One-shift-Konzept möglich
6. integriertes Platform-Switching und selbsthemmende konische Verbindung mit Innensechskant

Das vom Hersteller empfohlene Bohrprotokoll besteht aus vier Schritten. Zunächst erfolgt die Markierung des Knochens an der geplanten Insertionsstelle mittels Rosenbohrer. Dann folgen die Vorbohrung mit einem Pilotbohrer und die finale Bohrung mit einem Formbohrer. Schließlich wird das Implantat in das aufbereitete Knochenbett inseriert (13).



Abbildung 6: Formbohrer für iSy®-Implantate mit 3,8 mm und 4,4 mm Durchmesser

Das System beinhaltet für ein erfolgreiches Weichgewebsmanagement eine Auswahl von drei verschiedenen Typen von Gingivaformern. Um ein Platform-Switching zu ermöglichen, sind diese drei Former auch in verschiedenen Höhen erhältlich (13). Für die prothetische Versorgung steht eine einheitliche Verbindung auf allen verfügbaren iSy®-Implantaten und Sekundärteilen zur Verfügung, was mögliche Verwechslungen bei der Auswahl kompatibler Teile ausschließt (13).

3 Material und Methoden

3.1 Patientenkollektiv

Die Nachuntersuchung schloss Patienten ein, bei denen nach Zahnverlust die Indikation für die Insertion eines enossalen Implantats zur Aufnahme einer Suprakonstruktion bestand. Es wurden für diese Arbeit die Daten von Patienten herangezogen, bei denen im Zeitraum von 2013–2017 an der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universitätsmedizin Mainz das iSy[®]-Implantatsystem der Firma Camlog eingesetzt wurde, das darauffolgend auch prothetisch versorgt wurde.

3.2 Methodik zur Erfassung des Patientenkollektivs

Um die zum Patientenprofil passenden Behandlungsfälle zu finden, wurden aus den OP-Berichten der Jahre 2013 bis 2017 der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universitätsmedizin Mainz Patienten herausgefiltert, die mit einem Implantat des iSy[®]-Systems versorgt wurden. Daraus ergab sich eine Stichprobe von 31 Patienten mit insgesamt 88 enossalen Implantaten des iSy[®]-Systems, die nach der Einheilphase auch prothetisch versorgt wurden.

3.3 Datenerhebung und -analyse

Mittels Abfragen aus dem Krankenhausinformationssystem (IS-H, SAP), dem Patientenmanagementsystem (VISIdent, BDV) und einer Röntgen-Bildgebungssoftware (Sidexis, Dentsply Sirona) wurden die Daten aller 31 Patienten hinsichtlich Art und Lokalisation der Implantation und der später erfolgten prothetischen Versorgung erhoben. Zur Verwaltung und Vorsortierung der so gesammelten Daten wurde ein Tabellenkalkulationsprogramm (Excel 2016, Microsoft) verwendet. Die statistische Auswertung der Daten und das Erstellen der zugehörigen Graphen erfolgte mit dem Programm SPSS 27 (IBM).

3.4 Röntgenologische Analyse

Zur Bestimmung des periimplantären Knochenabbaus ein Jahr nach Insertion wurden für alle 31 Patienten die Röntgenaufnahmen, als OPTG oder Einzelzahnaufnahmen vorliegend, mithilfe der Bildgebungssoftware Sidexis und der dort integrierten visuellen Analysewerkzeuge ausgewertet. Um genaue und objektive Aussagen zum Knochenabbau treffen zu können, wurde als Referenz das erstellte OPTG des Patienten am Tag der Implantatinsertion herangezogen. Die Analyse des Knochenabbaus erfolgte in Millimetern. Bei allen Implantaten wurden die mesiale und die distale Implantatfläche zunächst getrennt voneinander betrachtet, anschließend wurde aus diesen ein Mittelwert ermittelt.

3.5 Klinische Untersuchung

Die klinische Untersuchung des Überlebens der Implantate erstreckte sich über einen Zeitraum von bis zu 86 Monaten. Die Daten entstanden mithilfe eines Recall-Systems bei der Untersuchung der Patienten an der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universitätsmedizin Mainz.

4 Ergebnisse

4.1 Gesamtheit der Patienten

Im Folgenden wurden aus der Datenbank der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universitätsmedizin Mainz die Ergebnisse von 31 Patienten dargestellt, die insgesamt mit 88 Implantaten des iSy®-Implantatsystems der Firma Camlog versorgt wurden.

4.2 Alter und Geschlecht

In diesem Kollektiv waren 64,5% (n = 20) der Patienten weiblich und 35,5% (n = 11) männlich. Das Alter der Patienten lag zum Zeitpunkt der Implantatinsertion bei einem Minimum von 21 Jahren (n = 1) und einem Maximum von 80 Jahren (n = 3). Das durchschnittliche Alter lag bei $60,42 \pm 13,64$ Jahren. In Abbildung 7 ist anhand des Maximums der Verteilungskurve erkennbar, dass die meisten Patienten dieser Studie sich in der Altersgruppe von ca. 55 bis 65 Jahren befanden.

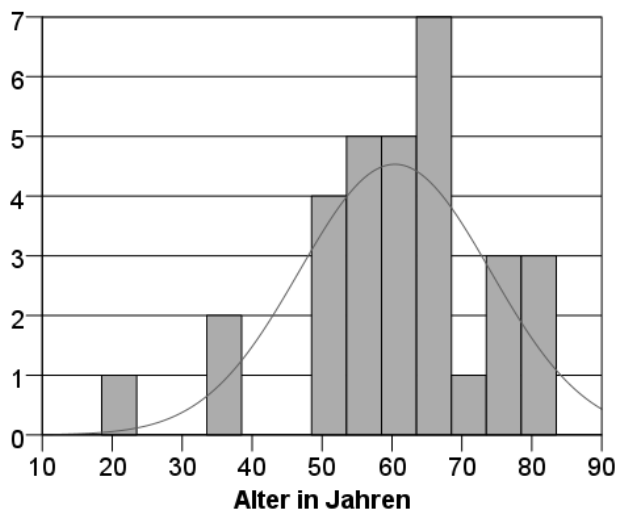


Abbildung 7: Altersverteilung mit einem iSy®-Implantat

Bei der Altersverteilung bezogen auf das Geschlecht lag das Mindestalter bei den Frauen bei 34 Jahren, das Maximalalter bei 80 Jahren und der Mittelwert bei 63 ± 12 Jahren. Für die Männer ergab sich ein Minimum vom 21 Jahren und ein Maximum von 80 Jahren. Hier lag der Mittelwert bei 56 ± 16 Jahren. Es konnte kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf das Alter der weiblichen und männlichen Patienten im

Kollektiv festgestellt werden ($p = 0,236$). Abbildung 8 gibt die genau Altersverteilung der einzelnen Patienten nach Geschlecht aufgeteilt wieder.

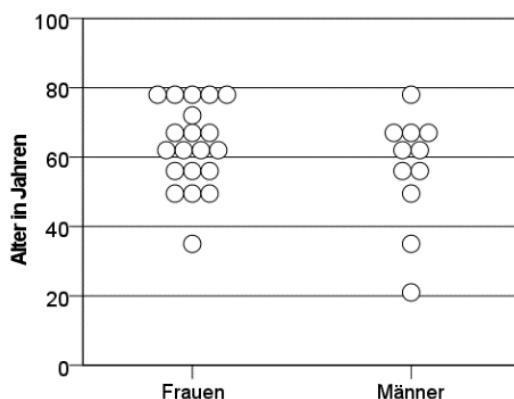


Abbildung 8: Altersverteilung in Jahren und nach Geschlecht

4.3 Risikoprofil

In dieser Untersuchung wurden für 80,6% ($n = 25$) der Patienten Risiken für die Implantation identifiziert. Ein Risikofaktor lag vor, wenn bei den Patienten mindestens einer der folgenden Merkmale zutraf:

- Rauchen
- Diabetes mellitus
- Parodontalerkrankungen

12% ($n = 3$) der Patienten waren Raucher. 24% ($n = 6$) litten an der Grunderkrankung Diabetes mellitus und bei 80% ($n = 20$) bestand eine Parodontalerkrankung in der Anamnese. Zudem lagen bei 12,9% ($n = 4$) der Patienten zwei Risikofaktoren gleichzeitig vor, sodass diese vier Patienten in beiden entsprechenden Risikogruppen aufgeführt wurden. Für 19,4% ($n = 6$) der Patienten bestand nach den definierten Kriterien dieser Untersuchung kein Risiko für die Implantation.

Ein geschlechterbezogenes Risiko bestand für 85% ($n = 17$) der Frauen und für 72,2% ($n = 8$) der Männer. Es konnte kein signifikanter Einfluss des Geschlechts auf das Auftreten eines Risikos in dieser Arbeit festgestellt werden ($p = 0,408$). Die genaue Verteilung der Risiken bezogen auf das Geschlecht ist Abbildung 9 zu entnehmen.

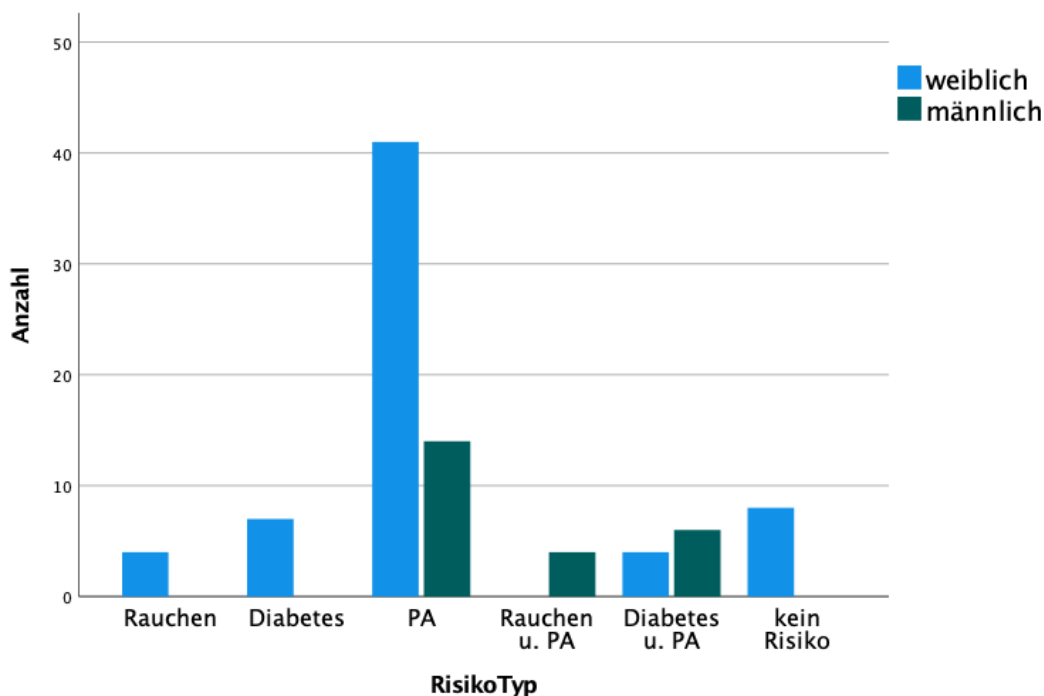


Abbildung 9: Verteilung des Risikos in Bezug auf das Geschlecht

4.4 Implantat-Statistik

Bei 31 Patienten wurden insgesamt 88 Implantate aus dem iSy®-System der Firma Camlog inseriert. Für die im Voraus geplante prothetische Versorgung erfolgte die Insertion von jeweils 17 (19,3%) Implantaten für Einzelzahnkronen, 9 (10,2%) Implantaten für Brücken und 62 (70,5%) Implantaten für Cover-Denture-Prothesen. 16 (51,6%) der behandelten Kiefer waren zahnlos. Es wurden insgesamt 59,1% (n = 57) der Implantate in diese unbezahnten Kiefer inseriert. Eine Indikation zur Implantatinserion im Unterkiefer bestand in 75% (n = 66) der Fälle. Für den Oberkiefer lag in 25% (n = 22) der Fälle eine Indikation vor.

Zur prothetischen Versorgung der 31 Patienten wurden Cover-Denture-Prothesen bei 17 (54,8%) Patienten, Einzelzahnkronen bei 11 (35,5%) Patienten und Brückenversorgungen bei den übrigen 3 (9,7%) Patienten eingesetzt. Damit waren insgesamt 45,2% (n = 14) der Patienten festsitzend versorgt.

Bei einer Unterteilung des Insertionsgebiets wurde deutlich, dass mit 68,2% (n = 60) die Mehrheit der Implantate im Seitenzahnbereich inseriert wurde und die restlichen 31,8% (n = 28) in der Frontzahnregion. Eine genauere Aufschlüsselung nach Zahnregion wird in Tabelle 8 dargelegt:

Tabelle 8: Anzahl der Implantate nach Zahnregion

Implantationsregion	Häufigkeit	Prozent
13	2	2,3 %
14	1	1,1 %
15	4	4,5 %
16	2	2,3 %
23	3	3,4 %
24	2	2,3 %
25	6	6,8 %
26	2	2,3 %
32	6	6,8 %
33	1	1,1 %
34	14	15,9 %
35	2	2,3 %
36	5	5,7 %
41/31 (median)	8	9,1 %
41	1	1,1 %
42	6	6,8 %
43	1	1,1 %
44	16	18,2 %
45	1	1,1 %
46	5	5,7 %

Es wurde indikationsbedingt für die Einheilungsphase bei 3,4% (n = 3) der Patienten eine subgingivale Einheilung gewählt, während die dominierende Variante der transgingivalen Einheilung in 96,6% (n = 85) der Fälle verwendet wurde. Innerhalb dieser Studie bestand die Indikation einer Augmentation bei 13,6% (n = 12) der Patienten. Art und Anzahl der durchgeführten Augmentationen sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9: Anzahl der Augmentationen und Arten der Augmentation

	Art der Augmentation	Anzahl	Anteil in Bezug auf alle Patienten	Anteil der augmentierten Patienten
mit Augmentation	GBR	7	8,0 %	58,3 %
	interner Sinuslift	4	4,5 %	33,3 %
	externer Sinuslift	1	1,1 %	8,3 %
ohne Augmentation	-	76	86,4 %	

Bei den Patienten, die in dieser Arbeit untersucht wurden, kamen alle drei verfügbaren Implantatdurchmesser und alle vier verfügbaren Implantatlängen aus dem Sortiment des iSy®-Systems von Camlog zum Einsatz. Aus Indikationsgründen wurden aber nicht alle zwölf theoretisch möglichen Kombinationen aus Durchmesser und Länge bei den Patienten der Stichprobe inseriert. In Tabelle 10 wird die genaue Verteilung der Implantate mit den verschiedenen Durchmessern und Längen dargestellt.

Tabelle 10: Anzahl der inserierten Implantate nach Durchmesser und Länge

	Durchmesser			Länge			
	3,8 mm	4,4 mm	5 mm	7,3 mm	9 mm	11 mm	13 mm
Anzahl	62	29	7	1	17	60	10
Prozent	70,5 %	21,6 %	8,0 %	1,1 %	19,3 %	68,2 %	11,4 %

Für die Insertion im Frontzahnggebiet wurde 26-mal (92,8 %) der Durchmesser 3,8 mm und zweimal (7,2 %) der Durchmesser 4,4 mm gewählt. Der Durchmesser 5 mm kam in der Frontzahnregion gar nicht zum Einsatz (0 %). Im Seitenzahnggebiet wurde der Durchmesser 3,8 mm 36-mal (60 %), der Durchmesser 4,4 mm 17-mal (28,3 %) und der Durchmesser 5 mm 7-mal (11,7 %) inseriert. Die Implantatlänge 11 mm wurde 23-mal (82,1 %) und somit am häufigsten für die Frontzahnregion gewählt, gefolgt von der Länge 13 mm (n = 3, 10,7 %) und schließlich der Länge 9 mm (n = 2, 7,2 %). Die Länge 7,3 mm wurde in der Frontzahnregion nicht genutzt (0 %). Auch im Seitenzahnggebiet wurden die Implantate mit 11 mm Länge am häufigsten eingesetzt (n = 37, 61,7 %). Die Länge 9 mm wurde hier 15-mal (25 %), die Länge 13 mm 7-mal (11,7 %) und die Länge 7,3 mm nur ein einziges Mal (1,6 %) inseriert. Somit konnte folglich beobachtet werden, dass die Indikation für eine Implantatlänge mit 11 mm in beiden Zahnggebieten am häufigsten (68,2 %) gegeben war. In Bezug auf den Durchmesser bestand in beiden Kiefern am häufigsten (70,5 %) eine Indikation für die Implantate mit dem geringsten Durchmesser (3,8mm).

Die Unterscheidung des Insertionsgebiets nach Ober- und Unterkiefer zeigte die Auswahl des Durchmessers 3,8 mm mit jeweils 12-mal (54,5 %) im OK und 50-mal (75,7 %) im UK. Implantate mit einem Durchmesser von 4,4 mm wurden 8-mal (36,4 %)

im Oberkiefer und 11-mal (16,7%) im Unterkiefer eingebracht. Die breiteren Implantate mit 5 mm Durchmesser wurden mit nur zwei Insertionen (9,1%) im Oberkiefer und fünf Insertionen im Unterkiefer (7,6%) am seltensten verwendet. Für die Implantatlänge wurde folgende Verteilung nach Ober- und Unterkiefer erhoben: Die langen Implantate mit den Längen 11 mm und 13 mm wurden öfter inseriert (79,5%) als die kürzeren Implantate mit 7,3 mm und 9 mm Länge (20,5%). Die Länge 11 mm wurde 7-mal im Oberkiefer (31,8%) und 53-mal im Unterkiefer (80,3%) eingesetzt und die Länge 13 mm wurde 4-mal im Oberkiefer (18,2%) und 6-mal im Unterkiefer (9,1%) verwendet. Implantate mit einer Länge von 9 mm wurden 11-mal im Oberkiefer (50%) und 6-mal im Unterkiefer (9,1%) verwendet. Die Länge 7,3 mm wurde nur einmal im Unterkiefer (1,5%) inseriert.

4.5 Knochenabbau

4.5.1 Im Allgemeinen

Im ersten Recall ein Jahr nach der Implantatinserion konnte bei fast allen inserierten Implantaten (n = 86) außer bei zwei, die als Frühverlust zu verzeichnen waren, eine röntgenologische Untersuchung des Knochenabbaus erfolgen. Hier wurde ein durchschnittlicher Knochenabbau von 0,26 mm mit einer Standardabweichung von $\pm 0,46$ mm beobachtet. Der Mindestwert lag bei 0 mm und der höchste gemessene Wert bei 2,5 mm.

Im zweiten Kontrolljahr konnten nur noch 54 der Implantate röntgenologisch beurteilt werden. Dabei wurde im Vergleich zum ersten Recall ein geringerer Knochenabbau beobachtet. Im Verhältnis zur Ausgangssituation direkt nach der Implantation lag der Mittelwert nach zwei Jahren bei 0,38 mm mit einer Standardabweichung von $\pm 0,49$ mm, der gemessene Minimalwert lag immer noch bei 0 mm und das Maximum an Abbau lag bei 1,9 mm.

4.5.2 Im Verhältnis zum Geschlecht

In Bezug auf das Geschlecht zeigte sich beim beobachteten Knochenabbau im untersuchten Kollektiv (n = 31), dass der Knochenabbau bei den männlichen Patienten im ersten und vor allem im zweiten Kontrolljahr höher war als bei den weiblichen Patienten. Im ersten Jahr konnte bei den weiblichen Patienten (n = 20) ein durchschnittlicher Abbau von 0,30 mm $\pm 0,63$ mm gemessen werden im Vergleich zu einem Mittelwert von 0,38 mm $\pm 0,50$ mm bei den männlichen Patienten (n = 11). Für

das zweite Kontrolljahr wurde bei den Recall-Patienten ($n = 20$) eine größere Differenz zwischen den Geschlechtern festgestellt. Hier betrug der durchschnittliche Knochenabbau bei den weiblichen Patienten ($n = 11$) $0,22 \text{ mm} \pm 0,41 \text{ mm}$ und bei den männlichen Patienten ($n = 9$) $0,68 \text{ mm} \pm 0,54 \text{ mm}$.

4.5.3 Im Verhältnis zu den Risiken

Bei Betrachtung des Zusammenhangs des Knochenabbaus und der in dieser Studie definierten Risiken bei Implantatinserterion zeigte sich, dass im ersten Jahr bei 78 Implantaten (90,7%), die bei Patienten mit einem Risikofaktor eingesetzt wurden, im Durchschnitt ein Abbau von $0,27 \text{ mm} \pm 0,48 \text{ mm}$ eintrat. Für die restlichen 8 Implantate (9,3%) bei den Patienten ohne vorhandene Risikofaktoren wurde ein Abbau von $0,21 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$ gemessen. Im zweiten Jahr konnte für die 48 Implantate, die mit einem Risikofaktor gekoppelt waren (55,8%), ein durchschnittlicher Knochenabbau von $0,38 \text{ mm} \pm 0,50 \text{ mm}$ beobachtet werden. Ein Durchschnittswert von $0,38 \text{ mm} \pm 0,34 \text{ mm}$ wurde bei den sechs Implantaten ohne Risikofaktor (7%) gemessen.

4.5.4 Im Verhältnis zu Ober- und Unterkiefer

Es wurde auch der Unterschied des Knochenabbaus in Bezug auf Ober- und Unterkiefer nach der Insertion untersucht. Hier wurden im ersten Kontrolljahr für die 21 im Oberkiefer inserierten Implantate (24,4%) ein durchschnittlicher Knochenabbau von $0,19 \text{ mm} \pm 0,26 \text{ mm}$ und für die 65 Implantate im Unterkiefer (75,6%) ein Wert von $0,29 \text{ mm} \pm 0,50 \text{ mm}$ gemessen. Im zweiten Jahr der röntgenologischen Kontrolle konnten insgesamt nur noch 53 (62,7%) der ursprünglich 86 Implantate untersucht werden. Hier lagen die Werte für die zwölf Implantate im Oberkiefer (13,9%) bei $0,50 \text{ mm} \pm 0,45 \text{ mm}$ und für die 42 Implantate im Unterkiefer (48,8%) bei $0,35 \text{ mm} \pm 0,50 \text{ mm}$.

4.5.5 Im Verhältnis zu Front- und Seitenzahngebiet

Der Knochenabbau wurde auch unter Berücksichtigung des Implantationsgebiets untersucht. Dabei wurden Front- und Seitenzahnregion miteinander verglichen. Im Frontzahngebiet war nach dem ersten Jahr bei insgesamt 28 Implantaten (32,6%) für den Knochenabbau ein Mittelwert von $0,22 \text{ mm}$ mit einer Standardabweichung von $\pm 0,36 \text{ mm}$ und im zweiten Jahr im gleichen Zahngebiet bei 16 Implantaten (18,6%) ein Abbau von $0,39 \text{ mm} \pm 0,41 \text{ mm}$ zu verzeichnen. Bei den 58 Implantaten (67,4%) im Seitenzahngebiet war im ersten Jahr ein durchschnittlicher Knochenabbau von $0,28$

mm $\pm 0,49$ mm feststellbar und im Vergleich hierzu war im zweiten Jahr bei 38 Implantaten (44,2%) ein Mittelwert von 0,38 mm $\pm 0,52$ mm zu beobachten.

4.5.6 Im Verhältnis zur Augmentation

Im ersten Jahr konnte für die 12,8% der Implantate (n = 11), die nach einer Augmentation inseriert wurden, für den Knochenabbau ein Mittelwert von 0,25 mm mit einer Standardabweichung von $\pm 0,31$ mm gemessen werden. Für die 87,2% (n = 75) der Implantate, die ohne Augmentation inseriert wurden, lag der Wert bei 0,26 mm $\pm 0,47$ mm. Im zweiten Kontrolljahr konnten 8,1% der Implantate (n = 7) mit Augmentation radiologisch nachverfolgt werden und für diese konnte ein Knochenabbau von 0,58 mm $\pm 0,44$ mm gemessen werden. Für die Gruppe ohne Augmentation konnten 54,6% der Implantate (n = 47) ausgewertet werden. Bei dieser Gruppe lag für den Knochenabbau ein Mittelwert von 0,35 mm $\pm 0,49$ mm vor.

4.5.7 Im Verhältnis zum Implantatdurchmesser

Um die Übersichtlichkeit beim Vergleich der Implantate in dieser Studie zu erhöhen, wurden die drei unterschiedlichen Durchmesser in zwei Gruppen eingeteilt. Die Implantate mit einem Durchmesser von 3,8 mm wurden als schmale Implantate definiert und die beiden Implantate mit Durchmesser 4,4 mm und 5 mm wurden als breite Implantate in eine Gruppe zusammengefasst.

Die 61 Implantate (70,9%), die zur Gruppe der schmalen Implantate zählten, zeigten im ersten Kontrolljahr einen Knochenabbau von durchschnittlich 0,27 mm $\pm 0,43$ mm. Im zweiten Jahr konnten 39 Implantate (45,3%) aus dieser Gruppe nachuntersucht werden und so ein Mittelwert von 0,40 mm $\pm 0,52$ mm ermittelt werden. Für die breiten Implantate mit einer Anzahl von 25 (29,1%) zeigte sich für den Knochenabbau im ersten Jahr ein Mittelwert von 0,26 mm $\pm 0,52$ mm und bei den 15 Implantaten (17,4%), die im zweiten Kontrolljahr nachuntersucht wurden, wurde ein Wert von 0,34 mm $\pm 0,40$ mm festgestellt.

4.5.8 Im Verhältnis zur Implantatlänge

Auch hier wurden zwecks einer einfacheren Betrachtung die vier verfügbaren Längen in eine Gruppe der kurzen und eine Gruppe der langen Implantate aufgeteilt. Die Gruppe der kurzen Implantate beinhaltete die zusammengeführten Daten zu den Implantaten der Längen 7,3 mm und 9 mm (n = 17). Die Daten zu den Längen 11 mm und 13 mm wurden der Gruppe der langen Implantate zugeordnet (n = 69). Im ersten Kontrolljahr konnte für die Gruppe der kurzen Implantate (19,8%) ein Mittelwert von

0,37 mm \pm 0,63 mm und für die langen Implantate (80,2%) ein Mittelwert von 24 mm \pm 0,40 mm ermittelt werden. Im zweiten Jahr konnten von den anfangs 17 Implantaten der Gruppe der kurzen Implantate noch neun Implantate (10,5%) nachbeobachtet werden. Der erhobene Mittelwert für diese Gruppe war 0,41 mm \pm 0,50 mm. Für die zweite Gruppe waren im zweiten Jahr noch 45 Implantate (52,3%) nachverfolgbar und der Knochenabbau betrug hier 0,38 mm \pm 0,49 mm.

4.5.9 Im Verhältnis zur Prothetik

Die prothetische Versorgung, die in Form von Einzelkronen, Brücken und Cover-Denture-Prothesen erfolgte, wurde für den übersichtlicheren Vergleich in die Kategorien festsitzender und herausnehmbarer Zahnersatz aufgeteilt.

Im ersten Kontrolljahr wurde bezüglich des Knochenabbaus bei den 25 Implantaten (29%), die mit einem festsitzenden Zahnersatz versorgt waren, ein Mittelwert von 0,34 mm \pm 0,54 mm festgestellt. 61 (71%) der inserierten und erfolgreich eingeheilten Implantate bekamen einen herausnehmbaren Zahnersatz. Bei dieser Gruppe konnte nach einem Jahr für den Knochenabbau ein Mittelwert von 0,23 mm \pm 0,42 mm beobachtet werden. Im zweiten Jahr konnten 18 der Implantate (20,9%) mit festsitzendem Zahnersatz nachuntersucht werden und dabei zeigte sich ein Durchschnittswert von 0,45 mm \pm 0,42 mm. Für die Gruppe mit herausnehmbarem Zahnersatz (n = 36, 41,9%) wurde im zweiten Jahr ein Mittelwert von 0,35 mm \pm 0,52 mm errechnet.

4.6 Nachbeobachtungszeitraum

Der klinische Beobachtungszeitraum der Implantate lag bei einem Minimum von einem Monat bis maximal 86 Monaten. Der Mittelwert der klinischen Nachbeobachtungszeit lag bei 45 \pm 23 Monaten. In dieser Arbeit wurde das Maximum der Beobachtungszeit auf 60 Monate festgelegt, um so eine einheitlichere und übersichtlichere Aussage zu den Fünf-Jahres-Überlebensraten der überprüften Implantate treffen zu können.

In der Nachbeobachtungszeit von 60 Monaten wurde ein Verlust von insgesamt drei Implantaten (3,4%) verzeichnet. Somit betrug die Fünf-Jahres-Überlebensrate in dieser Arbeit 96,6% (Abbildung 10). Zwei Implantate (2,3%) gingen bereits in den ersten drei Monaten, während der Einheilphase, verloren und wurden somit als Frühverluste betrachtet. Das dritte verloren gegangene Implantat war ein Spätverlust, dieses ging erst nach 56 Monaten und nach prothetischer Belastung verloren.

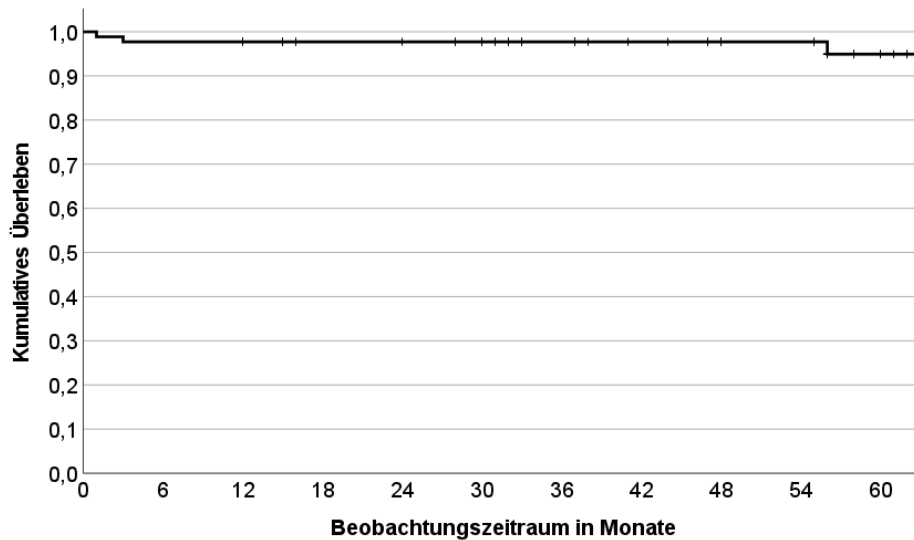


Abbildung 10: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit zur Verlustrate

4.7 Einfluss des Geschlechts auf das Implantat-Überleben

Beim Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Überlebensrate der Implantate (Abbildung 11) wurde kein signifikanter Einfluss ($p = 0,178$) festgestellt.

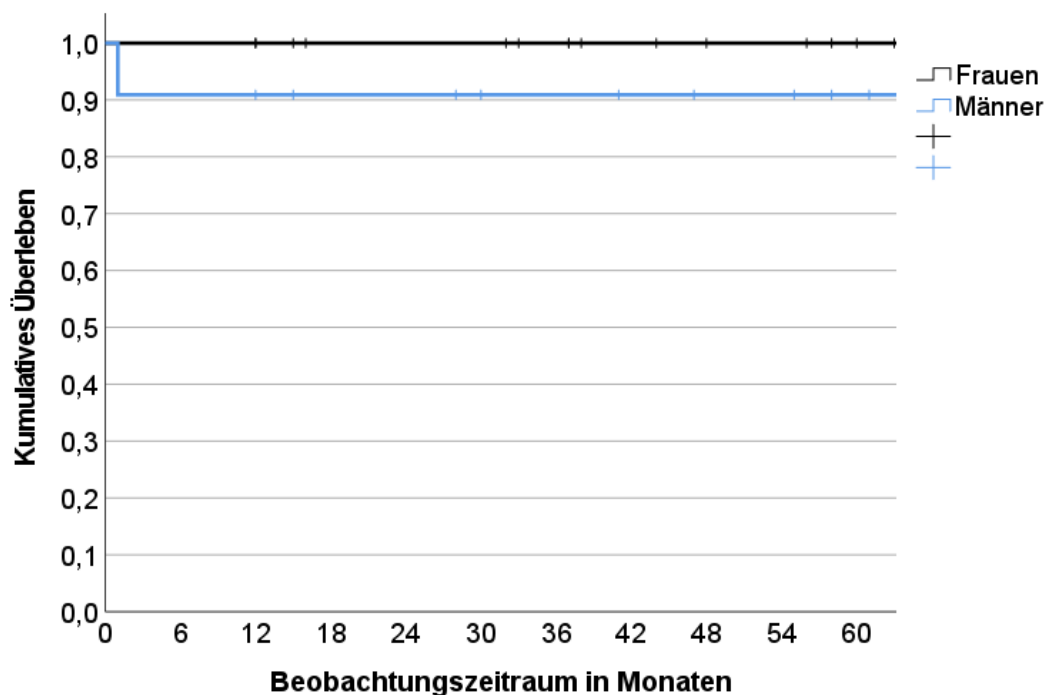


Abbildung 11: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit vom Geschlecht

4.8 Einfluss Kieferhälfte auf das Implantat-Überleben

Der p-Wert in Bezug auf die Insertion der Implantate im Ober- oder Unterkiefer und die Überlebensrate der Implantate lag in der hier vorliegenden Arbeit bei 0,685 und zeigte somit keinen signifikanten Zusammenhang (Abbildung 12).

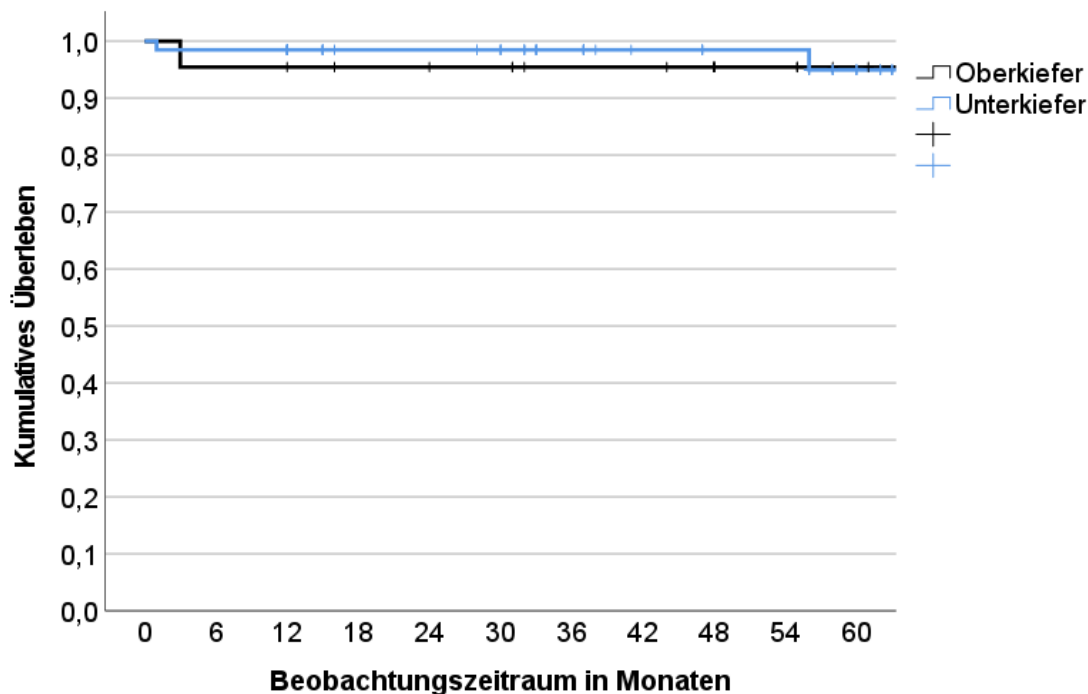


Abbildung 12: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit vom Kiefer der Insertion

4.9 Einfluss Kieferregion auf das Implantat-Überleben

Es konnte keine Signifikanz ($p = 0,926$) für einen Zusammenhang zwischen der Implantatinsertion in der Front- oder Seitenzahnregion und dem Implantat-Überleben festgestellt werden (Abbildung 13).

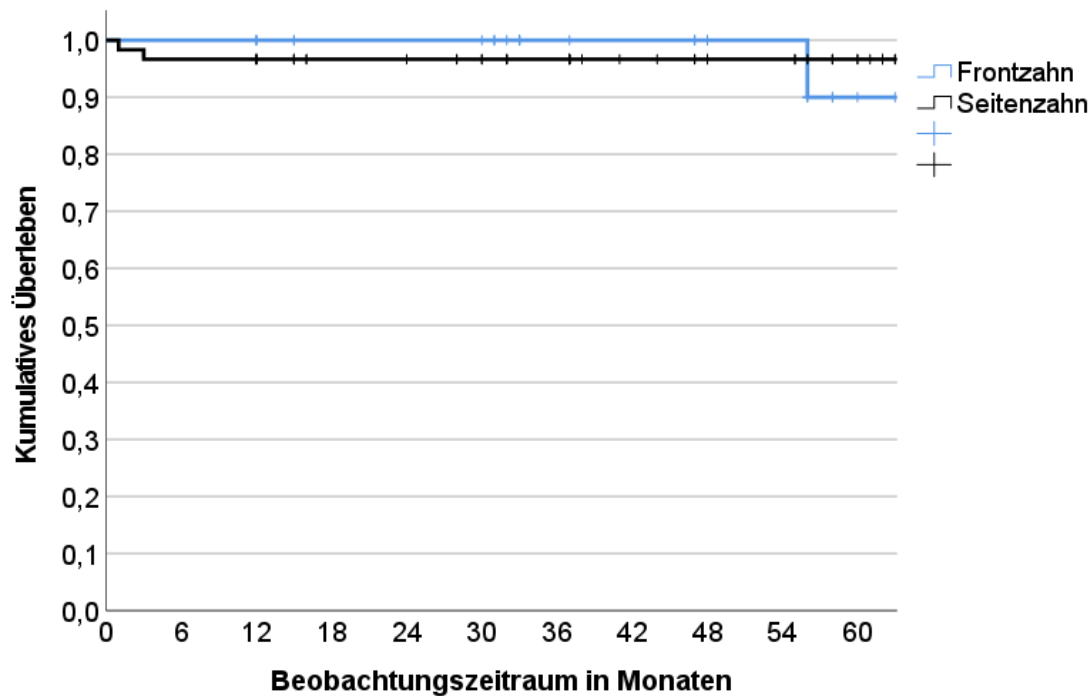


Abbildung 13: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit von der Insertion in Front- oder Seitenzahngebiet

4.10 Einfluss Augmentation auf das Implantat-Überleben

Hinsichtlich der Fragestellung, ob eine Augmentation Einfluss auf die Überlebensrate hat, konnte mit einem p-Wert von 0,293 keine Signifikanz beim untersuchten Patientenkollektiv festgestellt werden (Abb. 14).

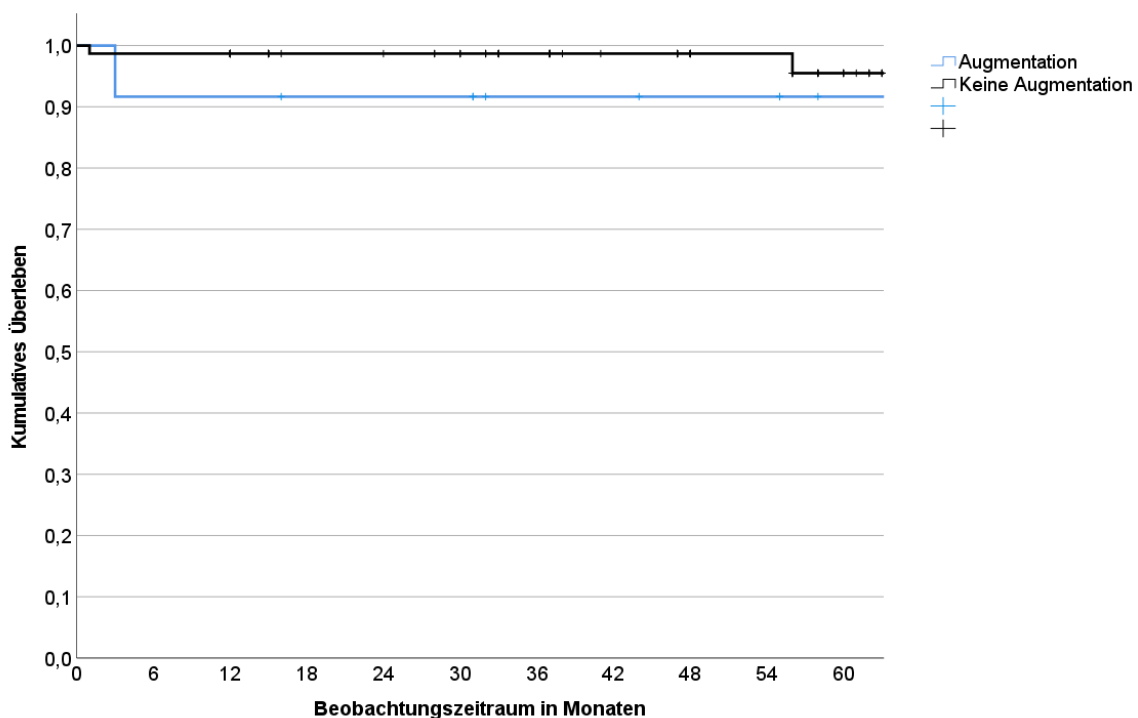


Abbildung 14: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit zur Augmentation

4.11 Einfluss Einheilmodus auf das Implantat-Überleben

In dieser Arbeit konnte kein signifikanter Einfluss ($p = 0,685$) bei der Wahl von subgingivaler und transgingivaler Einheilung in Bezug auf das Überleben festgestellt werden (Abbildung 15).

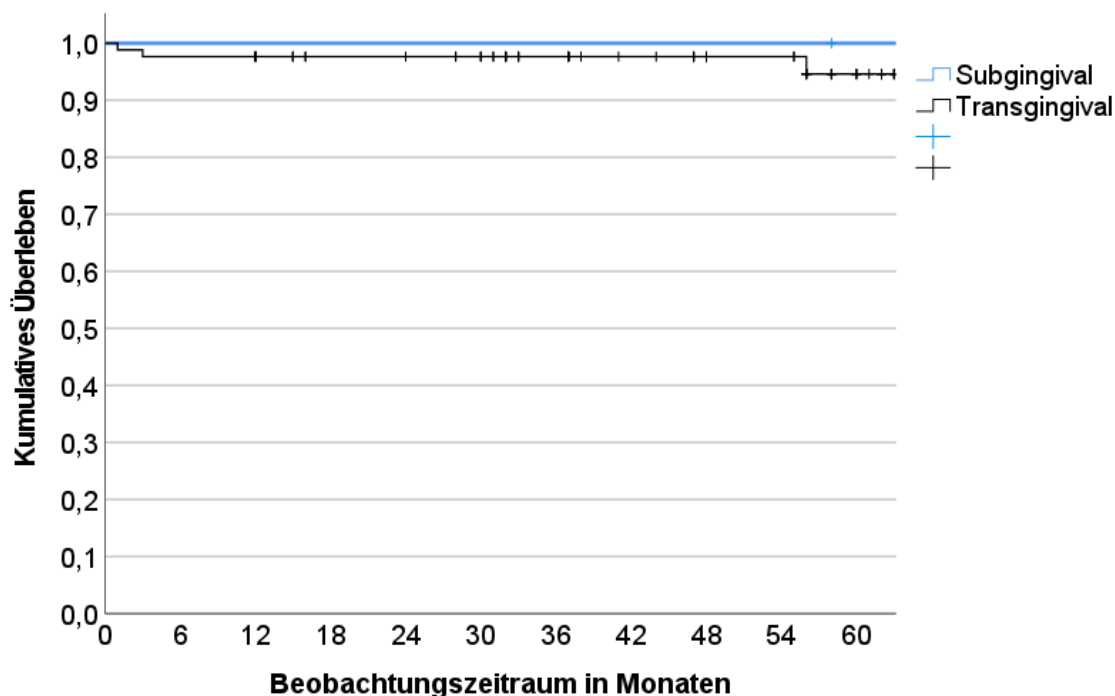


Abbildung 15: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit des Einheilungsmodus

4.12 Einfluss Prothetik auf das Implantat-Überleben

Der errechnete p -Wert für den Einfluss der Art des Zahnersatzes (festsetzend oder herausnehmbar) auf die Überlebensrate lag bei 0,867 und war somit nicht signifikant (Abbildung 16). Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied im Fünf-Jahres-Überleben hinsichtlich der gewählten prothetischen Versorgungsform.

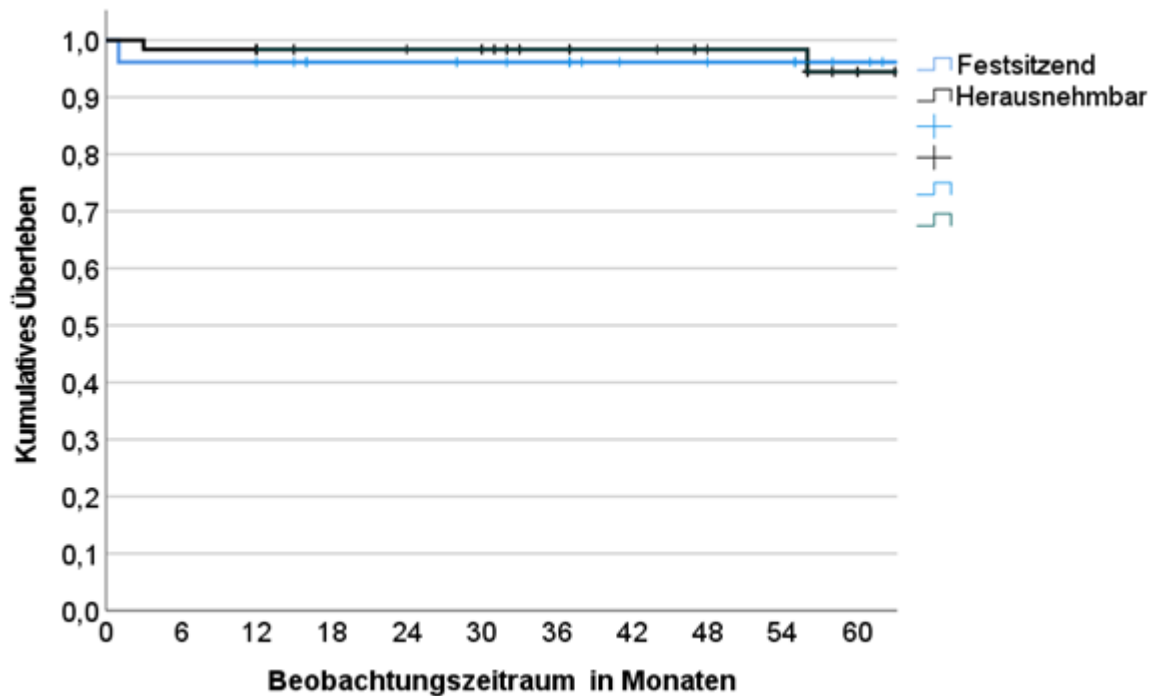


Abbildung 16: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit von der prothetischen Versorgung

4.13 Einfluss Implantatdurchmesser auf das Implantat-Überleben

In dieser Arbeit konnte kein Einfluss ($p = 0,983$) des Implantatdurchmessers (schmal: 3,8mm oder breit: 4,3 oder 5mm) auf das Überleben der Implantate festgestellt werden (Abbildung 17).

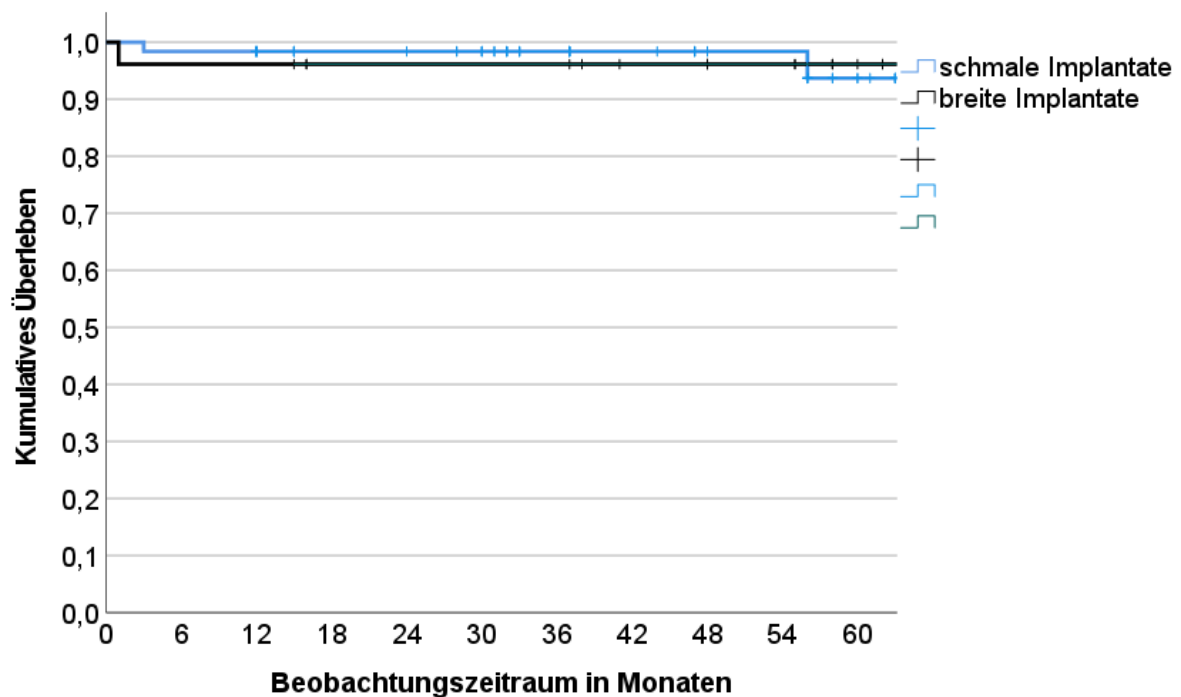


Abbildung 17: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit vom Durchmesser des Implantats

4.14 Einfluss Implantatlänge auf das Implantat-Überleben

Es war kein signifikanter Einfluss ($p = 0,542$) der ausgewählten Implantatlänge auf das Überleben des Implantats nachweisbar (Abbildung 18).

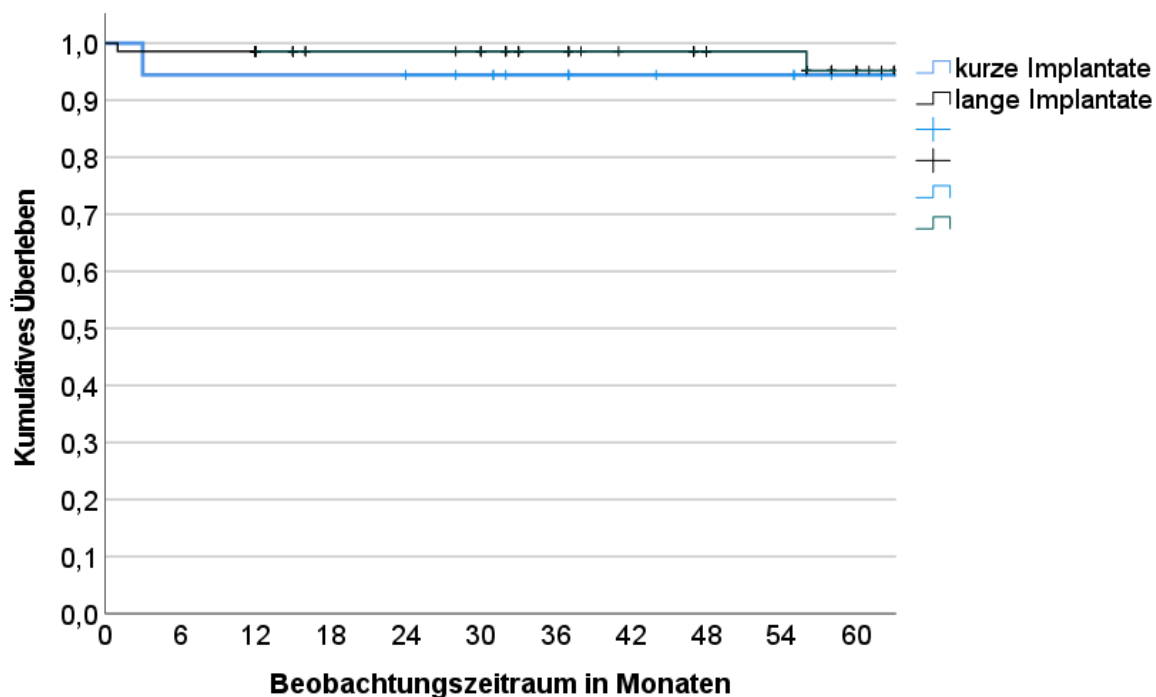


Abbildung 18: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit von der Länge des Implantats

4.15 Einfluss des Risikos auf das Implantat-Überleben

Für die Abhängigkeit des Überlebens vom Vorhandensein eines Risikofaktors lag der p-Wert bei 0,609 und somit war in diesem Kollektiv kein signifikanter Einfluss von Risikofaktoren auf die Überlebensrate nachweisbar (Abbildung 19).

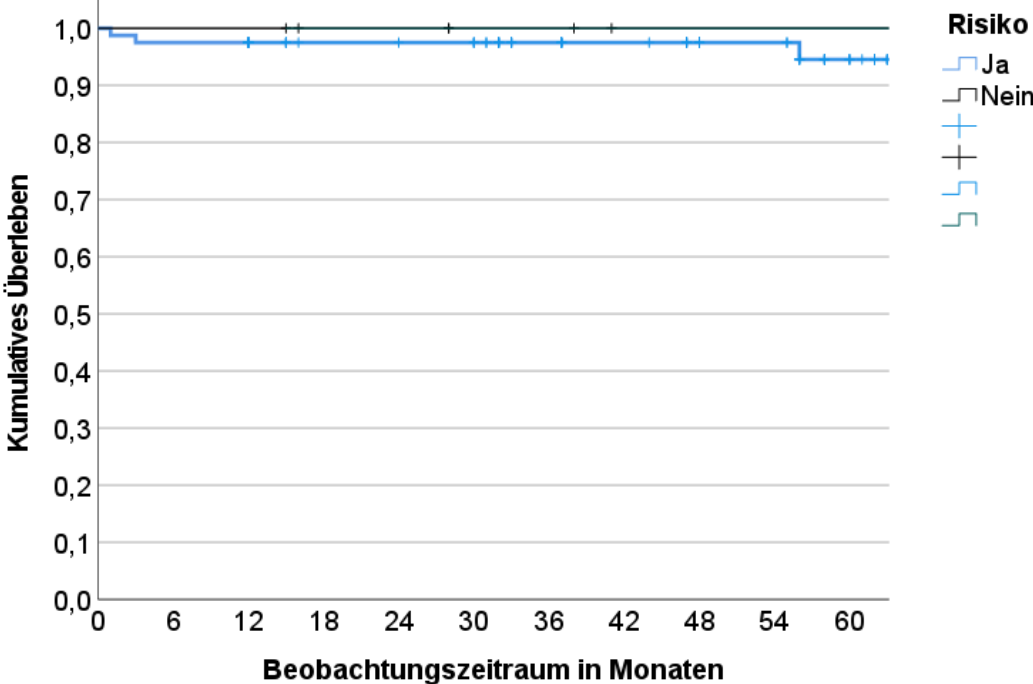


Abbildung 19: Fünf-Jahres-Überleben in Abhängigkeit vom Vorhandensein eines Risikofaktors

5 Diskussion

In dieser retrospektiven Studie wurden die Daten von 31 Patienten nachuntersucht, die an der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universitätsmedizin Mainz mit insgesamt 88 iSy®-Implantaten der Firma Camlog versorgt wurden.

Die Mehrheit der teilnehmenden Patienten (61,3%, n = 19), bei denen die Notwendigkeit einer Implantation zum Ersatz eines oder mehrerer verloren gegangener Zähne bestand, war im Alter von über 60 Jahren. Die Beobachtung einer Zunahme der Implantationsindikationen im höheren Alter ist übereinstimmend mit den Daten aus anderen wissenschaftlichen Studien zu dieser Fragestellung. So wird für Deutschland angegeben, dass das Durchschnittsalter der Bevölkerung kontinuierlich steigt und somit ein höherer zahnärztlicher Behandlungsbedarf entsteht (72, 73).

In Bezug auf die Geschlechterverteilung lag bei dem Kollektiv dieser Studie das Verhältnis zwischen Frauen und Männer bei etwa 2:1 (20 weibliche und 11 männliche Patienten). In ihrem systematischen Review konnten Goiato et al. eine Tendenz zu mehr Implantationen bei Frauen im Vergleich zu Männern feststellen (74).

Bei 80,6% der Patienten (n = 25) aus der in dieser Arbeit nachuntersuchten Personengruppe lag mindestens ein Risikofaktor (Rauchen, Diabetes mellitus und /oder Parodontalerkrankung) bezüglich der Implantation vor. Die hohe Anzahl an Risikopatienten kann darauf zurückgeführt werden, dass diese Risiken mittlerweile nicht mehr als absolute Kontraindikationen betrachtet werden (32) und somit mehr Implantatinsertionen bei Patienten mit solchen Profilen erfolgen können. Hinzu kommt, dass in der Zahnklinik der Universitätsmedizin Mainz in der Regel eine höhere Anzahl an Risikopatienten behandelt wird als in den Praxen der niedergelassen zahnärztlichen Kollegen. Auch durch die Weiterentwicklung der Implantatoberflächen in den letzten Jahrzehnten kam es zu einer Verkürzung der Einheilzeit, die ein breiteres Indikationsspektrum für den Behandler ermöglicht hat (75).

Für die prothetische Versorgung wurden von den insgesamt 88 Implantaten 17 (19,3%) mit Einzelkronen, 9 (10,2%) Implantate mit Brücken und 62 (70,5%) Implantate mit Cover-Denture-Prothesen versorgt. Im Gegensatz zu der hier ermittelten Verteilung werden laut Literatur die Mehrzahl der inserierten Implantate für festsitzende Versorgungen genutzt (66, 73). An der Universitätsmedizin Mainz war die häufigere Wahl für die Implantatinsertion zur Stabilisierung von Cover-Denture-Prothesen insbesondere durch die niedrigeren Kosten des iSy®-Implantatsystems

begründet. Dieser Aspekt des Kostenvorteils war auch ein Grund für die Einführung des iSy[®]-Implantatsystems (76).

Bei dem Patientenkollektiv dieser Arbeit wurden von 88 Implantaten 66 Stück (75 %) im Unterkiefer inseriert. Diese Verteilung ist vergleichbar mit den Daten aus der systematischen Literaturübersicht von Raghoobar et al., aus der ebenfalls eine höhere Anzahl von Implantationen im Unterkiefer hervorgeht (77). Ähnliche Verteilungswerte sind auch in weiteren Studien erhoben worden (4, 74).

Etwa 2/3 (68,2 %) der Implantate innerhalb dieser Untersuchung wurden im Seitenzahnggebiet inseriert. Dies ist weitgehend übereinstimmend mit den ermittelten Werten (66,34 %) aus der Untersuchung von Sulzer et al. (73).

In der vorliegenden Arbeit wurden knapp mehr als die Hälfte der Implantate (n = 57, 51,6 %) bei zahnlosem Kiefer inseriert. Dies ist abweichend von der in der Literatur beschriebenen Tendenz mit einer erhöhten Häufigkeit der Implantation bei teilbezahnten Patienten (4, 73).

Nur bei 3 Patienten (3,4 %) wurde nach der Implantation eine subgingivale Einheilung präferiert. Für die Mehrheit der eingesetzten Implantate (n = 85, 96,6 %) wurde damit ein offener Einheilmodus gewählt. Diese Gewichtung bezüglich des Einheilmodus ist mit den in der Literatur angegebenen Daten (78) nicht direkt vergleichbar, da das hier eingesetzte und untersuchte iSy[®]-System primär für eine transgingivale Einheilung konzipiert worden ist.

In dieser Studie war jeweils bei 12 Implantaten (13,6 %) vor der Insertion eine Knochenaugmentation notwendig. In dem Review von Zhao et al. wurden hingegen für bis zu 50 % aller Implantatinsertionen auch Knochentransplantate eingebracht (79). Aufgrund seiner Indikationseinschränkung auf nicht komplexe Fälle ist jedoch für das iSy[®]-Implantatsystem eine Gegenüberstellung mit der Literatur in Bezug auf die Häufigkeit notwendiger Augmentationen nicht sinnvoll. Ein direkter Vergleich ist hier nur mit einem Implantatsystem mit ähnlicher Indikationsstellung aussagekräftig. So haben auch Ulrici et al. (2015), die ebenfalls das iSy[®]-Implantatsystems einsetzen, bei nur 6 % der insgesamt 166 inserierten Implantate eine simultane Knochenaugmentation durchführen müssen (76).

Bedingt durch das auf einfache Handhabung ausgelegte Design des iSy[®]-Implantatsystems standen maximal drei verschiedene Implantatdurchmesser (3,8

mm–5,0 mm) und vier Implantatlängen (7,3 mm–13 mm) zur Verfügung. Somit ist ein direkter Vergleich mit Werten aus anderen Studien, die eine große Variation in Bezug auf Implantatdurchmesser und -längen aufweisen, nur eingeschränkt möglich. Aber im direkten Vergleich zu Studien zum iSy[®]-Implantatsystem wie der von Ulrici et al. (2015) gibt es Übereinstimmungen. Bei den Patienten aus dieser Studie wurden keine Implantate mit dem Durchmesser von 5,0 mm im Frontzahnbereich inseriert und bei den meisten Insertionen (75 %, n = 62) wurde ein Durchmesser von 3,8 mm gewählt, ähnlich wie bei Ulrici et al., wo dies bei 68,1 % der Insertionen der Fall war. In Bezug auf die am häufigsten eingesetzte Implantatlänge gab es einen Unterschied zwischen Ulrici et al. und der vorliegenden Arbeit. Bei Ulrici et al. wurde in 56,0 % der Fälle (n = 93) ein Implantat der Länge 13 mm gewählt, wohingegen in dieser Arbeit mit 68,2 % (n = 60) am häufigsten die Indikation für die Implantatlänge 11 mm bestand (76).

Beim ersten Recall nach einem Jahr konnte bei fast allen zuvor inserierten Implantaten röntgenologisch der Knochenabbau bestimmt werden und es ergab sich hierbei ein durchschnittlicher Wert von 0,26 mm mit einer Standardabweichung von $\pm 0,46$ mm. Nach zwei Jahren konnten noch 54 Implantate nachuntersucht werden und der beobachtete Knochenabbau lag hier bei 0,38 mm $\pm 0,49$ mm. Damit war festzustellen, dass der Knochenabbau im ersten Jahr höher lag als im Folgejahr, was übereinstimmt mit den Ergebnissen aus dem systematischen Review von Saravi et al. (80).

Der Nachbeobachtungszeitraum in dieser Studie wurde auf 60 Monate festgelegt. Somit konnte die Fünf-Jahres-Überlebensrate der eingesetzten Implantate nachverfolgt werden. In der wissenschaftlichen Literatur werden Studien mit Beobachtungszeiträumen von bis zu 30 Jahren zitiert (81). Bei dem in dieser Arbeit untersuchten iSy[®]-System handelt es sich jedoch um ein Implantatsystem, das erst seit 2013 auf dem Markt erhältlich ist. Daher können an dieser Stelle rückblickend nur Daten aus diesem kurzen Zeitraum ausgewertet werden.

In dieser Arbeit konnte eine Fünf-Jahres-Überlebensrate von 96,6 % der insgesamt 88 Implantate beobachtet werden, was mit den Daten von Pjetursson et al. (2014) mit Werten zwischen 95,8 % und 97,9 % und der Metaanalyse von Alrabiah (2019) mit Überlebensraten von 93,1 % bis 100 % vergleichbar ist (18, 19). Auch in weiteren wissenschaftlichen Studien wurden die Überlebensraten mit mehr als 95 % angegeben (16, 17).

Die Aussage über den Einfluss des Geschlechts auf die Verlustrate der Implantate ist kritisch zu betrachten, da die Verteilung der Implantatinsertionen zwischen den Geschlechtern im vorliegenden Kollektiv nicht gleichmäßig war (20 Frauen mit 64 Implantaten und elf Männer mit 24 Implantaten bei insgesamt 88 inserierten Implantaten und 31 Patienten). In dieser Arbeit gingen 3,4% der Implantate ($n = 3$) verloren. Von diesen drei Implantaten waren zwei (66,7%) bei weiblichen Patienten inseriert. Somit wurde für Frauen zwar absolut eine höhere Verlustrate beobachtet als für Männer. Bei der Betrachtung der relativen Häufigkeit jedoch zeigte sich in dieser Studie kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern in Bezug auf die Überlebensrate. In einem systematischen Review von Chrcanovic et al. konnte ebenfalls keine Signifikanz beim Einfluss des Geschlechts auf die Verlustrate von enossalen Implantaten festgestellt werden (82, 83).

Für die Überlebensrate in Bezug auf die Kieferhälfte war in dieser Arbeit kein deutlicher Unterschied zu registrieren. Die gleiche Beobachtung machte Jemt (2017) in seiner retrospektiven Studie zu über 9500 inserierten Implantaten. Er konnte keine Signifikanz für das Verhältnis zwischen Kieferhälfte des inserierten Implantats und dessen Überlebensdauer beobachten (84).

Ein Einfluss der Kieferregion (Front- oder Seitenzahnggebiet) auf das Implantat-Überleben konnte in dieser Studie nicht nachgewiesen werden. Im Seitenzahnbereich war die Überlebensrate zwar niedriger, jedoch zeigte sich hier kein signifikanter Unterschied zum Frontzahnbereich. Jemt et al. (2016) stellten ein erhöhtes Risiko in Bezug auf das Überleben für das posteriore Zahnggebiet im teilbezahnten Unterkiefer fest (85).

Für die angewandten Augmentationstechniken GBR und Sinuslift (extern oder intern) war keine signifikante Abweichung ($p = 0,293$) beim Implantat-Überleben gegenüber den Patienten zu sehen, die keine Augmentation erhalten hatten. In einer Metaanalyse von Al-Nawas et al. wurde die Überlebensrate von Implantaten, die bei einer Augmentation des Kieferkamms inseriert wurden, allgemein als hoch eingeschätzt (86).

Es zeigte sich hinsichtlich der beiden Einheilmodi transgingival und subgingival kein signifikanter Unterschied bei den Überlebensraten der Implantate. Zum gleichen Ergebnis kam die Arbeitsgruppe von Esposito in einem systematischen Review (78).

Es konnte in Bezug auf die prothetischen Versorgungsformen ‚festsitzender‘ oder ‚herausnehmbarer Zahnersatz‘ kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Überlebensraten festgestellt werden. Vergleichbare Ergebnisse wurden auch in dem systematischen Review von Pjetursson et al. (2014) und in der Literaturübersichtarbeit von Goodacre et al. (2017) präsentiert (19, 87).

Nach Belastung der Implantate war ein Spätverlust bei einem Implantat zu beobachten, das mit einem herausnehmbaren Zahnersatz versorgt worden war. Dieser singuläre Implantatverlust in der hier vorliegenden Arbeit lässt jedoch keine Aussage zu einem signifikanten Zusammenhang mit herausnehmbaren Versorgungsformen zu. Das systematische Review von Kern et al. zeigte aber, dass bei herausnehmbarem Zahnersatz ein Implantatverlust häufiger auftreten kann als bei feststehend versorgten Implantaten. In ihrer Untersuchung konnten die Autoren auch aufzeigen, dass bei herausnehmbaren Versorgungsformen mit abnehmender Anzahl von Implantaten die Verlustraten der Implantate anstiegen (88).

Studien zum Einfluss von Länge und Durchmesser der Implantate und dem Insertionsgebiet haben gezeigt, dass die Verlustrate ansteigt mit Abnahme des Implantatdurchmessers. Somit sind die Verlustraten am höchsten für die schmalsten Durchmesser. Bei der Betrachtung der Implantatlänge ergab sich, dass der Verlust bei den kurzen Implantaten am höchsten war und mit zunehmender Länge der inserierten Implantate abnahm. Die höchste Verlustrate der Implantate lag im Frontzahnbereich vor. Die Autoren konnten für kurze Implantate, die im Frontzahngebiet inseriert waren, einen signifikanten Zusammenhang mit der erhöhten Verlustrate feststellen (83). Bei den inserierten Implantaten der vorliegenden Arbeit kam es zu Frühverlusten bei zwei Implantaten, die im Seitenzahngebiet inseriert worden waren. Ein weiteres Implantat mit Spätverlust befand sich im Frontzahnbereich. Bei den Frühverlusten handelt es sich um die Längen 9 mm (mit 3,8 mm Durchmesser) und 11 mm (mit 4,4 mm Durchmesser) und beim Spätverlust um 13 mm (mit 3,8 mm Durchmesser).

Das Rauchen hat eine statistische Relevanz in Bezug auf die Implantatversagensrate, dieser Zusammenhang ist in der Literatur mehrfach untersucht und verifiziert worden (38, 39, 89). Daher wurde auch für das Patientenkollektiv dieser Arbeit der Einfluss des Rauchens als relevanter Risikofaktor untersucht. Bei Diabetes mellitus besteht laut Literatur vor allem bei schlecht eingestellten Diabetespatienten eine Relation zum Implantat-Überleben. Ob auch die Dauer dieser chronischen Stoffwechselerkrankung

Einfluss auf das Implantat-Überleben hat, ist noch nicht bestätigt worden (31). In der Literatur konnte zudem nachgewiesen werden, dass es bei Patienten mit Parodontalerkrankungen häufiger zu späten Verlusten von Implantaten kam (39, 89). Die in dieser Arbeit ermittelten Werte zeigen, dass für den Knochenabbau im periimplantären Bereich im ersten Jahr bei den Patienten, bei denen mindestens eines der oben genannten Risikofaktoren bestand, höhere Werte ($0,27 \text{ mm} \pm 0,48 \text{ mm}$) zu beobachten waren als bei Patienten ohne Risikofaktoren ($0,21 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$).

6 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden die Fünf-Jahres-Überlebensraten von 88 endossalen Implantaten des iSy®-Systems der Firma Camlog untersucht, die bei 31 Patienten der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universitätsmedizin Mainz inseriert wurden. Dieses Implantatsystem, das nach Herstellervorgabe eine speziell für einfachere Fälle entwickelte Lösung ist, wurde in allen zur Verfügung stehenden vier Längen und drei Durchmessern beim zuvor erwähnten Patientenkollektiv nach Indikationsstellung inseriert. Während des fünfjährigen Beobachtungszeitraums gingen insgesamt drei Implantate verloren. Hiervon waren zwei als Frühverluste zu verzeichnen und ein Implantat ging nach 56 Monaten nach bereits erfolgter prothetischer Versorgung verloren. Somit betrug die Fünf-Jahres-Überlebensrate für die Implantate in dieser Untersuchung bei 96,6%. Diese Rate ist übereinstimmend mit den Werten, die in der Literatur für das Überleben von Titanimplantaten angegeben werden (16-19). So haben Ulrici et al. (2015) bei Untersuchungen des gleichen Implantatsystems in ihrem 1-Jahres-Follow-up einen Wert von 97,5% angegeben (76). Die Patienten wurden sowohl mit feststehendem als auch mit herausnehmbarem prothetischem Zahnersatz versorgt. Der überwiegende Anteil (70,5%) der Implantate wurde mit Cover-Denture-Prothesen versorgt und dies spiegelt die Hauptindikation für dieses Implantatsystem an der Universitätsmedizin Mainz wider. In dem untersuchten Kollektiv waren 64,5% der Patienten weiblich (n = 20) und 35,5% (n = 11) männlich. Auch andere Arbeitsgruppen konnten mehr Insertionen bei Frauen als bei Männern beobachten (74, 84). In Bezug auf das Alter lag das Minimum bei 21 Jahren und das Maximum bei 80 Jahren (Durchschnitt 60,42 ±13,64 Jahre). Bei 80,6% der Patienten (n = 25) bestand mindestens ein Risikofaktor in Form von Rauchen, Diabetes mellitus oder einer Parodontalerkrankung. Der Großteil der 88 inserierten Implantate (75%) wurde in den Unterkiefer eingesetzt. Diese Verteilung ist vergleichbar mit den Daten aus der systematischen Literaturübersicht von Raghoobar et al., aus der ebenfalls hervorgeht, dass in der Literatur Implantatinsertionen im Unterkiefer überwiegen (77). Beim Kollektiv aus der hier vorliegenden Arbeit wurden 60 (68,2%) Implantate im Seitenzahnggebiet inseriert. Eine Indikation zur Augmentation bestand bei 12 Personen (13,6%) und nur bei drei Patienten (3,4%) wurde indikationsbedingt ein subgingivaler Einheilmodus gewählt. Bei der röntgenologischen Untersuchung im ersten Jahr nach Insertion konnte bei fast allen Implantaten (n = 86, Frühverlust von

zwei Implantaten) eine Analyse des Knochenabbaus erfolgen. Es konnte ein durchschnittlicher Knochenabbau von $0,26 \text{ mm} \pm 0,46 \text{ mm}$ bei einem Minimum von 0 mm und einem Maximum von 2,5 mm beobachtet werden. Im zweiten Jahr lag der Knochenabbau bei den 54 nachuntersuchten Implantaten bei $0,38 \text{ mm} \pm 0,49 \text{ mm}$, der Minimalwert lag immer noch bei 0 mm und das Maximum an Abbau betrug 1,9 mm. Es konnte somit im ersten Jahr ein größerer Knochenabbau beobachtet werden. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kamen auch Saravi et al. (80). Werden diese Werte nach den Erfolgskriterien von Albrektsson für den Knochenabbau herangezogen, so sollte der vertikale Knochenabbau nach dem ersten Jahr der Liegedauer kleiner als $0,2 \text{ mm/Jahr}$ sein (2). In dieser Arbeit konnte kein direkter Einfluss des Geschlechts, der Kieferhälfte, der Kieferregion, der Augmentation, des Einheilmodus, der prothetischen Versorgung, der Implantatlänge und des Implantatdurchmessers auf die Überlebensrate der Implantate festgestellt werden. Aber in Bezug auf das Vorhandensein eines Risikos (Rauchen, Diabetes mellitus und/oder Parodontitis) konnte ein erhöhter Knochenabbau bei den Risikopatienten im ersten Jahr ($0,27 \text{ mm} \pm 0,48 \text{ mm}$) im Vergleich zu den Patienten ohne ein Risiko ($0,21 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$) beobachtet werden.

Für genauere und detailliertere Aussagen bedarf es einer höheren Anzahl an Implantatinsertionen und eines längeren Beobachtungszeitraums. Es sollte auch beachtet werden, dass die Indikationsstellung für dieses Implantatsystem an einer Universitätsklinik, an der vorwiegend komplexere Fälle behandelt werden, eher selten ist.

7 Literaturverzeichnis

1. Lee JH, Frias V, Lee KW, Wright RF. Effect of implant size and shape on implant success rates: a literature review. *J Prosthet Dent.* 2005;94(4):377-81.
2. 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.
3. Adell R, Lekholm U, Rockler B, Brånemark PI. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. *Int J Oral Surg.* 1981;10(6):387-416.
4. Buser D, Belser UC. Fortschritte und aktuelle Trends in der oralen Implantologie. *SCHWEIZERISCHE MONATSSCHRIFT FÜR ZAHNMEDIZIN.* 1998;108:327-42.
5. Ravidà A, Saleh MHA, Muriel MC, Maska B, Wang HL. Biological and Technical Complications of Splinted or Nonsplinted Dental Implants: A Decision Tree for Selection. *Implant Dent.* 2018;27(1):89-94.
6. Knöfler W BT, Weber S, Schmenger K. Blattimplantate – eine Rückschau. Eine retrospektive Studie. *Z Zahnärztl Implantol.* 2020(36):250–5.
7. Pjetursson BE, Thoma D, Jung R, Zwahlen M, Zembic A. A systematic review of the survival and complication rates of implant-supported fixed dental prostheses (FDPs) after a mean observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res.* 2012;23 Suppl 6:22-38.
8. Jemt T, Olsson M, Renouard F, Stenport V, Friberg B. Early Implant Failures Related to Individual Surgeons: An Analysis Covering 11,074 Operations Performed during 28 Years. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2016;18(5):861-72.
9. Chrcanovic BR, Kisch J, Albrektsson T, Wennerberg A. Impact of Different Surgeons on Dental Implant Failure. *Int J Prosthodont.* 2017;30(5):445–54.
10. Ogle OE. Implant surface material, design, and osseointegration. *Dent Clin North Am.* 2015;59(2):505-20.
11. Gaviria L, Salcido JP, Guda T, Ong JL. Current trends in dental implants. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2014;40(2):50-60.
12. Implantologie K. Indikationsbeschreibung für die Regelfallversorgung in der Implantologie. Online verfügbar unter http://www.konsensuskonferenz-implantologie.eu/wp-content/uploads/141125_Indikationsklassen_pdf zuletzt geprüft am. 2014;12:2017.
13. („Camlog“) CVG. iSy-Implant [Available from: <https://www.isy-implant.de/>].
14. Abraham CM. A brief historical perspective on dental implants, their surface coatings and treatments. *Open Dent J.* 2014;8:50-5.
15. Brånemark P-I. Osseointegration and its experimental background. *J prosthet Dent.* 1983;50:399-410.
16. Moraschini V, Poubel LA, Ferreira VF, Barboza Edos S. 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.
17. Derks J, Hakansson J, Wennstrom 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.
18. Alrabiah M. Comparison of survival rate and crestal bone loss of narrow diameter dental implants versus regular dental implants: A systematic review and meta-analysis. *J Investig Clin Dent.* 2019;10(1):e12367.

19. Pjetursson BE, Asgeirsson AG, Zwahlen M, Sailer I. Improvements in implant dentistry over the last decade: comparison of survival and complication rates in older and newer publications. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014;29 Suppl:308-24.
20. Joda T, Michelaki I, Heydecke G. Peri-implant bone loss of dental implants with platform-switching design after 5 years of loading: a cross-sectional study. *Quintessence Int*. 2015;46(1):59-66.
21. Bosshardt DD, Chappuis V, Buser D. Osseointegration of titanium, titanium alloy and zirconia dental implants: current knowledge and open questions. *Periodontol 2000*. 2017;73(1):22-40.
22. Bayer G, Kistler F, Kistler S, Adler S, Neugebauer J. Immediate restorations with a reduced number of implants: Quintessence Publishing; 2011.
23. Soldner E, Herr G. Knochen, knochentransplantate und knochenersatzmaterialien. *Trauma und Berufskrankheit*. 2001;3(4):256-69.
24. Stoppie N, Pattijn V, Van Cleynenbreugel T, Wevers M, Vander Sloten J, Ignace N. Structural and radiological parameters for the characterization of jawbone. *Clin Oral Implants Res*. 2006;17(2):124-33.
25. Van der Linden J, Birkenhäger-Frenkel D, Verhaar J, Weinans H. Trabecular bone's mechanical properties are affected by its non-uniform mineral distribution. *Journal of Biomechanics*. 2001;34(12):1573-80.
26. Gutwald R, Gellrich N-C, Schmelzeisen R. Zahnärztliche Chirurgie und Implantologie 3. A. : Für Studium, Examen und Beruf. 3. überarbeitete und erweiterte Ausgabe ed. Köln2019.
27. Götz W. Biologische Aspekte der Osseointegration unter besonderer Berücksichtigung der Sofortbelastung. *ZWR-Das Deutsche Zahnärzteblatt*. 2019;128(09):422-8.
28. Walter C. Kurze und durchmesserreduzierte Implantate. *Zahnmedizin up2date*. 2018;12(02):135-43.
29. Cawood JI, Howell RA. A classification of the edentulous jaws. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 1988;17(4):232-6.
30. Walter C, Al-Nawas B. Vertikale Augmentation. *Der MKG-Chirurg*. 2016;9(1):28-34.
31. Naujokat H, Kunzendorf B, Wiltfang J. Dental implants and diabetes mellitus-a systematic review. *Int J Implant Dent*. 2016;2(1):5.
32. Al-Nawas B. Patienten mit Allgemeinerkrankungen. *Z Zahnärztl Im- plantol*. 2017;33(04):284-90.
33. Halling F. Chronic Diseases and Implants—A Review of the Status Quo. *Diabetes*. 2015;22:22.
34. Sahrman P, Gilli F, Wiedemeier DB, Attin T, Schmidlin PR, Karygianni L. The Microbiome of Peri-Implantitis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Microorganisms*. 2020;8(5).
35. Wiltfang J, Naujokat H, Bormann K, Jakobs W, Wiegner J. AWMF S3-Leitlinie Zahnimplantate bei Diabetes mellitus. DGI, DGZMK. 2016.
36. Deschner J, Haak T, Jepsen S, Kocher T, Mehnert H, Meyle J, et al. [Diabetes mellitus and periodontitis. Bidirectional relationship and clinical implications. A consensus document]. *Internist (Berl)*. 2011;52(4):466-77.
37. Walter C. RISIKOFAKTOREN IN DER IMPLANTOLOGIE: RAUCHEN. *Z Zahnärztl Implantol* 37:142-6.
38. Chrcanovic BR, Albrektsson T, Wennerberg A. Smoking and dental implants: A systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2015;43(5):487-98.
39. Adler L, Buhlin K, Jansson L. Survival and complications: A 9- to 15-year retrospective follow-up of dental implant therapy. *J Oral Rehabil*. 2020;47(1):67-77.

40. Zitzmann NU, Berglundh T. Definition and prevalence of peri-implant diseases. *J Clin Periodontol.* 2008;35(8 Suppl):286-91.
41. Ferreira MC, Dias-Pereira AC, Branco-de-Almeida LS, Martins CC, Paiva SM. Impact of periodontal disease on quality of life: a systematic review. *J Periodontol Res.* 2017;52(4):651-65.
42. Schwarz F, Derks J, Monje A, Wang HL. Peri-implantitis. *J Clin Periodontol.* 2018;45 Suppl 20:S246-s66.
43. Sykaras N, Iacopino AM, Marker VA, Triplett RG, Woody RD. Implant materials, designs, and surface topographies: their effect on osseointegration. A literature review. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2000;15(5):675-90.
44. Geng JP, Xu DW, Tan KB, Liu GR. Finite element analysis of an osseointegrated stepped screw dental implant. *J Oral Implantol.* 2004;30(4):223-33.
45. Cacaci C. *Orale Implantologie : 14 Tabellen. Checklisten der Zahnmedizin.* Stuttgart u.a.2006. p. 1-2.
46. Cacaci C. *Orale Implantologie : 14 Tabellen. Checklisten der Zahnmedizin.* Stuttgart u.a.2006. p. 3-6.
47. Cionca N, Hashim D, Mombelli A. Two-piece zirconia implants supporting all-ceramic crowns: Six-year results of a prospective cohort study. *Clin Oral Implants Res.* 2021;32(6):695-701.
48. Bormann KH, Gellrich NC, Kniha H, Schild S, Weingart D, Gahlert M. A prospective clinical study to evaluate the performance of zirconium dioxide dental implants in single-tooth edentulous area: 3-year follow-up. *BMC Oral Health.* 2018;18(1):181.
49. Cionca N, Hashim D, Mombelli A. Zirconia dental implants: where are we now, and where are we heading? *Periodontol 2000.* 2017;73(1):241-58.
50. Röhling S, Gahlert M. *Keramikimplantate—materialspezifische und klinische Grundlagen.* ZWR-Das Deutsche Zahnärzteblatt. 2021;130(09):395-403.
51. Stiesch M, Pott P-C, Eisenburger M. *Implantat-Abutment-Verbund.* Zahnmedizin up2date. 2011;5(05):445-64.
52. Lauritano D, Moreo G, Lucchese A, Viganoni C, Limongelli L, Carinci F. The Impact of Implant-Abutment Connection on Clinical Outcomes and Microbial Colonization: A Narrative Review. *Materials (Basel).* 2020;13(5).
53. Atieh MA, Ibrahim HM, Atieh AH. Platform switching for marginal bone preservation around dental implants: a systematic review and meta-analysis. *J Periodontol.* 2010;81(10):1350-66.
54. Herekar M, Sethi M, Mulani S, Fernandes A, Kulkarni H. Influence of platform switching on periimplant bone loss: a systematic review and meta-analysis. *Implant Dent.* 2014;23(4):439-50.
55. Strietzel FP, Neumann K, Hertel M. Impact of platform switching on marginal peri-implant bone-level changes. A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26(3):342-58.
56. Bassir SH, El Kholy K, Chen CY, Lee KH, Intini G. Outcome of early dental implant placement versus other dental implant placement protocols: A systematic review and meta-analysis. *J Periodontol.* 2019;90(5):493-506.
57. Nir-Hadar O, Palmer M, Soskolne WA. Delayed immediate implants: alveolar bone changes during the healing period. *Clin Oral Implants Res.* 1998;9(1):26-33.
58. Araujo MG, Sukekava F, Wennstrom JL, Lindhe J. Ridge alterations following implant placement in fresh extraction sockets: an experimental study in the dog. *J Clin Periodontol.* 2005;32(6):645-52.
59. Chen ST, Buser D. Clinical and esthetic outcomes of implants placed in postextraction sites. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24 Suppl:186-217.

60. Cochran DL, Morton D, Weber HP. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding loading protocols for endosseous dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2004;19 Suppl:109-13.
61. Enkling N. Immediate dental implant placement, immediate restorative treatment and immediate loading: treatment options in dental practice. Self-monitoring to improve home-based oral hygiene in seniors. 2021;3:91-7.
62. Gallucci GO, Hamilton A, Zhou W, Buser D, Chen S. Implant placement and loading protocols in partially edentulous patients: A systematic review. *Clin Oral Implants Res*. 2018;29 Suppl 16:106-34.
63. Del Fabbro M, Ceresoli V, Taschieri S, Ceci C, Testori T. Immediate loading of postextraction implants in the esthetic area: systematic review of the literature. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2015;17(1):52-70.
64. Krennmair S, Malek M, Forstner T, Krennmair G, Stimmelmayr 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*. 2021.
65. Hanif A, Qureshi S, Sheikh Z, Rashid H. Complications in implant dentistry. *Eur J Dent*. 2017;11(1):135-40.
66. Berglundh T, Persson L, Klinge B. A systematic review of the incidence of biological and technical complications in implant dentistry reported in prospective longitudinal studies of at least 5 years. *J Clin Periodontol*. 2002;29 Suppl 3:197-212; discussion 32-3.
67. Schiegnitz E, Al-Nawas B, Tegner A, Sagheb K, Berres M, Kammerer 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.
68. Cruz RS, Lemos CAA, Batista VES, Oliveira H, Gomes JML, Pellizzer EP, et al. Short implants versus longer implants with maxillary sinus lift. A systematic review and meta-analysis. *Braz Oral Res*. 2018;32:e86.
69. Martinez H, Davarpanah M, Missika P, Celletti R, Lazzara R. Optimal implant stabilization in low density bone. *Clin Oral Implants Res*. 2001;12(5):423-32.
70. Buch RS, Weibrich G, Wagner W. [Criteria of success in implantology]. *Mund Kiefer Gesichtschir*. 2003;7(1):42-6.
71. Neukam F. Lebenserwartung von Implantaten und Implantatlager. *Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK)*. 2000:1-3.
72. Stock C, Jürges H, Shen J, Bozorgmehr K, Listl S. A comparison of tooth retention and replacement across 15 countries in the over-50s. *Community Dent Oral Epidemiol*. 2016;44(3):223-31.
73. Sulzer TH, Bornstein MM, Buser D. [Indications for oral implantology in a referral clinic. A three-year retrospective analysis of 737 patients with 1176 implants]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*. 2004;114(5):444-50.
74. Goiato MC, Andreotti AM, Dos Santos DM, Nobrega AS, de Caxias FP, Bannwart LC. Influence of length, diameter and position of the implant in its fracture incidence: A Systematic Review. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2019;13(2):109-16.
75. Sekerci E, Lambrecht JT, Mukaddam K, Kühl S. Status report on dental implantology in Switzerland. An updated cross-sectional survey. *Swiss Dent J*. 2020;130(6):486-92.
76. Ulrici S, Barth T, Klenke J, Wolf M. Retrospektive Analyse von Patientenfällen mit iSy Implantaten in drei Zahnarztpraxen: Ein-Jahres Daten. 2015.

77. Raghoobar GM, Meijer HJ, Slot W, James J, Slater H, Vissink A. Systematische Übersichtsarbeit zu implantat-getragenen Deckprothesen im zahnlosen Oberkiefer im Vergleich zum Unterkiefer: Wie viele Implantate? *EJOI*. 2014;7(2):349.
78. Esposito M, Grusovin MG, Chew YS, Coulthard P, Worthington HV. One-stage versus two-stage implant placement. A Cochrane systematic review of randomised controlled clinical trials. *Eur J Oral Implantol*. 2009;2(2):91-9.
79. Zhao R, Yang R, Cooper PR, Khurshid Z, Shavandi A, Ratnayake J. Bone Grafts and Substitutes in Dentistry: A Review of Current Trends and Developments. *Molecules*. 2021;26(10).
80. 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.
81. Compton SM, Clark D, Chan S, Kuc I, Wubie BA, Levin L. Dental Implants in the Elderly Population: A Long-Term Follow-up. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2017;32(1):164-70.
82. 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.
83. Olate S, Lyrio MC, de Moraes M, Mazzonetto R, Moreira RW. Influence of diameter and length of implant on early dental implant failure. *J Oral Maxillofac Surg*. 2010;68(2):414-9.
84. Jemt T. A retro-prospective effectiveness study on 3448 implant operations at one referral clinic: A multifactorial analysis. Part II: Clinical factors associated to peri-implantitis surgery and late implant failures. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2017;19(6):972-9.
85. Jemt T, Karouni M, Abitbol J, Zouiten O, Antoun H. A retrospective study on 1592 consecutively performed operations in one private referral clinic. Part II: Peri-implantitis and implant failures. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2017;19(3):413-22.
86. 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.
87. Goodacre C, Goodacre B. Fixed vs removable complete arch implant prostheses: A literature review of prosthodontic outcomes. *Eur J Oral Implantol*. 2017;10 Suppl 1:13-34.
88. Kern JS, 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.
89. Levin L, Ofec R, Grossmann Y, Anner R. Periodontal disease as a risk for dental implant failure over time: a long-term historical cohort study. *J Clin Periodontol*. 2011;38(8):732-7.

8 Danksagung

9 Tabellarischer Lebenslauf

Persönliche Daten

Name:	Sara Pourdadasch-Miri
Geburtsdatum:	05.03.1986
Geburtsort:	Mainz
Staatsangehörigkeit:	französisch

Studium und Schulausbildung

2016	Studium im Fachbereich Zahnmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz
2009	Studium im Fachbereich deutsche Sprache an der Shahidbeheshti Universität, Teheran (Iran)
2005	Farzanegan Schule, Babol (Iran) Abschluss: Abitur mit Schwerpunkt in Naturwissenschaften