Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
und Werkstoffkunde
der Klinik und Polikliniken
für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
„Hans Moral“
der Universitätsmedizin Rostock

Sofortbelastete Implantate als Basis prothetischer Suprakonstruktionen

Habilitationsschrift

zur
Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae dentariae habilitatus (Dr. med. dent. habil.)
der Universitätsmedizin Rostock

vorgelegt von Sigmar Kopp

wohnhaft in: Mühl Rosin OT Kirch Rosin

Rostock, den 15. Dezember 2013

urn:nbn:de:gbv:28-diss2015-0216-2

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. habil. Detlef Behrend

Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik, Lehrstuhl Werkstoffe für die Medizintechnik, Universität Rostock

Prof. Dr. rer. nat. Jürgen Geis-Gerstorfer

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik mit Propädeutik und Sektion "Medizinische Werkstoffkunde und Technologie", Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Prof. Dr. med. dent. Peter Ottl

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde "Hans Moral", Universitätsmedizin Rostock, Universität Rostock

Dekan: Prof. Dr. med. Emil Christian Reisinger

Datum der Einreichung: 29. September 2013

Datum der Verteidigung: 25. August 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung	4
2	Literaturübersicht	5
2.1	Der Stellenwert der Implantologie in der Zahnheilkunde	5
2.1.1	Das prothetische Konzept als Ausgangspunkt der Behandlung	6
2.1.2	Prothetische Konstruktionen auf Zähnen und Implantaten	10
2.2	Sofortbelastung dentaler Implantate - Pro und Contra	11
2.2.1	Vorbetrachtungen zur Implantatstabilität	11
2.2.2	Definition der Sofortbelastung	12
2.2.3	Belastungszeitpunkt dentaler Implantate	15
2.2.4	Einheilung verbessernde Faktoren	18
2.2.5	Gefährdende Faktoren für den Implantationserfolg	20
3	Material und Methode	24
3.1	Untersuchte Kohorte	24
3.2	Klinisches Vorgehen	27
3.3	Dokumentation der Untersuchungsparameter und statistische Datenanalyse	38
3.4	Definition der Erfolgskriterien	42
3.5	Histologische Untersuchungen	42
4	Ergebnisse	46
4.1	Langzeitverhalten der inserierten Implantate	46
4.1.1	Patientenimmanente Faktoren	49
4.1.2	Implantatimmanente Faktoren	57
4.1.3	Ergebnisse der statistischen Datenanalyse	67
4.2	Histologische Befunde	72
5	Diskussion	74
5.1	Langzeitverhalten der Implantate	74
5.2	Einflussgrößen bezüglich des Langzeitverhaltens der Implantate	76
5.3	Mögliche Verlustursachen	84
5.4	Prothetische Suprakonstruktionen	85

5.5	Diskussion der klinischen Resultate unter funktionellen Aspekten	88
5.5.1	Biologische Aspekte der Sofortbelastung	88
5.5.2	Besonderheiten des angewendeten Therapiekonzeptes	90
5.6	Histologie	92
5.7	Schlussfolgerungen	95
6	Zusammenfassung	97
7	Literatur	99
8	Anhang	124
8.1	Abkürzungen und Formelzeichen	124
8.2	Hilfsmittel	124
8.3	Datenerfassungsbogen	125
8.4	Formulare	127

1 Einleitung

Die dentale Implantologie stellt ein wichtiges Mittel zur Erhöhung der Anzahl und zum Ersatz von Pfeilern für prothetische Suprakonstruktionen dar. Damit ordnet sie sich in den Gesamtkontext moderner Zahnmedizin für eine möglichst kurzfristige und dauerhafte Wiederherstellung der Mastikation, Phonetik und Ästhetik ein.

Die Zahnheilkunde als medizinische Disziplin, die unterschiedliche Materialien, Werkstoffe und Produkte verarbeitet, steht im ständigen Austausch mit der Industrie, welche hoch entwickelte und spezialisierte Materialien und Halbzeuge bereitstellt. Diese Medizinprodukte basieren unter anderem auf Ergebnissen aus der Biomaterialforschung [Worm et al., 2009, Behrend et al., 2011] einschließlich In-vitro-Testungen [Ottl et al., 2002], wie in den angegebenen Quellen beispielhaft dargestellt. Gerade durch den Einsatz solcher Medizinprodukte gelingt es dem Zahnarzt, patientenzentrierte Medizin zu betreiben. Manche Werkstoffe, wie Füllungsmaterialien, werden direkt appliziert und durch die Kompetenz des Zahnarztes zu ästhetisch-funktionellem Ersatz biologischer Strukturen. Die Fertigung von Zahnersatz bindet darüber hinaus den Zahntechniker in die patientenindividuelle Behandlung ein. Dies geschieht gewöhnlich auf Grundlage der patientenimmanenten Gegebenheiten. Die aktuelle dentale Implantologie hingegen weicht von diesem individuellen Ansatz ab. Industriell vorgefertigte Implantate stehen zur Auswahl und bestimmen die Therapiekonzepte. Knochenaufbau wird in der Regel als notwendige Voraussetzung für die Implantologie betrachtet. So sehen Lang et al. einen Bedarf hinsichtlich einer vorausgehenden Augmentation bei 90% aller Implantate [Lang et al., 2007]. Das bedeutet, dass die gängigen Implantate nur in etwa 10% der Fälle primär einsetzbar sind. Neun von zehn Patienten müssen demnach einer Behandlung unterzogen werden, die ausschließlich der Adaptation der patientenseitig vorliegenden Situation an das gewählte Medizinprodukt dient.

Die vorliegende Arbeit soll daher als Beitrag in Richtung einer patientenindividuellen Therapie dienen. Langfristiges Ziel ist es, Implantate, die spezifisch für den einzelnen Patienten hergestellt werden, anzufertigen und einzusetzen. Die hier untersuchten Implantate sind im Design sehr unterschiedlich konzipiert, decken dadurch jedoch bauartbedingt ein breites Spektrum an differierenden Knochendimensionen und Knochenqualitäten ab. Die beschriebenen Maßnahmen zur Knochenaugmentation als separate Eingriffe im Rahmen einer Vorbehandlung sollten bei der vorliegenden

Studie exkludiert werden. Eine Analyse der Risikofaktoren, insbesondere zur Unterteilung in patientenimmanente und produkt- bzw. verfahrensimmanente Faktoren ist notwendig. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sollen in die Entwicklung von Verfahren zur Erstellung patientenindividueller Implantate einfließen. Die derzeitigen Alleinstellungsmerkmale der Industrieprodukte sollten zukünftig auch auf Einzelanfertigungen erweitert werden. Selbst Oberflächenbeschichtungen sollten patientenindividuell möglich sein [von Schwanewede et al., 2002, Wolf et al., 2009, Worm et al., 2009]. Die Wahl der untersuchten Implantate basiert allein auf der Breite des Implantatspektrums eines Herstellers, um den Umfang der Variablen so gering wie möglich zu halten.

Die Sofortimplantation in unmittelbarem Anschluss an eine Extraktion nicht erhaltungswürdiger Zähne sowie die sofortige prothetische Belastung der Implantate verkürzt die Behandlungsdauer als auch die Zahl der notwendigen separaten Eingriffe. Funktionsweise und Erfolg dieser Vorgehensweise in der klinischen Anwendung unter Berücksichtigung der Funktionsperiode des Zahnersatzes sind bisher im Vergleich zum zweizeitigen Vorgehen nur wenig untersucht und sollen im Rahmen dieser Arbeit analysiert und bewertet werden. Die Fragen, inwieweit das angewandte Vorgehen zur Verkürzung von Behandlungszeiten per se bzw. funktionseingeschränkten Einheilungszeiten führt und welcher Stellenwert grundsätzlich der zahnärztlichen Prothetik im Rahmen der Implantologie zukommt, gilt es vorrangig zu beantworten. Verschiedene, in der Literatur uneinheitlich dargestellte Risikofaktoren für Implantationen im Allgemeinen sind bisher für die genannten Rahmenbedingungen nicht auf ihre Gültigkeit hin untersucht worden. Speziell eine Gruppierung der zu ermittelnden Risikofaktoren in patientenimmanent und behandlungsmethoden- bzw. produktassoziierte Einflüsse gilt es vorzunehmen, um mehr Patienten für die Implantologie zu erschließen, indem die letztgenannten Faktoren der Weiterentwicklung der Implantationstechnologie und der Implantate zugeführt werden können.

Die qualitative und quantitative Erfassung und Bewertung des funktionellen und ästhetischen Erfolgs implantatgetragener prothetischer Konstruktionen ist bisher nicht verbindlich standardisiert. Verschiedene Parameter werden in der Literatur angewandt, um hier eine statistische Erfassung gewährleisten zu können. Diese umfassen rein klinische Untersuchungsmethoden wie Sondierungen,

Perkussions- und Resonanztests, die wichtig für die Erfolgsbewertung an der Schnittstelle zwischen Implantologen und prothetisch tätigem Zahnarzt sind. Invasive Verfahren wie die Bestimmung des Ausdrehmoments bis hin zu histologischen Untersuchungen unter Ermittlung diverser histomorphometrischer Parameter ergänzen das Methodenspektrum [Brunski et al., 2000]. Eine Vergleichbarkeit der publizierten Daten ist kaum möglich, da sowohl Untersuchungsmethoden als auch die Ergebnisbewertung stark differieren. So spiegeln beispielsweise Ausdrehversuche kaum in der Mundhöhle auftretende kaudynamische Belastungen wider. Des Weiteren sind diesbezüglich rückdrehgesicherte Schraubenimplantatformen gegenüber beispielsweise Zylinderimplantaten deutlich im Vorteil, was jedoch keinen klinisch relevanten Unterschied bedeuten muss. Dies trifft umso mehr für komplexe, nicht rotierend einzubringende Implantate zu, da diese aufgrund der asymmetrischen Form und der spezifischen Einbringweise ein Ausdrehen verhindern. Bei Einleitung extrem hoher Drehmomente würden entweder Implantatabscherungen oder Knochenfrakturen auftreten [Kopp, 2010b].

Histologische Untersuchungen suggerieren Objektivität, insbesondere wenn Histomorphometrien die Bilder in vermeintlich vergleichbare Zahlen umsetzen. So werden Parameter wie der Knochen-Metall-Kontakt (BMC, Bone-Metal-Contact), materialunabhängig auch Knochen-Implantat-Kontakt (BIC, Bone-Implant-Contact) genannt, die Knochenmenge im Gewindebereich (Thread Areas - TA) und die spiegelbildlich vorliegenden Bereiche (Mirror Areas - MA) angegeben [Johnsson et al., 2000]. Letztere können nur für Schraubenimplantate erhoben werden. So verbleiben als systemübergreifende Kennwerte der BIC bzw. der BMC. Die Abhängigkeit dieses Parameters von der zufällig oder bewusst gewählten Schnittebene ist bisher nicht untersucht worden. Daher ist ein weiteres Anliegen dieser Studie, anhand von Humanpräparaten, die jeweils an mindestens zwei unterschiedlichen Stellen geschnitten wurden, die BIC-Werte zu ermitteln und statistisch zu analysieren.

1.1 Zielsetzung

Es ist Ziel dieser Arbeit, eine umfassende Untersuchung und Bewertung speziell für die Sofortbelastung entwickelten Implantattypen vorzunehmen, um das Thema der Sofortbelastung verlässlich in den wissenschaftlichen Kontext einzuordnen.

Die kontrovers diskutierte Einbeziehung sowohl von vitalen als auch von endodontisch versorgten Zähnen in Kombination mit Implantaten in prothetische Konstruktionen soll ebenfalls mit Fakten unterlegt werden.

Die klinisch erfolgreich erscheinende, aber in der Literatur nur wenig mit Langzeitstudien belegte Sofortimplantation in Extraktionsalveolen ist ebenfalls Gegenstand der Untersuchungen.

Die praktizierte Sofortimplantation und Sofortbelastung verschiedener Implantattypen kann unter Anwendung wissenschaftlicher Methoden im Hinblick auf die Indikation, die Wirkweise, die Probleme und deren Bewältigung bewertet und somit als Grundlage für weitere Forschung und Produktoptimierung sowie eine evidenzbasierte Fortbildung genutzt werden. Dazu sollen die vorliegenden Untersuchungen einen Beitrag leisten. Des Weiteren ist es Anliegen dieser Studie, anhand von an Patienten entnommenen Präparaten defekter Implantate eine histomorphometrische Bewertung vorzunehmen.

2 Literaturübersicht

2.1 Der Stellenwert der Implantologie in der Zahnheilkunde

Die Lebensdauer von Zähnen regelmäßig kontrollierter und versorgter Patienten übersteigt die von Implantaten [Tomasi et al., 2008]. Deshalb sollte die Zahnerhaltung vorrangiges Therapieziel sein. Ob jedoch die wachsenden Bemühungen und Erfolge im Bereich der Zahnerhaltung und Parodontologie den Bedarf an Zahnersatz vollständig vermeiden können, bleibt bei allem technischen Fortschritt fraglich. Zumindest erfordern gegenwärtige epidemiologische Daten ein breites Spektrum an Zahnersatz, von Teilkronen bis zum vollständigen Ersatz sämtlicher Zähne bei zahnlosen Patienten. Nicht nur die befundorientierten Voraussetzungen, sondern auch die vorhandenen oder eingeschränkten finanziellen Möglichkeiten der Patienten bedürfen einer Bandbreite an zahnmedizinischen Therapiemitteln von der totalen Prothese bis zu aufwändigen implantatgetragenen Rekonstruktionen [Carlsson und Omar, 2010].

Die gegenwärtigen Möglichkeiten der zahnärztlichen Prothetik zur Behandlung des partiellen und totalen Zahnverlustes mit einer suffizienten Wiederherstellung der Ästhetik, Phonetik und Mastikation basieren auf Fortschritten in Forschung und Entwicklung.

Neben der rein dentalen Abstützung von Zahnersatz mittels Kronen und Brücken kommt der schleimhautgetragenen Abstützung von Teil- und Totalprothesen bei Patienten im höheren Lebensalter eine erhebliche Bedeutung zu [Carlsson und Omar, 2010]. Dass hierbei multimorbide Einflüsse zu besonderen Herausforderungen führen, ist seit vielen Jahren bekannt [Budtz-Jørgensen, 1981]. Für Personen im Alter von über 60 Jahren wird die Prävalenz oraler mucosaler Läsionen mit 45% sowie die Inzidenz prothesenassoziierter mucosaler Läsionen bei herausnehmbarem Zahnersatz mit 60% angegeben. Dies betrifft signifikant häufiger den Oberkiefer (95%) als den Unterkiefer (52%) [Jainkittivong et al., 2002, Jainkittivong et al., 2010]. Daher ist eine Reduktion der Lasteinleitung in die mucosalen oralen Strukturen Aufgabe der prothetischen Forschung und Behandlung. Die Vermeidung der Abdeckung von Schleimhautarealen sollte neben dem natürlichen Geschmacksempfinden auch den physiologischen Speichelfluss sichern. Xerostomie stellt eine besondere Herausforderung für Prothesenträger und Behandler dar [Hummel et al., 1999].

Die eingeschränkte, aber durchaus vorhandene Akzeptanz von abnehmbaren Teilprothesen bei Patienten mit Frontzahnverlust im Alter von unter 17 Jahren ist bedingt durch die Aussicht auf höherwertigen Zahnersatz nach Abschluss des Zahn- und Knochenwachstums [Rodd und Atkin, 2000, Bergendal, 2008, Gotfredsen et al., 2008]. Eine Teilprothese als dauerhafte Lösung über das Wachstumsalter hinaus ist bei vorhandenen vielfältigen kieferorthopädischen, chirurgischen und prothetischen Alternativen kaum indiziert [Thilander, 2008].

Die Erweiterung des Spektrums prothetischer Behandlungsverfahren basiert seit Jahren auf einer Pfeilervermehrung mittels enossaler dentaler Implantate, welche eine Lastübertragung in knöcherne Strukturen ermöglichen.

Die zahnärztliche Prothetik, die in Planung und Durchführung die Gesamtrehabilitation entscheidend bestimmt und gestaltet, muss die Anforderungen an die zahnärztliche Implantologie individuell patienten- und therapiebezogen vorgeben. Die Grenzen der Implantologie limitieren häufig die Möglichkeiten der zahnärztlichen Prothetik [Abrahamsson et al., 1996]. Die Erfordernisse der prothetischen Rekonstruktion auf Grundlage von objektivem Bedarf und subjektiven Bedürfnissen der Patienten sollten stattdessen die Behandlung bestimmen. Abweichungen von diesem Vorgehen führten in Deutschland bereits zu rechtlichen Konsequenzen [Schwerin, 2011].

2.1.1 Das prothetische Konzept als Ausgangspunkt der Behandlung

Da es keine randomisiert kontrollierten Vergleichsstudien gibt, die einen direkten Vergleich zwischen zahngetragenem und implantatgetragenem festsitzenden Zahnersatz untersuchen, wird generell davon ausgegangen, dass die Wahl zwischen beiden Methoden bisher nicht evidenzbasiert ist. Trotzdem muss die Patientenaufklärung aufgrund des geltenden Medizinrechts möglichst umfassend sein und alle in Frage kommenden Alternativen berücksichtigen. Hierzu haben Salinas et al. keine vergleichbaren Daten gefunden [Salinas und Eckert, 2007]. Pjetursson und Lang stellten jedoch auf Grundlage einer umfassenden Literaturanalyse (Metaanalyse) vergleichende Empfehlungen zusammen [Pjetursson und Lang, 2008].

Generell liegen die Zehnjahresüberlebensraten von

- zahnretinierten Brücken bei 89,2%,
- zahnretinierten Extensionsbrücken bei 80,3%,

- rein implantatgetragenen Brücken bei 77,8%,
- Hybridbrücken auf Zahn und Implantat bei 89,4%,
- implantatgetragenen Einzelkronen bei 98,4%,
- Adhäsivbrücken bei 65,0%.

Detailliert werden von den Autoren situationsbezogene, evidenzbasierte Empfehlungen gegeben, die hier wie folgt zusammengefasst werden:

- Einzelzahnlücke im Frontzahnbereich:

  Bei gesunden Nachbarzähnen ist bevorzugt mit einer implantatgetragenen Einzelkrone zu versorgen (jährliche Verlustrate: 1,12%).

  Bei vorgeschädigten Nachbarzähnen ist der zahngetragenen Brücke der Vorzug zu geben (jährliche Verlustrate: 1,14%).

  Bezüglich der Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit sind beide Optionen als gleichwertig einzustufen (Zehnjahresüberlebensrate (jährliche Verlustrate) bei Einzelkronen (ortsunspezifisch) auf Implantaten 89,4% (1,06%); Brücken 89,2% (1,08%)).

  Im Unterkieferfrontzahnbereich kommt erschwerend hinzu, dass ein erhöhtes, anatomisch bedingtes Verletzungsrisiko der Pulpa bei der Präparation unterer Frontzähne besteht. Daher empfehlen Pjetursson und Lang, bei ausreichendem Knochenangebot dem Implantat der Vorzug zu geben [Pjetursson und Lang, 2008].

  Eine Adhäsivbrücke stellt hier eine weitere Alternative dar, kann jedoch generell nur als zweitrangige Lösung betrachtet werden (jährliche Verlustrate: 4,31%).

- Einzelzahnlücke im Seitenzahnbereich:

  Unter Berücksichtigung funktioneller Aspekte empfehlen Pjetursson und Lang auch hier implantatgetragene Restaurationen. Nachbarzähne sollten nur bei Überkronungsbedürftigkeit beschliffen werden.

  Adhäsivbrücken (zwei- und dreigliedrig; nicht näher unterschieden) weisen in dieser Indikation eine jährliche Verlustrate von 5,17% auf, weshalb sie nicht empfohlen werden können [Pjetursson und Lang, 2008]. Dies korreliert mit Langzeitergebnissen von mindestens 16 Jahren [Younes et al., 2013].

- Schaltlücken im Frontzahnbereich mit mehreren fehlenden Zähnen:
  Unter Berücksichtigung von ästhetischen, z.B. einen Knochenaufbau erfordernden Voraussetzungen ist der zahngetragenen Brücke der Vorzug zu geben. Dies basiert auf dem zusätzlichen Verlustrisiko von Augmentationen (jährliche Verlustraten: zahngetragene Brücke: 1,14%; implantatgetragene Brücke: 1,43%; Adhäsivbrücken: fehlende Daten).
- Schaltlücken im Seitenzahngebiet mit mehreren fehlenden Zähnen:
  Hier wird im Gegensatz zu früheren Empfehlungen die implantatgetragene Brücke bevorzugt. Dabei werden die geringeren biomechanischen Risiken, die mit kürzeren Brückenspannen bei implantatgetragenem Zahnersatz assoziiert werden, den naturgemäß langen Spannen bei zahngetragenen Brücken als vorteilhaft gegenübergestellt. Im Gegensatz dazu werden die technischen Komplikationen, wie Verblendkeramikfrakturen, häufig in Assoziation mit Lockerungen von Sekundärverschraubungen, eher den implantatretinierten Brücken zugeordnet (jährliche technisch bedingte Komplikationsraten: zahngetragene Brücke: 0,59%; implantatgetragene Brücke: 1,84%; Adhäsivbrücken: fehlende Daten).
- Freiendsituation mit fehlenden Molaren:
  Im zahngetragenen Bereich wird die persistierende verkürzte Zahnreihe, bei ausreichender antagonistischer Abstützung, von der Extensionsbrücke unterschieden (jährliche Verlustraten: unversorgte verkürzte Zahnreihe: nicht anwendbar; mögliche Komplikationen nicht angegeben; Extensionsbrücke: 2,20%). Devitale Zähne stellen hierbei ein weiteres Überlebensrisiko dar. Alternativ sind implantatretinierte Einzelkronen möglich (jährliche Verlustrate: implantatgetragene Einzelkrone: 1,12%), welchen gegenüber den Extensionsbrücken, insbesondere bei gesunden Nachbarzähnen der Vorzug zu geben ist.
- Freiendsituation mit fehlenden Molaren und Prämolaren:
  - Hybridbrücken auf Zahn und Implantat (jährliche Verlustrate: 2,51%)
  - rein implantatgetragene Brücken (jährliche Verlustrate: nicht angegeben)
  - implantatgetragene Einzelkronen (jährliche Verlustrate: 1,43%)

  Für diese Indikationsklasse wird die Anwendung von implantatgetragenen Einzelkronen als erste Wahl angegeben.

- Restbestand von weniger als sechs Zähnen:

  Im Allgemeinen gelten hier die Empfehlungen für die Freiendsituationen. Jedoch weisen zahnretinierte Prothesen eine hohe Überlebensrate der Pfeilerzähne auf (Nachuntersuchungszeitraum: 22 Jahre: Überlebensrate: 80%; jährliche Verlustrate: nicht angegeben) [Klemetti, 2008].

- Zahnlose Kiefer:

  - schleimhautgetragene Prothesen

  Die totale Prothese im Oberkiefer ist nach wie vor bei günstigen anatomischen Voraussetzungen eine Behandlungsform der ersten Wahl [Carlsson und Omar, 2010], die auch zur Schonung antagonistischer implantatassoziierter Strukturen empfohlen wird [Cochran, 2006].

  - schleimhautgetragene implantatretinierte Prothesen

  Der McGill-Konsensus betrachtet die totale Prothese im Unterkiefer nicht mehr als Mittel der ersten Wahl, da mit hoher Evidenz zwei Implantate als Retention für eine Prothese bessere Resultate liefern und somit Mittel der ersten Wahl sein müssen [Feine et al., 2002a, Feine et al., 2002b, Feine et al., 2002c]. Die Steigerung der Implantatanzahl ist gelegentlich indiziert, führt jedoch zu keiner höheren Patientenzufriedenheit [Klemetti, 2008].

  Für festsitzenden, rein implantatgetragenen Zahnersatz bei zahnlosem Ober- und Unterkiefer wurden bei mindestens vier Implantaten pro zirkulärer Brücke hohe Erfolgsraten publiziert [Kopp et al., 2009a, Grandi et al., 2012]. Dieses Konzept speziell auf basalen Implantaten wurde auch mittels Finite Elemente Analyse (FEA) und als tragfähig bewertet [Kopp, 2010b, Kopp et al., 2011a]. Bei weniger als vier Implantaten steigt die Biegebelastung der Brücke überproportional, weshalb vier Implantate als Minimum angesehen werden [Ogawa et al., 2010]. Obwohl mehrere Autoren von Erfolgen auf drei Implantaten berichten, wird die Empfehlung zur Nutzung von minimal vier Implantaten aufrechterhalten [Attard und Zarb, 2005]. Da die Erfolgsraten implantatretinierter Prothesen im Oberkiefer geringer als die im Unterkiefer sind, wird im Oberkiefer rein implantatretinierter Zahnersatz ohne muco-gingivale Abstützung empfohlen [Klemetti, 2008].

Das häufigere Auftreten von Komplikationen bei implantatgetragenen gegenüber zahnretinierten Rekonstruktionen unabhängig vom Implantatverlust ist evident. Dies

bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass die Möglichkeiten für Korrekturmaßnahmen an Implantatrekonstruktionen schwieriger sind [Pjetursson und Lang, 2008].

2.1.2 Prothetische Konstruktionen auf Zähnen und Implantaten

Die beobachteten Funktionsperioden von Zahnersatz auf natürlichen Zähnen bei regelmäßig zahnärztlich betreuten Patienten liegen höher als die sämtlicher Implantatsysteme [Gotfredsen et al., 2008, Tomasi et al., 2008]. Bei parodontal vorgeschädigten Zähnen kehrt sich diese Sachlage um [Schou, 2008, Tomasi et al., 2008]. Daraus ergibt sich in erster Linie, dass natürliche Zähne nicht der limitierende Faktor in einer Hybridkonstruktion sein müssen.

In Metaanalysen werden die Erfolgsraten endodontisch versorgter Zähne denen dentaler Implantate als gleichwertig gegenübergestellt [Iqbal und Kim, 2007, Torabinejad et al., 2007]. Im Vergleich von endodontisch versorgten Zähnen (gewichtete 6-Jahres-Erfolgsraten: 92%, x_{min} = 79%; x_{max} = 97%), zahngetragenen Brücken (gewichtete 6-Jahres-Erfolgsraten: 80%, x_{min} = 49%; x_{max} = 98%) und implantatgetragenen Einzelkronen (gewichtete 6-Jahres-Erfolgsraten: 97%, x_{min} = 89%; x_{max} = 100%) weisen die zahngetragenen Brücken die geringsten Langzeiterfolge auf [Torabinejad et al., 2007].

Grundlegend ist jeder Zahnarzt zur Erhaltung parodontal regelmäßig behandelter und damit funktionell belastbarer Zähne aufgefordert [Iqbal und Kim, 2007, Tomasi et al., 2008]. Die präventive Entfernung dieser Zähne zum Knochenerhalt entbehrt jeglicher wissenschaftlicher Grundlage [Gotfredsen et al., 2008, Tomasi et al., 2008]. Nicht erhaltungswürdige Zähne sollten jedoch zum Knochenerhalt frühzeitig entfernt werden [Gotfredsen et al., 2008].

Die Integration parodontal vorgeschädigter, aber erhaltungswürdiger Zähne in prothetische Konstruktionen jeglicher Art ist individuell kritisch zu prüfen.

Die Extraktion von Zähnen, ausschließlich zur Vermeidung von Hybridbrücken ist kontraindiziert [Gotfredsen et al., 2008, Lindh, 2008]. Die wenigen kontrollierten Studien belegen eine Parität sowohl von Überlebens- als auch Komplikationsraten bei Hybridbrücken und rein implantatgetragenen Brücken [Lindh, 2008].

Grundsätzliche biomechanische Bedenken bezüglich der unterschiedlichen Beweglichkeit von osseointegrierten Implantaten (2 µm) und vitalen Zähnen (20 bis 30 µm), die zu extremen Biegebelastungen am Implantat führen sollten, konnten

wissenschaftlich ausgeräumt werden [Kawahara et al., 2003]. Eine definitive Zementierung der Hybridbrücke auf sämtlichen Pfeilern wird grundsätzlich empfohlen. Publizierte Überlebenswahrscheinlichkeiten von Verbundbrücken sind denen rein implantatgetragener Brücken vergleichbar [Pjetursson und Lang, 2008].

2.2 Sofortbelastung dentaler Implantate - Pro und Contra

2.2.1 Vorbetrachtungen zur Implantatstabilität

Vier grundlegende Methoden der Implantatbefestigung in vitalem Knochengewebe sind in der Literatur zu finden [Brunski, 1992]:

1. Mechanische Verankerung basierend auf Implantatgeometrie und –oberfläche
   a) Makroverankerung (Macrointerlock) durch Gewinde, Unterschnitte, Kanten, Perforationen, gesinterte Kugeln und Asymmetrien
   b) Mikroverankerung (Microinterlock) durch Rauigkeiten und Texturen
2. Fixierung durch „bioaktive“ Beschichtung als Grundlage für physikalisches oder chemisches „Bonding“ zwischen Implantatoberfläche und Gewebe
3. Fibroossäre Integration („Pseudoperiodontales Ligament“):
   Hiermit wird eine Verbindung von Implantat und Knochen mittels einer Region nichtmineralisierten Bindegewebes beschrieben, die analog zum Periodontium biomechanisch vorteilhaft Spitzenlasten aufnehmen können soll.
4. Osseointegration nach Brånemark [Brånemark, 1983]:
   direkter kraftschlüssiger Knochen-Implantat-Kontakt

Lichtmikroskopisch betrachtet wird die Osseointegration als sichtbar vorhandener Knochen-Implantat-Kontakt definiert. Dieser wird metrisch als Quotient aus Implantatoberfläche im direkten Hartgewebskontakt und Gesamtimplantatoberfläche ausgedrückt. Dieser Definition wird jedes kongruent zum aufbereiteten Knochenlager eingebrachte Implantat von Beginn an gerecht. Der metrische Wert kann in dieser Phase durch Implantation in die Kortikalis oder durch Knochenkondensation nach Belieben erhöht werden und wird im Allgemeinen als „primärer Knochenkontakt“ bezeichnet [Cochran, 2006]. In Abgrenzung dazu wird Osseointegration als „direkte strukturelle und funktionelle Verbindung zwischen geordnetem vitalen Knochen und der Oberfläche eines lasttragenden Implantats“ definiert [Brånemark et al., 1977]. Diese Definition erschwert jedoch die statistische Erfassbarkeit. Aus biomechanischer Sicht sollte dieses Interface anstatt einer Linie oder Fläche eher als

Region der Interaktion von Implantat und umgebendem Gewebe betrachtet werden [Brunski, 1992]. Die bei Schraubenimplantaten im Bereich der Gewinde ermittelbaren Flächenverhältnisparameter Thread Area (TA) und Mirror Area (MA) berücksichtigen daher die Dichte des Implantat umgebenden Knochens zumindest quantitativ [Johnsson et al., 1999, Johnsson et al., 2000].

Da Knochen als vitales Gewebe einem ständigen Umbau unterworfen ist, wird das sich nach einer Einheilungszeit einstellende physiologische Gleichgewicht zwischen Knochenabbau und –aufbau als „sekundärer Knochenkontakt“ bezeichnet. Diese Phase grenzt sich lichtmikroskopisch von der des „primären Knochenkontakts“ ab.

Da histologische Untersuchungen in vivo nur invasiv möglich sind, wurden Verfahren entwickelt, die den Implantat-Knochen-Kontakt nachweisbar machen. Dazu gehört die Resonanzfrequenzmessung. Hierdurch wurden Verlaufsstudien möglich, die zeigten, dass ein Stabilitätsverlust in den ersten drei bis vier Wochen nach Implantatinsertion stattfindet [Cochran, 2006]. Adäquate Mittel zur Sicherung der Implantate über diese Phase hinaus werden folgend beschrieben. Resultierend aus diesen Erkenntnissen wird von Cochran eine neue Definition der Osseointegration (funktionelle Ankylose) vorgeschlagen: „Stabilität eines Implantats im Knochen im dynamischen Gleichgewicht zwischen vorhandenem nativen Knochen (primärer Knochenkontakt) und durch Umbau (Remodelling) neu gebildetem Knochen (sekundärer Knochenkontakt) und dessen Aufrechterhaltung am Knochen-Implantat-Interface“ [Cochran, 2006].

Eine weitere Definition der enossalen dentalen Implantatstabilität (Dental Implant Stability, DIS) fokussiert mehr auf die Biomechanik und wird definiert als Belastbarkeit eines Implantats in axialer, lateraler und rotatorischer Belastungsrichtung [Friberg et al., 1999a, Friberg et al., 1999b, Mesa et al., 2008, Wang et al., 2009]. Klinisch reduziert sich die metrische Erfassbarkeit im Allgemeinen auf das messbare Drehmoment beim Einbringen schraubenförmiger Implantate oder vereinzelt auf das Ausdrehmoment, letzteres häufig im experimentellen Bereich [Mesa et al., 2008].

2.2.2 Definition der Sofortbelastung

Fehlende einheitliche Kriterien erschweren vergleichende Analysen.

Der Begriff der Belastung (load) wird mit logischen Begründungen unterschiedlich definiert [Cochran, 2006]:

- Bereits das Setzen eines Implantats in den vitalen Knochen resultiert in einer Belastung, da Flexionen der Knochen bei Kieferöffnung und –schluss diesen elastisch verformen und Lasteinleitungen an der Implantat-Knochen-Grenzfläche auftreten.
- Die sichtbare Exposition eines Implantats in der Mundhöhle führt durch Zungen- und Wangendruck sowie Kontakt mit Speisen zu Belastungen.
- Die Anwendung von temporärem Zahnersatz ohne antagonistischen Kontakt, durch Zungen- und Wangendruck sowie Kontakt mit Speisen bei Kaubewegungen belasten die Implantate funktionell.
- Der Einsatz von temporärem oder definitivem Zahnersatz mit antagonistischem Kontakt, häufig in zentrischer Kondylenposition, stellt die physiologische Belastung unter prothetischen Aspekten dar.

In Übersichtsarbeiten werden Publikationen mit großen Unterschieden hinsichtlich der Definition der Belastungsgröße von „nicht definiert“ bis zu „vollem okklusalen Kontakt“ verglichen [Attard und Zarb, 2005, Nkenke und Fenner, 2006, Avila et al., 2007, Henry und Liddelow, 2008].

Auch bezüglich der Definition der Sofortbelastung im Hinblick auf den Zeitpunkt der Lasteinleitung gibt es eine große Varianz in der Literatur, die von Belastung „in derselben Sitzung mit der Implantation“ [Henry und Liddelow, 2008] über „innerhalb von 48 Stunden“, „innerhalb von 72 Stunden“ [Nkenke und Fenner, 2006, Sennerby und Gottlow, 2008], „innerhalb einer Woche“ [Henry und Liddelow, 2008] bis „innerhalb von zwei Wochen“ [Avila et al., 2007] reicht. Manche Autoren klassifizieren die „Sofortbelastung“ als prothetische Belastung innerhalb von 72 Stunden nach Implantation und „Frühbelastung“ als Belastung innerhalb von vier bis 21 Tagen [Sennerby und Gottlow, 2008].

Da die labortechnische Anfertigung und Eingliederung von provisorischem Zahnersatz Zeit erfordert, wird „immediate“ am häufigsten als „innerhalb von 48 Stunden“ bezeichnet. Dies steht im Widerspruch zu Erkenntnissen, die besagen, dass Regenerationsprozesse innerhalb von sechs Stunden nach Manipulation am Knochen beginnen [Henry und Liddelow, 2008].

Das Glossary of Implant Dentistry, entwickelt vom Department of Implant Dentistry am New York University College of Dentistry in Zusammenarbeit mit der dritten

ITI-Konsensuskonferenz, unterscheidet drei Klassen bezüglich des Zeitpunkts der Belastung [Cochran et al., 2004, Schropp et al., 2005, Wang et al., 2006]:

1. Immediate Loading (Sofortbelastung): Eingliederung einer Restauration in okklusalem Kontakt in einer Sitzung mit der Implantation spätestens innerhalb von 48 Stunden nach Implantation
2. Early Loading (Frühbelastung): Eingliederung einer Restauration in okklusalem Kontakt zwischen 48 Stunden und drei Monaten nach Implantation
3. Delayed Loading (Spätbelastung): Eingliederung einer Restauration in okklusalem Kontakt in einer zweiten Prozedur drei bis sechs Monate nach Implantation.

Auf Grundlage dieser Klassifikation wurden Vergleichsstudien durchgeführt:

- Frühbelastung versus Spätbelastung:
  Die Gleichwertigkeit der Ergebnisse beider Belastungszeiten wird bestätigt, wobei hier zumindest drei Publikationen denselben Versuch nach einem, drei und fünf Jahren beschreiben [Fischer und Stenberg, 2004, Luongo et al., 2005, Fischer und Stenberg, 2006, Turkyilmaz et al., 2007, Fischer et al., 2008, Turkyilmaz et al., 2010].
- Sofortbelastung versus Frühbelastung:
  Sieben Artikel randomisierter kontrollierter klinischer Untersuchungen konnten identifiziert werden, die die Erfolge von Sofort- und Frühbelastung vergleichen [Testori et al., 2007, Galli et al., 2008, Ganeles et al., 2008, Merli et al., 2008b, Merli et al., 2008a, Zöllner et al., 2008, Zembic et al., 2010]. Diesen Publikationen liegen vier Studien zugrunde. Sechs von sieben Artikeln belegen die Gleichwertigkeit der Sofort- und Frühbelastung. Nur einer der sieben Artikel stellt eine Überlegenheit der Frühbelastung gegenüber der Sofortbelastung fest [Zembic et al., 2010]. In dieser Studie wurde allerdings eine vergleichsweise geringe Patientenzahl untersucht (11 Patienten, davon 10 nachuntersucht) gegenüber 52 [Testori et al., 2007, Galli et al., 2008], 266 [Ganeles et al., 2008, Zöllner et al., 2008] und 60 [Merli et al., 2008b, Merli et al., 2008a]. Die Implantatverluste erfolgten hier nach einem bzw. zwei Jahren, was den Einfluss der Verschiebung des Belastungszeitpunkts zwischen zwei Tagen und sechs Wochen im Kontext weiterer Faktoren wie beispielsweise Weichgewebsdehiszenzen relativiert [Henry und Liddelow, 2008]. In einer

jüngeren randomisierten kontrollierten Studie wurden beide Belastungszeitpunkte als gleichwertig ermittelt [Meloni et al., 2012].

- Sofortbelastung versus Spätbelastung:
  Zu diesem Sachverhalt gibt es nur zwei Vergleichsstudien mit Kontrollgruppe, die jedoch für beide Klassen gleiche Prognosen angeben [Cannizzaro und Leone, 2003, Romanos und Nentwig, 2006].

Wurde die Sofortbelastung aufgrund des Mangels an Langzeitergebnissen in älteren Metaanalysen noch kritisch bewertet [Quirynen et al., 2007], kommen aktuelle systematische Literaturanalysen zu dem Ergebnis, wie in Konsensuspapieren festgehalten, dass die Überlebensraten dentaler Implantate unter Sofortbelastung, Frühbelastung und Spätbelastung gleich seien [Jokstad und Carr, 2007, Gotfredsen et al., 2008, Schropp und Isidor, 2008, Sennerby und Gottlow, 2008]. Im Ergebnis einer weiteren internationalen Konsensuskonferenz wurde die Feststellung getroffen, dass „Zahnärzte ihr klinisches Urteilsvermögen“ anwenden sollten, um zu entscheiden, wann ein Implantat nach Zahnextraktion gesetzt und belastet wird [Gotfredsen et al., 2008].

Die Sofortbelastung verkürzt die Behandlungszeit, ermöglicht dem Patienten sofortige funktionelle Nutzung, reduziert die Anzahl und Dauer von Behandlungen, bedarf keines schleimhautgetragenen Interimszahnersatzes und verursacht potentiell geringere Kosten [Bahat und Sullivan, 2010a]. Eine kurzfristig wiederhergestellte Ästhetik [Avila et al., 2007] sowie eine gesteigerte Patientenzufriedenheit [Attard und Zarb, 2005] werden als weitere Vorteile betrachtet.

2.2.3 Belastungszeitpunkt dentaler Implantate

Zum Verständnis der unterschiedlichen Standpunkte des optimalen Zeitpunkts der Lasteinleitung in Implantate ist eine Betrachtung ihrer historischen Entwicklung hilfreich [Cochran, 2006]. Empfehlungen hinsichtlich der Belastung wurden bereits von Brånemark et al. gegeben, während klinische Behandlungsprotokolle entwickelt wurden [Brånemark et al., 1977]. Hieraus resultierte die weit verbreitete, schleimhautgedeckte Einheilungszeit von drei Monaten im Unterkiefer und sechs Monaten im Oberkiefer. Die Begründung für diese Zeit beruht allein auf klinischer Erfahrung ohne eine erkennbare biologische Grundlage, die bis heute nicht gegeben werden konnte [Cochran, 2006]. Verschiedene Autoren spekulierten über vier mögliche

Sachverhalte, die Brånemark et al. zu diesen Empfehlungen gebracht haben könnten, ohne wissenschaftlich fundierte Belege vorzuweisen [Szmukler-Moncler et al., 2000, Cochran, 2006]:

- Eine mögliche unerwünschte fibröse Einscheidung der Implantate bei Sofortbelastung [Albrektsson et al., 1981, Albrektsson et al., 1986]
- Knochen, der durch Überhitzung bei der Präparation des Implantatbetts nekrotisiert, muss ersetzt werden. In dieser Zeit ist das Gewebe nicht in der Lage, Lasten aufzunehmen [Brånemark et al., 1977, Brånemark, 1983, Albrektsson et al., 1986].
- Nekrotischer Knochen wird schneller ersetzt, wodurch der Knochen-Implantat-Kontakt übermäßig geschwächt wird [Rams et al., 1984].
- Drei bis sechs Monate seien nötig, um den Knochen in unmittelbarer Implantatumgebung zu remodellieren [Roberts et al., 1989].

Attard et al. führen diese Empfehlungen gegen jegliche Sofortbelastung dentaler Implantate auf damaliges „unzureichendes Verständnis des Knochen-Implantat-Interface, der Knochenheilung, den Mangel an passender Okklusion, ungeeignete prothetische Konstruktion, ungeeignete Implantatwerkstoffe, Oberflächengestaltung sowie Gewindedesign“ zurück [Attard und Zarb, 2005]. 2001 beschrieb Brånemark diese Empfehlung selbst als „empirisch gefunden“ und betonte die Notwendigkeit der klinischen Testung [Attard und Zarb, 2005]. Die Ablehnung der sofortigen Belastung von Implantaten wurde von diversen orthopädischen Arbeiten der 1970er Jahre unterstützt [Cameron et al., 1973, Schatzker et al., 1975, Ducheyne et al., 1977]. Alle diese Ergebnisse basierten auf der Annahme, dass Mikrobewegungen eine fibröse Einheilung induzieren. Vor Brånemarks Aufstellung des verzögerten Belastungsprotokolls wurden diese bindegewebigen Einscheidungen als optimale biologische Antwort auf ein Implantat betrachtet, da hierdurch das physiologische Parodontium imitiert würde [Linkow, 1970a, Linkow, 1970b, Szmukler-Moncler et al., 2000]. Aufgrund der klinischen Beobachtung, dass manche Implantate auch bei früheren Belastungen knöchern einheilen, wurde die Frage deutlich, warum und unter welchen Umständen einerseits fibröse und andererseits knöcherne Einheilungen stattfinden. So stellten Brunski et al. 1993 fest, dass Mikrobewegungen unter 100 µm einen funktionalen Knochen-Implantat-Kontakt gewährleisten [Brunski, 1992, Brunski, 1993]. Die knochenseitige Toleranz gegenüber Mikrobewegungen in Abhängigkeit

vom Implantatdesign und dessen Oberfläche wurde festgestellt. So wurden unter gleichen Bedingungen krestale Implantate bindegewebig eingescheidet, wohingegen poröse Zylinderimplantate osseointegrierten [Maniatopoulos et al., 1986]. Die Oberflächenmakrostruktur und –mikrostruktur sowie die Benetzbarkeit hat einen wesentlichen Einfluss auf die Zelladhäsion und Infektionsresistenz insbesondere während der Einheilphase [Rupp et al., 2004, Zhu et al., 2004, Zhao et al., 2005, Ferguson et al., 2006, Schwarz et al., 2009, Gittens et al., 2013].

Bewegungen oberhalb von 150 µm werden generell mit einer fibrösen Einheilung assoziiert [Szmukler-Moncler et al., 1998, Avila et al., 2007]. Eine tierexperimentelle Arbeit stellte sogar fest, dass beide Phasen ineinander überführbar sind [Kawahara et al., 2003]. So fanden Kawahara et al. heraus, dass Implantate, deren Oberfläche zu 80% und mehr fibrös eingekapselt war, zentripetal und zentrifugal ossär einwuchsen. Nach 24 Wochen in funktioneller Belastung waren die Implantatoberflächen mit ausgereiftem Knochen bedeckt. Diese Ergebnisse korrelieren mit der klinischen Beobachtung, dass mobile basale Implantate nach Lastkorrektur ossär reintegrieren [Ihde, 2008a, Kopp, 2010b]. Dass dieser Effekt bei krestalen Implantaten eher selten beobachtet wird, mag an der Nähe der Lastübertragungsbereiche zur infektionsgefährdeten Durchtrittsstelle durch die Gingiva liegen, da hier meist eine fibröse Mobilität zur sekundären Keimbesiedlung führt. Trotzdem ist dieser Effekt auch hier nicht ausgeschlossen, wie der Tierversuch von Kawahara et al. belegt.

Die von Brunski et al. 1992 postulierte Grenze von 100 µm Mikrobewegung für eine knöcherne Einheilung wurde durch Kawahara et al. im Jahre 2003 auf 30 µm reduziert, wobei ein Wert von 30 µm als physiologische Kaubelastung definiert wird und die Überführung von fibrösen Einscheidungen in Knochen ermöglicht [Kawahara et al., 2003].

Trotz der weit verbreiteten Akzeptanz der Empfehlungen Brånemarks wurde die Sofortbelastung dentaler Implantate erfolgreich weiterverfolgt, angewandt und wissenschaftlich untersucht [Ledermann, 1977, Ledermann, 1979, Schroeder et al., 1983, Babbush, 1986, Spiekermann et al., 1995, Tallarico et al., 2011]. Selbst Zygomaimplantate können erfolgreich der sofortigen Belastung zugeführt werden [Davo et al., 2008, Davo, 2009, Davo et al., 2010, Davo et al., 2013]. Die positiven und zu

Brånemarks Protokollen adäquaten Resultate im Bereich der Sofortbelastung sind Anlass auch der vorliegenden Studie.

2.2.4 Einheilung verbessernde Faktoren

Die Aufstellung von Forderungen für eine erfolgreiche Implantation ist im Laufe der Jahre immer wieder erfolgt und verworfen worden, wie das Beispiel des Belastungsprotokolls von Brånemark zeigt [Albrektsson et al., 1981]. Weitere historisch geforderte und teilweise bzw. völlig verworfene Punkte sind beispielsweise [Szmukler-Moncler et al., 2000]:

- Vermeidung von krestalen Inzisionen
- ausschließliche Verwendung von Titanimplantaten
- zweistufige Vorgehensweise
- ausschließlicher Einsatz von langsam laufenden Bohrern im Knochen
- sterile Umgebung, wie in einem vollständig ausgestatteten OP-Saal
- ausschließlicher Einsatz von Titanwerkzeugen
- Vermeidung von Röntgenaufnahmen während der Einheilungszeit und
- ausschließliche Verwendung von Okklusalflächen aus Verblendkunststoffen.

Bereits die Materialfrage bezüglich des Postulats der ausschließlichen Verwendbarkeit von Titan in der Implantologie wurde relativiert. So fanden neben Keramik auch andere Werkstoffe Eingang in die Implantologie. Einkristall-Saphir (Bioceram; Kyocera, Kyoto, Japan) und Co-Cr-Mo-Legierungen (Bionium; ICM, Osaka, Japan) wiesen im Knochenkontakt sowohl sechs als auch 24 Wochen nach Implantation keinen signifikanten Unterschied gegenüber Titan (Toho Titanium Co., Tokyo, Japan) auf [Kawahara et al., 2003]. Polyaromatische semikristalline Thermoplaste wie Polyetheretherketon (PEEK) (Biopik; Sisomm, Beverlo, Belgien) werden aufgrund ihrer knochenähnlichen Elastizitätsmodule gegenwärtig auf ihre Verwendbarkeit in der dentalen Implantologie überprüft [Katzer et al., 2002, Briem et al., 2005, Hanasono et al., 2009].

Versagensanalysen bestätigen jedoch die hohe Verlässlichkeit von Titan gegenüber Keramik und Kunststoff [Hosseini et al., 2011, Kopp et al., 2012c, Kopp et al., 2013a, Warkentin et al., 2013]. Die Plaqueanlagerung und Keimbesiedlung in der Gingivadurchtrittsstelle stellt dabei eine besondere Herausforderung dar.

Die Primärstabilität wird von vielen Autoren als der einzig entscheidende Faktor für den Erfolg der Sofortbelastung angegeben [Gapski et al., 2003, Chiapasco, 2004, Romanos, 2004]. Die hohe Primärstabilität wird somit als Conditio sine qua non betrachtet [Avila et al., 2007]. Als untere Grenze für Schraubenimplantate wird ein Eindrehmoment von mindestens 35 Ncm angegeben, welches auf der Beobachtung beruht, dass bei größeren Drehmomenten (ab 35 Ncm) der Knochen-Implantat-Kontakt aufgrund einer Knochenkondensation vergrößert wird [Neugebauer et al., 2006, Avila et al., 2007]. Für die Sofortbelastung von Schraubenimplantaten wird ein höheres Drehmoment bei Implantatinsertion (> 80 Ncm) im Vergleich zu geringerem (25 bis 35 Ncm) mit einem reduzierten Risiko assoziiert [Cannizzaro et al., 2012].

Da die klinische Stabilität auch über eine dünne bindegewebige Barriere zwischen Implantat und Knochen erreicht werden kann [Brånemark, 1983], wurde in diversen experimentellen Arbeiten die direkte Osseointegration dentaler Implantate unter Sofortbelastung nachgewiesen [Deporter et al., 1986, Hashimoto et al., 1988, Lum et al., 1991, Akagawa et al., 1993, Piattelli et al., 1993, Sagara et al., 1993, Corso et al., 1999].

Auch histologische Analysen humaner Präparate sofortbelasteter Implantate bestätigen deren Osseointegration [Linkow et al., 1992, Piattelli et al., 1997, Kopp et al., 2012a].

In Übersichtsarbeiten wurden vier Kategorien der Einflussfaktoren auf die Primärstabilität herausgearbeitet [Gapski et al., 2003, Avila et al., 2007]:

1. Chirurgische Faktoren beziehen sich auf die Primärstabilität sowie eine möglichst atraumatische chirurgische Vorgehensweise
2. patientenbezogene Faktoren sind vor allem Knochenqualität und –quantität sowie ein günstiger Heilungsverlauf
3. implantatabhängige Faktoren beinhalten Makro- und Mikrodesign des Implantats
4. okklusionsbezogene Faktoren fokussieren auf okklusale Kräfte und die Art und Gestaltung der prothetischen Konstruktion.

Nkenke et al. fanden keine kontrollierten Studien zu sofortbelasteten Implantaten, die verschiedene Knochenqualitäten, Implantatlängen und -durchmesser gegenüberstellen [Nkenke und Fenner, 2006]. Obwohl vielfach über Vorteile spezieller Oberflächeneigenschaften berichtet wird, gibt es auf dem Gebiet der Sofortbelastung nur

wenige kontrollierte Studien, die raue Oberflächen, ohne konkrete Angabe von Rautiefen, maschinierten gegenüberstellen, aber unabhängig voneinander übereinstimmend keinen statistisch signifikanten Unterschied finden [Rocci et al., 2003, Froberg et al., 2006, Schincaglia et al., 2007, Sennerby und Gottlow, 2008].

Die Minimierung der Mikrobewegungen, insbesondere in der Einheilungszeit, unter einem tolerierbaren Bereich von 50 bis 150 µm, wird als wichtigste erfolgsbestimmende Maßnahme angesehen. Dazu werden unterschiedliche Verfahrensweisen diskutiert [Cochran, 2006, Mesa et al., 2008]:

- vollständig gedeckte Einheilung des Implantats
- bikortikale Stabilisation (koronal und apikal und/oder vestibulär und lingual) [Attard und Zarb, 2005, Wang et al., 2009]
- feste Verblockung in der Mundhöhle
- oberflächenassoziierte und medikamentös induzierte Verstärkung der Knochenumbaurate in unmittelbarer Implantatumgebung
- Querversteifung der Implantate insbesondere in der Kortikalis
- Ausführung der Suprakonstruktion ohne okklusalen Kontakt und/oder gingival getragener Zahnersatz im antagonistischen Kiefer statt einer zahn- oder implantatgetragenen prothetischen Konstruktion
- Implantation mit hohem primären Knochenkontakt durch Kondensation bzw. Kompression
- Erhöhung der Implantatanzahl bei Sofortbelastung [Bahat und Sullivan, 2010b].

Zusammenfassend bietet die aktuelle Literatur keine ausreichende Grundlage für absolut verbindliche Vorgaben zur erfolgreichen Anwendung dentaler Implantate, was die Notwendigkeit für weitere Forschung unterstreicht [Attard und Zarb, 2005, Cochran, 2006, Nkenke und Fenner, 2006, Avila et al., 2007, Gotfredsen et al., 2008, Henry und Liddelow, 2008, Lindh, 2008, Schou, 2008, Sennerby und Gottlow, 2008, Bahat und Sullivan, 2010a, Bahat und Sullivan, 2010b].

2.2.5 Gefährdende Faktoren für den Implantationserfolg

Im Jahre 2008 ist in der Literatur festgestellt worden, dass es keine absoluten Kontraindikationen für sofortbelastbare implantologische Maßnahmen gibt [Henry und Liddelow, 2008]. Trotzdem wurden Bedingungen ermittelt und diskutiert, die

zumindest mit erhöhten Risiken einhergehen. Nkenke et al. konstatieren, dass es gegenwärtig nicht möglich sei, Schlussfolgerungen bezüglich Einschluss- und Ausschlusskriterien für erfolgreiche Sofortbelastungen dentaler Implantate zu ziehen [Nkenke und Fenner, 2006]. Nach Cochran sind „Maßnahmen, die Implantatrestaurationen am Patienten in hohes Risiko versetzen, unakzeptabel." [Cochran, 2006].

In der Literatur angegebene Faktoren, die den Erfolg einer sofortbelasteten Implantation gefährden können, werden hier zusammengefasst:

- Parodontitis als Basis für eine Periimplantitis
  Die Implantation bei Patienten mit parodontalen Vorerkrankungen hat einen Wandel im Laufe der Jahre erfahren. War diese Vorerkrankung anfänglich eine zumindest relative Kontraindikation für die dentale Implantologie [Attard und Zarb, 2005], wird gegenwärtig die Implantation nach vollständiger parodontaler Sanierung als nicht kontraindiziert betrachtet [Gotfredsen et al., 2008]. Trotzdem wird das Periimplantitisrisiko bei parodontal vorerkrankten, jedoch sanierten Patienten generell höher als bei Patienten mit Zahnverlust anderer Genese bewertet [Klokkevold und Han, 2007, Gotfredsen et al., 2008, Schou, 2008].
- Implantationen in infizierte Regionen können erfolgreich sein. Neben einer gründlichen Reinigung der Alveole ist eine umfassende Patientenaufklärung bezüglich eines möglichen erhöhten Risikos unvorhersagbarer Resultate unerlässlich [Gotfredsen et al., 2008, Schropp und Isidor, 2008].
- frische Extraktionsalveolen: Literaturanalysen finden keine kompromittierenden Einflüsse bei Implantationen in frische Extraktionsalveolen bei ausreichender Stabilisierung [Attard und Zarb, 2005, Bahat und Sullivan, 2010b].
- Diabetes [Klokkevold und Han, 2007]
- Bestrahlungen im Kopf- und Halsbereich [Attard und Zarb, 2005, Bahat und Sullivan, 2010b]
- Postmenopausale Östrogentherapien werden in der Implantologie allgemein mit einem erhöhten Risiko assoziiert (Relatives Risiko RR: 2.24 bis 2,75), wurden jedoch bei Anwendung der Sofortbelastung nicht separat untersucht [Henry und Liddelow, 2008].

- Die Bisphosphonatmedikation geriet in jüngster Zeit in den Fokus und wird zumindest als Risikofaktor betrachtet [Henry und Liddelow, 2008]. Einige Autoren raten hier grundsätzlich von Implantationen ab [Scully et al., 2006]. Im Gegensatz dazu werden in der orthopädischen Chirurgie Bisphosphonate gezielt für Implantatbeschichtungen genutzt [Scully et al., 2006, Abtahi et al., 2010, Linderback et al., 2010, McKenzie et al., 2010].
- Amoxicillinunverträglichkeit führte in einer Untersuchung zu einem erhöhten Risiko [Wagenberg und Froum, 2006].
- Tabakkonsum wird in diversen Studien als signifikanter Risikofaktor beschrieben [Klokkevold und Han, 2007, Henry und Liddelow, 2008].
- Die Überlegenheit von „guter“ Knochenqualität, ohne hierfür eindeutige Kriterien anzugeben, wird nach Aussage eines Konsensus in keiner Studie belegt [Henry und Liddelow, 2008]. „Schlechte“ Knochenqualität (Typ 4) wird hingegen von manchen Autoren als Risikofaktor beschrieben [Rocci et al., 2003, Cochran, 2006, Bahat und Sullivan, 2010b].
- Kurze Implantate und geringe Implantatdurchmesser werden als Risikofaktoren betrachtet, obwohl keine Daten eine Überlegenheit größerer Längen (über 10 mm) belegen [Henry und Liddelow, 2008].
- „Pressfit“-Implantate werden gegenüber gewindeverankerten Implantaten als mit einem höheren Risiko unter Sofortbelastung behaftet betrachtet [Henry und Liddelow, 2008].
- Gewebevitalität: Schlechte örtliche Durchblutung wird als Risikofaktor beschrieben [Bahat und Sullivan, 2010b].
- Mangel an okklusaler Abstützung im gesamten Gebiss [Bahat und Sullivan, 2010b]
- Parodontal vorgeschädigte und mobile Zähne stellen insbesondere bei Hybridbrücken ein Risiko dar [Bahat und Sullivan, 2010b].
- Hypertrophie und Hyperaktivität der Kaumuskulatur [Bahat und Sullivan, 2010b]
- Parafunktionen [Aparicio et al., 2003, Henry und Liddelow, 2008, Bahat und Sullivan, 2010b]
- Extensionsbrücken führen zu intrusiven und extrusiven Lasten und somit zu ungünstigen Lastvektoren [Bahat und Sullivan, 2010b].

- geringe Primärstabilität: Bei gewindetragenden Implantaten gelten Eindrehmomente unter 35 bis 40 Ncm als Risiko [Bahat und Sullivan, 2010b].
- intraoperativ auftretende Komplikationen oder notwendige Abweichungen von der Behandlungsplanung [Bahat und Sullivan, 2010b]
- Distale Einzelimplantate weisen das höchste Risiko unter Sofortbelastung auf [Misch et al., 2004].

Chirurgische Komplikationen, die im Zusammenhang mit dentalen Implantationen beschrieben wurden sind [Greenstein et al., 2008]:

- Infektionen
- intraorale Blutungen
- Wunddehiszenzen
- postoperative Schmerzen
- Mangel an primärer Implantatstabilität
- versehentliche Penetration in die Kieferhöhle oder den Nasenboden
- Spätkomplikation des Sinuslifts
- neurosensorische Störungen
- Verletzung benachbarter Zähne
- Gewebeemphysem
- Aspiration oder Verschlucken chirurgischer Instrumente.

3 Material und Methode

Um die in der Einleitung genannten Fragestellungen wissenschaftlich zu beantworten, wurde ein entsprechendes Studiendesign entwickelt. Die Disposition der vorliegenden Arbeit einschließlich der dazugehörigen Formulare für die Patienteninformation und Einverständniserklärung wurden der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Rostock vorgelegt und mit einem positiven Votum versehen (Registriernummer: A 201059).

3.1 Untersuchte Kohorte

Zwischen Mai 2003 und Juni 2010 wurden vom Autor dieser Arbeit 195 Patienten konsekutiv mit 896 sofortbelasteten Implantaten versorgt und nachuntersucht [Kopp et al., 2013c]. Die Verteilung der Implantationen über den Beobachtungszeitraum unterliegt bedarfsbedingten und saisonalen Schwankungen (Abb. 1).

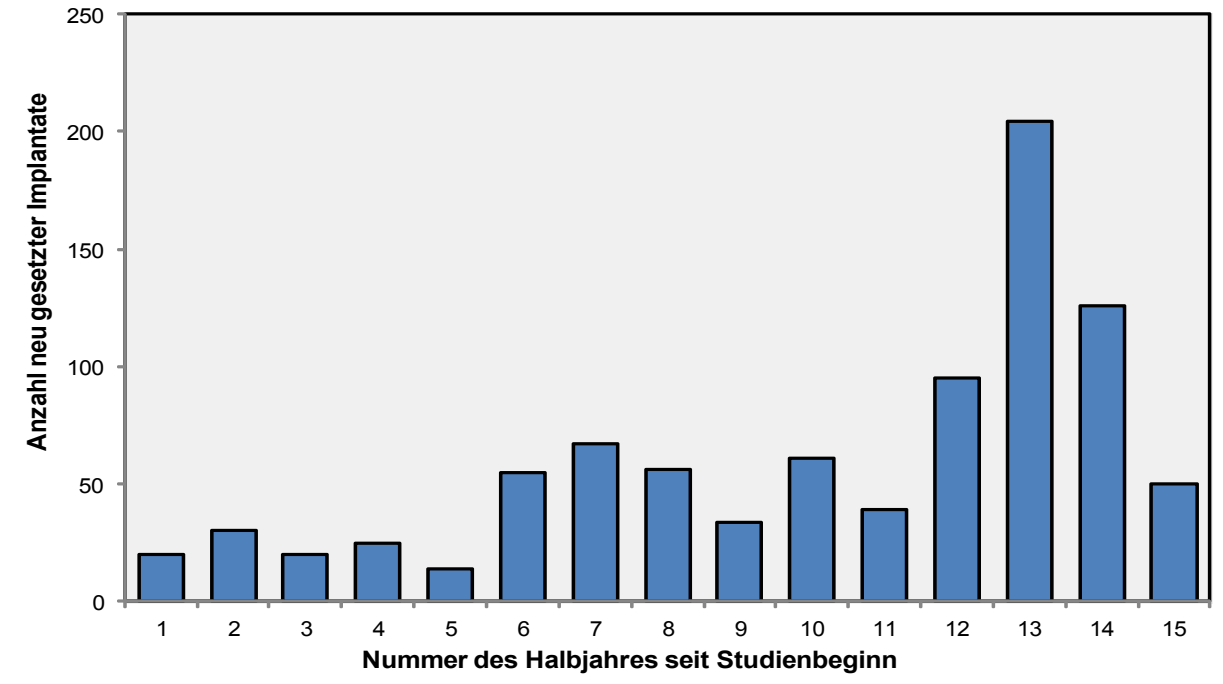

Abb. 1 Verteilung der Implantate auf die Kontrollzeit seit Behandlungsbeginn [Halbjahre]

Die 896 Implantate wurden allein oder in Kombination mit bereits vorhandenen Implantaten bzw. beschliffenen natürlichen Zähnen als Pfeiler für 310 Kronen, Brücken und Prothesen genutzt. Zwei weitere Patienten, die während dieser Zeit

erfolgreich mittels Implantaten versorgt wurden, nahmen auf eigenen Wunsch nicht an der Studie teil.

113 Frauen (57,9%) und 82 Männer (42,1%) bilden das Patientengut dieser Studie. Das Patientenalter bei Erstimplantation im Rahmen dieser Studie umfasst 16 bis 80 Jahre, wobei das arithmetische Mittel bei 52,5 ± 13,2 Jahren und der Median bei 54 Jahren liegt (Abb. 2). Diese Patienten sind in Altersklassen zusammengefasst (Abb. 3).

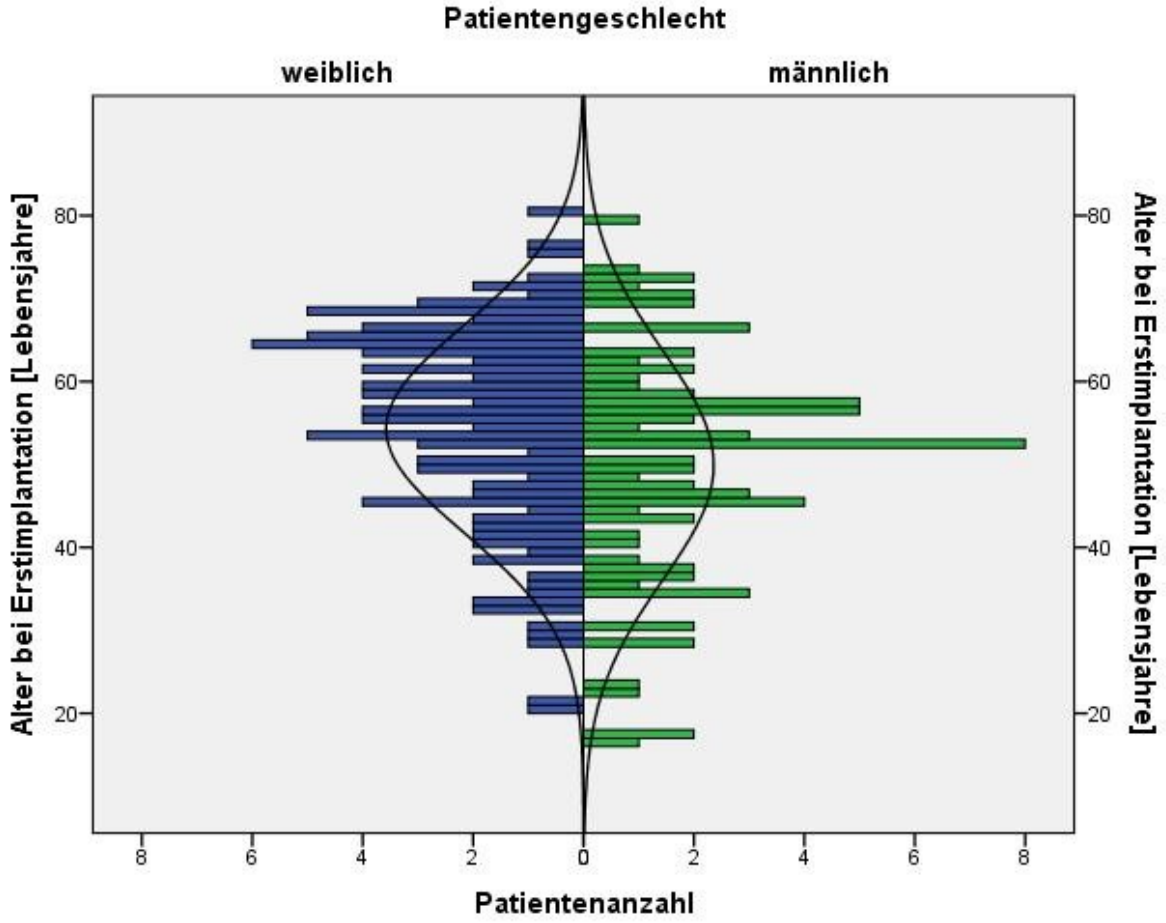

Abb. 2 Verteilung der Patienten nach Alter und Geschlecht

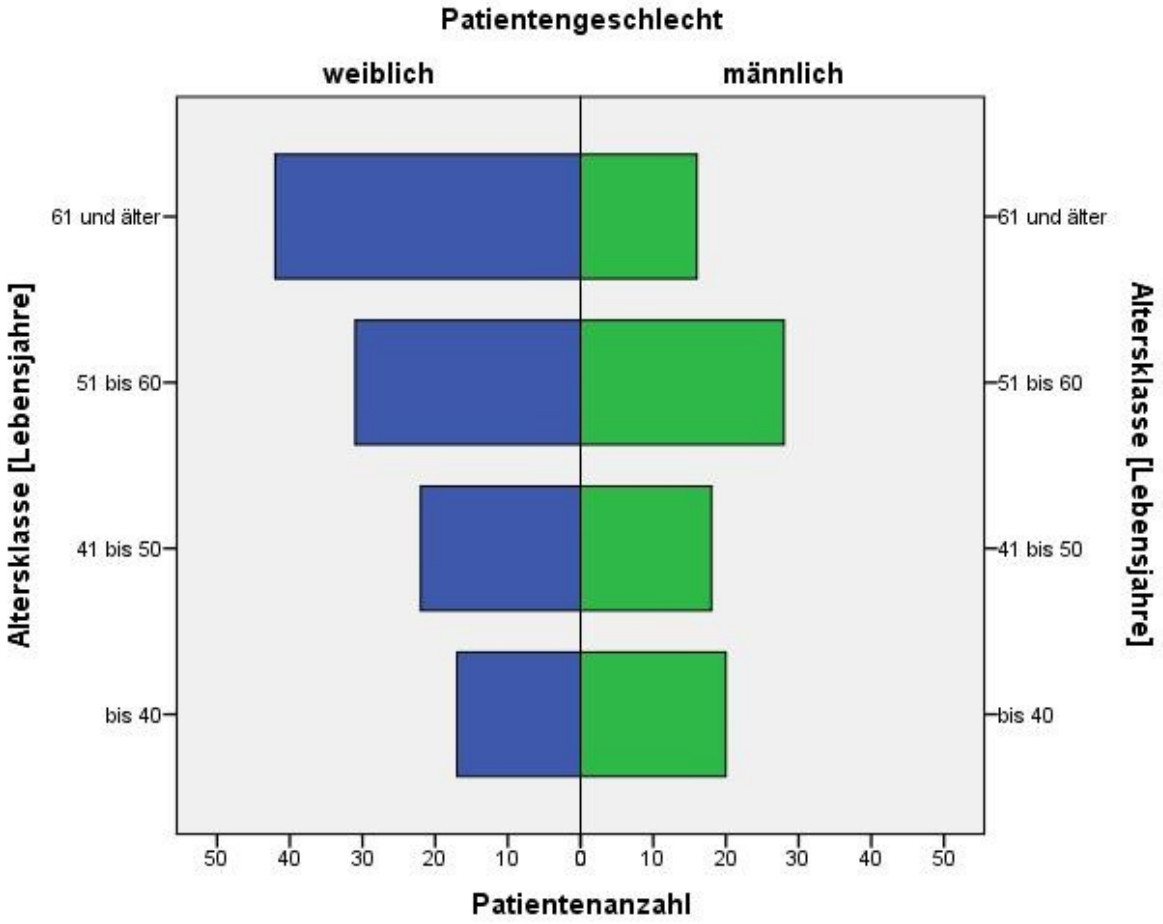

Abb. 3 Gruppierung der Patienten in Altersklassen bei Erstimplantation unterteilt nach Patientengeschlecht

3.2 Klinisches Vorgehen

Die Verteilung der Implantate auf die im Rahmen dieser Arbeit zu untersuchenden Risikogruppen ist in Tab.1 dargestellt.

	Implantate	
	n	%
Gesamtkohorte	896	100
Aufteilung nach potentiellen Risikofaktoren		
Patientengeschlecht		
weiblich	539	60,2
männlich	357	39,8
Patientenalter [Lebensjahre]		
bis 40	67	7,5
41 - 50	240	26,8
51 - 60	337	37,6
61 und älter	252	28,1
Kiefer		
Oberkiefer	548	61,2
Unterkiefer	348	38,8
Region		
OK-Schneidezahnbereich bis 1. Prämolar	265	29,6
subsinusal (OK: 2. Prämolar bis 2. Molar)	185	20,6
Tuberregion (OK: 3. Molar)	98	10,9
interforaminal (UK: Schneidezähne bis 1. Prämolar)	154	17,2
supranerval (N. alv. inf.) (UK: 2. Prämolar bis 3. Molar)	194	21,6
Implantation unmittelbar nach Zahn- oder Implantatentfernung		
nein	486	54,2
ja	410	45,8
davon als Ersatz für verlorene Implantate	34	3,8
Implantatdesign		
BCS	118	13,2
BOI einscheibig	297	33,1
BOI mehrscheibig	399	44,6
KOS	82	9,1
Implantatlänge [mm]		
3 - 7	331	37
8	312	34,8
9 - 23	253	28,2
Implantat-Abutmentverbindung		
einteiliges Implantat	720	80,4
externes Gewinde	156	17,4
intern verschraubte Oktagonverbindung	20	2,2
Prothetische Suprakonstruktion		
rein implantatgetragene zirkuläre Brücke	456	50,9
rein implantatgetragene Brücke	146	16,3
Hybridbrücke auf Implantat(en) und Zahn/Zähnen	242	27
implantatgetragene Einzelkrone	32	3,6
implantatretinierter herausnehmbarer Zahnersatz	20	2,2

Tab. 1 Verteilung der Implantate auf zu untersuchende Risikofaktoren

Obwohl kein einheitliches Behandlungsschema allen Patientensituationen gerecht werden kann, gibt es grundlegende Vorgehensweisen, die hier aufgeführt werden. Dazu werden die eingesetzten Implantatformen beschrieben:
Kompressionsschrauben (KOS®, KOSA®, KOSB® und KOSK®; Biomed, Vaduz, Liechtenstein; ebenfalls Rechteinhaber aller weiteren nicht mit separater Herstellerangabe versehenen Produkte) erfüllen durch ihre Bauform den Zweck der Knochendichteerhöhung, die klinisch als Bonecondensing-Technologie ihre Anwendung findet (Abb. 4).

Abb. 4 Kompressionsschraube mit biegbarem Abutment (KOSB 4.1 19) (Durchmesser: 4,1 mm; enossale Länge: 19 mm)

Diese Implantate können nach ausreichend tiefer Vorbohrung mittels Formbohrer (DOS®) sowohl mit vorausgehender Anwendung einer Knochendehnschraube (KDS®) als auch bei geringerer Knochendichte ohne diesen Schritt inseriert werden. Bezüglich des Durchmessers (3 bis 4,1 mm) und der Höhe (10 bis 19 mm) verschiedene einteilige Implantate mit integriertem Abutment wurden hier eingesetzt, wobei vorrangig linearaxiale (KOS®) und angulierte Formen (KOSA®) mit gegenüber der Implantatachse abgewinkeltem Abutment von 15º oder 25º, ergänzt durch im Implantathalsbereich biegbare (KOSB®) sowie solche mit bereits integriertem Kugelkopf (KOSK®) zur Anwendung kamen. Für die angulierten Formen wurden passende Einbringhilfen genutzt. Zur hochauflösenden (isometrische Voxelgröße: 76 µm), dimensionsstabilen Darstellung der transversalen Implantatposition im Knochen kam ein dentaler digitaler Volumentomograph (DVT) zum Einsatz (CS9000 3D, Carestream Dental, Stuttgart) (Abb. 5) [Kopp, 2010a, Kopp et al., 2010c, Kopp und Ottl, 2010a, Kopp und Ottl, 2010b]. Die in drei Raumebenen vorliegenden Aufnahmen wurden bei komplexen Behandlungssituationen vor und nach Implantation angefertigt [Kopp, 2011a]. Dabei ist die Qualität aus mehreren Einzelaufnahmen zusammengesetzter Volumina für die Fertigung von Bohrschablonen geeignet, auf

deren Nutzung jedoch im Rahmen dieser Studie verzichtet wurde [Kopp et al., 2011b].

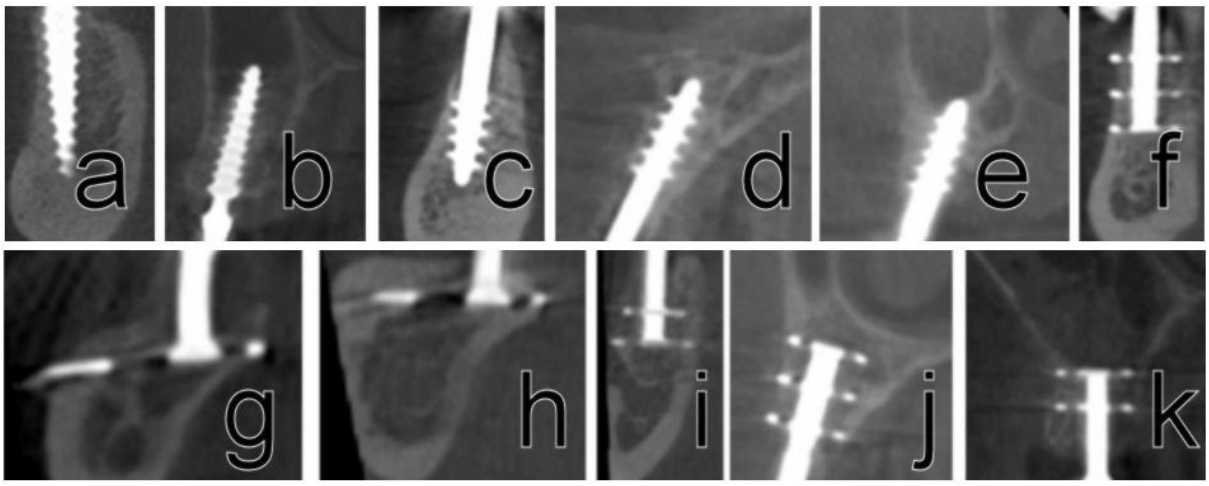

Abb. 5 Zusammenstellung der eingesetzten Implantatformen im Transversalschnitt (DVT) ihrer typischen Einsatzgebiete: a - b Kompressionsschrauben, c - e Bikortikalschrauben, f - k basale Implantate

Bikortikalschrauben (BCS® und BCSA®) bilden, obwohl separat entwickelt, schraubbare Sonderformen basaler Implantate (Abb. 6).

Abb. 6 Bikortikalschraube mit geradem Abutment (BCS 5.5 14) (Durchmesser: 5,5 mm; enossale Länge: 14mm)

Die kortikale Verankerung mittels breiter horizontaler Gewindeteile ist eine intraossäre Modifikation der transkortikalen Verankerung basaler Implantate. Bikortikalschrauben kommen im Gegensatz zu basalen Implantaten, die ihre Vorteile in flachen breiten Knochenregionen (subsinusal und distaler Unterkiefer) optimal zur

Geltung bringen, in hohen schmalen Knochengebieten zur Anwendung. Sie sind daher prädestiniert für den Einsatz im Tuberbereich als auch in horizontal atrophierten Gebieten des Unterkieferfrontzahnbereiches. Der glatte Schaft bietet eine gute Voraussetzung zur Vermeidung einer Periimplantitis. Eine dem Schaftdurchmesser adäquate Vorbohrung auf Zieltiefe ist notwendig. Es wurden linearaxiale (BCS®) und angulierte Formen (BCSA® mit gegenüber der Implantatachse abgewinkeltem Abutment von 15º) eingesetzt.

Basale Implantate (BOI® und IDO®) bestehen aus einer kortikal zu verankernden skelettierten Grundplatte und einem vertikalen Schaft, der über das Abutment die Verbindung mit der prothetischen Suprakonstruktion gewährleistet. Grundsätzlich lassen sich Implantate mit ein bis drei Grundplatten oder Scheiben voneinander unterscheiden (Abb. 7 bis 9).

Abb. 7 Einscheibiges basales Implantat mit Oktagonverbindung (intern verschraubbar) (IDO 9/12 G4) (Durchmesser der Basis: 9 mm; Einschubtiefe der Basis: 12 mm; Höhe oberhalb der Basis: 6 mm (1 G = 1,5 mm))

Abb. 8 Zweischeibiges basales Implantat mit integriertem Abutment (einteilig) (BBS 7H6) (Durchmesser der Basis: 7 mm; Einschubtiefe der Basis: 7 mm; Höhe oberhalb der Basis: 6 mm)

Abb. 9 Dreischeibiges basales Implantat mit externem Gewinde (verschraubbar) (EDDDS 7G6) (Durchmesser der Basis: 7 mm; Einschubtiefe der Basis: 7 mm; Höhe oberhalb der Basis: 9 mm (1 G = 1,5 mm))

Schäfte verschiedener Längen dienen nicht der direkten Lasteinleitung in den Knochen. Daher weisen sie einen dünnen Querschnitt von etwa 1,8 mm (bei ovaler Ausführung bis 2,5 mm) und eine glatte Oberfläche auf. Bei den Abutments stehen drei Typen zur Verfügung, die in dieser Studie eingesetzt wurden. Es wurden Abutments mit internem Gewinde, die auf *Implantatschäfte mit externem Gewinde* (Abb. 9) aufgeschraubt wurden, verwendet. Innerhalb des Systems sind Gewindeschneider verfügbar. Hiermit kann nach einer möglichen Implantatfraktur unterhalb des Abutments bei ausreichender Restschaftlänge ein neues Gewinde auf den

verbliebenen Schaft aufgeschnitten werden, worauf ein neues Abutment aufgeschraubt werden kann. Weiterhin wurden *einteilige Implantate mit integriertem Abutment* (Abb. 8) eingesetzt. Diese besitzen eine günstige Form im Bereich des Gingivasulcus und vermeiden Probleme bis hin zu Frakturen, die bei verschraubten Aufbauten eher auftreten können.
Eine dritte Form ist die des *externen Oktagons mit interner Abutmentverschraubung* (Abb. 7). Diese Form kam im Rahmen dieser Studie 18 mal zum Einsatz (2,7%). Exakt auf die Implantate abgestimmte homologe Fräser wurden verwendet.

Die prinzipielle chirurgische Vorgehensweise bei *basalen Implantaten* wird hier beispielhaft anhand der OP-Photodokumentation eines Patienten mit Nichtanlagen der oberen seitlichen Inzisivi erläutert [Kopp, 2008]. In Abstimmung mit dem behandelnden Fachzahnarzt für Kieferorthopädie wurde bei diesem Patienten einer Implantation nach Abschluss des Knochenwachstums und Lückenoffenhaltung gegenüber dem primären kieferorthopädischen Lückenschluss entsprechend gleichlautender Empfehlung der Vorzug gegeben (Abb. 10) [Thilander, 2008].

Abb. 10 Ausgangssituation der Behandlung eines Patienten mit Nichtanlage beider oberer seitlicher Schneidezähne nach kieferorthopädischer Vorbehandlung

Unter Lokalanästhesie (Ultracain® D-S forte; Aventis Pharma Deutschland, Frankfurt) wurde nach oraler Desinfektion ein Kieferkammschnitt und Zahnfleischrandschnitt ausgeführt. Vestibuläre Entlastungsschnitte wurden, wenn erforderlich, nicht über der geplanten Implantatposition, sondern an der proximalen Papille des angrenzenden Zahnes zur besseren Übersicht angelegt. Nach stumpfer Präparation des Schleimhaut-Periost-Lappens wurden wichtige anatomische Strukturen wie beispielsweise der Nasenboden dargestellt (Abb. 11).

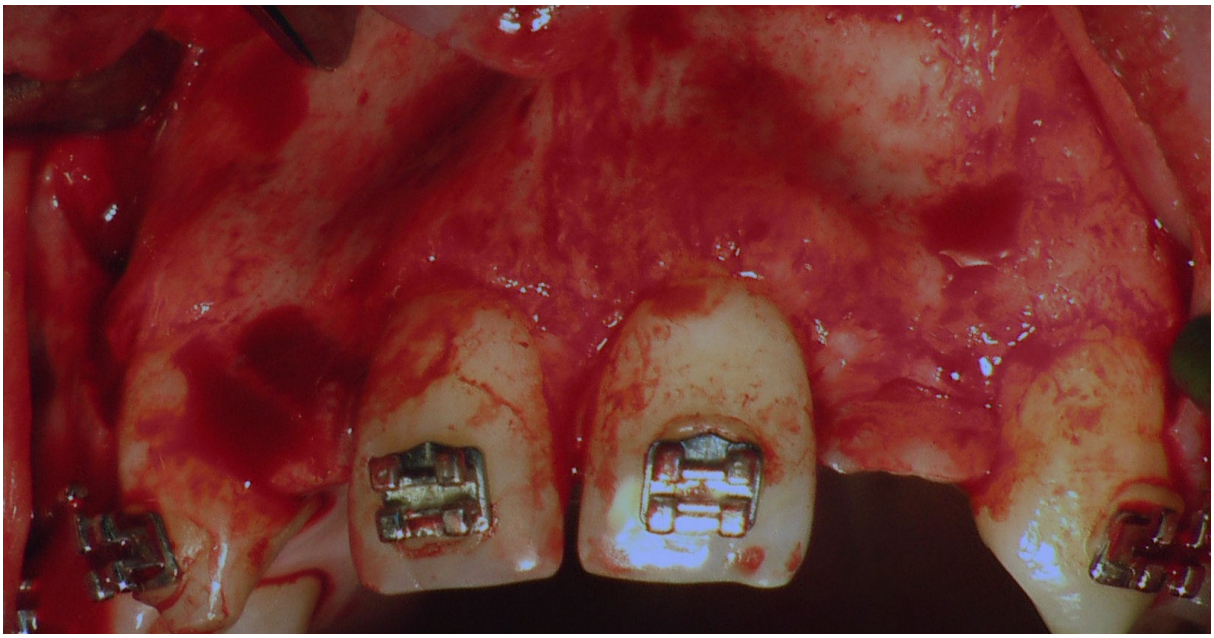

Abb. 11 Operationssitus nach Aufklappung des Gingiva-Periost-Lappens

Eine Schonung und Sicherung solcher Strukturen ebenso wie des Lappens wurde während des gesamten Eingriffs sichergestellt. Zerstörte Zähne, Wurzelreste, Fremdkörper wie beispielsweise defekte Implantate und Granulationsgewebe wurden entfernt. Bei Vorliegen prominenter Knochenkanten erfolgte bei entsprechender Indikation eine Glättung. Als chirurgische Einheit kam die Satelec SuniMax (Acteon Germany GmbH, Mettmann) mit den Motoren Satelec Autoclavable 26 und 40 mit externer steriler 0,9% NaCl-Lösung (Braun Melsungen AG, Melsungen) zum Einsatz. Es wurden motorseitig bereitgestellte Drehmomente von 1,6 Ncm (bei 40.000 U/min) bis 2,4 Ncm (bei 26.000 U/min) auf chirurgische Winkelstücke (WS-56 E und WS-92 E; W&H Deutschland GmbH, Laufen) übertragen. Harte Knochenstrukturen, die kaum vaskularisiert sind, wurden mit der Knochenfräse

mehrfach perforiert. Dies führt zur Einblutung und Unterbrechung vorliegender Trajektorien, durch deren Neuausrichtung die sekundären Osteone gerichtet werden und ein Knochenumbau angeregt wird [Petitbois und Scortecci, 2012]. Grundsätzliches Ziel war es, alle Implantate transossär primär stabil zu verankern. Eine möglichst parallele Anordnung der Implantatschäfte zueinander wurde jeweils angestrebt. Zur Vereinfachung der Knochenpräparation wurde an der für den Implantatschaft vorgesehenen Stelle initial z.B. mit einer Lindemann-Fräse eine senkrecht zur Camperschen Ebene geführte Senkbohrung durchgeführt. Anschließend wurde mit dieser Fräse nach vestibulär in Richtung der angestrebten Einschubrichtung des Implantats ein schmaler Schlitz gefräst, der mit dem systemeigenen Fräswerkzeug (Vertikalcutter VC® und VCW®) genannt, erweitert wurde. Es wurde jeweils auf ausreichende Kühlung mittels steriler 0,9%iger NaCl-Lösung geachtet (Abb. 12).

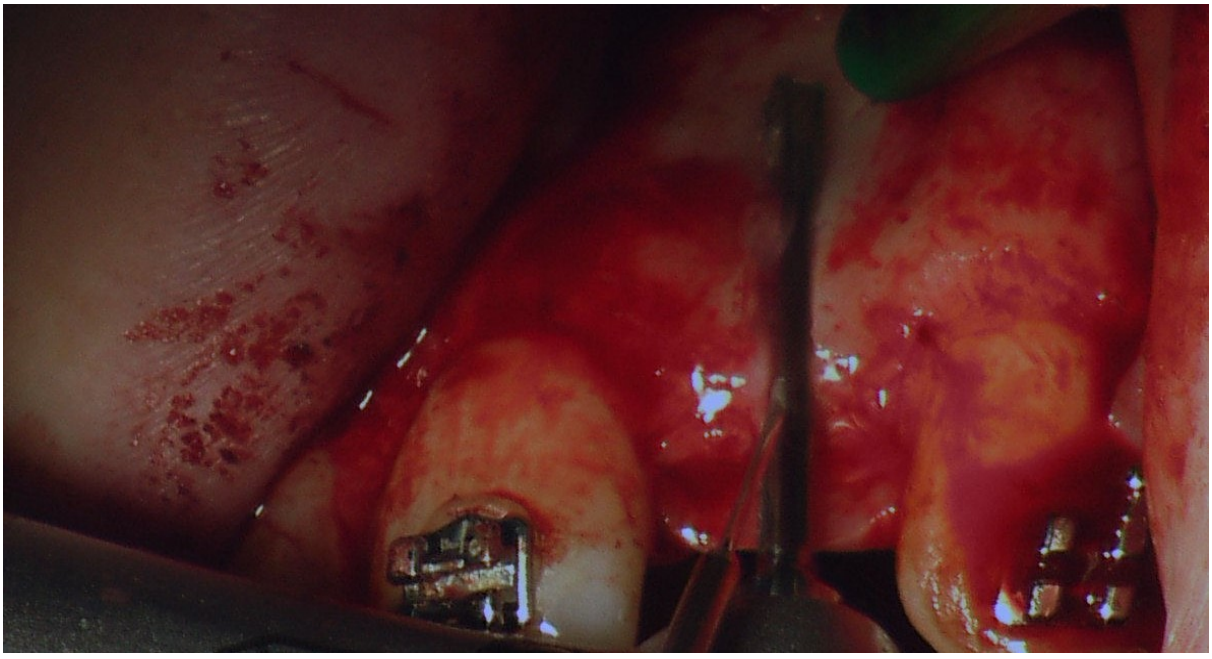

Abb.12 Implantatbettpräparation: Vertikalschnitt

Für die horizontalen Schlitze, in denen anschließend die eigentliche Kraftübertragung des Implantats auf den Knochen stattfindet, wurde die Kortikalis mit dem kleinsten zur Verfügung stehenden Fräswerkzeug (Lateralcutter LC®) genannt, möglichst weit basal angeschnitten. Die schrittweise Erweiterung für eine sichere Erreichung und Perforation der Gegenkortikalis wurde visuell und manuell mittels einer Parodontal-

sonde kontrolliert. Bei Verwendung von mehrscheibigen Implantaten ist die Anwendung von Doppel- (LCD®) oder Triplecuttern (LCT®) sinnvoll, da hier bereits die Parallelität der Scheiben und deren korrekter Abstand durch das Werkzeug vorgegeben sind (Abb. 13).

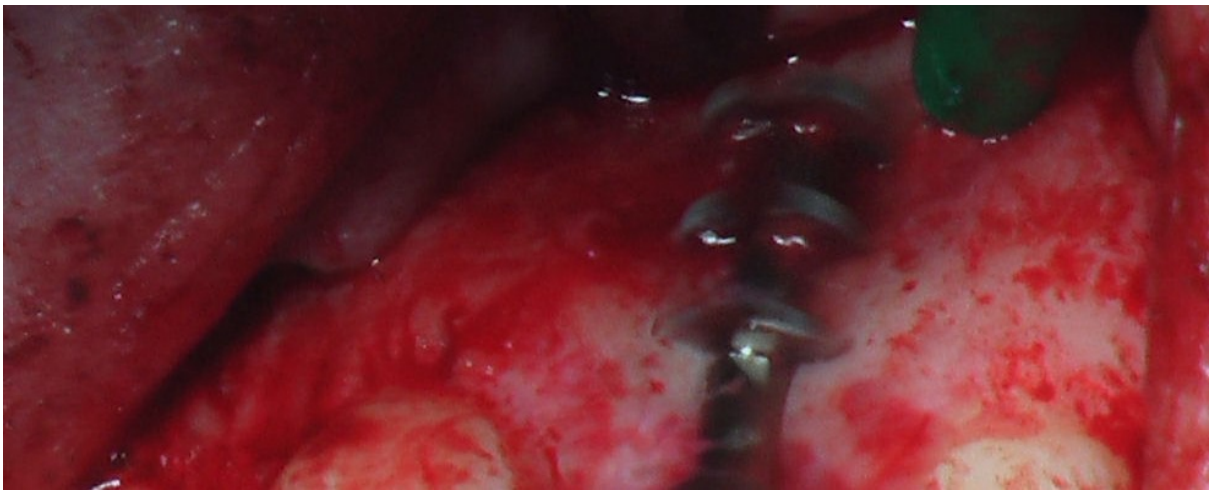

Abb. 13 Implantatbettpräparation: Horizontalschnitt

War das Implantatbett ausreichend präpariert, wurde gemäß Herstellerempfehlung seitlich ein Meißel am Implantat angesetzt und dieses bis zur Endlage in den Knochen eingebracht. Bei zu geringer Primärstabilität war es möglich, das Implantat mittels chirurgischer Knochenschraube (SSF®) zu verankern und gegen laterale Verschiebung zu sichern (Abb. 14).

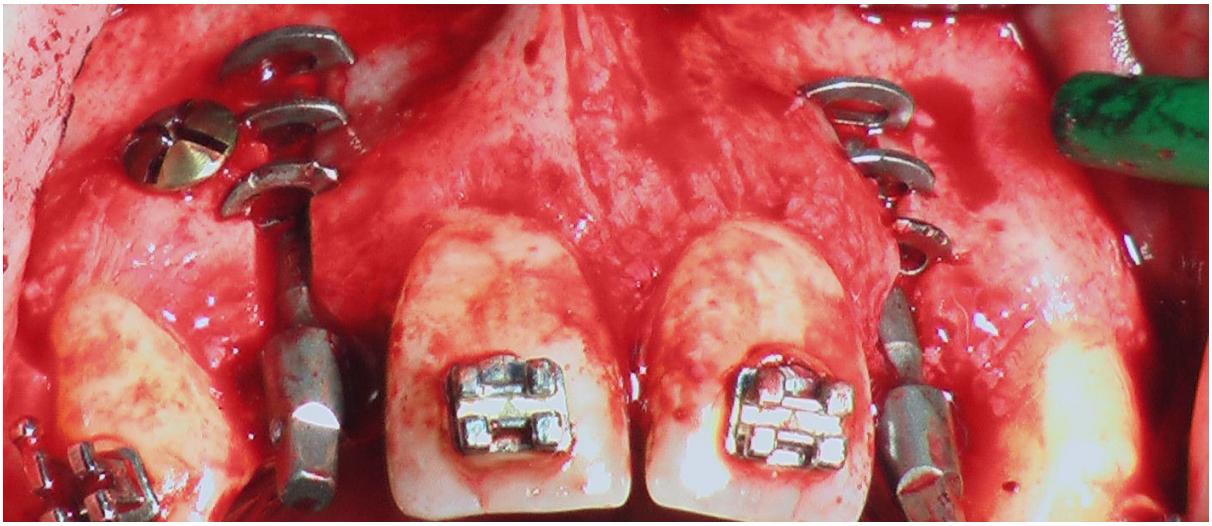

Abb.14 Primär stabil eingebrachte basale Implantate - in Regio 12 zusätzlich mittels chirurgischer Schraube fixiert

Die speicheldichte Naht schloss den operativen Eingriff ab (Perma-Hand Seide 4-0 J-1, Ethicon™ Johnson-Johnson, Norderstedt). Zur Vervollständigung werden hier noch die klinischen Situationen vor und nach Kronenbefestigung gezeigt (Abb. 15 und 16).

Abb. 15 Klinische Situation 60 Tage nach Implantation und Sofortbelastung mittels provisorischer Kronen (Zustand nach Entfernung der Kronen)

Abb.16 Eingegliederte definitive metallkeramische Kronenversorgung

Zur Planung und Diagnostik wurden ausschließlich Röntgenaufnahmen angefertigt (Panoramaschichtaufnahmen, Einzelaufnahmen bestimmter Regionen, digitale dentale Volumentomogramme).

Alle Operationen erfolgten ambulant unter Lokalanästhesie. Vier Patienten erhielten zusätzlich eine Allgemeinanästhesie. Sämtliche chirurgischen und prothetischen Maßnahmen wurden vom Autor durchgeführt, die zahntechnischen Arbeiten nach einheitlichen Richtlinien von einem einzigen Zahntechniker gefertigt.

Im Anschluss an die chirurgische Maßnahme wurden in gleicher Sitzung provisorische Kronen oder Brücken aus CronMix® (Merz Dental, Lütjenburg) angefertigt und eingegliedert. Neben ästhetischen und kaufunktionellen Aspekten, diente diese Maßnahme gleichzeitig als externe Implantatschienung. Nach ambulant durchgeführter Implantation konnte das nicht resorbierbare Nahtmaterial in der Regel eine Woche später entfernt werden. Um eine möglichst gute Weichteilästhetik zu erzielen, schloss sich in der Regel eine Wartezeit von vier bis sechs Wochen bis zur Abformung an.

Das prothetische Vorgehen entspricht weitgehend dem bei beschliffenen Zähnen. Zur schädelbezüglichen Oberkieferübertragung kam ein Artex®-Gesichtsbogen (Amann Girrbach AG, Koblach, Österreich) zum Einsatz. Es wurden systemkonforme Abformkappen (TSK4, TSK5) oder konfektionierte, ausbrennbare, zur Modellierung geeignete Kappen (PO4, PO5) genutzt und grundsätzlich einzeitig einphasig abgeformt. Unter Verwendung von Polyetherabformmaterial (Impregum®; 3M Espe AG, Seefeld) kamen konfektionierte Metallabformlöffel zum Einsatz. Unbehandelte Gegenkiefer wurden mit Alginat abgeformt (Hydrogum® 5; Zhermack, Badia Polesine, Italien). Die horizontale Kieferrelation wurde mittels eines transparenten additionsvernetzten Silikon (Regofix transparent; Dreve Dentamid GmbH, Unna) ermittelt. Als Implantatanalog kamen sowohl konfektionierte Laborimplantate (IA4, IA5), als auch, insbesondere bei stark gekürzten Implantaten, aus Modellierkunststoff (Pattern Resin LS®; GC Europe N.V., Leuven, Belgien) erstellte Analoge zum Einsatz.

Bei der zahntechnischen Herstellung von Brücken wurde bezüglich der Dimensionierung der Konnektoren das Mindestquerschnittsmaß von 1,5 x 3 mm eingehalten [Goldmann et al., 2008, Ihde et al., 2008a, Ihde et al., 2008b]. Eine Metallgerüsteinprobe mit Silikonschlüssel zur Kontrolle der Okklusion erfolgte vor Fertigung der keramischen Verblendung. Bei der zahntechnischen Gestaltung der Kauflächen

wurde eine Lasteinleitung der Kaukräfte möglichst oberhalb und innerhalb der senkrechten Projektionsfläche der Implantate angestrebt. Die definitive Befestigung der Kronen und Brücken erfolgte durch Verschraubung oder durch Zementierung mit Glasionomerzement (Ketac™ Cem; 3M Espe AG)

Herausnehmbarer Zahnersatz wurde in acht Fällen auf der Basis kugelknopfretinierter Prothesen auf jeweils zwei (n = 7 Patienten) bis vier (n = 1 Patient) Kugelknopfimplantaten eingegliedert.

3.3 Dokumentation der Untersuchungsparameter und statistische Datenanalyse

Zu Beginn des Behandlungszeitraums wurden Kriterien zur Datenerfassung und -verarbeitung festgelegt. Eine Datentabelle in IBM® SPSS® Statistics Version 20 (IBM, Armonk, New York, USA) ergänzte die routinemäßig in der Praxissoftware Z1 (Compudent, Koblenz) erfassten Daten (Erfassungsbogen im Anhang). Persönliche Angaben bezüglich Vorerkrankungen, Medikation und Multimorbidität dokumentierten die Patienten auf speziellen Anamnesebögen. Diese Daten flossen jedoch nicht in die statistische Auswertung ein und brauchten daher nicht anonymisiert werden. Die Datenerfassung und -aufbereitung erfolgte vom Autor auf passwortgeschützten Computern. Zu den dokumentierten und statistisch analysierten patientenbezogenen Daten zählten folgende Parameter:

- Patientenname (nach Erfassung anonymisiert)
- Patientennummer
- Patientengeschlecht
- Geburtsdatum
- Datum der Implantation
- Art der Implantation: Sofortimplantation in Alveolen oder in ausgeheilten Knochen
- Implantatposition im Zahnschema
- Implantatinformationen: Typ, Größe, Charge, Abutment
- Zusätzliche Anwendung von chirurgischen Schrauben zur primären Fixierung
- Datum der Lasteinleitung
- Prothetischer Konstruktionstyp: Krone, Brücke, herausnehmbarer Zahnersatz

- Einbeziehung von vorhandenen Implantaten und/oder Zähnen in den Zahnersatz
- Extensionsbrücke
- Datum der Eingliederung des definitiven Zahnersatzes
- Datum der letzten Kontrolluntersuchung
- Implantatzustand bei letzter Kontrolle oder Entfernung des Implantats durch klinische und bei gegebener Indikation radiologische Untersuchung (Zustand des Implantats, Knochens, Weichgewebes und zugehörigen Zahnersatzes)

Aus diesen kontinuierlich erfassten Daten wurden die zur statistischen Auswertung notwendigen Informationen durch Berechnung und Umkodierung ermittelt. Diese Parameter betreffen:

- Kontrollzeit: Zeit zwischen Datum der letzten Kontrolle oder Implantatentnahme und dem Implantationsdatum in Monaten
- Beobachtungshalbjahr: Gruppierung der Implantationszeitpunkte in Gruppen zu je sechs Monaten ab Studienbeginn
- Funktionsperiode: Zeit zwischen Datum der letzten Kontrolle oder Implantatentnahme und dem Datum der erstmaligen funktionellen Belastung in Monaten
- Funktionsperiodeklassen: Gruppierung der Funktionsperioden:
  - weniger als sechs Monate
  - sechs Monate bis unter ein Jahr
  - ein Jahr und mehr
- Implantatzustand: Es wird zwischen „funktionstüchtig und beschwerdefrei in situ“ und „verloren oder entfernt“ unterschieden. Sogenannte „schlafende Implantate“, Implantate, die keiner prothetischen Nutzung zugeführt wurden, zählen als Verlust.
- Patientenalter: Differenz zwischen erstmaligem Implantationsdatum in der beobachteten Periode und dem Geburtsdatum des Patienten in Monaten
- Altersklassen: Zusammenfassung der Patientenalter in Gruppen:
  - 40 Jahre und jünger
  - 41 - 50 Jahre
  - 51 - 60 Jahre
  - 61 Jahre und älter

- Kiefer: aus der Position im Zahnschema umkodiert:
  - Oberkiefer
  - Unterkiefer
- Region: aus der Position im Zahnschema umkodiert und gruppiert:
  - Regio 14 bis 24 → OK anterior
  - Regio 15 bis 17 und 25 bis 27 → subsinusal
  - Regio 18 und 28 → Tuberregion
  - Regio 35 bis 38 und 45 bis 48 → supranerval (Nervi alveolares inferiores)
  - Regio 34 bis 44 → interforaminal (Foramina mentales)
- Prothetikklasse: Gruppierung des definitiven Zahnersatzes nach Form und Lastübertragung:
  - zirkuläre rein implantatgetragene Brücke: Ausdehnung mindestens bis zum Ende des Prämolarenbereichs
  - rein implantatgetragene Brücke: bei vorhandener Restbezahnung im selben Kiefer
  - Hybridbrücke: Brücke auf mindestens einem neu gesetzten Implantat und mindestens einem beschliffenen Zahn
  - Einzelkrone: Krone auf Einzelimplantat (nicht zur Verankerung von herausnehmbarem Zahnersatz)
  - herausnehmbarer Zahnersatz: Prothese auf Kugelknopfanker
- Implantatdesigngruppe: (BOI®, IDOT®, KOS®, KOSA®, KOSB®, KOSK®, BCS®, BCSA®; Biomed, Vaduz, Liechtenstein)
  - Bikortikalschrauben (BCS® und BCSA®)
  - einscheibige basale Implantate (BOI® und IDOT®)
  - mehrscheibige basale Implantate (BOI® und IDOT®)
  - Kompressionsschrauben (KOS®, KOSA®, KOSB® und KOSK®)
- Abutmentverbindung
  - einteiliges Implantat (KOS®, KOSA®, KOSB®, KOSK®, BCS®, BCSA® und BOI® ab Produktionsjahr 2005)
  - externes Gewinde (BOI® bis Produktionsjahr 2005)
  - ITI-kompatible Oktagonverbindung (IDOT®))

- Implantatlänge: Gruppierung der Implantatlänge bis zur Schnittstelle zur Suprakonstruktion, Schafthöhe oberhalb der Basisscheibe(n) bei basalen Implantaten
  - länger als 8 mm
  - 8 mm
  - kürzer als 8 mm.

Aus diesen von allen Patienten der Kohorte vollständig erfassten Daten erfolgte im ersten Schritt eine deskriptive Auswertung. Die quantitativen Merkmale wurden durch Mittelwert [$\bar{x}$], Standardabweichung [s], Median [M], Minimum [x_{min}] und Maximum [x_{max}] zusammengefasst als Spannweite [R] und Anzahl der verfügbaren Observationen [n] beschrieben. Für die qualitativen Merkmale konnten für die einzelnen Ausprägungen die absolute und prozentuale Häufigkeit angegeben werden. Die Berechnung und graphische Darstellung der Überlebensfunktionen erfolgten nach der Kaplan-Meier-Methode. Zur Ermittlung von Einflussfaktoren auf das spätere Implantatgeschehen kamen univariate und multivariate Cox-Regressionsanalysen zum Einsatz.

Die multivariate Analyse schloss nur jene Parameter ein, deren nicht adjustiertes Hazard Ratio in der univariaten Analyse $p < 0,25$ aufwiesen. Alle p-Werte sind das Resultat zweiseitiger statistischer Tests. Prinzipiell wird im multivariaten Modell $p \leq 0,05$ als statistisch signifikant angesehen.

Die statistische Auswertung der histomorphometrischen Daten erfolgte ebenfalls mit IBM® SPSS® Statistics Version 20 (IBM, Armonk, New York, USA). Die quantitativen Merkmale wurden mittels des arithmetischen Mittelwerts [$\bar{x}$], des Medians [M], des Minimums [x_{min}] und des Maximums [x_{max}] dargestellt. Aus den ermittelten Werten der sechs Explantate erfolgte die Bildung von sechs maximal auseinanderliegenden Paaren und deren Prüfung mittels des *t*-Tests für abhängige Stichproben.

Die Berechnungen wurden in Kooperation mit dem Institut für Biostatistik und Informatik in Medizin und Alternsforschung der Universitätsmedizin Rostock durchgeführt.

3.4 Definition der Erfolgskriterien

Implantate wurden als erfolgreich bewertet, wenn sie bei der letzten Untersuchung alle fünf durch Albrektsson et al. definierten Erfolgskriterien erfüllten [Albrektsson et al., 1986, Albrektsson und Sennerby, 1991]:

1. klinische Festigkeit
2. keine periimplantären Aufhellungen
3. jährlicher vertikaler Knochenverlust unter 0,2 mm
4. Abwesenheit von Zeichen und Symptomen wie Schmerz, Infektionen, Neuropathien oder einer Verletzung des Mandibularkanals
5. eine Überlebensrate der Implantate von mindestens 85% nach fünf Jahren der Beobachtung.

Darüber hinaus wurden Implantate, die keiner prothetischen Nutzung dienten, als Verluste gezählt. Da eine sofortige Belastung sämtlicher Implantate erfolgte, wurden Frühverluste, die während der unbelasteten Einheilungsphase auftraten, ebenfalls als Verluste gewertet, was bei den in der Literatur vorliegenden Studien nicht generell in dieser Weise gehandhabt wird [Mesa et al., 2008].

3.5 Histologische Untersuchungen

Die qualitative und quantitative Analyse histologisch aufbereiteter Gewebeproben ergänzt das methodische Spektrum. Weil derartige Proben nur bei Auftreten von Komplikationen anfallen, sind sie von hohem wissenschaftlichen Wert.

Nach Frakturen oder aus anderen medizinischen Gründen entnommene insuffiziente dentale Implantate unterschiedlicher Bauart und Hersteller wurden nach Einverständnis der Patienten mit dem umgebenden Gewebe entnommen, histologisch aufbereitet, qualitativ und quantitativ überprüft sowie bildlich dargestellt. Die funktionslos gewordenen Implantate konnten bei entsprechender medizinischer Indikation nach Aufklärung und Zustimmung des Patienten unmittelbar durch neue sofort belastbare Implantate ersetzt werden. In der Regel kamen basale Implantate unter Sofortbelastung als Ersatzimplantate zum Einsatz. Die histologische Aufbereitung erfolgte im Hartgewebelabor der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie (Direktor: Prof. Dr. Dr. Frerich) der Universitätsmedizin Rostock. Die relevanten Daten der histologisch untersuchten, nach Länge der Funktionsperiode aufsteigend sortierten Explantate sind in Tab. 2 zusammengefasst.

Nr.	Patienten-alter [Jahre]	Patienten-geschlecht	Implantat-position	Implantattyp (Bezeichnung,Hersteller)	Implantat-oberfläche	Funktions-periode [Monate]
1	46	männlich	46	BOI dreischeibig (EBBBS7G5, Biomed)	maschiniert	13
2	65	weiblich	23	BOI dreischeibig (EBBBS7G3, Biomed)	sandgestrahlt	27
3	43	weiblich	24	Schraube (Pitt-Easy, Sybron)	sandgestrahlt	36
4	56	männlich	46	BOI dreischeibig (EBBBS7G4, Biomed)	maschiniert	38
5	59	weiblich	13	BOI dreischeibig (EBBBS7G5, Biomed)	sandgestrahlt	48
6	53	weiblich	23	BOI zweischeibig (EXDDS12/9G5, Biomed)	sandgestrahlt	61

Tab. 2 Zusammenstellung der histologisch untersuchten Explantate

Sämtliche Proben wurden direkt nach Entnahme mittels 5%igem neutralen, gepufferten Formaldehyd fixiert und darin gelagert [Donath und Breuner, 1982]. Die Methode folgt dem beschriebenen Vorgehen [Kopp et al., 2012a].

Probenaufbereitung

Die Dehydrierung in aufsteigenden alkoholischen Serien dauerte bei Zimmertemperatur vierzehn Tage. Daran schloss sich eine vierstufige Kunststoffinfiltration für 28 Tage an. Die ersten drei Stufen erfolgten mit ansteigenden Konzentrationen von Technovit (Technovit 7200 VLC; Heraeus Kulzer, Wehrheim), die letzte Stufe hingegen mit reinem Technovit, behandelt mit 1% Benzoylperoxid (BPO; Heraeus Kulzer). Die Untersuchungsproben wurden in Probenhaltern mit Technovit 7200 / 1% BPO und Lichthärtung (Exakt 520; Exact Apparatebau, Norderstedt) fixiert und anschließend bei 50ºC für die Dauer von drei Tagen zur Aushärtung in den Inkubator überführt. Die minimale Verarbeitungszeit betrug für Entwässerung und Härtung 37 Tage.

Herstellung der Schliffpräparate

Die unentkalkten Knochenschliffe resultierten aus der Trenn-Dünnschlifftechnik nach Donath [Donath und Breuner, 1982]. Bei Anwendung dieser Technik können ca. 20 µm dünne Schliffe von nichtschneidbaren Geweben und Materialien hergestellt werden. Jedes polymerisierte Knochensegment wurde soweit beschliffen, dass alle zu untersuchenden Bereiche gut sichtbar waren und mit Technovit 4000 (Heraeus Kulzer, Wehrheim/Taunus) in einer Vakuum-Klebepresse aufgeblockt. Die Fixierung der zu untersuchenden Blockseite erfolgte mit einem Doppelklebestreifen auf einem Plexiglasobjektträger. Die nicht zu untersuchende Seite wurde mit Technovit 4000

(Heraeus Kulzer, Wehrheim/Taunus, Deutschland) benetzt und in die Presse eingesetzt. Die Absenkung und Arretierung der Deckplatte auf den Block mit dem vakuumgehaltenen Objektträger schloss sich an. Nach Aushärten des Klebers konnte der Plexiglasträger mit dem Doppelklebestreifen entfernt und der Block im Mikroschleifsystem Exakt 400CS (Exakt-Apparatebau, Norderstedt) mit Schleifpapier der Körnung 1200 planparallel geschliffen werden. Im Anschluss an die Blocktrocknung in einer Vakuumglocke für 15 Minuten wurde ein planer Glasobjektträger mit Technovit 7210 (Präzisionskleber) in der Präzisions-Klebepresse auf die vorgeschliffene Oberfläche geklebt. Nach Polymerisation für 15 Minuten konnten die Sägeschnitte mit einem Trenn-Schleifsystem angefertigt werden. Hierfür kamen Trennbänder der Stärke 0,1 mm zur Anwendung, um ca. 120 µm dicke Sägeschliffe herzustellen. Mit Hilfe von Schleifpapier der Körnung 1200 wurden die Schliffe auf eine Dicke von 10 bis 20 µm geschliffen. Zum Abschluss erfolgte die Politur mit dem Polierpapier der Körnung 4000.

Färbung der Knochenschliffe

Die Färbung der Knochenschliffe erfolgte mit Giemsa-Toluidinblau. Hierfür wurden die Präparate fünf Minuten in 10%igem H_2O_2 geschwenkt und zunächst 20 Minuten mit der Giemsa-Stammlösung (Fluka; Buchs, Schweiz) sowie anschließend 10 Minuten mit der Toluidinblau-Stammlösung (Rezept nach Donath; Apotheke der Universitätsmedizin Rostock) beschichtet.

Bei der Toluidinblau-Färbung stellt sich die mineralisierte Hartgewebematrix nicht gefärbt, Knorpelmatrix rotviolett, verkalkte Knorpelmatrix dunkelblau, eosinophile Granula (z.B. in Granulozyten) rot und Knochen- und Weichgewebszellen, Kollagenfibrillen sowie Osteoid in Blautönen dar.

Eindecken

Nach der Färbung wurden die Schliffe mit Technovit 7200 VLC ohne BPO eingedeckt, um sie langfristig zu konservieren.

Histomorphometrische Untersuchungen

Zur histomorphometrischen Untersuchung standen 15 Präparate zur Verfügung. Die Digitalisierung der Knochenschnitte erfolgte durch die mit dem Lichtmikroskop

(20fache Vergrößerung) (Olympus BX40, Olympus Tokyo, Japan) ohne Polarisation und ohne Phasenkontrast verbundene AxioCam (Carl Zeiss Microimaging GmbH, Göttingen). Die Kalibrierung der Software erfolgte anhand herstellerseitig bereitgestellter Referenzmaße, wodurch ein korrektes Ausmessen der Parameter gewährleistet war. Die computergestützte histomorphometrische Auswertung der Schnittpräparate basierte auf dem Softwareprogramm Axiovision (Carl Zeiss Microimaging GmbH, Göttingen). Histomorphometrisch wurde der Parameter Knochen-Implantat-Kontakt (Bone-Implant-Contact BIC) bestimmt. Gemäß dem Programm erfolgten alle Messungen in mehreren Teilschritten. Zunächst wurden alle Bereiche farbdifferent markiert, so dass eine optische Differenzierung der Parameter durch das Softwareprogramm Axiovision vorgenommen werden konnte.

Der Knochen-Metall-Kontakt (BMC, Bone-Metal-Contact), allgemeiner, der materialunabhängig auch Knochen-Implantat-Kontakt (BIC, Bone-Implant-Contact) genannt wird, wurde als prozentualer Wert des Quotienten aus der im histologischen Präparat dargestellten Implantatoberfläche (Grenzlänge) in direktem Knochenkontakt (TCS, Total-Contact-Surface) und der gesamten dargestellten Implantatoberfläche (TIS, Total-Implant-Surface) berechnet.

4 Ergebnisse

4.1 Langzeitverhalten der inserierten Implantate

Die 195 Patienten dieser Studie wurden konsekutiv in 86 aufeinanderfolgenden Monaten versorgt und nachuntersucht. Die Kontrollzeit der Patienten seit Erstimplantation betrug 27,5 Monate im arithmetischen Mittel ($\bar{x}$ = 27,5; M = 22; s = 23,3; R = 84 Monate). Die systematisch nachuntersuchte Funktionsdauer der 896 Implantate lag im Mittel bei 22 Monaten ($\bar{x}$ = 22,0; M = 13; s = 21,3; R = 84 Monate).

Am Ende der vorliegenden Studie waren 96,7% aller beobachteten Implantate funktionstüchtig in situ. 30 Implantate wurden funktionslos oder mussten entfernt und bei Bedarf ersetzt werden. Die daraus resultierende Kaplan-Meier-Kurve (Überlebenswahrscheinlichkeit nach Zeit) der Gesamtmenge aller Implantate ist in Abb. 17 dargestellt.

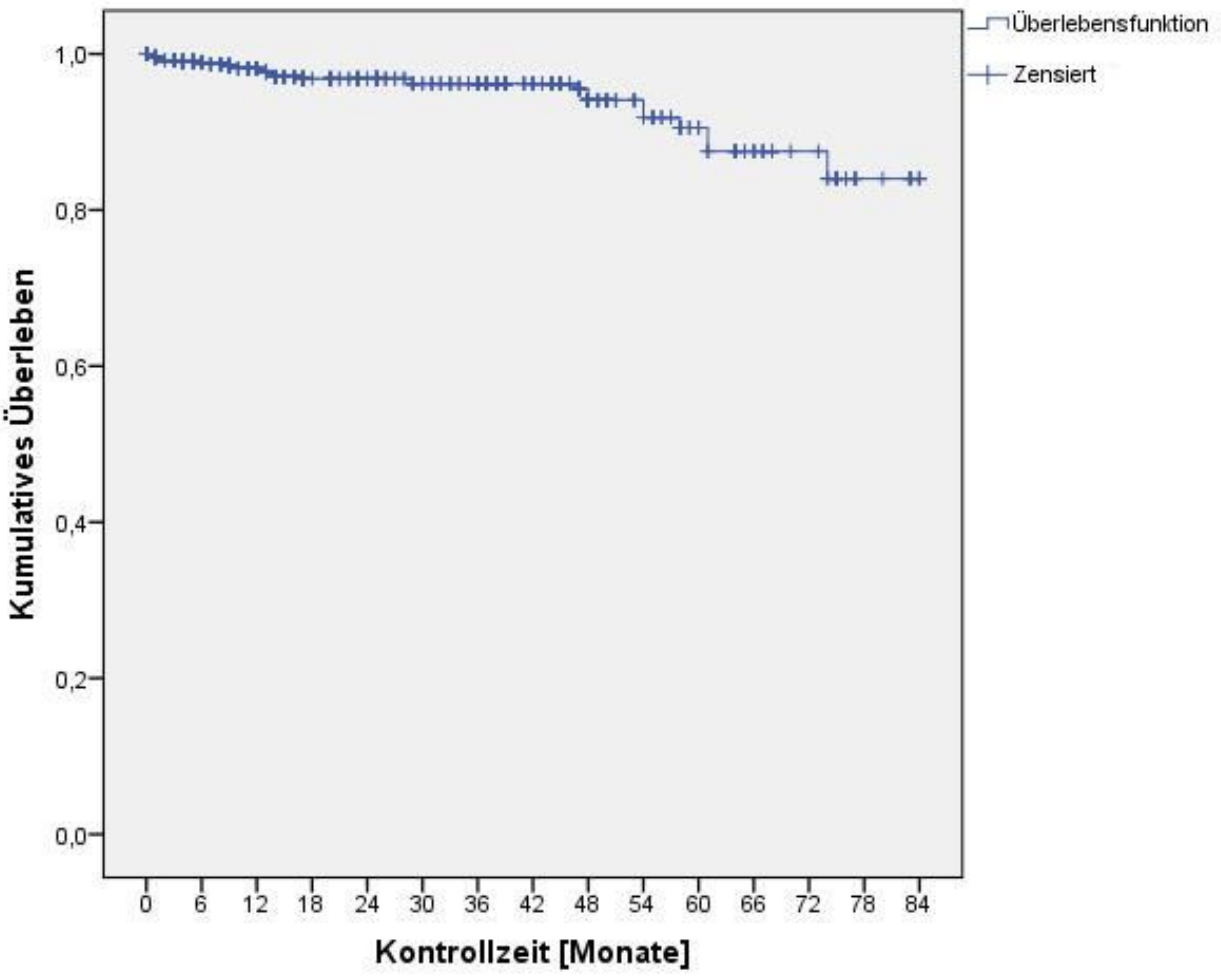

Abb. 17 Kumulatives Implantatüberleben nach Kaplan-Meier

Zur Risikobewertung der untersuchten Behandlungen wurden mögliche Einflussfaktoren untersucht und analysiert. Die Verteilung der Implantate, aufgegliedert nach potentiellen Risikofaktoren, und der erfolgreiche Anteil der Implantationen bei Abschluss der Studie sind in Tab. 3 aufgelistet. Die Einteilung der Risikofaktoren erfolgt zur besseren Übersicht in patienten- und implantatbezogene Faktoren.

	Implantate		Implantate in Funktion	
	n	%	n	%
Gesamtkohorte	896	100	866	96,7
Aufteilung nach potentiellen Risikofaktoren				
Patientengeschlecht				
weiblich	539	60,2	522	96,8
männlich	357	39,8	344	96,4
Patientenalter [Lebensjahre]				
bis 40	67	7,5	64	95,5
41 - 50	240	26,8	234	97,5
51 - 60	337	37,6	327	97
61 und älter	252	28,1	241	95,6
Kiefer				
Oberkiefer	548	61,2	527	96,2
Unterkiefer	348	38,8	339	97,4
Region				
OK-Schneidezahnbereich bis 1. Prämolar	265	29,6	256	96,6
subsinusal (OK: 2. Prämolar bis 2. Molar)	185	20,6	177	95,7
Tuberregion (OK: 3. Molar)	98	10,9	94	95,9
interforaminal (UK: Schneidezähne bis 1. Prämolar)	154	17,2	151	98,1
supranerval (N. alv. inf.) (UK: 2. Prämolar bis 3. Molar)	194	21,6	188	96,9
Implantation unmittelbar nach Zahn- oder Implantatentfernung				
nein	486	54,2	465	95,7
ja	410	45,8	401	97,8
davon als Ersatz für verlorene Implantate	34	3,8	34	100
Implantatdesign				
BCS	118	13,2	117	99,2
BOI einscheibig	297	33,1	283	95,3
BOI mehrscheibig	399	44,6	386	96,7
KOS	82	9,1	80	97,6
Implantatlänge [mm]				
3 - 7	331	37	324	97,9
8	312	34,8	293	93,9
9 - 23	253	28,2	249	98,4
Implantat-Abutmentverbindung				
einteiliges Implantat	720	80,4	710	98,6
externes Gewinde	156	17,4	138	88,5
intern verschraubte Oktagonverbindung	20	2,2	18	90
Prothetische Suprakonstruktion				
rein implantatgetragene zirkuläre Brücke	456	50,9	447	98
rein implantatgetragene Brücke	146	16,3	140	95,9
Hybridbrücke auf Implantat(en) und Zahn/Zähnen	242	27	233	96,3
implantatgetragene Einzelkrone	32	3,6	28	87,5
implantatretinierter herausnehmbarer Zahnersatz	20	2,2	18	90
Funktionsperiode [Jahre]				
weniger als ½ Jahr	296	33	288	97,3
½ bis 1 Jahr	150	16,8	145	96,7
1 und mehr Jahre	450	50,2	433	96,2

Tab. 3 Zusammenstellung der Implantatmengen gegliedert nach Risikofaktoren mit absoluten und relativen Erfolgsraten am Ende der Beobachtungszeit

4.1.1 Patientenimmanente Faktoren

Die Patienten in der untersuchten Kohorte erhielten während der Beobachtungszeit je nach individueller Indikation mindestens ein bis maximal 26 Implantate (Abb. 18). Im arithmetischen Mittel bekam jeder Patient 4,59 Implantate, wobei der Median bei drei Implantaten liegt (M = 3; $\bar{x}$ = 4,59; s = 4,46; x_{min} = 1; x_{max} = 26).

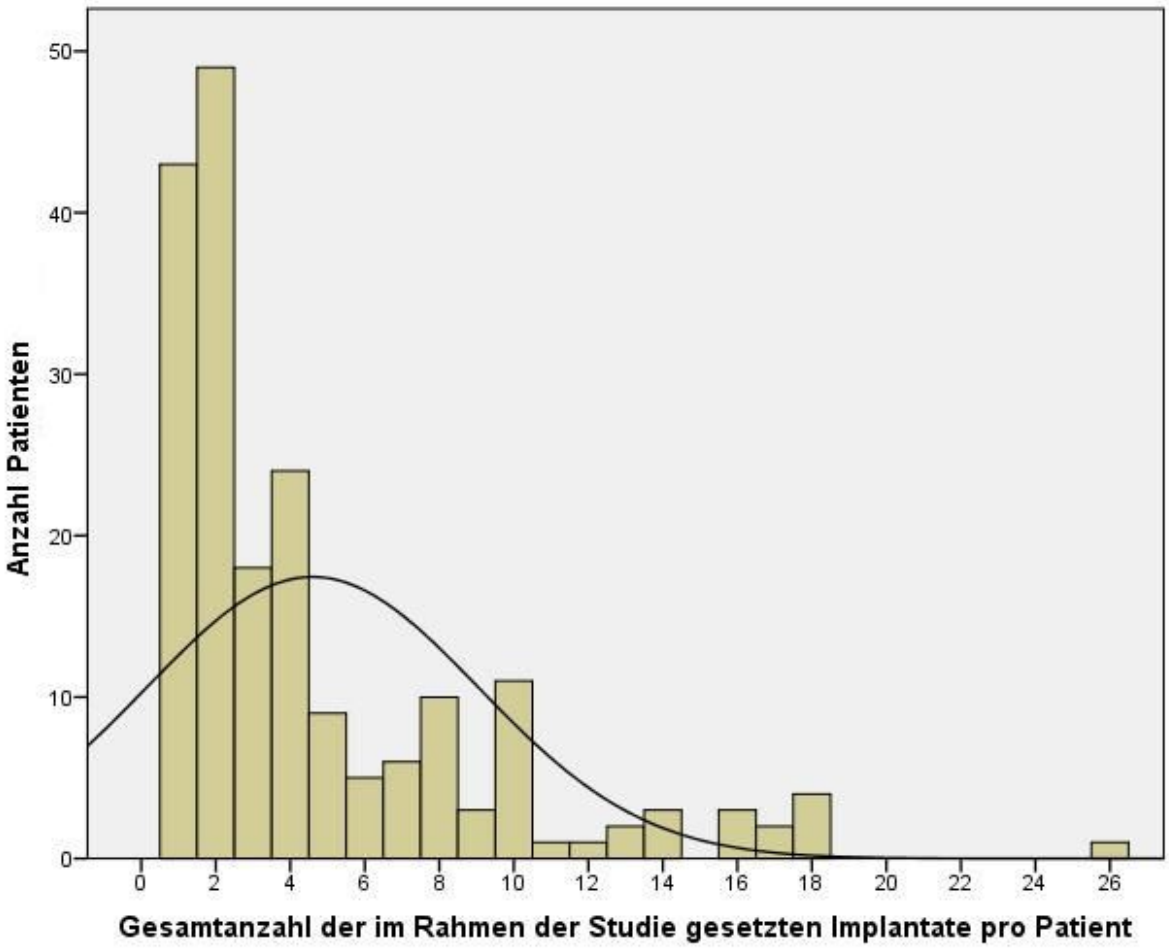

Abb. 18 Verteilung der Patienten (n = 195) bezüglich des Parameters "Anzahl Implantationen pro Patient"

Zur Darstellung der primären Fragestellung des Einflusses der prothetischen Suprakonstruktion auf den Langzeiterfolg von Implantationen werden Faktoren nach der Art der prothetischen Suprakonstruktion geordnet.

Die Verteilung der Implantate nach *Geschlecht* der Patienten stellt sich wie folgt dar: Frauen erhielten 60,2% der Implantate (n = 539), während 39,8% (n = 357) bei Männern inseriert wurden (Abb. 19).

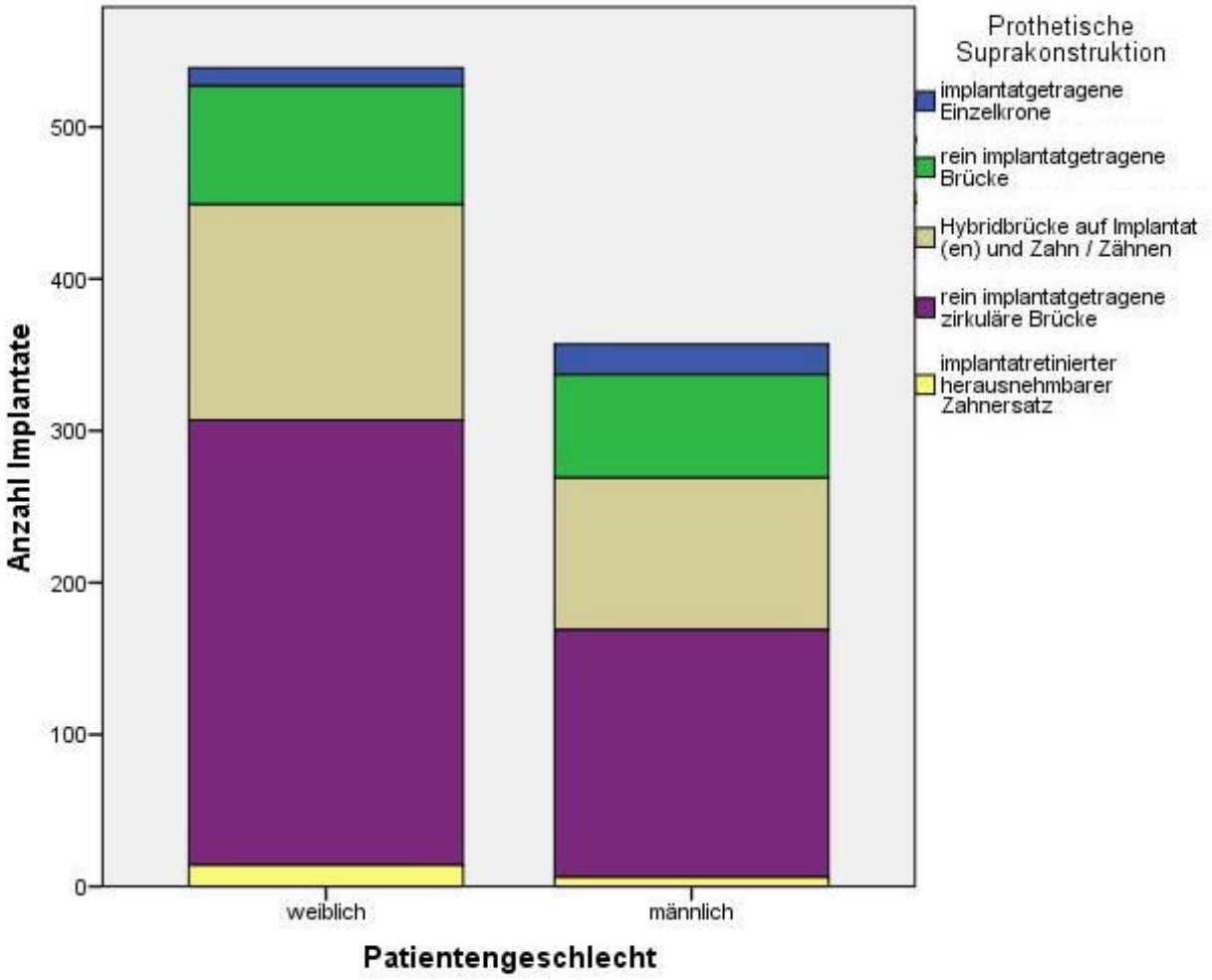

Abb. 19 Verteilung der Implantate auf Patientengeschlecht gruppiert nach Art der prothetischen Versorgung

Das arithmetische Mittel des *Patientenalters* bei erstmaliger Implantation beträgt 52,5 Jahre ($\bar{x}$ = 52,5; M = 54; s = 13,2; x_{min} = 16; x_{max} = 80 Jahre).

Die Verteilung der Implantate auf Altersklassen zeigt ihren Höchstwert in der Gruppe der Patienten im Alter von 51 bis 60 Jahren (Tab. 3). Mit rein implantatgetragenen zirkulären Brücken wurden im Patientenalter von 41 bis 60 Jahren mehr als die Hälfte aller Implantate verbunden. In der Altersklasse von 51 bis 60 Jahren erhielten Patienten erstmals Implantate zur Verankerung von herausnehmbarem Zahnersatz (Abb. 20).

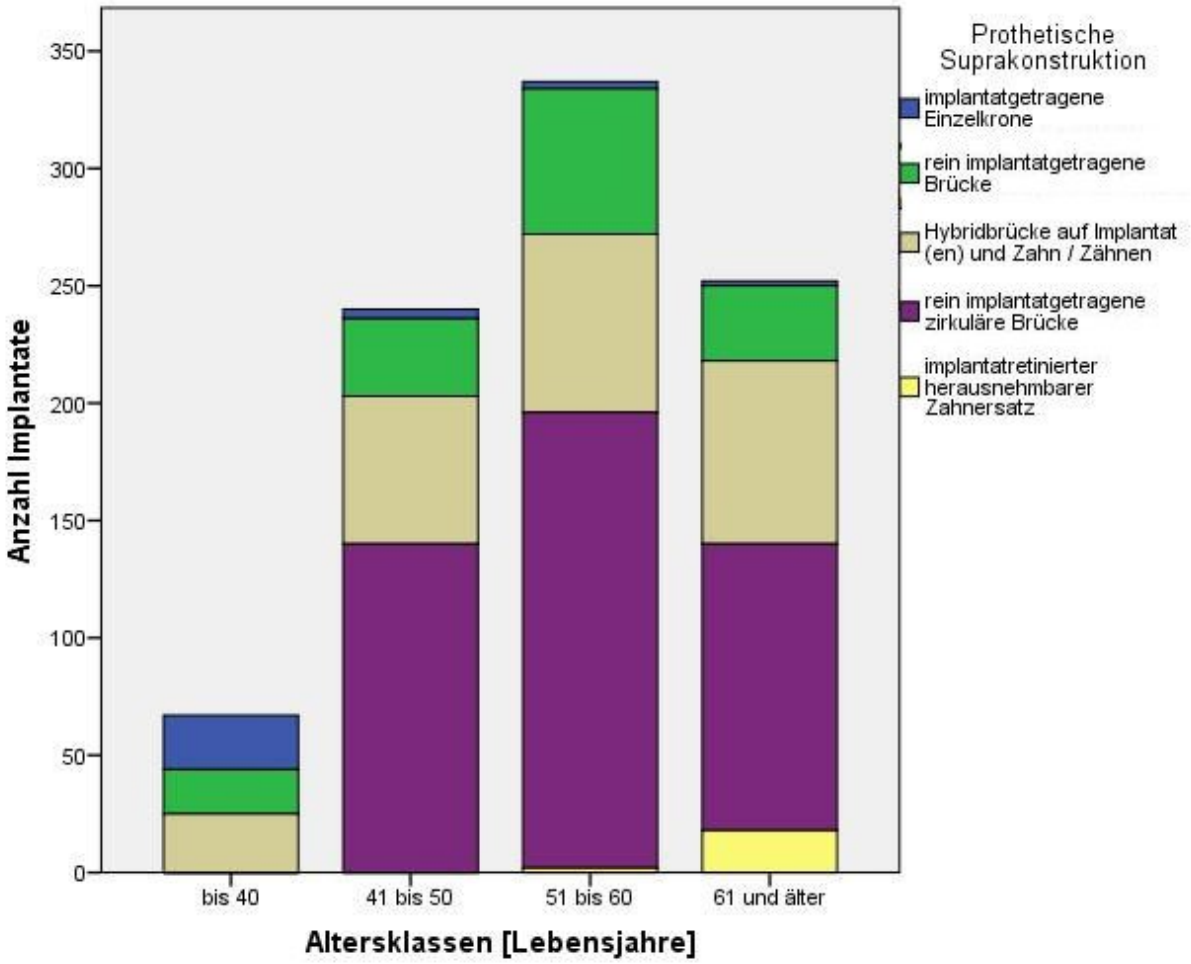

Abb. 20 Verteilung der Implantate auf Altersklassen gruppiert nach Art der prothetischen Versorgung

Die zahlenmäßige Verteilung der Implantate auf die *Kiefer* ist nicht gleichmäßig. Mehr als die Hälfte aller Implantate wurden im Oberkiefer inseriert (n = 548; 61,2%), 38,8% (n = 348) im Unterkiefer (Tab. 3, Abb. 21).

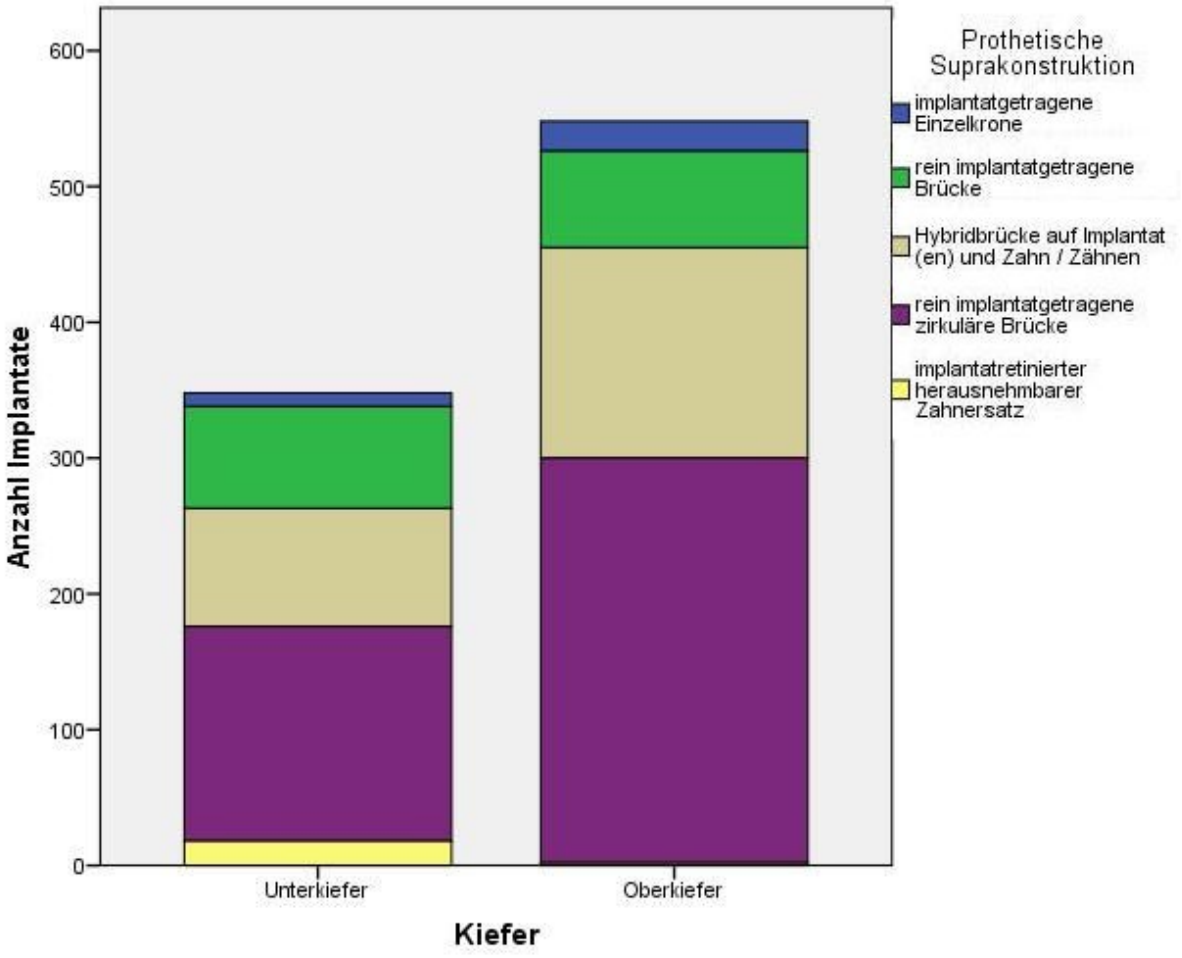

Abb. 21 Verteilung der Implantate nach Kiefer gegliedert nach prothetischer Suprakonstruktion

Die Insertionsorte der Implantate wurden, wie in Abb. 22 dargestellt, in *Regionen* zusammengefasst.

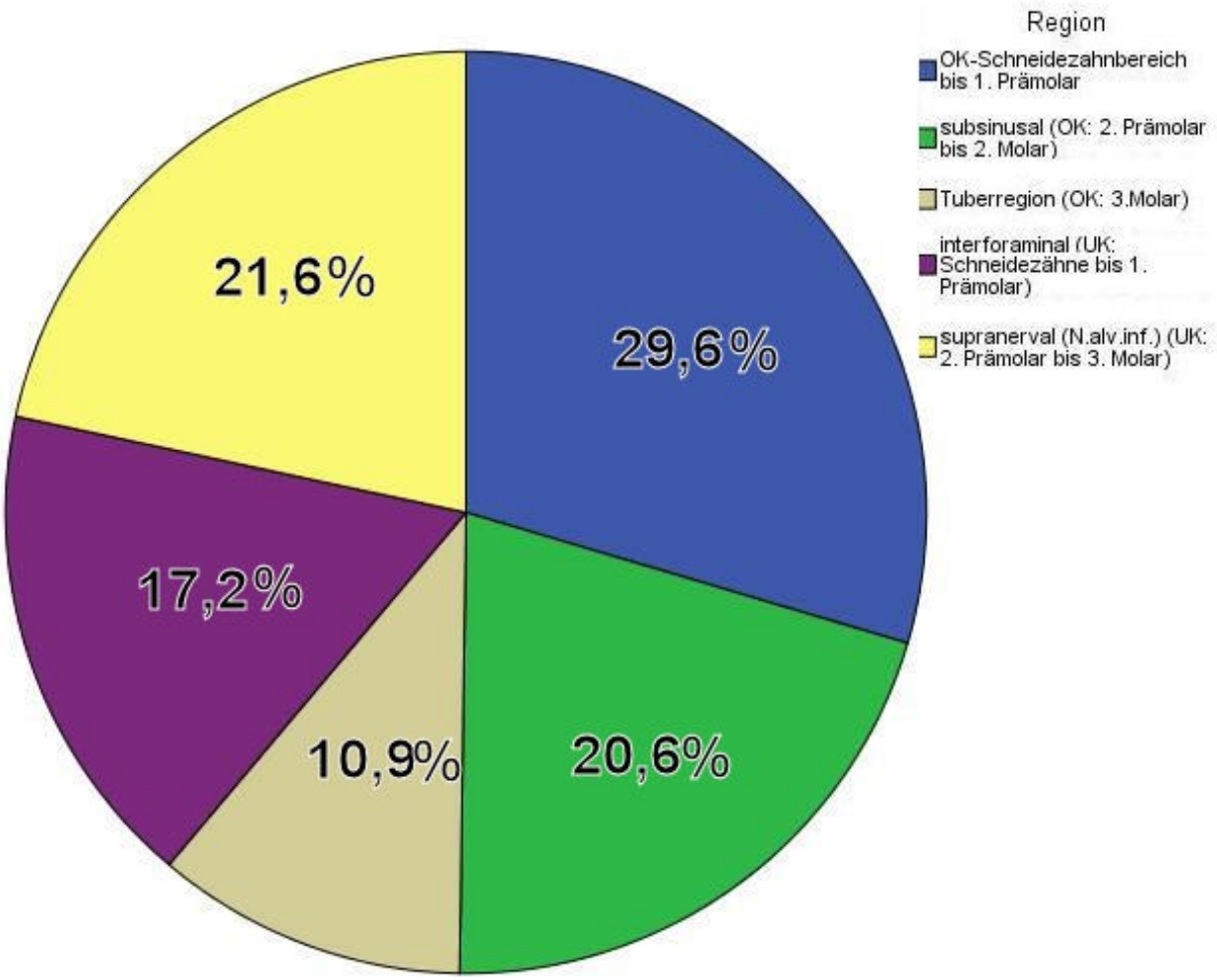

Abb. 22 Verteilung der Implantate auf Kieferregionen

Im Bereich von Regio 14 bis Regio 24 wurden 265 Implantate inseriert (29,6%). Die Gruppe „subsinusale Implantationen“ umfasste 185 Implantate (20,6%), die im Bereich des zweiten Prämolaren bis zum zweiten Molar inseriert wurden. Auf die Tuberregion entfielen 10,9% der Implantate dieser Studie (n = 98).

Die Regionen des Unterkiefers wurden in zwei Gruppen unterteilt: Die Implantate, die in Position des zweiten Prämolaren und distal davon platziert waren, wurden in der Gruppe „supranerval“ (distal des Foramen mentale im Bereich des knöchernen Verlaufs des Nervus alveolaris inferior) zusammengefasst. In dieser Region wurden 194 Implantate eingebracht (21,7%). Die 154 Implantate (17,2%) der zweiten Gruppe im Unterkiefer werden als „interforaminal“ zusammengefasst (Abb. 23).

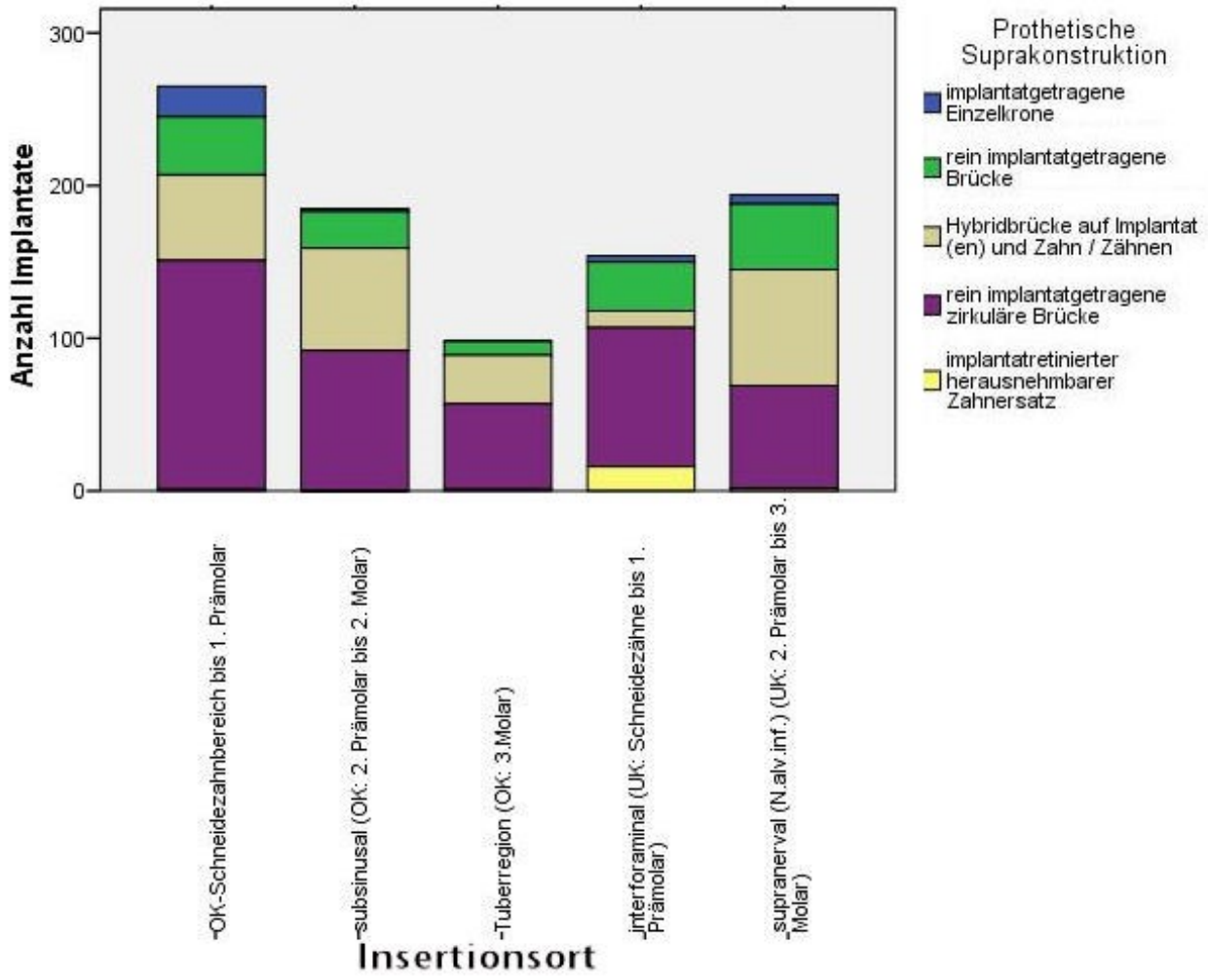

Abb. 23 Verteilung der Implantate nach Insertionsort und nach prothetischer Suprakonstruktion gegliedert

Die Zuordnung der Implantatarten zu den Insertionsorten wird in Abb. 24 dargestellt.

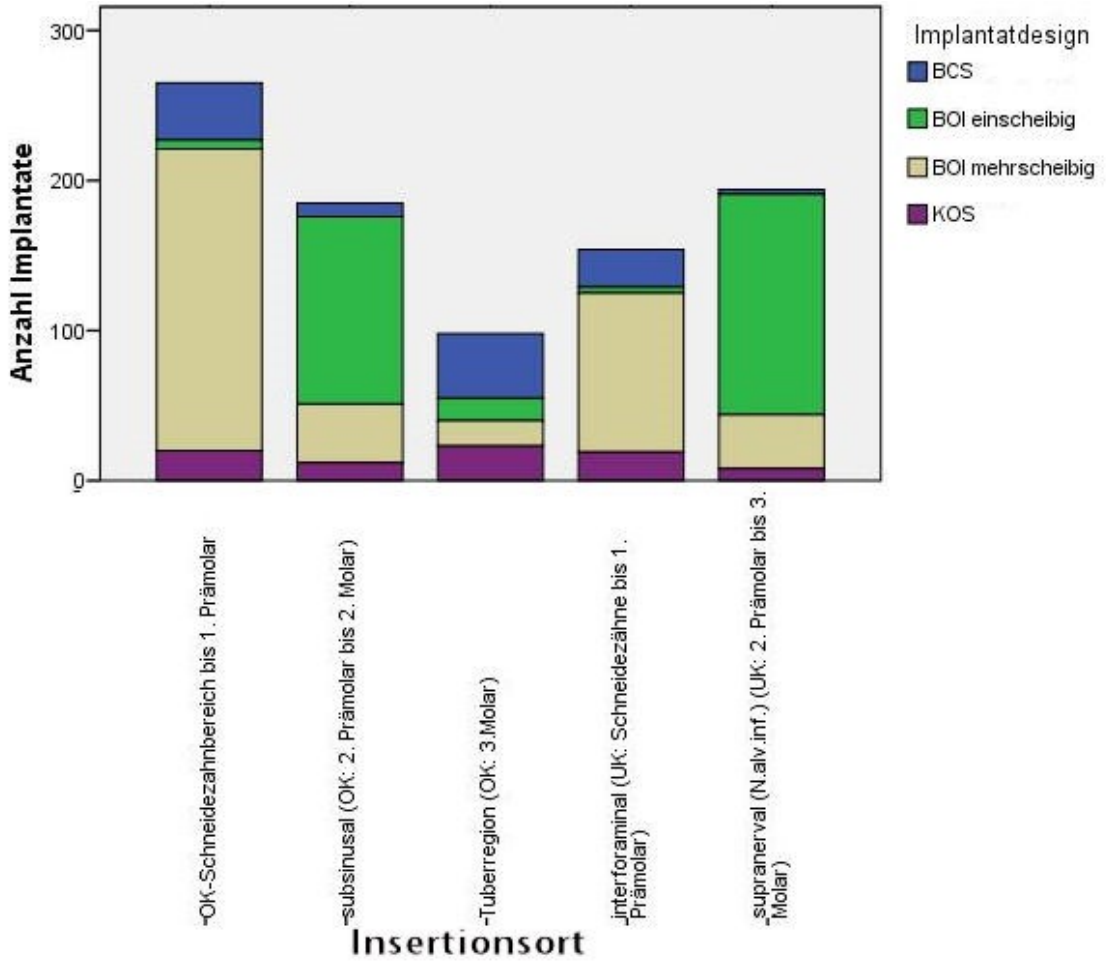

Abb. 24 Verteilung der Implantate nach Insertionsort und nach Implantattyp gegliedert

Fast die Hälfte aller Implantate (n = 410; 45,8%) wurden *unmittelbar in frische Extraktionsalveolen* inseriert, wobei 34 davon direkt als „Austauschimplantat“ fungierten (3,8%) (Tab. 3). Hierbei wurden erneuerungsbedürftige und nicht erhaltungswürdige basale oder krestale Implantate in einem einzigen operativen Eingriff ausschließlich durch basale Implantate ersetzt. Bei 486 Implantaten bestand keine zeitliche und räumliche Nähe zu Zahn- oder Implantatverlusten (Abb. 25).

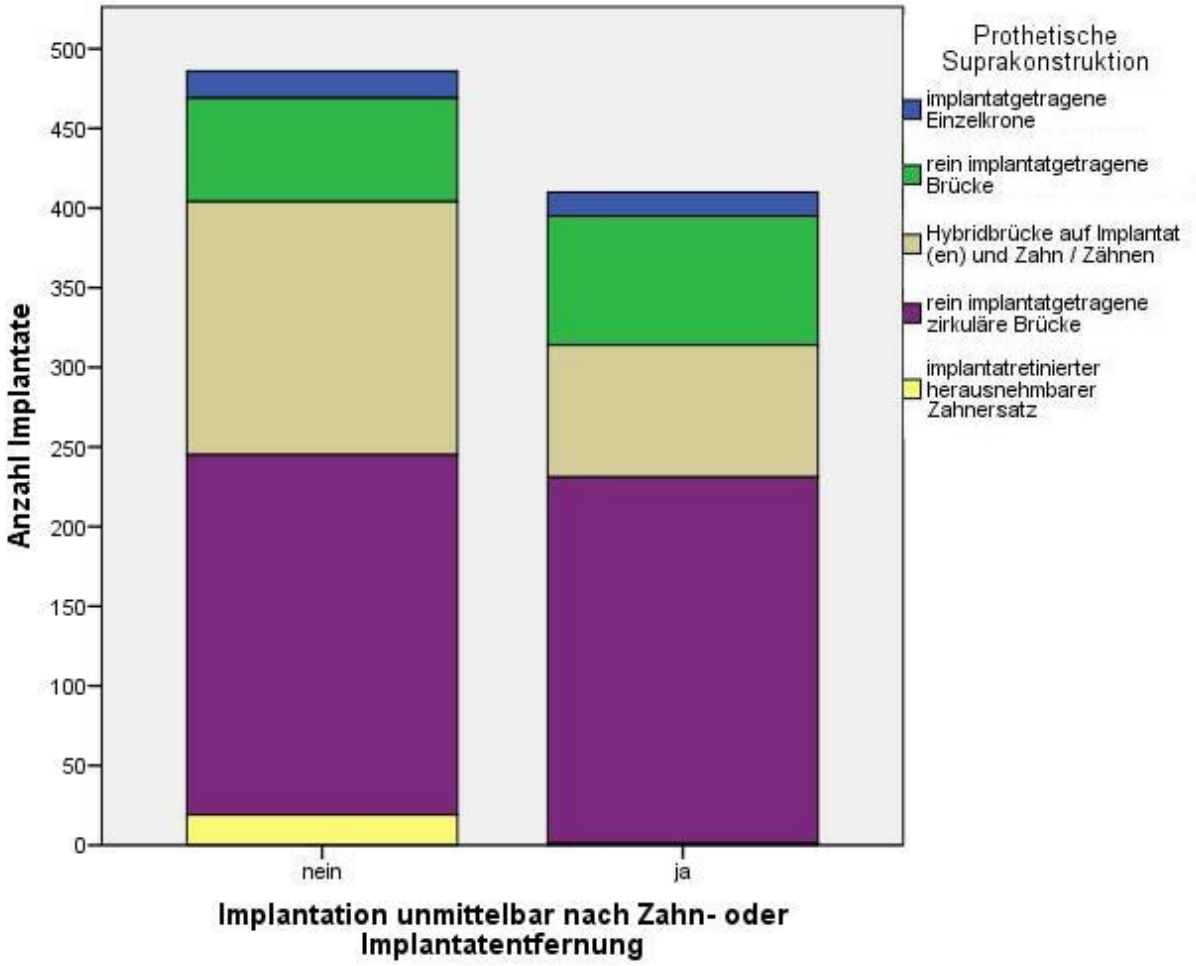

Abb. 25 Verteilung der Implantate auf Knochenheilungsstatus bei Implantation unterteilt nach prothetischer Suprakonstruktion

4.1.2 Implantatimmanente Faktoren

In der vorliegenden Studie wurden 18 verschiedene Implantattypen mit jeweils unterschiedlichen Längen verwendet. Diese lassen sich nach dem *Implantatdesign* in vier Hauptgruppen einteilen. Es wurden 297 basale Implantate (33,1%) mit nur einer Basisscheibe eingesetzt. Des Weiteren gelangten basale Implantate mit zwei (n = 64; 7,1%) und drei (n = 335; 37,4%) Basisscheiben zum Einsatz. Letztere können zur Gruppe mehrscheibiger basaler Implantate zusammengefasst werden (n = 399; 44,5%). Die schraubbaren Implantate wurden in zwei Gruppen unterteilt: Bikortikalschrauben (n = 118; 13,2%) und Kompressionsschrauben (n = 82; 9,2%). Sie unterscheiden sich grundlegend in ihrem Verankerungsprinzip und werden separat betrachtet (Abb. 26).

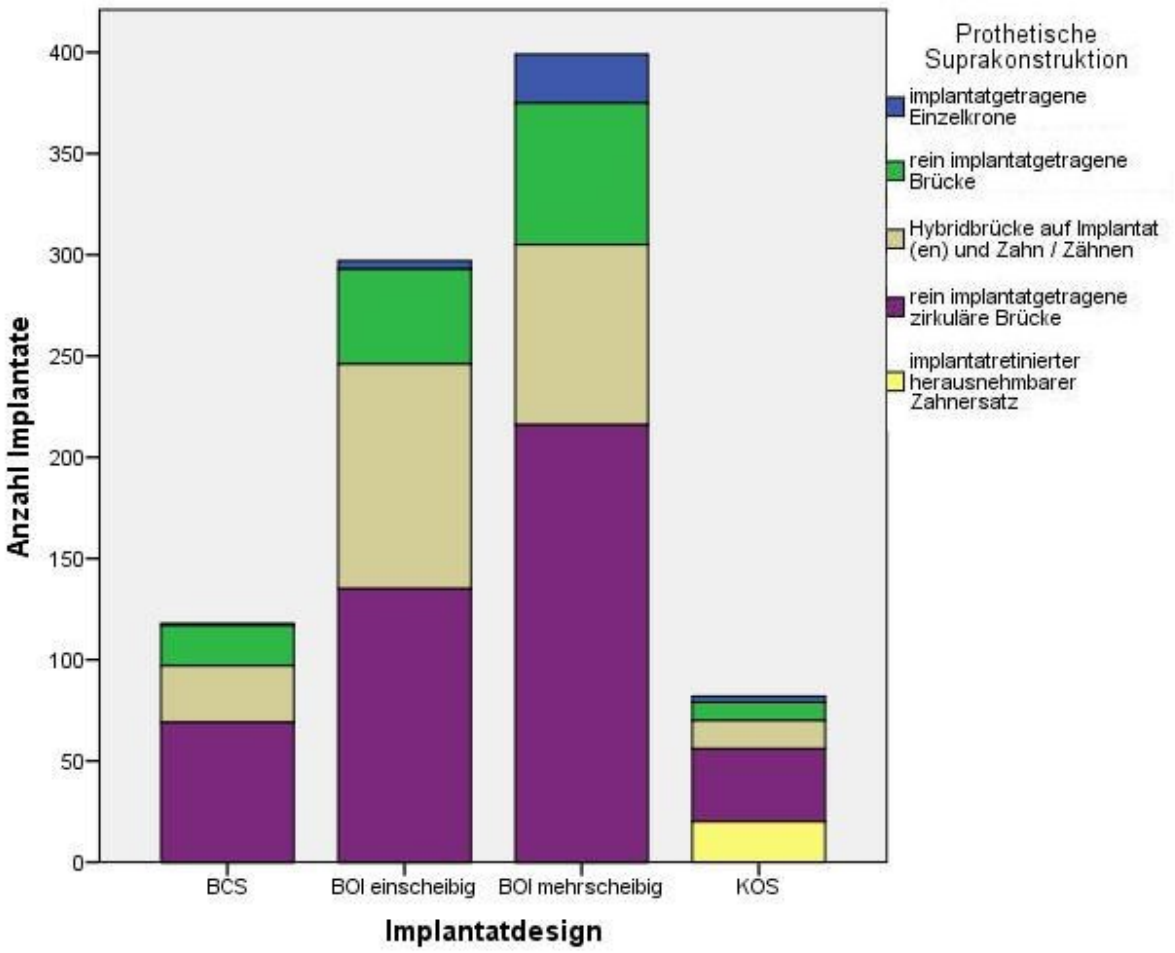

Abb. 26 Verteilung der Implantate nach Design und nach prothetischer Suprakonstruktion gegliedert

Bei allen Implantattypen wurden *Längen* im Bereich von 3 bis 23 mm genutzt. Da die Längen im arithmetischen Mittel 8,8 mm betrugen (M = 7,5 mm; s = 4,11) und ein Modalwert D von 8 mm vorlag (n = 312; 34,8%), wurden die weiteren Implantatlängen in Gruppen zusammengefasst: 3 bis 7 mm (n = 325; 36,3%), 9 bis 23 mm (n = 253; 28,2%). Die letztgenannte Gruppe enthält 52 basale Implantate (5,8%) sowie sämtliche geschraubten Implantate. Die Verteilung auf die unterschiedlichen prothetischen Suprakonstruktionen und Kieferregionen zeigen Abb. 27 und 28.

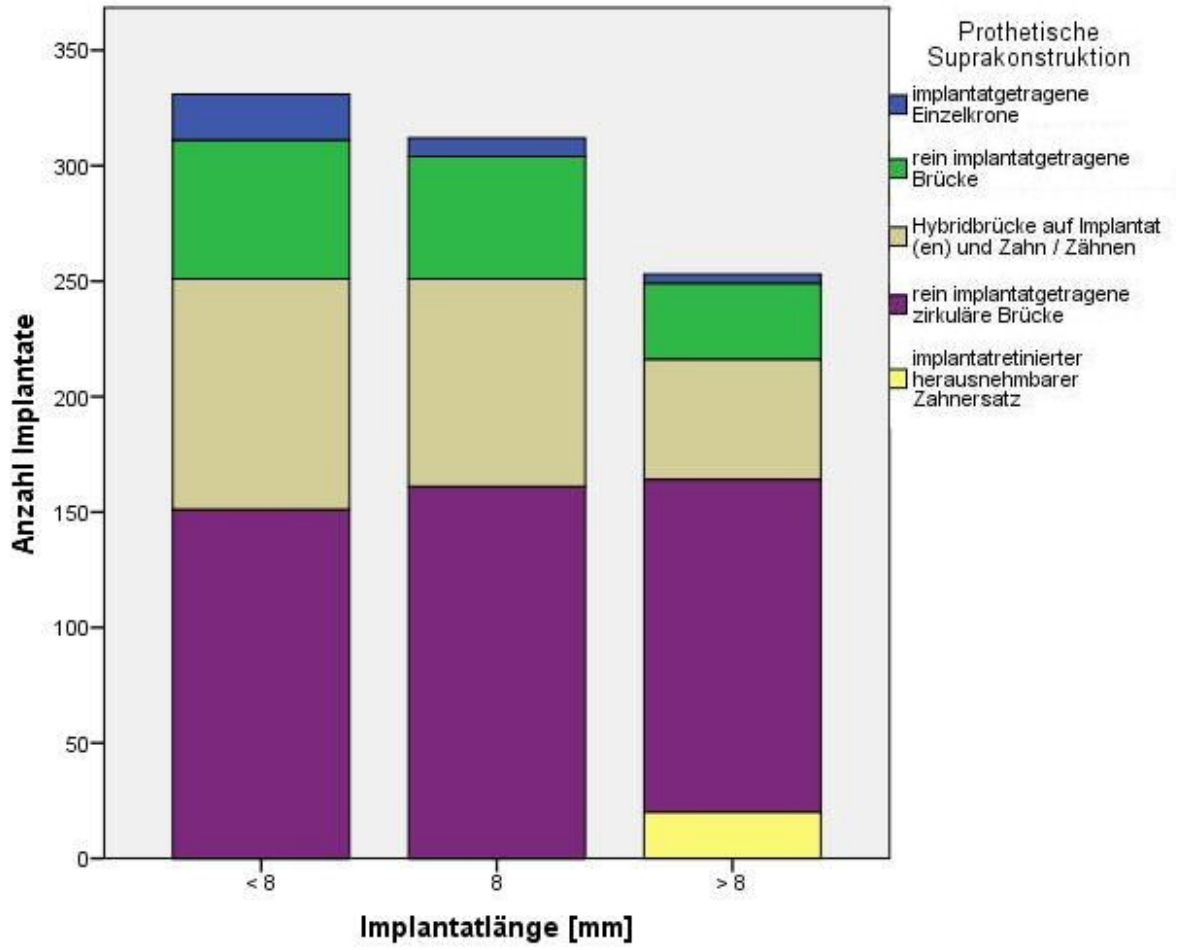

Abb. 27 Verteilung der Implantate nach Länge und nach prothetischer Suprakonstruktion gegliedert

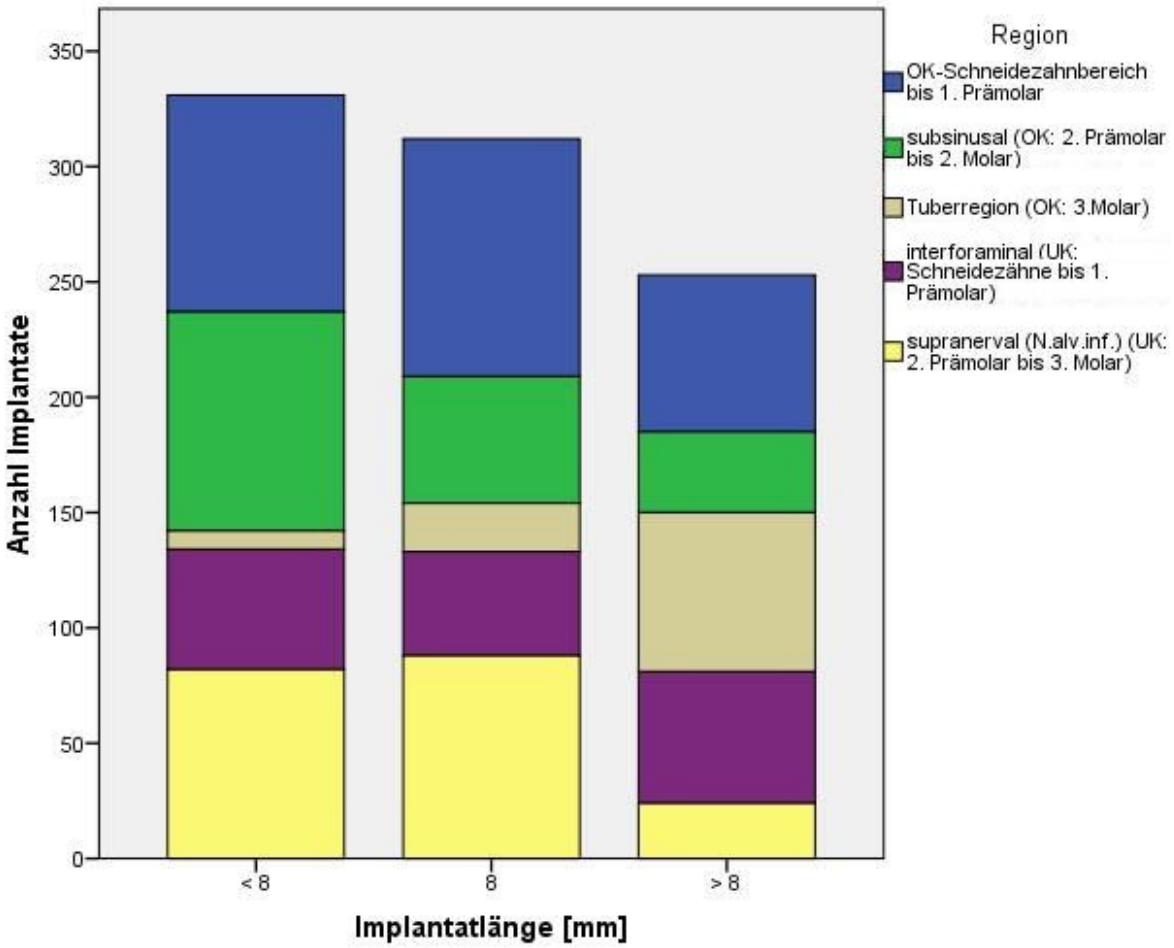

Abb. 28 Verteilung der Implantate nach Länge und nach Insertionsort gegliedert

32 der 896 Implantate (3,6%) wurden zur Aufnahme von Einzelkronen gesetzt, 20 Implantate (2,2%) dienten zur Retention herausnehmbarer Prothesen. Alle anderen Implantate wurden als Pfeiler für festsitzende Brücken genutzt, wobei die Hälfte der Gesamtmenge (n = 456; 50,9%) auf zirkuläre rein implantatgetragene Brücken entfiel (Unterkiefer: n = 158, Oberkiefer: n = 298). Kürzere rein implantatgetragene Brücken waren auf 146 Implantaten (16,3%) befestigt (Abb. 29). 242 Implantate (27%) bildeten im Zusammenhang mit beschliffenen Zähnen die Basis für Hybridbrücken. 51 Patienten wurden mit 81 zirkulären Brücken versorgt, 78 davon waren rein implantatgetragen, wobei 34 auf jeweils vier basalen Implantaten verankert waren (Tab. 3).

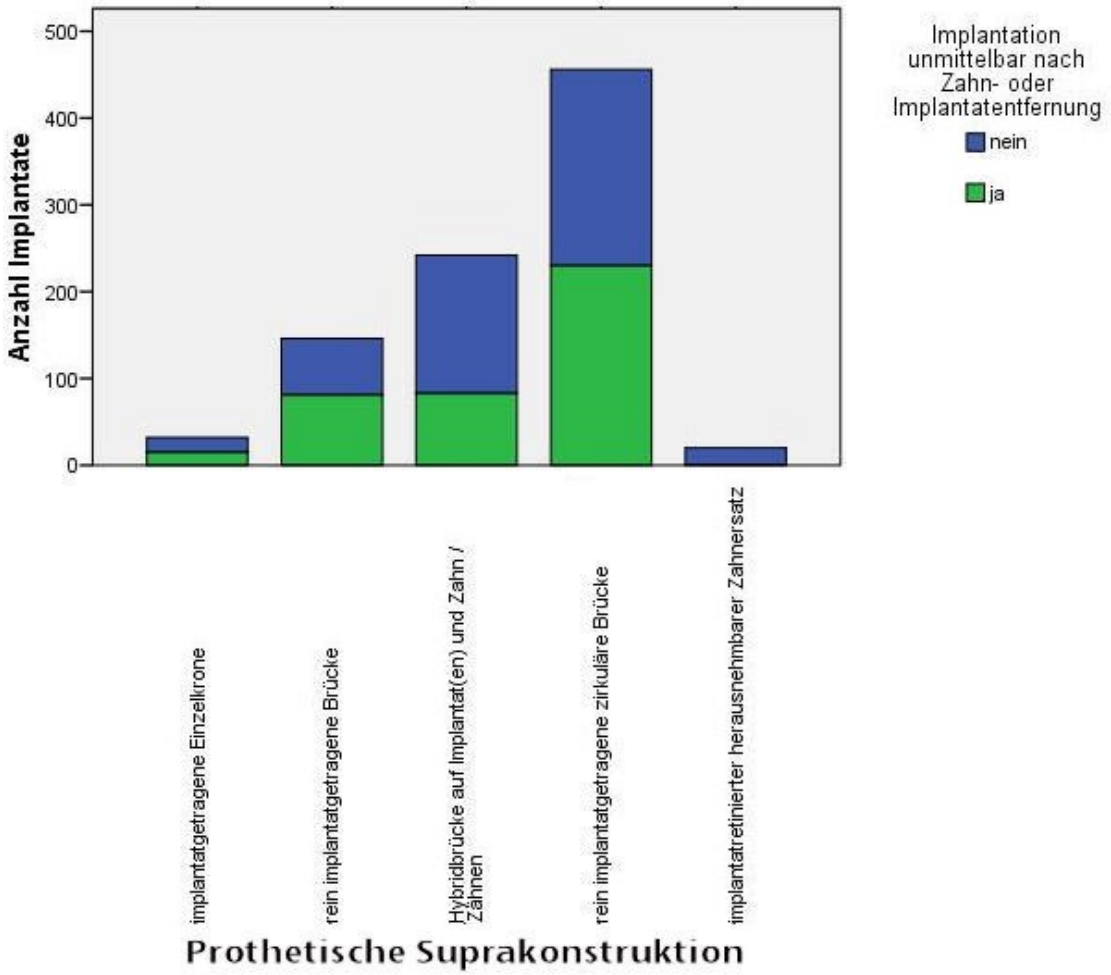

Abb. 29 Verteilung der Implantate auf Gruppen nach Art der prothetischen Suprakonstruktion unterteilt in Sofortimplantation und „Implantation in ausgeheilten Knochen“

Die Eingliederung des definitiven Zahnersatzes, der die endgültige Belastungsform der einzelnen Implantate darstellt, erfolgte im Mittel am 53. Tag nach der Implantation (M = 48; s = 33,3; x_{min} = 0; x_{max} = 365 Tage).

Die Verteilung der Implantationen auf Beobachtungshalbjahre ist der Anzahl der Implantatverluste bzw. Explantationen gegenübergestellt (Abb. 30).

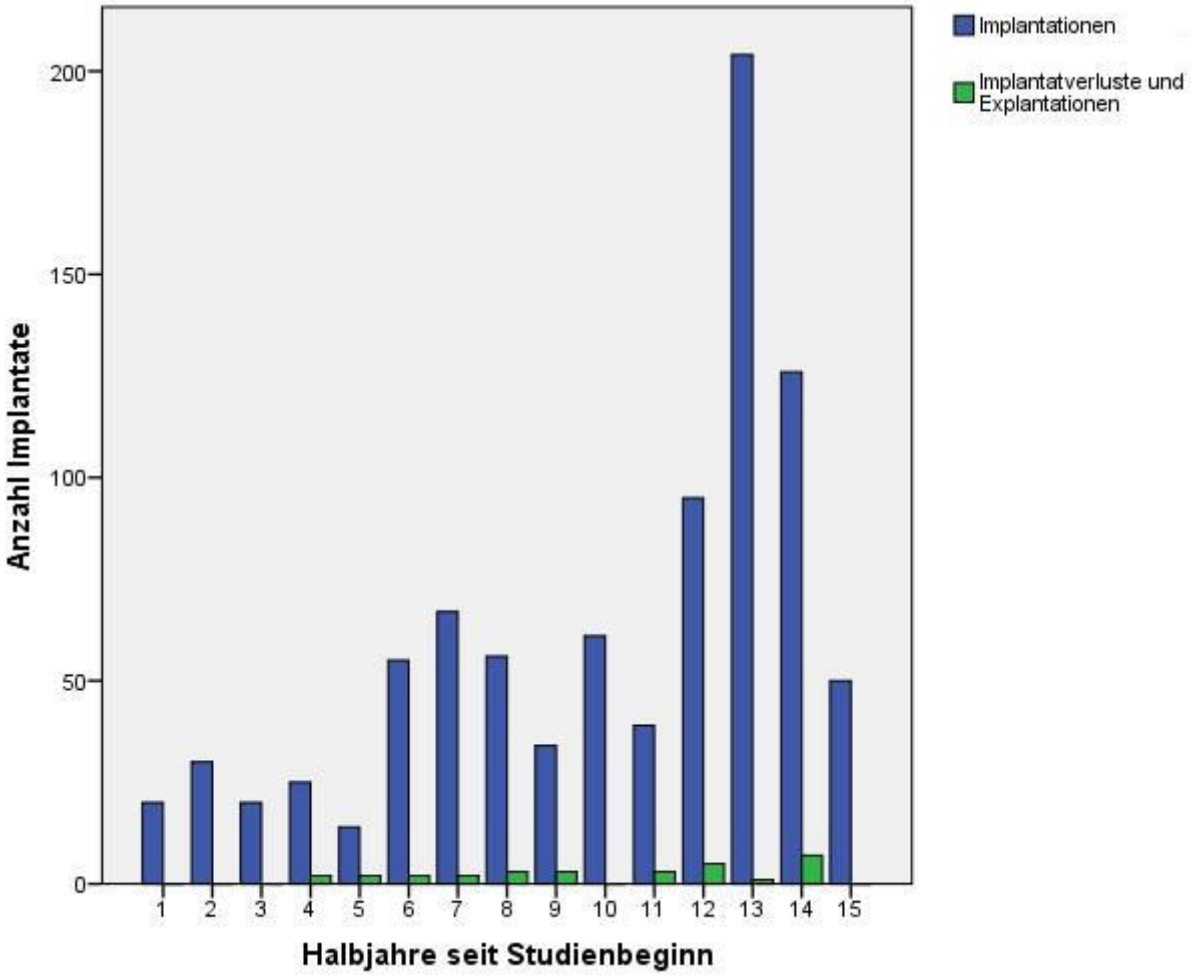

Abb. 30 Verteilung der je Beobachtungshalbjahr vorgenommenen Implantationen und Implantatverluste bzw. Explantationen

Die 30 spontan abgestoßenen oder explantierten Implantate hatten im Mittel eine Verweildauer von 23,4 Monaten (M = 13,5; s = 23,3; R = 74 Monate). Hierbei sind acht Frühverluste innerhalb der ersten sechs Monate von 22 Spätverlusten nach mindestens einem halben Jahr zu unterscheiden (Abb. 31).

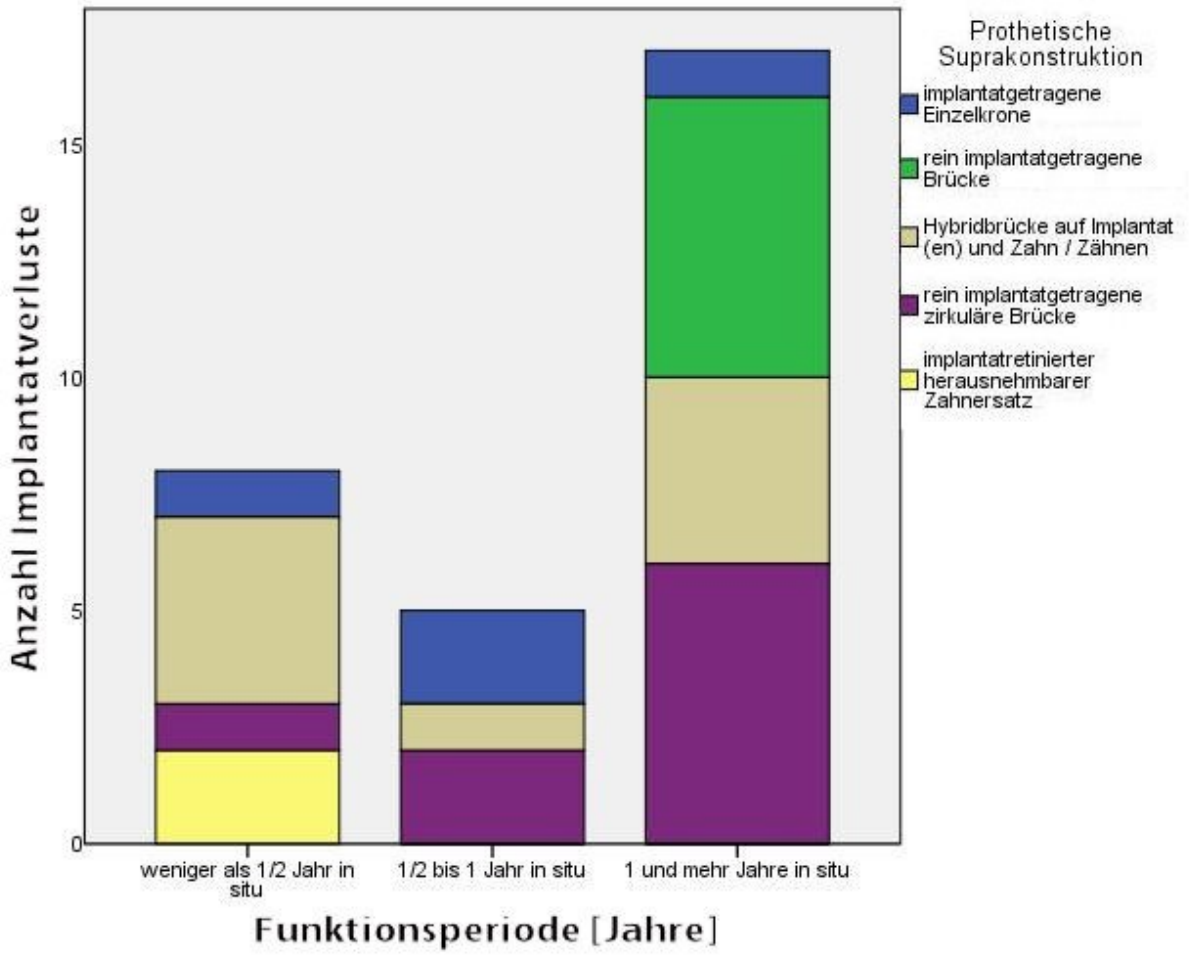

Abb. 31 Zeitliche Verteilung der Implantatverluste gegliedert nach prothetischer Suprakonstruktion

Es entfallen 56,7% der Verluste auf weibliche (n = 17) und 43,3% auf männliche Patienten (n = 13). 21 Verluste betreffen den Oberkiefer (70%) und 9 Implantate wurden aus dem Unterkiefer entfernt (30%). Etwa ein Drittel der Verluste entfällt auf die Gruppe der immediat gesetzten Implantate (n = 9; 30%), die verbleibenden 21 entfernten Implantate wurden in ausgeheilten Knochen inseriert (n = 21; 70%) (Abb. 32). Keines der Implantate, das ein explantiertes Implantat ersetzte, musste ein weiteres Mal erneuert werden.

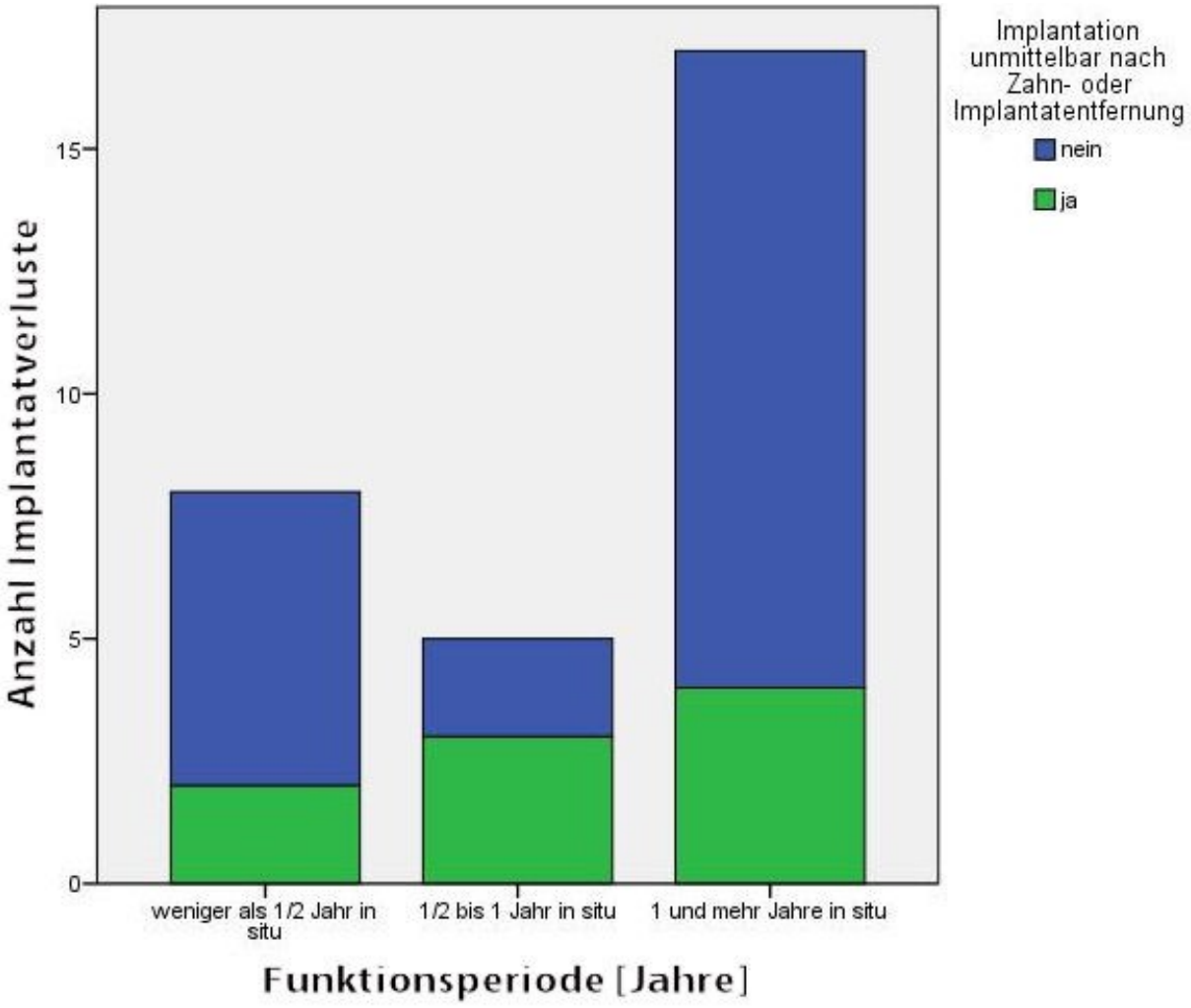

Abb. 32 Zeitliche Verteilung der Implantatverluste gegliedert nach Sofortimplantation und „Implantation in ausgeheilten Knochen“

Die Verteilung der zu Verlust gegangenen bzw. explantierten Implantate auf die Kieferregionen ist in Abb. 33 graphisch dargestellt.

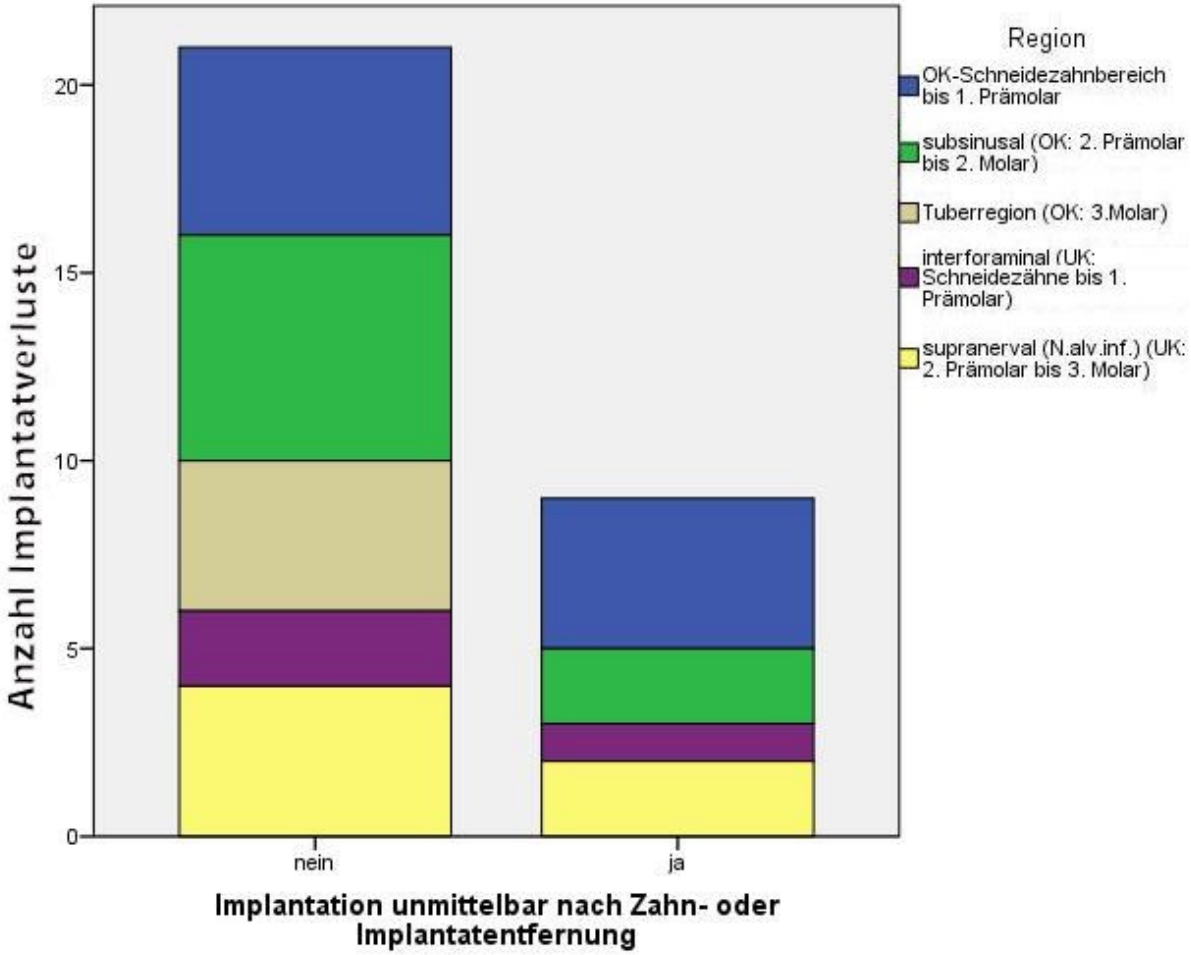

Abb. 33 Verteilung der Implantatverluste nach Sofortimplantation und „Implantation in ausgeheilten Knochen“ unterteilt nach Insertionsort

Die Häufigkeit der Implantatverluste in Bezug auf die Implantatlänge zeigt Abb. 34. Vier zu Verlust gegangene Implantate sind länger als 8 mm, 19 weisen eine Länge von 8 mm auf und sieben sind kürzer als 8 mm.

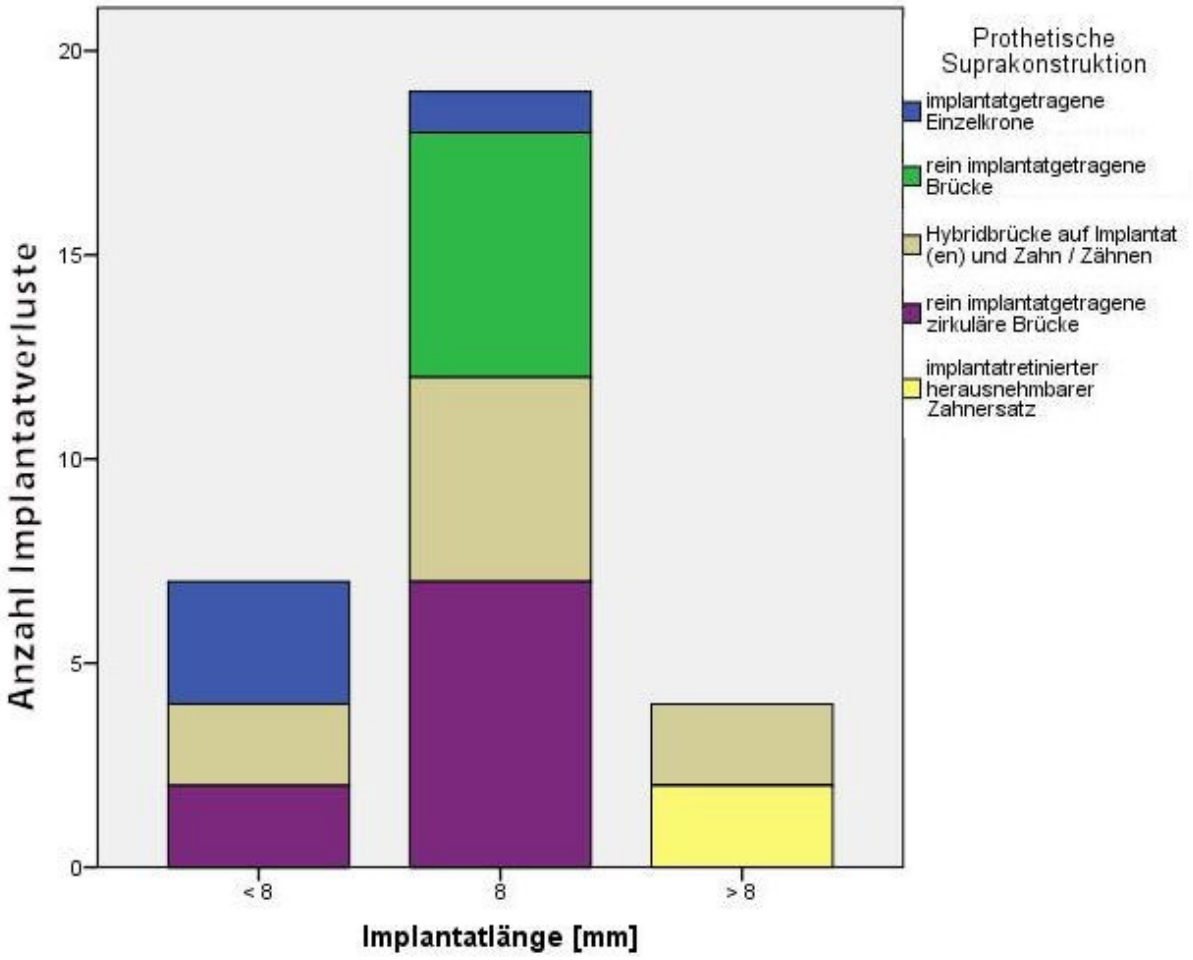

Abb. 34 Verteilung der Implantatverluste gegliedert nach Implantatlänge und nach prothetischer Suprakonstruktion

Neun zu Verlust gegangene Implantate betreffen die Regio 14 bis 24 (30%), acht die Regio 15 bis 17 respektive 25 bis 27 (26,7%). Vier Implantatverluste stammen aus der Tuberregion (13,3%), sechs befanden sich in Regio 35 bis 38 bzw. 45 bis 48 (20%). Interforaminal im Unterkiefer gingen drei Implantate verloren (10%).

Die zu Verlust gegangenen bzw. explantierten Implantate teilen sich wie folgt auf die Art der prothetischen Suprakonstruktion auf: Neun Implantate bei zirkulären Brücken (30%), sechs Implantate bei rein implantatgetragenen kürzeren Brücken (20%), neun Implantate bei Hybridbrücken (30%) und vier Implantate (13%), die mittels Einzelkronen versorgt waren, stehen zwei Verluste bei Einsatz herausnehmbaren Zahnersatzes (7%) gegenüber (Abb. 35). Implantatverlustbedingt mussten 22 von 310 prothetische Konstruktionen erneuert werden (7,1%).

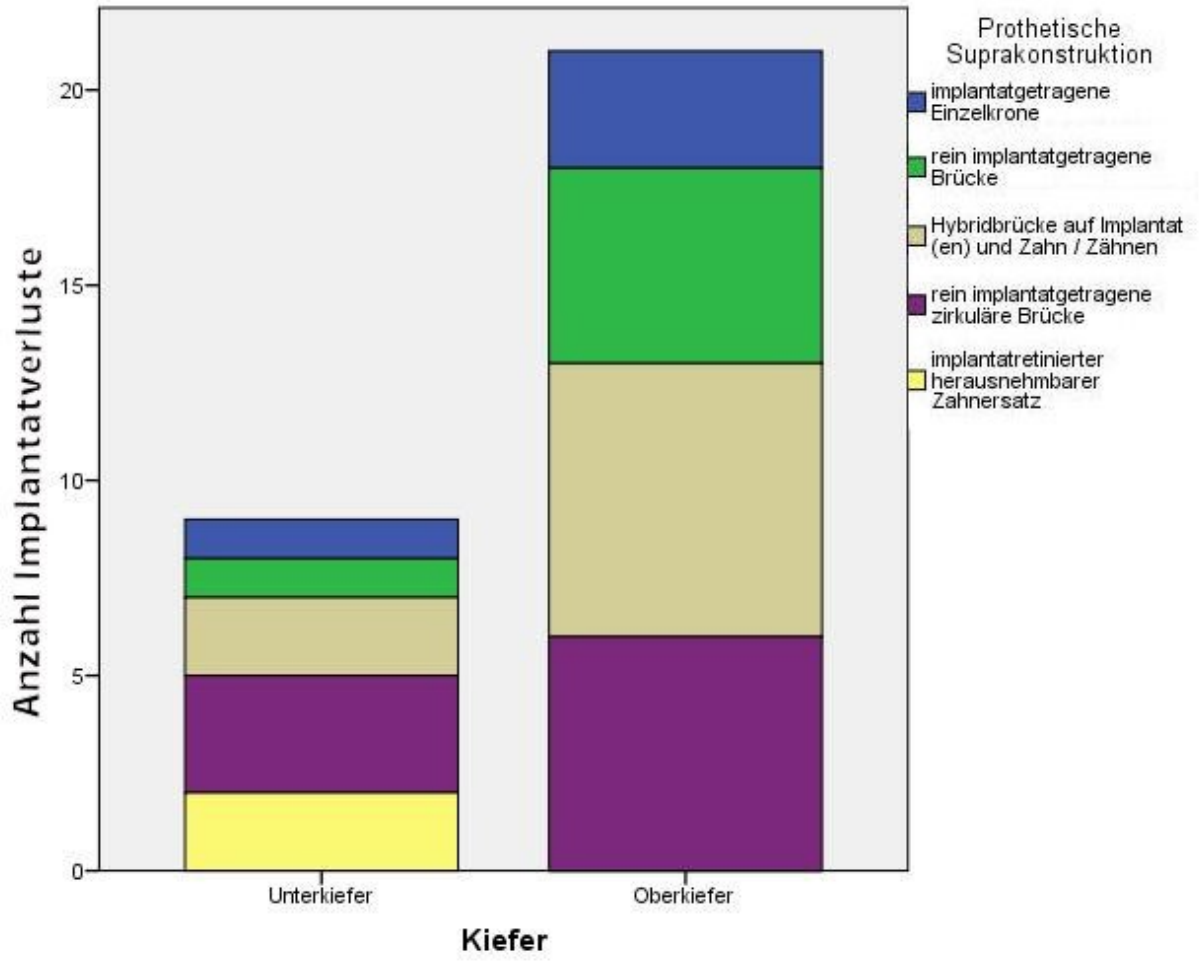

Abb. 35 Verteilung der Implantatverluste nach Kiefer und nach prothetischer Suprakonstruktion unterteilt

Implantatversagen bei Einsatz von Hybridbrücken trat in den ersten 18 Monaten und nach dem 60. Monat auf. Die Implantatverluste bei Einzelkronen ergaben sich innerhalb der ersten 18 Monate, die Verluste bei herausnehmbarem Zahnersatz lagen innerhalb der ersten sechs Wochen vor.

4.1.3 Ergebnisse der statistischen Datenanalyse

Da der Funktionsverlust bei Implantaten multikausal sein kann, wurden die definierten Parameter auf statistische Signifikanz untersucht. Die Ergebnisse der univariaten Cox-Regressionen sowie die der multivariaten Cox-Regression ausgewählter Parameter (univariat: $p < 0,25$) sind in Tab. 4 aufgeführt.

	univariate Cox-Regression			multivariate Cox-Regression		
	nicht-adjustiertes Hazard Ratio	p-Wert	95%-Konfidenzintervall	adjustiertes Hazard Ratio	p-Wert	95%-Konfidenzintervall
Parameter						
Geschlecht						
männlich vs. weiblich*	1,17	0,667	0,566 – 2,43			
Patientenalter [Lebensjahre]		0,764				
41 – 50 vs. bis 40*	0,954	0,947	0,236 – 3,85			
51 – 60 vs. bis 40*	1,40	0,619	0,373 – 5,24			
über 60 vs. bis 40*	1,55	0,505	0,427 – 5,63			
Kiefer						
Oberkiefer vs. Unterkiefer*	1,61	0,23	0,739 – 3,53	2,75	0,026	1,13 - 6,69
Region		0,721				
subsinusal vs. OK anterior*	1,24	0,665	0,476 – 3,21			
Tuberregion vs. OK anterior*	1,34	0,626	0,411 – 4,38			
interforaminal vs. OK anterior*	0,529	0,340	0,143 – 1,96			
supranerval vs. OK anterior*	0,844	0,748	0,300 – 2,37			
Implantation in Alveole						
ja vs. nein*	0,442	0,040	0,202 – 0,965	0,483	0,085	0,211 - 1,11
Implantatdesign		0,488				
BOI einscheibig vs. BCS*	2,47	0,389	0,315 – 19,4			
BOI mehrscheibig vs. BCS*	1,86	0,555	0,237 – 14,6			
KOS vs. BCS*	4,91	0,195	0,443 – 54,4			
Implantatlänge [mm]		0,472				
< 8 vs. > 8*	1,13	0,847	0,329 – 3,86			
8 vs. > 8*	1,74	0,327	0,575 – 5,25			
Implantat-Abutmentverbindung		0,015			<0,001	
externes Gewinde vs. einteiliges Implantat*	2,98	0,012	1,28 – 6,93	38,3	<0,001	9,57 - 153
verschraubte Oktagonverbindung vs. einteiliges Implantat*	5,55	0,028	1,20 – 25,6	4,56	0,135	0,623 - 33,4
Prothetische Suprakonstruktion		<0,001			<0,001	
implantatgetragene Brücke vs.zirkuläre Brücke*	1,57	0,397	0,553 – 4,45	1,91	0,237	0,654 - 5,59
Hybridbrücke vs. zirkuläre Brücke*	1,88	0,181	0,745 – 4,74	1,77	0,241	0,683 - 4,56
Einzelkrone vs. zirkuläre Brücke*	4,86	0,009	1,48 – 15,9	9,06	0,007	1,84 - 44,7
herausnehmbarer Zahnersatz vs. zirkuläre Brücke*	33,0	<0,001	6,51 – 168	51,0	<0,001	8,25 - 316
Funktionsperiode [Jahre]		<0,001			<0,001	
½ - 1 vs. < ½*	0,41	0,15	0,122 – 1,38	0,280	0,070	0,070 – 1,11
> 1 vs. < ½*	0,061	<0,001	0,018 – 0,208	0,006	<0,001	0,001 – 0,033

* Referenzkategorie

Tab. 4 Ergebnisse der univariaten und multivariaten Cox-Regressionen der Gesamtkohorte

Für die Parameter Funktionsperiode ($p < 0,001$), prothetische Suprakonstruktion ($p < 0,001$) und Art der Implantat-Abutmentverbindung ($p = 0,015$) wurden statistisch signifikante Ergebnisse ($p \leq 0,05$) bereits in der univariaten Analyse gefunden. Im Gegensatz dazu konnte eine Unabhängigkeit des Erfolgs der Behandlungen vom Patientengeschlecht ($p = 0,667$), vom Patientenalter ($p = 0,764$), von der Region ($p = 0,721$), dem Implantatdesign ($p = 0,488$) und der Implantatlänge ($p = 0,472$) bestätigt werden. Die Implantation im Oberkiefer stellte nur nach multivariater Cox-Regression einen signifikanten Parameter dar ($p = 0,026$). Das Implantatverlustrisiko betrug in der vorliegenden Studie im Oberkiefer das 2,75fache gegenüber dem des Unterkiefers. Für die Kategorie der Implantation unmittelbar nach Zahn- oder Implantatentfernung wurde univariat ein p-Wert von 0,040 ermittelt. Nach Einbeziehung nivellierter Covariablen im multivariaten Modell ergab sich ein über dem Signifikanzniveau von $p = 0,05$ liegender p-Wert von 0,085.

Hinsichtlich der prothetischen Suprakonstruktion zeigte die statistische Datenanalyse die folgenden Resultate auf: Bei den Brückenkonstruktionen (rein implantatgetragene Brücken vs. rein implantatgetragene zirkuläre Brücken; Hybridbrücken auf Implantat(en) und Zahn/Zähnen vs. rein implantatgetragene zirkuläre Brücken) lagen keine statistisch signifikanten Unterschiede vor [Kopp, 2011b]. Die Einzelkronen hingegen wiesen ein adjustiertes Hazard Ratio (erhöhte Versagenswahrscheinlichkeit) von 9,06 gegenüber den rein implantatgetragenen zirkulären Brücken bei einem p-Wert von 0,007 in der multivariaten Cox-Regression auf. Bei herausnehmbarem Zahnersatz beträgt das adjustierte Hazard Ratio 51 ($p < 0,001$).

Für die Art der Verbindung zwischen Implantat und Abutment wurden die folgenden Ergebnisse ermittelt: Die einteiligen Implantate ($n = 540$) wiesen die höchste Erfolgsrate von 98,6% auf. Demgegenüber stieg das adjustierte Hazard Ratio der mit externem Gewinde verschraubten basalen Implantate auf 38,3 im multivariaten Modell gegenüber den einteiligen Implantaten signifikant ($p < 0,001$). Bei univariater Analyse betrug das nichtadjustierte Hazard Ratio der intern verschraubten Oktagonverbindung gegenüber den einteiligen Implantaten 5,55 und wies einen signifikanten Unterschied auf. Nach multivariater Analyse ergab sich ein nicht signifikanter Unterschied ($p = 0,135$) mit einem Hazard Ratio von 4,56.

Die Kaplan-Meier-Kurven der in Tab. 4 als statistisch signifikant ermittelten Parameter sind in den Abb. 36 bis 39 dargestellt.

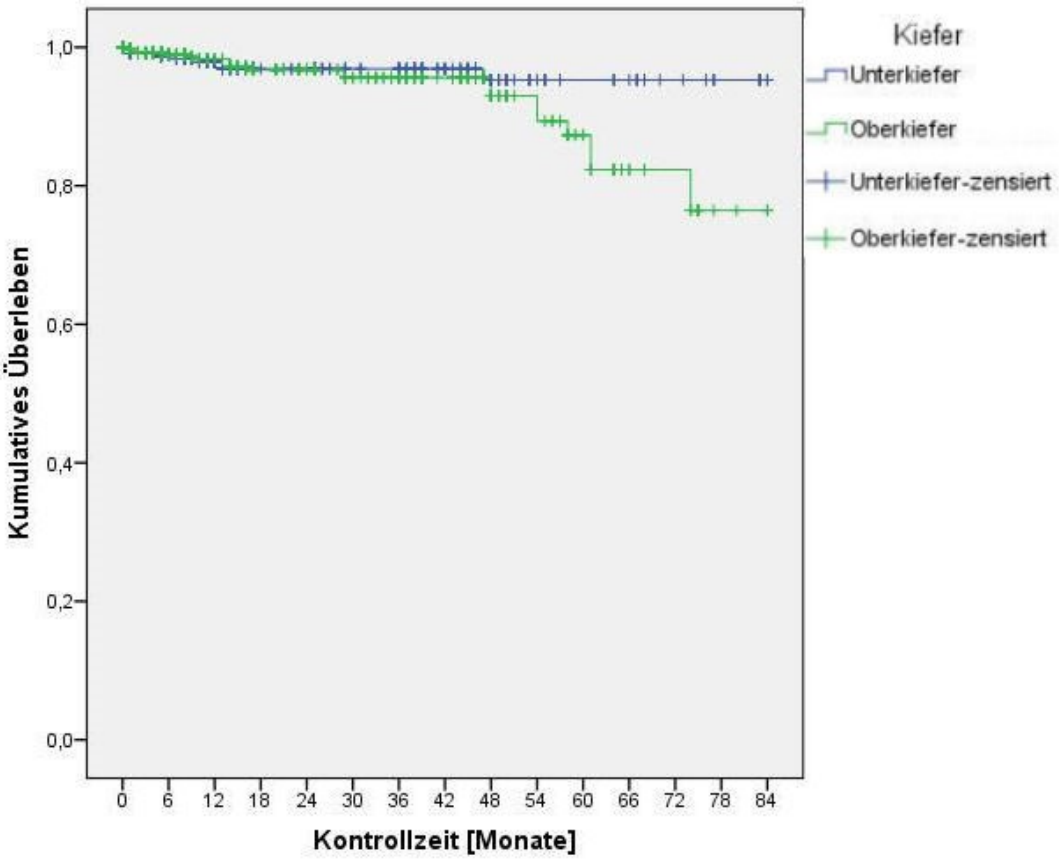

Abb. 36 Kaplan-Meier-Kurven unter Berücksichtigung des Insertionsorts (Oberkiefer vs. Unterkiefer)

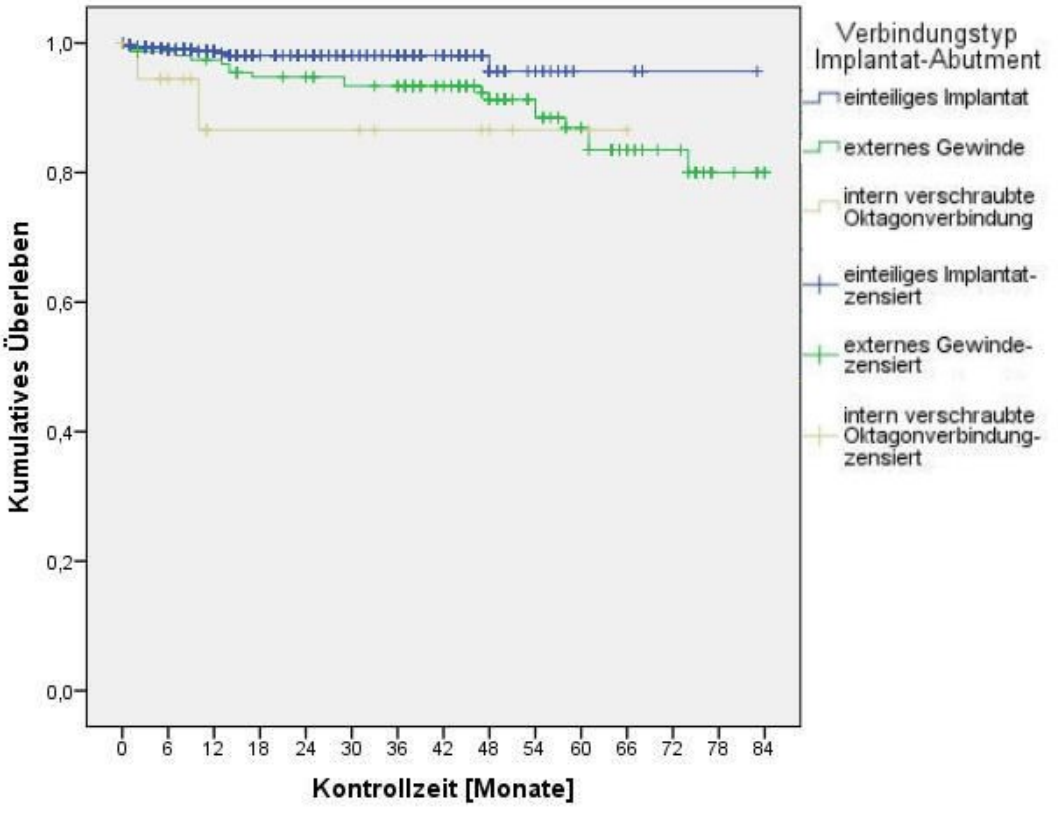

Abb. 37 Kaplan-Meier-Kurven unter Berücksichtigung der Implantat-Abutmentverbindung

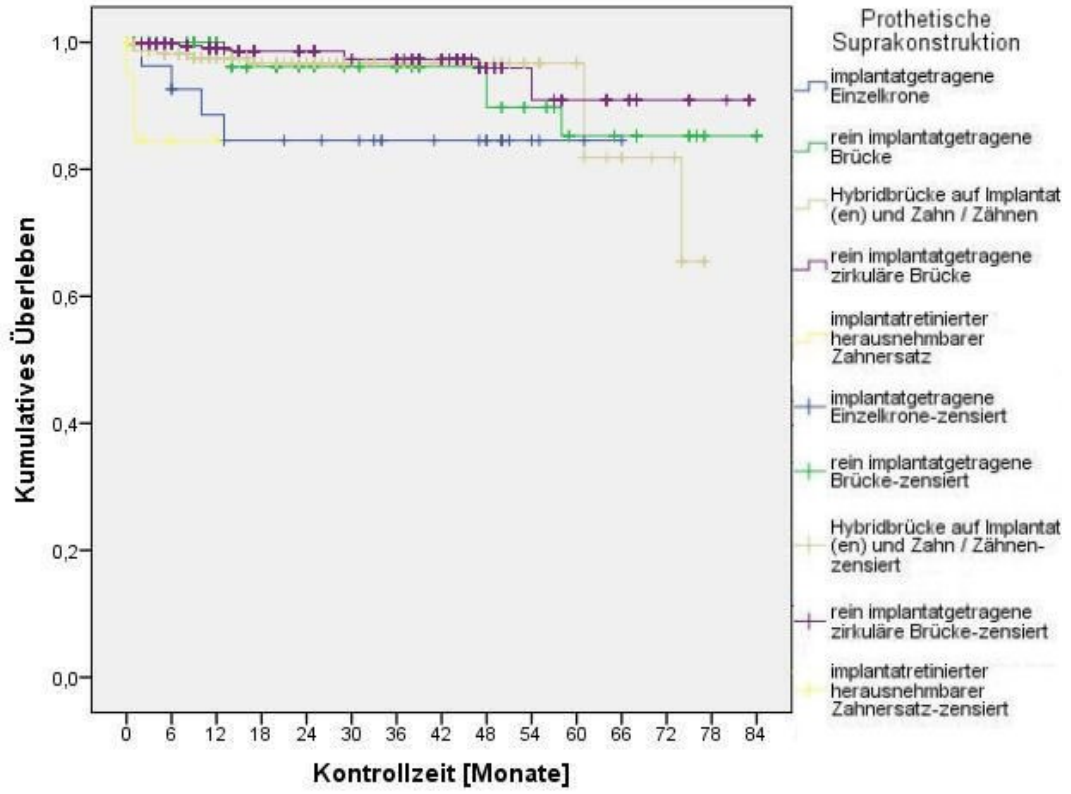

Abb. 38 Kaplan-Meier-Kurven unter Berücksichtigung der prothetischen Suprakonstruktion

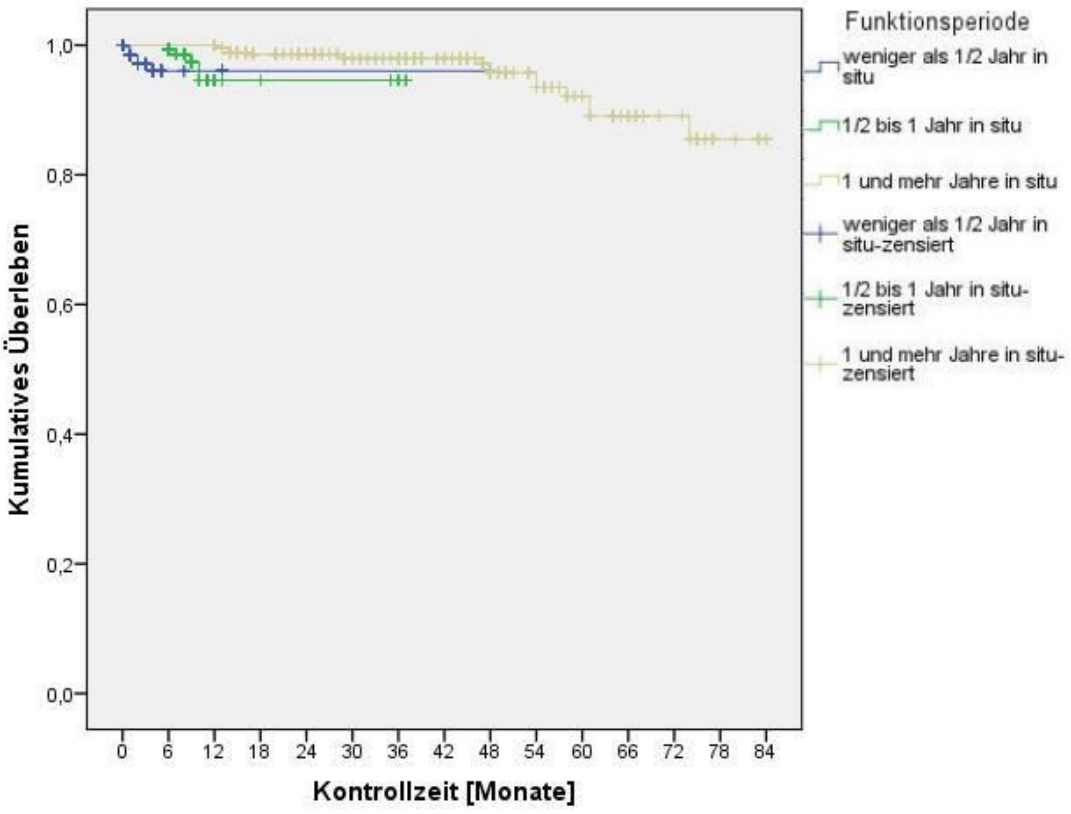

Abb. 39 Kaplan-Meier-Kurven unter Berücksichtigung der Funktionsperiode

4.2 Histologische Befunde

Die ermittelten prozentualen Werte des Knochen-Implantat-Kontakts (BIC) sind für alle Explantate in Tab. 5 dargestellt [Kopp et al., 2012a, Kopp et al., 2012b].

Nr.	Implantat-position	Implantattyp	Implantat-oberfläche	Funktions-periode [Monate]	BIC1 [%]	BIC2 [%]	BIC3 [%]
1	46	BOI dreischeibig	maschiniert	13	82,3	82,5	
2	23	BOI dreischeibig	sandgestrahlt	27	40,4	61,8	
3	24	Schraube	sandgestrahlt	36	60,1	79,0	68,7
4	46	BOI dreischeibig	maschiniert	38	63,2	84,4	
5	13	BOI dreischeibig	sandgestrahlt	48	50,6	56,0	55,0
6	23	BOI zweischeibig	sandgestrahlt	61	64,2	67,4	66,2

Tab. 5 Histomorphometrisch ermittelte BIC-Werte der Gewebeproben

Aus den hier bestimmten Resultaten der sechs Präparate wurden sechs maximal auseinanderliegende Paare gebildet, die mittels des *t*-Tests für abhängige Stichproben auf Signifikanz überprüft wurden [Kopp et al., 2012a]. Es ergab sich ein arithmetisches Mittel der Differenzen im BIC von 11,7 ± 9,8%. Die Ergebnisse des *t*-Tests sind in Tab. 6 dargestellt. Der durchgeführte zweiseitige *t*-Test ergab mit p = 0,033 einen signifikanten Unterschied.

	Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
	Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
				Untere Grenze	Obere Grenze			
BIC2 - BIC1	11,7	9,79	4	1,42	22	2,93	5	0,033

Tab. 6 Ergebnisse des t-Tests für abhängige Stichproben

Beispielhaft wird das Explantat von Patient #3 im Röntgenbild sowie in den drei ausgewerteten Schnittebenen gezeigt (Abb. 40).

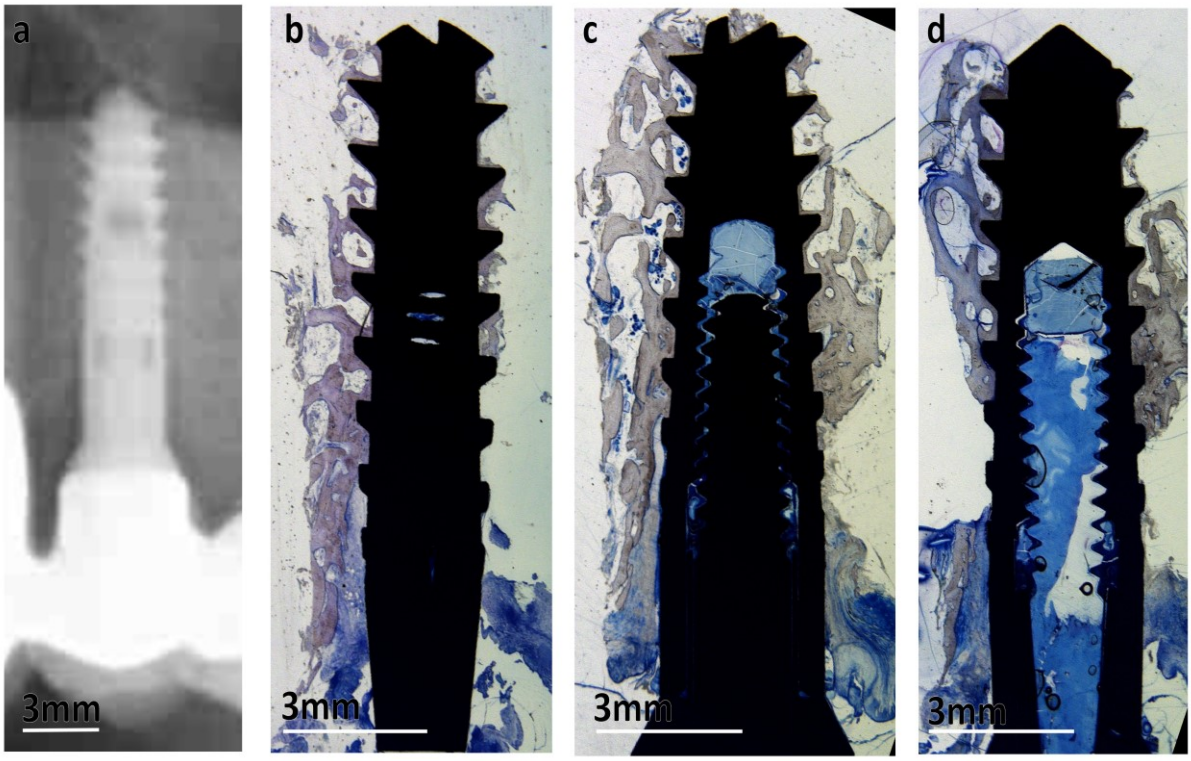

Abb. 40 Implantat in Regio 24: bei Entnahme 36 Monate in situ (Pitt-Easy Bio Oss, Oraltronics, Bremen): (a) Ausschnitt aus Panoramaschichtaufnahme vor Entnahme; (b bis d) Histologische Präparate von drei Schnittebenen (Giemsa-Touidinblaufärbung): (b) BIC1-Schnittebene; (c) BIC2-Schnittebene; (d) BIC3-Schnittebene

5 Diskussion

5.1 Langzeitverhalten der Implantate

Fallberichte und klinische Studien zur Sofortimplantation und Sofortbelastung dentaler Implantate mit krestalem und basalem Design liegen in der Literatur vor [Ashman, 1990, Scortecci, 1999, Garber et al., 2001, Cooper et al., 2002, Romanos, 2003, Donsimoni et al., 2004, Romanos und Nentwig, 2008, Odin et al., 2010, Odin et al., 2012]. Die im Schrifttum dargestellten Überlebensraten krestaler Implantate reichen von 72,2% bis 100% und liegen im Mittel bei 97% [Bahat und Sullivan, 2010a].

Die in der vorliegenden Studie ermittelte Überlebensrate der Implantate beträgt 96,7% und wird in den Kontext der Literatur gestellt.

In vielen Studien finden Frühverluste von beispielsweise 5,1% [Mesa et al., 2008] während der Einheilungszeit, die ohne Belastung erfolgt, keine Berücksichtigung bei der Bestimmung der Überlebensrate. Gleiches gilt für prothetisch nicht nutzbare Implantate (sogenannte „Sleeping Implants“) (z. B. 2 von 6 Implantanen [Henry und Liddelow, 2008]) [Albrektsson et al., 1988, Quirynen et al., 1991, Keller et al., 1998, Naert et al., 1999, Granström et al., 2009]. Des Weiteren werden bei Nachuntersuchungen des Öfteren stark selektierte Patientengruppen analysiert. Typische Ausschlusskriterien in den Studien sind beispielsweise [Jokstad und Carr, 2007]:

- Knochenqualität (Typ 4)
- keine vorausgehende Augmentation
- eine vorausgehende Augmentation
- Mangel an Primärstabilität
- skelettale Abweichungen von einer neutralen Kieferrelation
- Bestrahlung im Kopf- und Halsbereich
- Bruxismus (Ausprägung: „schwer“ bis „Anzeichen von“)
- Tabakkonsum
- systemische Erkrankungen
- allgemeine chirurgische Kontraindikationen
- geringes vertikales Knochenangebot
- aktives Wachstum
- „vitale anatomische Strukturen“

- nicht ausgeheilte Extraktionsalveolen
- Dicke der keratinisierten Mukosa unter 2 mm
- schlechte Mundhygiene
- psychische Erkrankungen
- vorangegangene Herzoperationen
- Medikamenteneinnahme
- Drogenmissbrauch
- Wurzeln oder Wurzelreste im Operationsgebiet
- akute Infektionen ohne nähere Lokalisationsangabe
- Entzündungen ohne nähere Lokalisationsangabe
- nicht resorbiertes Augmentationsmaterial
- Tiefbiss.

Für sofortbelastete Mini-Implantate wird diesbezüglich angegeben: „Kontra-indikationen sowie lokale und systemische Risikofaktoren sind dieselben wie bei konventionellen Implantaten: Rauchen, Parafunktionen, Immundefizienz und der Zustand nach Strahlentherapie der Kopfes.“ [Testori et al., 2013]. Ein erhöhtes Risiko vor und nach Bestrahlung konnte demgegenüber sowohl für Schrauben-implantate, als auch für basale Implantate in eigenen tierexperimentellen Studien nicht nachgewiesen werden [Ihde et al., 2009, Konstantinović et al., 2010a, Kopp et al., 2010a, Kopp et al., 2010b].

Abgeleitet von den Risikofaktoren werden ideale Bedingungen für die Sofort-belastung beschrieben, deren Einhaltung patientenseitig nur selten gewährleistet werden kann [Avila et al., 2007]. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden keine Ausschlusskriterien formuliert, wodurch die aufgeführten Ausschlusskriterien anderer Studien in der untersuchten Kohorte in unterschiedlicher Häufung auftraten. Da jedoch eine sinnvolle Mindestanzahl von Implantaten für eine valide Analyse erforderlich ist, wurden nur die angegebenen Parameter mit ihrem Einfluss auf den Erfolg der Implantationen analysiert.

Somit kann die von Smukler-Moncler et al. im Jahr 2000 formulierte Forderung teilweise relativiert werden: „Eine Übersicht von Arbeiten mit sofort belasteten implantatgetragenen Hybridprothesen und festsitzenden Brücken zeigt, dass die erfolgreiche Sofortbelastung eine sorgfältige und zurückhaltende Patientenauswahl

erfordert, die darauf abzielt, die bestmögliche Primärstabilität zu erlangen“ [Szmukler-Moncler et al., 2000].

Implantaterfolgsraten, im Gegensatz zu Überlebensraten, beinhalten Kriterien, die über die reine Anwesenheit des Implantats im Munde hinausgehen. Diese werden in der Literatur in Abhängigkeit von der jeweiligen Indikation und prothetischen Suprakonstruktion angegeben.

5.2 Einflussgrößen bezüglich des Langzeitverhaltens der Implantate

Implantatverluste können multifaktorell verursacht sein. Neben den univariaten Analysen sind multivariate Cox-Regressionen mit Angabe des Hazard Ratio (HR) und des Konfidenzintervalls (KI) von hoher Relevanz.

Eine multivariate Analyse der Faktoren, die die Primärstabilität dentaler Implantate untersucht, wurde von Mesa et al. im Jahre 2008 publiziert. Da die Studie einen ähnlichen Umfang (316 konsekutive Patienten, 1084 Implantate, Beobachtungszeitraum: 10 Jahre) aufweist, ist ein Vergleich zur eigenen Untersuchung angebracht. Mesa et al. verwendeten ausschließlich schraubbare Implantate (Brånemark®, Nobel Biocare) mit Durchmessern von 3,3 mm bis 5,5 mm und Längen von 7 bis 18 mm. 60,1% der Implantate wurden in Oberkiefer inseriert. Die Platzierung der Implantate in anteriore und posteriore Gebiete wurde als etwa paritätisch angegeben. Das Patientenalter lag bei 50,7 ± 12,3 Jahren (x_{min} = 19; x_{max} = 87). 5,1% (n = 55) der Implantate wurden bereits während der Einheilungszeit, in der keine funktionelle Belastung auftrat, entfernt und gelten somit als Frühverluste. Nur diese Implantatverluste wurden multivariat auf Einflussfaktoren analysiert. Die Gesamtüberlebensrate am Ende der Beobachtungsperiode wurde von den Autoren nicht deklariert. Die multivariate Analyse wies die folgenden Einflussfaktoren als signifikant für die Primärstabilität der Implantate aus [Mesa et al., 2008]:

1. Patientengeschlecht: weiblich vs. männlich HR 1,54 (95% KI: 1,08 - 2,22)
2. Kiefer: Oberkiefer vs. Unterkiefer HR 2,70 (95% KI: 1,82 - 4)
3. Region: distal vs. anterior HR 6,43 (95% KI: 3,28 – 12,61)
4. Implantatlänge: < 15 mm vs. ≥ 15 mm: HR 1,49 (95% KI: 1,09 – 2,04)

Die Faktoren Patientenalter (< 60 Jahre vs. 60 Jahre und älter) Tabakkonsum (< 20 Zigaretten pro Tag vs. 20 und mehr Zigaretten pro Tag), Parodontalstatus,

Knochenqualität und Implantatdurchmesser ergaben Resultate, die nicht signifikant waren.

Da in der Studie von Mesa et al. Analysen von nicht belasteten und gedeckt eingeheilten Implantaten ausgeführt wurden, ist keine absolute Vergleichbarkeit mit den sofortbelasteten Implantaten der eigenen Studie gegeben. Da jedoch keine der eigenen Studie adäquat vergleichbaren Untersuchungen in der Literatur vorliegen, sollen ihre Ergebnisse vorrangig denen von Mesa et al. gegenübergestellt werden.

Trotz Sofortbelastung weist das erste Halbjahr nach Implantation in der vorliegenden Studie nur acht Implantatverluste (0,9%) auf, die den 55 (5,1%) unbelastet eingeheilten Implantatverlusten des vergleichbaren Zeitraums von Mesa et al. gegenüberstehen. Durch die gedeckte Einheilung bei Mesa et al. werden somit prothetische, infektionsbedingte und biomechanische Einflüsse weitestgehend ausgeschlossen, weshalb die multivariat analysierten Parameter auf rein biologische Heilungsvorgänge abzielen. Die eigenen Ergebnisse beinhalten eine höhere Anzahl von Risikofaktoren bei ähnlichen Resultaten:

- Patientengeschlecht

Das Patientengeschlecht wurde in der eigenen Studie als ein nicht signifikanter Einflussfaktor mit einem Hazard Ratio von 1,17 (95% KI: 0,566 – 2,43) ermittelt, wobei männliche Patienten die tendenziell stärker gefährdete Gruppe gegenüber den Frauen sind. Demgegenüber geben Mesa et al. ein für Patientinnen erhöhtes Hazard Ratio von 1,54 bei einem vergleichbar engen Konfidenzintervall an.

- Patientenalter

Obwohl bei diversen medizinischen Eingriffen das steigende Patientenalter als Risikoparameter betrachtet werden muss, gibt es altersbedingt keinen negativen Einfluss auf den Erfolg der Implantationen [Kopp et al., 2009b]. Diesbezüglich wurden in der eigenen Studie im Gegensatz zu Mesa et al. vier Altersklassen definiert und kein signifikantes Hazard Ratio ermittelt.

- Kiefer

Das erhöhte Verlustrisiko für Implantate im Oberkiefer gegenüber solchen im Unterkiefer wurde in der vorliegenden Studie mit einem Hazard Ratio von 2,75 (95% KI: 1,13 – 6,69) bestimmt und liegt damit auf einem ähnlichen Niveau wie bei Mesa et al. (HR = 2,70) mit einem vergleichbar engen Konfidenzintervall. Die höheren Verlustraten im Oberkiefer, assoziiert mit erhöhtem Verlustrisiko im

Vergleich zum Unterkiefer, werden auch von anderen Autoren beschrieben [Klemetti, 2008]. Die eigenen Ergebnisse mit einer Erfolgsrate von 98% für Implantate, die mittels festsitzender Brücken im Oberkiefer versorgt waren, lagen über dem Niveau der von Bryant et al. in dieser Hinsicht angegebenen Resultate [Bryant et al., 2007].
Für Implantate im Unterkiefer, die festsitzende Brücken als Suprakonstruktion aufwiesen, wurde in der vorliegenden Studie eine Überlebensrate von 98,1% ermittelt, welche mit der von Bryant et al. ausgeführten Metaanalyse übereinstimmen. Rocci et al. berichten von einer Implantatüberlebensrate von 91% nach 3 Jahren bei ausschließlich im Oberkiefer gesetzten sofortbelasteten Brånemark-Implantaten [Rocci et al., 2003]. Die Autoren fanden eine höhere Erfolgsrate bei verblockten Implantaten (94%), was mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie korreliert, wobei allerdings statistisch signifikant höhere Überlebensraten vorgewiesen werden (95,9 - 98%).

- Kieferregion

Fanden Mesa et al. ein Hazard Ratio von 6,43 für distale vs. anteriore Kieferregionen, konnten bei einer wesentlich detaillierteren Aufschlüsselung der Implantationsgebiete in der vorliegenden Studie keine Knochenabschnitte mit einem erhöhten Risiko assoziiert werden. Auf diese Weise konnte mit der verfolgten Behandlungsstrategie dieses beschriebene Risiko distaler, also gelenknaher Regionen minimiert werden.
In gesundem ausgeheilten Knochen guter Qualität (D1 bis D2) werden in der Literatur relativ hohe Überlebensraten (95% bis 100%) für krestale Implantatsysteme angegeben [Gapski et al., 2003, Blanes et al., 2007, Eliasson et al., 2009, Gokcen-Rohlig et al., 2009].

- Implantation in frische Extraktionsalveolen

Wird bei der Cox-Regression gewöhnlich die Gruppe mit dem geringsten Risiko als Referenzkategorie gewählt, wurde hierbei die unter höherem Risiko stehende Implantation in ausgeheilten Knochen als Referenzgruppe (54,2% der Implantate) für die Cox-Regression gewählt. Weist in der vorliegenden Studie die Implantation in Extraktionsalveolen das geringere Risiko auf, ist diese Form der Sofortimplantation jedoch nicht in jedem Falle möglich. Im Gegensatz dazu ist die Implantation im ausgeheilten Knochen bei jedem Patienten allein durch eine adäquate Wartezeit erreichbar.

Im Vergleich zur Implantation in ausgeheilten Knochen sinkt das Verlustrisiko bei Implantationen, die in derselben Sitzung wie die Extraktionen erfolgen, signifikant ($p = 0,04$) auf ein Hazard Ratio von 0,483 (95% KI: 0,211 - 1,11) bei Ausführung der univariaten Analyse. Nach multivariater Cox-Regression wird das Signifikanzniveau nicht unterschritten ($p = 0,085$).

Mangano et al. sehen eine höhere Chance zur Osseointegration dentaler Implantate in frische Extraktionsalveolen aufgrund des besseren Heilungspotentials [Mangano et al., 2009]. Des Weiteren werden von ihnen die Aufrechterhaltung vertikaler Dimensionen, Vermeidung zusätzlicher Eingriffe und eine potentielle Verbesserung der Weichgewebsheilung festgestellt.

Für sofortbelastete schraubenförmige Implantate werden ebenfalls Erfolgsraten von bis zu 100% angegeben. Bei genauerer Betrachtung relativieren sich manche dieser Ergebnisse. Beispielsweise wurden von Penarrocha et al. von lediglich 11 Patienten, die Sofortimplantate erhielten, zwei Patienten wegen gering bewerteter Primärstabilität der Implantate diese weder sofort belastet noch die Patienten in die Auswertung einbezogen [Penarrocha et al., 2009]. Dies entspricht einer Ausfallrate von 18% bei einem primär selektierten Patientengut, wodurch die von den Autoren selbst angegebene Erfolgsrate von 100% (9 Patienten mit durchschnittlich sechs Implantaten pro Patient) bei einer Nachkontrollzeit von maximal 12 Monaten bezüglich ihrer Relevanz gemindert wird. Die geringe Stichprobengröße in Verbindung mit einer primären Selektion der Kohorten relativiert ebenso die Aussagekraft weiterer Studien [Jemt, 2008, Bilhan et al., 2009, Bornstein et al., 2009].

In einer repräsentativen Literaturanalyse zum Thema Sofortimplantation zeigten Chen et al., dass die Überlebensraten von Sofortimplantaten im Vergleich zu Implantaten, die in ausgeheilten Knochen gesetzt wurden, in den vorgefundenen Kurzzeitstudien (Kontrollzeit ca. ein Jahr) vergleichbar hoch sind [Chen et al., 2004]. Covani et al. führten an zehn Patienten nach gründlicher Parodontalsanierung eine Implantatinsertion in frische Extraktionsalveolen bei gleichzeitigem Einsatz eines Bindegewebstransplantats durch [Covani et al., 2007]. Sämtliche Implantate heilten innerhalb von sechs Monaten geschlossen ein und waren nach weiteren 12 Monaten noch in situ. Der Einsatz von Membranen wird in Kombination mit der Sofortimplantation ebenfalls empfohlen [Tehemar et al., 2003]. Eine höhere Komplikationsrate wird für Schraubenimplantate in Extraktionsalveolen gegenüber ausgeheiltem

Knochen nachgewiesen [Felice et al., 2011]. Da dies bereits am Beginn der vorliegenden Studie vermutet wurde, kamen unter den Bedingungen der Sofortimplantation nur basal verankerte Implantate zum Einsatz.

Die eigene Studie zeigt auf, dass die Sofortimplantationen bei sachgerechter Ausführung ein begrenztes Risiko aufweist.

- Implantatdesign

Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen mit unterschiedlichem Implantatdesign wurde weder bei der univariaten noch bei der multivariaten Analyse gefunden.

Für basale Implantate sind Überlebensraten bei Einsatz unterschiedlicher prothetischer Konstruktionen von

93,4% (n = 457 nach 134 Monaten; zirkuläre Hybridbrücken) [Ihde, 2008b],

96,8% (n = 155 nach 53 Monaten; zirkuläre Brücken) [Kopp und Kopp, 2008],

97,0% (n = 783 nach 48 Monaten; zirkuläre Brücken) [Scortecci, 1999],

97,0% (n = 1352 nach 120 Monaten; zirkuläre Brücken) [Donsimoni et al., 2004],

97,3% (n = 275 nach 60 Monaten; Hybridbrücken) [Ihde und Mutter, 2003] und

97,3% (n = 185 nach 63 Monaten; zirkuläre Brücken) [Kopp et al., 2009a]

96,1% (n = 696 nach 84 Monaten; festsitzender und herausnehmbarer Zahnersatz) [Kopp et al., 2013b] publiziert.

Für Diskimplantate®, basale Implantate des Herstellers Victorymed (Nizza, Frankreich), sind Überlebensraten von 97% und mehr publiziert. Scortecci führte eine prospektive Studie zur Bewertung von 783 sofortbelasteten Implantaten (davon 627 Diskimplantate®) bei 72 im Oberkiefer vollständig zahnlosen Patienten durch [Scortecci, 1999]. Die Kontrollzeiten reichten von sechs bis 48 Monaten. Nach einer Funktionsperiode von sechs Monaten waren 98% der Implantate osseointegriert. Alle Patienten waren über den gesamten Beobachtungszeitraum mit festsitzenden, implantatgetragenen Brücken versorgt. In der von Scortecci durchgeführten Studie wurden jedoch krestale und basale Implantate kombiniert, was eine Interpretation des Einflusses der einzelnen Systeme auf den Gesamterfolg erschwert. In dieser Untersuchung liegt eine mittlere Implantatzahl pro Brücke und Kiefer von 10,25 vor, in der eigenen Studie dagegen von 5,8 pro ausschließlich implantatgetragener zirkulärer Brücke. Obwohl in der vorliegenden Untersuchung im Mittel nur etwa die Hälfte der Implantate pro Brücke im Vergleich zu Scortecci eingesetzt wurde,

korrelieren die Überlebensraten der Implantate in der Klasse der rein implantatgetragenen zirkulären Brücken von 97,3%.

Donsimoni berichtet bei einer retrospektiven Studie über einen Zeitraum von 10 Jahren, in dem 1352 gesetzte basale Implantate in 234 zirkuläre Brücken integriert wurden (5,8 Implantate pro Brücke) [Donsimoni et al., 2004]. Er fand eine vergleichbare Überlebensrate von 97%, wobei nur 25 der 41 verlorenen Implantate ersetzt werden mussten. Da nur eine zirkuläre Oberkieferbrücke permanent entfernt wurde, gibt Donsimoni einen klinischen Erfolg von 99,9% an. Er unterteilte die Patienten zudem in Raucher und Nichtraucher und fand eine gleich hohe Erfolgsrate in beiden Kohorten. Bei konventionellen Implantaten sind Rauchgewohnheiten in der Anamnese der Patienten mit einem erhöhten Verlustrisiko assoziiert [Liran und Schwartz-Arad, 2005]. Für Schraubenimplantate wird das Implantatverlustrisiko als doppelt so hoch für Raucher im Vergleich zu Nichtrauchern angegeben [Cavalcanti et al., 2011]. Ihde ermittelte eine ähnliche Überlebensrate für basale Implantate, ohne den Tabakkonsum näher zu spezifizieren (93,4%) [Ihde, 2008b]. Eigene Ergebnisse basaler Implantate wurden mit Erfolgsraten von 96,8% [Kopp und Kopp, 2008] sowie 96,1% [Kopp et al., 2013b] publiziert

Von den 696 basalen Implantaten der vorliegenden Studie, ohne Einbeziehung von Bikortikalschrauben, gingen 30 (3,9%) verloren. Dieses Ergebnis fügt sich in die Ergebnisse der einschlägigen Literatur ein.

- Implantatlänge

Implantate mit einer Länge von 15 mm und mehr sind sowohl im Subsinusalbereich als auch supranerval im distalen Unterkiefer aufgrund der anatomischen Verhältnisse selten primär ohne Augmentation oder Nervverlagerungen einsetzbar.

Obwohl Henry et al. sowie Wang et al. keine Daten bezüglich der Überlegenheit großer Implantatlängen und –durchmesser ermittelten, postulierten sie eine minimale Implantatlänge von 10 mm für erfolgreiche Sofortbelastungen [Wang et al., 2006, Henry und Liddelow, 2008]. Die Längen der Implantate der vorliegenden Untersuchung betrugen zu über 70% 8 mm oder weniger (3 bis 8 mm), ohne dass sie mit signifikant erhöhten Risiken assoziiert waren.

Auf Miniimplantaten verankerte Prothesen werden mit einer Implantaterfolgsrate von 95,9% nach einem Jahr angegeben, was mit den vorliegenden Ergebnissen korreliert [Scepanovic et al., 2012].

In einer randomisierten Split-Mouth-Studie stellten Esposito et al. kurze Implantate (Länge: 5 mm) längeren (Länge: ≥ 10 mm) in augmentierten Regionen gegenüber und fanden keinen Unterschied bezüglich des Erfolgs der Implantationen [Esposito et al., 2011b, Esposito et al., 2011a].

- Art der Verbindung zwischen Implantat und Abutment

Ein weiterer als signifikant nachgewiesener Einflussfaktor auf den Implantationserfolg in dieser Studie ist die Implantat-Abutmentverbindung. Diesbezüglich stellten die einteiligen Implantate die Kategorie mit den besten Prognosen (Erfolgsrate: 98,6%). Die intern verschraubte Oktagonverbindung weist demgegenüber ein Hazard Ratio von 4,56 auf. Implantate mit externem Gewinde stehen mit einem entsprechenden Wert von 38,3 unter stark erhöhtem Risiko. Die 18 Verluste der Implantate mit externer Verschraubung (n = 156) basieren in fünf Fällen auf Implantatfrakturen, die direkt oder deutlich unterhalb des Abutments auftraten.

Durch Weber et al. wurden im Rahmen einer Metaanalyse Originalarbeiten zur Thematik „zementierte versus verschraubte Restaurationen auf Implantaten“ verglichen [Weber und Sukotjo, 2007]. Das ausgewertete Datenmaterial (1720 Titel und Abstracts; 243 Artikel) lieferte nach Aussage der Autoren „keine ausreichende Basis, um die Frage nach dem Einfluss des Verbindungstyps und des Materials der Suprakonstruktion auf den Erfolg der Behandlung zu beantworten“. Bezüglich des marginalen Knochenverlustes konnten in einer randomisierten kontrollierten Studie (Belastungszeit über 10 Jahre) keine Unterschiede zwischen zementierten und verschraubten Kronen auf Implantaten festgestellt werden [Vigolo et al., 2012].

Die vorliegende Arbeit belegt eine Tendenz zugunsten einteiliger Implantate gegenüber mehrteiligen Systemen. Da keine Verbindung zwischen Implantat und Abutment bei einem einteiligen Implantat vorliegt, wird sowohl diese potentielle mechanische Schwachstelle als auch das potentielle pathogene Keimreservoir im Bereich der Verbindung vermieden. Als weiterer Vorteil dieser Konzeption sind die einfache Verarbeitung und Handhabung, Kosteneffizienz und vor allem eine geringe Belastung des Patienten durch eine Minimierung der chirurgischen Eingriffe aufzuführen.

- Art der prothetischen Suprakonstruktion

Bryant et al. fanden in einer Metaanalyse keinen signifikanten Einfluss der Art der implantatgetragenen prothetischen Suprakonstruktion auf den Erfolg von Restaurationen zahnloser Kiefer [Bryant et al., 2007]. Die zugrundeliegenden Untersuchungen

bestimmten Implantaterfolgsraten nach mindestens 60 Monaten Gesamtbeobachtungszeit, die in Tab. 7 zusammengefasst sind.

Prothetische Suprakonstruktion	feste Brücken		herausnehmbarer Zahnersatz		
Implantate	verblockt		verblockt		unverblockt
Kiefer	OK	UK	OK	UK	UK
Erfolg [%]	74,2 - 97	86 - 100	71,3 - 83,7	83 - 100	86 - 100

Tab. 7 Implantaterfolgsraten nach mindestens 60 Monaten Gesamtbeobachtungszeit nach Bryant et al. (2007)

Erfolgsraten variieren für Implantate, die mit Einzelkronen versorgt wurden, in einer Metaanalyse zwischen 92,2% und 98,0% bei 60 Monaten Beobachtungszeit [Salinas und Eckert, 2007]. Hier liegen die eigenen Resultate mit 87,5%, bei einer kleinen Stichprobe (n = 32) der Gesamtmenge (n = 896) aller untersuchten Implantate, etwas unterhalb der publizierten Ergebnisse. Die implantatretinierte Einzelkrone besitzt ein adjustiertes Hazard Ratio von 9,06 gegenüber der zirkulären implantatgetragenen Brücke. Zirkuläre rein implantatgetragene Brücken weisen eine Implantatüberlebensrate von 98,2% nach vier Monaten auf [Gillot et al., 2011]. Dieses Ergebnis wurde in den eigenen Untersuchungen am Ende der Gesamtbeobachtungszeit erreicht. Die Implantate, die mit rein implantatgetragenen Brücken versorgt waren, weisen ein Risiko von 1,91 gegenüber zirkulär verblockten Implantaten auf. Dies steht im Gegensatz zu einer Metaanalyse von Weber und Sukotjo, die keine Aussage bezüglich des Einflusses der prothetischen Suprakonstruktionen als Parameter für den Implantaterfolg treffen konnte [Weber und Sukotjo, 2007]. In der vorliegenden Untersuchung erreichten die Implantate in Hybridbrücken mit einem Hazard Ratio von 1,77 fast die Erfolgsraten der Implantate in zirkulär verblockten Brücken. Die eigene Studie lässt somit den Schluss zu, dass der prothetisch-implantologische Erfolg mit der Anzahl der Implantate und der Ausdehnung der Suprakonstruktion ansteigt.

In einer retrospektiven Studie wird über das Langzeitverhalten von 275 BOI®-Implantaten an 228 Patienten bei einer Kontrollzeit von fünf Jahren berichtet [Ihde und Mutter, 2003]. Hier gelangten ausschließlich Freiendsituationen, die mittels Hybridbrücken therapiert wurden, zur Untersuchung. Die Autoren fanden eine Überlebensrate von 97,3% am Ende der Kontrollzeit. Dies entspricht den eigenen

Werten in der Gruppe der Hybridbrücken (96,3%). Aufgrund der genannten Resultate ist eine Verblockung von vitalen Zähnen mit Implantaten funktionell möglich, sinnvoll und wird empfohlen [Henry und Liddelow, 2008].
In der eigenen Studie wurde nach Möglichkeit bei Einzelzahnverlusten eine Verblockung mit einem überkronungsbedürftigen Nachbarzahn angestrebt, wodurch die Gruppe der Hybridbrücken anstieg. Die Hypothese des positiven Einflusses einer prothetischen Verblockung auf den Erfolg einer sofortbelasteten Implantation hat sich in dieser Arbeit insofern bestätigt, da sämtliche verblockten prothetischen Konstruktionen mit besseren Prognosen assoziiert sind als die unverblockten.
In der eigenen Studie wurden die herausnehmbaren Prothesen im zahnlosen Unterkiefer ausschließlich auf primär unverblockten Implantaten angefertigt. Die hierbei ermittelte 90%ige Erfolgsrate steht in guter Übereinstimmung mit einem Wert von 86% bis 100% in der zitierten Arbeit [Bryant et al., 2007].
Im Gegensatz zum Ergebnis dieser Metaanalyse, die keinen Einfluss der Art der prothetischen Suprakonstruktion auf den Implantationserfolg ergab, war dieser Parameter auf der Grundlage der multivariaten Analyse der eigenen Daten, trotz geringer Stichprobengröße der unverblockten Suprakonstruktionen (Einzelkronen und herausnehmbarer Zahnersatz), signifikant. Das adjustierte Hazard Ratio lag bei herausnehmbarem Zahnersatz versus zirkuläre Brücken bei 51.

- Verweildauer

Sofern die Phase der erhöhten Knochenregenerationsrate und mechanischen Belastung im ersten Halbjahr komplikationslos verläuft, sinkt das Verlustrisiko für das Implantat bei der multivariaten Analyse signifikant auf 0,280 im folgenden Halbjahr und anschließend auf 0,006. Eine weitere Phase mit veränderter Hazard Ratio konnte nicht gefunden werden. Zu diesem Sachverhalt existieren keine vergleichbaren Studien.

5.3 Mögliche Verlustursachen

Als Verlustursachen basaler Implantate wurden in dieser Studie Schaft- bzw. Basisfrakturen sowie primäre (durch Überlastung und unzureichende Verblockung unmittelbar nach Implantation) und sekundäre (nach abgeschlossener Osseointegration durch Überlastung oder Fehlbelastung eingetretene Demineralisation) Lockerungen festgestellt. Den Lockerungen bei einscheibigen und schraubbaren Implantaten

stehen die Frakturen der mehr vertikal lastübertragenden mehrscheibigen Implantate gegenüber. Eine primäre Periimplantitis, das heißt ohne Vorliegen eines Frakturereignisses am Implantat, konnte in keinem Fall beobachtet werden und wird hier somit als mögliche Verlustursache ausgeschlossen.

Der negative Einfluss parodontal vorgeschädigter Zähne ist evident und es wird ein strenges Regime der Infektionskontrolle im Vorfeld einer Implantation empfohlen [Schou, 2008]. Henry et al. stellen bei einer Literaturanalyse ein auf 2,3 erhöhtes Verlustrisiko von Implantaten in Regionen fest, in denen Zähne aus parodontalen Gründen entfernt werden mussten [Henry und Liddelow, 2008]. Im Gegensatz dazu wurde in der eigenen Studie auf parodontale Vorbehandlungen bei zur Extraktion vorgesehenen Zähnen generell verzichtet. Bei indizierter Parodontaltherapie erhaltungswürdiger Zähne wurde diese bereits im Vorfeld mittels geschlossener Verfahren durchgeführt. Auch Antibiotika wurden in Übereinstimmung mit der Literatur nicht systematisch verschrieben [Karaky et al., 2011]. Die Erfolgsraten liegen bei Fällen der Sofortimplantation in der eigenen Studie signifikant (univariate Cox-Regression) über den Resultaten bei Implantation in ausgeheilte Knochenregionen.

Die Schlussfolgerungen von vier systematischen Übersichtsarbeiten stimmen bezüglich der folgenden Aussagen überein [Van der Weijden et al., 2005, Schou et al., 2006, Klokkevold und Han, 2007, Schou, 2008]:

1. Implantatbehandlungen bei parodontal vorgeschädigten Patienten sind nicht kontraindiziert. Trotzdem kann die höhere Inzidenz einer Periimplantitis den Langzeiterfolg der Implantationen gefährden.
2. Die Überlebensraten sowohl für Implantate als auch für prothetische Suprakonstruktionen bei Patienten mit parodontal bedingtem Zahnverlust in der Anamnese sind hoch.
3. Implantatbehandlungen parodontitisanfälliger Patienten bedürfen einer adäquaten Infektionskontrolle und eines individualisierten Nachsorgekonzeptes.
4. Weitere Langzeitstudien sind erforderlich.

5.4 Prothetische Suprakonstruktionen

Bei den 310 angefertigten prothetischen Konstruktionen sind 22 durch Implantatverlust bedingte Neuanfertigungen enthalten (7,1%). Die anderen weiteren sechs Im-

plantatverluste fanden entweder in der Zeit der provisorischen Suprakonstruktionen statt oder lösten keine notwendige prothetische Neuanfertigung aus.
Da in dieser Studie fast ausschließlich festsitzender Zahnersatz (n = 302; 97,4%) angefertigt wurde, werden die in der Literatur beschriebenen Komplikationsraten von zahngetragenen und implantatgetragenen festsitzenden prothetischen Restaurationen zum Vergleich herangezogen.
Die Quote der erneuerten prothetischen Konstruktionen liegt unterhalb der Zehnjahresverlustraten von zahnretinierten Brücken (10,8%) und Extensionsbrücken (19,7%) [Salinas und Eckert, 2007]. Für Hybridbrücken wird in dieser Studie eine Verlustrate von 10,6%, für rein implantatgetragene Brücken ein Wert von 22,2% angegeben.
Komplikationsraten an Suprakonstruktionen werden bei Studien zum Thema „Implantologie“ nur selten erfasst [Wichmann, 2007]. Grundsätzlich werden für metallkeramischen Brückenzahnersatz geringere Komplikationsraten als bei kunststoffverblendeten Brücken, deren Gerüste aus Gold- oder Titanlegierungen gefertigt sind, angegeben [Kim et al., 2009]. So gibt Wichmann allein für den Bereich der Keramikfrakturen bei Implantatsuprakonstruktionen nach fünf Jahren eine Rate von 14% an [Wichmann, 2007]. Behr et al. berichten im Rahmen einer 3,5-Jahresstudie über eine Komplikationsrate im prothetischen Bereich von 28,8% bei ITI-Implantaten sowie über 77,4% beim IMZ-System, wobei hier 71% der Komplikationen auf Implantatsystemkomponenten zurückgeführt wurden [Behr et al., 1998]. Die von den Autoren berichteten Probleme erforderten zumindest eine Reparatur. Die Rate der notwendigen Neuanfertigungen wurde dabei nicht erwähnt. Ekfeldt et al. beschreiben eine Überlebensrate bei implantatretinierten Prothesen von 73,3% nach sieben Jahren (Totalverlust von acht Oberkiefer-Prothesen) [Ekfeldt et al., 1997]. Sie fanden eine Implantatverlustrate allein in der Phase der unbelasteten Einheilungszeit von 43,6% (68 von 156 Implantaten) bei Patienten, denen daraufhin herausnehmbarer Zahnersatz statt des initial geplanten festsitzenden Zahnersatzes eingegliedert wurde. Nach sieben Jahren weisen die Autoren eine Implantaterfolgsrate von 79,3% aus. Zahlen wie diese zu Frühverlusten während der unbelasteten Einheilungszeit krestaler Implantate werden in der Literatur selten angegeben oder fließen nicht in die Erfolgsstatistik ein [Scortecci, 1999, Nkenke und Fenner, 2006]. Häufig werden Verlustraten erst ab Eingliederung der definitiven prothetischen

Suprakonstruktion ermittelt und angegeben. Jemt et al. stellen einer 100%igen Implantatüberlebensrate von 47 implantatgetragenen Einzelkronen nach 15 Jahren eine 77%ige Überlebensrate der Kronen gegenüber [Jemt, 2008]. Schou zeigt in einer Literaturübersicht ebenfalls, dass Erfolgsraten von Suprakonstruktionen selten dargestellt werden. Die berichteten Erfolgsraten reichten von 92% bis 100% [Schou, 2008]. Pjetursson et al. beschreiben in einer Metaanalyse eine Komplikationsrate von 38,7% an festsitzenden Implantatsuprakonstruktionen in einem Beobachtungszeitraum von fünf Jahren [Pjetursson und Lang, 2008]. Diese liegt deutlich über der von den Autoren angegebenen Rate bei zahngetragenen Brücken und Kronen (15,7%) und selbst von konventionellen Extensionsbrücken (20,6%). Bei diesen Suprakonstruktionen stehen die biologischen Komplikationen (z.B. Karies und Vitalitätsverlust) im Vordergrund [Pjetursson und Lang, 2008]. Bei implantatgetragenem Zahnersatz prominieren hingegen die technischen Komplikationen: Keramiktotalfrakturen und Chipping, Abutment- und Schraubenlockerungen sowie Retentionsverlust durch beispielsweise Dezementierung [Pjetursson und Lang, 2008]. Diese höhere Komplikationsrate bedeutet aber nicht zwangsläufig einen höheren Korrekturaufwand gegenüber zahngetragenem Zahnersatz [Pjetursson und Lang, 2008].

In der eigenen Studie wurden 51 Patienten mit 81 zirkulären Brücken versorgt. 78 dieser Brücken waren rein implantatgetragen, wobei bei 34 Brücken eine Verankerung auf jeweils vier basalen Implantaten vorlag. Voraussetzung dafür ist eine strategische Implantatpositionierung: hierbei werden Implantate im Eckzahnbereich und distal in der Region der zweiten oder dritten Molaren platziert [Ogawa et al., 2010].

In der vorliegenden Studie wurden keine implantatretinierten Prothesen im Oberkiefer angefertigt. Dies korreliert mit den Ergebnissen aus der Literatur, die keine verbesserte Patientenzufriedenheit gegenüber dem Einsatz von konventionellen Totalprothesen im Oberkiefer feststellen konnten [Klemetti, 2008]. Daher rät Klemetti im Oberkiefer entweder zur Verwendung einer Totalprothese oder einer rein implantatgetragenen festsitzenden Restauration.

Prothesen wurden in der eigenen Arbeit ausschließlich im Unterkiefer und zu 87,5% auf zwei Implantaten befestigt.

In der Literatur werden Hybridbrücken als Verbund von Zähnen und Implantaten zurückhaltend bewertet und sind den Extensionsbrücken vorzuziehen [Pjetursson

und Lang, 2008]. Bezüglich der Wertung von Hybridbrücken zeigt die vorliegende Studie, dass implantatgetragene Brücken jeglicher Länge auch unter Einbeziehung von Zähnen als Pfeiler kein erhöhtes Risiko für den Erfolg der Implantation darstellen.

5.5 Diskussion der klinischen Resultate unter funktionellen Aspekten

5.5.1 Biologische Aspekte der Sofortbelastung

Für eine sofort belastbare Verbindung eines Implantats mit dem ortsständigen Knochen ist eine hohe Primärstabilität durch direkten kraftschlüssigen Kontakt mit kompaktem Knochen erforderlich. Dies ist möglich durch die Nutzung kortikaler Strukturen sowie durch die Dichteerhöhung spongiöser Bereiche mittels Kompression. Ist Raum für eine Einblutung und anschließende, vor Infektionen geschützte, raumstabile Kallusbildung vorhanden, können bereits ab der dritten Woche vom Kallus Lasten aufgenommen werden, was insbesondere bei hoher Osteoklastenaktivität im ortsständigen Knochen einen großen Beitrag zur Gesamtstabilität liefert und auch den Erfolg der Implantation in lokal bestrahlten Regionen ermöglicht [Konstantinović et al., 2010a, Kopp et al., 2010a, Kopp et al., 2010b]. Diese Kallusbildung ist wünschenswert und bedingt durch das Design moderner Implantate, die im apikalen Bereich Einschnitte für diesen Zweck aufweisen. Dieses Vorgehen steht im Gegensatz zu der früheren Empfehlung für einen vollständigen wandständigen Knochenkontakt über die gesamte Implantatoberfläche [Bahat und Sullivan, 2010a].

Die Aktivierung der aus Osteoklasten und Osteoblasten bestehenden sekundären Osteone beginnt bereits während der Manipulation am Knochen durch die Implantation und die Sofortbelastung. Dies führt im Resorptionsbereich (Osteoklasten) der knochenbildenden Zelleinheit aus Osteoklasten und Osteoblasten (BMU, Bone Morphogenetic Unit) zur Resorption von mineralisiertem Knochengewebe, was eine Verminderung der Knochendichte bewirkt. Erst nach sechs Wochen kommt es durch das langsame Voranschreiten der knochenbildenden Zelleinheiten mit ca. 40 µm pro Tag zur Stabilitätserhöhung aufgrund der Osteoblastenaktivität, die zur Remineralisation führt. [Frost, 1990a, Frost, 1990b, Ihde, 2005]. Rubin et al. haben bereits Anfang der 80er Jahre des vergangenen Jahrhunderts belegt, dass wenige Einzellasteinleitungen in den Knochen pro Tag ausreichen, um Atrophien zu vermeiden und höhere

Belastungsfrequenzen zu einer Zunahme der Knochenmenge von bis zu 40% in einem Monat führen können. In der orthopädischen Chirurgie wird dieser Effekt bei stabiler Plattenosteosynthese und physiotherapeutischer Frühbelastung routinemäßig zur Anwendung gebracht [Rubin und Lanyon, 1984].

Kawahara et al. stellen als Grundvoraussetzung für eine dauerhafte Implantatstabilität fest, dass der ständige Knochenanbau den Knochenabbau am Implantat-Knochen-Interface quantitativ übersteigt. Dieser Zustand wird durch okklusale Kräfte aufrechterhalten [Kawahara et al., 2003].

Die räumliche Ausrichtung der BMUs basiert auf druckinduzierten elektrischen Phänomenen [Frost, 1990b, Ihde, 2005]. Das bedeutet, dass die Knochenheilung durch die Funktion kontrolliert wird. Bei unbelastet eingeheilten Implantaten übt dieses im Allgemeinen keinen druckinduzierten Ausrichtungseffekt auf die BMUs aus. Im Gegensatz dazu bedingt die Sofortbelastung dentaler Implantate durch die sofortige funktionelle Lasteinwirkung eine räumliche Ausrichtung der BMUs. Diese Neuausrichtung und über das Maß der physiologischen Umbaurate hinausgehende Aktivierung und Richtungsänderung der BMUs erfolgt bei Extraktion, Augmentation, Implantation und physiologischer prothetischer Belastung. Alle diese ansonsten sequentiell erfolgenden Ereignisse fallen bei sofortbelasteten Implantaten, die unmittelbar in Extraktionswunden inseriert wurden, zeitlich zusammen. Im Anschluss daran kann unabhängig vom Implantatsystem eine Fehlbelastung diesen Prozess auslösen. Daher ist die durch den Zahnersatz bedingte Belastung wesentlich für den Erfolg selbst gedeckt eingeheilter Implantate.

Ausgehend von histometrischen Untersuchungen wird eine weitere Erklärung der Mechanosensitivität des Knochens von Kawahara et al. gegeben [Kawahara et al., 2003]. Die Autoren vermuten einen Genexpressionsmechanismus der osteogenetischen Zellen im Periost und Endost. Bei Zugspannungen auftretende Querkontraktionen bewirken eine Differenzierung dieser Zellen zu Osteoblasten, kompressionsbedingte Querkontraktionen zu Osteoklasten. In eigenen Experimenten ermittelten sie für physiologische Kaukräfte an Implantaten eine vertikale Wandschubspannung bei uniaxialer Lasteinleitung von 0,085 N/mm² mit einer daraus resultierenden Relativverschiebung zum umgebenden Knochengewebe [Kawahara et al., 2003]. Diese Wandschubspannung sinkt proportional zur Oberflächenvergrößerung des enossalen Implantatanteils oder der Implantatanzahl,

weshalb die Gesamtoberfläche von Implantaten, die mit einer prothetischen Suprakonstruktion versehen sind, diese ermittelten Werte für eine dauerhafte Osseointegration nicht übersteigen sollte.
Die Empfehlung von Kawahara et al. bezüglich bikortikaler Verankerung sofortbelasteter Implantate konnte im Rahmen der vorliegenden Studie bei allen basalen und bikortikalen Schraubenimplantaten umgesetzt werden. Die eingesetzten Kompressionsschrauben wurden, wenn möglich in der Länge so gewählt, dass eine Abstützung in der apikalen Kortikalis möglich wurde. Die bukkale bikortikale Verankerung wird aufgrund der direkten kortikalen Lasteinleitung als biomechanisch vorteilhaft gegenüber der unikortikalen beschrieben [Wang et al., 2009].

5.5.2 Besonderheiten des angewendeten Therapiekonzeptes

Multimorbide Patientengruppen, die ein erhöhtes Risiko für Implantatverluste aufweisen, erfordern gesonderte Protokolle. Insbesondere weisen Patienten mit qualitativ wie auch quantitativ reduziertem Knochenangebot eine höhere Implantatverlustrate auf (ca. 25% und höher) [Blomqvist et al., 1996, Becker et al., 2000, Truhlar et al., 2000, Bryant und Zarb, 2002, Rocci et al., 2003]. Krankheiten, Medikationen, angeborene Anodontie, Traumen, Atrophien im Laufe des Alterungsprozesses oder der langjährige Gebrauch von gingival getragenem herausnehmbaren Zahnersatz führen zu diesem in qualitativer und/oder quantitativer Hinsicht ungünstigen Knochenangebot [Klokkevold und Han, 2007, Saxer et al., 2007, Meijer und Cune, 2008, Ihde et al., 2009, Michaeli et al., 2009, Tsolaki et al., 2009]. Ein Mangel an physiologischen Kräften bei Patienten mit teilweisem oder vollständigem Zahnverlust führt häufig zu einem Höhenverlust des Alveolarkamms. Dentale Implantate und ihre physiologische Belastung können, ähnlich wie gesunde Zähne, durch einen günstigen „Stimulationseffekt“ Knochen erhalten und dessen Abbau vermeiden [Balshi et al., 2007].
Bei Patienten mit primär geringem vertikalen Knochenangebot sind für den Einsatz konventioneller krestaler Implantate typischerweise zusätzliche augmentative Maßnahmen erforderlich. Eine Sofortbelastung wird bei diesen Patienten in der Regel als kontraindiziert angesehen [Cochran, 2006]. Obwohl aktuelle Entwicklungen in Bezug auf sehr kurze Implantate (Höhe: mindestens 5 mm bei einem Durchmesser von 5 mm) existieren, sind für krestale Implantate Mindesthöhen an nutzbarem, orts-

ständigem Knochen nach wie vor Voraussetzung. Eine Sofortbelastung kurzer krestaler Implantate (< 5 mm) ist gegenwärtig nicht möglich. Daher werden Knochenaufbaumaßnahmen wie Eigenknochenverpflanzungen, Bonespreading und/oder der Einsatz von Knochenersatzmaterialien notwendig. Lang et al. sehen einen Bedarf hinsichtlich einer primären Augmentation bei 90% aller Implantate [Lang et al., 2007]. In den meisten Fällen führt dies zu einer Einheilungszeit des Augmentats von bis zu sechs Monaten, bevor die eigentlichen Implantatinsertionen erfolgen [Boyne et al., 2005]. Selbst beim sogenannten Teeth-in-an-Hour®-Konzept (Nobel-Biocare) bleibt bei zu geringem Knochenangebot die Mindesteinheilungszeit des Knochenaufbaus von vier Monaten [Kupeyan et al., 2006].

Da basale Implantate transossär in tiefliegenden Knochenarealen verankert werden, bleibt selbst nach Zahnentfernungen mittels Osteotomien meistens genügend ortsständiger Knochen für deren primär stabile Verankerung [Ansel, 2010]. Vor allem durch den routinemäßigen Einsatz von basalen Implantaten konnten in der vorliegenden Studie alle Implantate sofort belastet werden. Die besseren Überlebensraten von 97,8% in der Gruppe der Sofortimplantationen (n = 401) im Vergleich zu Implantaten in ausgeheiltem Knochen (n = 465; Überlebensrate: 95,7%) belegen bei einem adjustierten Hazard Ratio von 0,486 (univariate Cox-Regression) eine Überlegenheit der einzeitigen Durchführung von Extraktion und Implantation. Weiterhin wird durch dieses Vorgehen auf mindestens einen separaten Eingriff verzichtet. Zudem kann die psychisch oft belastende Umstellung auf herausnehmbaren Interimszahnersatz vollständig vermieden werden.

Das Standardverfahren zur Verwendung basaler Implantate sieht einen chirurgischen Eingriff zur möglichen Entfernung zerstörter Zähne, Insertion der Implantate und deren zumindest provisorische funktionelle Belastung vor, wodurch Zeit, Kosten und körperliche Belastungen für die Patienten reduziert werden [Ihde, 1999, Scortecci, 1999, Ihde, 2001, Ihde und Eber, 2004, Kopp, 2007, Kopp et al., 2009a]. Da diese Behandlungen ambulant durchgeführt werden können, sind keine stationären Klinikaufenthalte notwendig.

Auch in der rekonstruktiven Kieferchirurgie einschließlich Gesichtstransplantation werden basale Implantate erfolgreich eingesetzt [Meningaud et al., 2009, Konstantinović et al., 2010b, Konstantinović et al., 2013].

Als Nachteil der Sofortimplantation muss aufgeführt werden, dass Menge und Richtung des Knochenumbaus nicht verlässlich vorhersagbar sind, wodurch Kompromisse bezüglich der Ästhetik auftreten können [Quirynen et al., 2007]. Dies kann in ästhetisch anspruchsvollen Regionen eine zeitgleiche Applikation von Knochenersatzmaterialien und eine längere Tragedauer der provisorischen Suprakonstruktionen erfordern [Kopp et al., 2013b].

5.6 Histologie

Alle Implantate, die der histologischen Untersuchung zugeführt wurden, befanden sich deutlich länger als die unter besonderem Risiko stehenden ersten sechs Monate in situ. Darüber hinaus waren sie funktionell belastet, weshalb von einem abgeschlossenen Einheilungsprozess ausgegangen werden kann.

Die in der Literatur angegebenen BIC-Werte weisen eine hohe Bandbreite auf [Carr et al., 2000, Johnsson et al., 2000, Sykaras et al., 2001, Trisi et al., 2003a, Todisco und Trisi, 2006, Grassi et al., 2007, Orsini et al., 2007, Shibli et al., 2007, Degidi et al., 2009, Gruber et al., 2009, Munoz et al., 2012]. Die in Tierversuchen ermittelten Werte liegen speziesabhängig deutlich unter den Ergebnissen humaner Präparate. Hier ist ein Untersucherbias nicht vollständig auszuschließen, werden doch nur selten sämtliche Histologien im Zusammenhang mit den ermittelten Werten publiziert [Carr et al., 2000, Johnsson et al., 2000, Sykaras et al., 2001, Trisi et al., 2003a, Todisco und Trisi, 2006, Grassi et al., 2007, Orsini et al., 2007, Shibli et al., 2007, Coelho et al., 2009, Degidi et al., 2009, Gruber et al., 2009, Munoz et al., 2012] (Tab. 8).

Autoren	Publikationsjahr	Spezies	Kontrollperiode	BIC [%]
Johnsson et al.	2000	Kaninchen	8 Wochen	5,0 - 36,0
Sykaras et al.	2001	Foxhound (Hund)	8 - 12 Wochen	7,22 - 43,8
Munoz et al.	2009	Beagle (Hund)	2 - 8 Wochen	25 - 34,2
Gruber et al.	2009	Minischwein	4 Wochen	7,8 - 41,9
Carr et al.	2000	Primat	6 Monate	50,8 - 60,8
Degidi et al.	2009	human	5 Wochen	46,7 - 57,4
Degidi et al.	2009	human	4 - 8 Wochen	54,7 - 75,9
Orsini et al.	2007	human	2 Monate	4,8 - 50,7
Grassi et al.	2007	human	2 Monate	5,46 - 49,9
Shibli et al.	2007	human	2 Monate	8,7 - 54,8
Trisi et al.	2003	human	2 Monate	19 - 47,8
Todisco et al.	2006	human	8 Monate	41,5 - 94,1
Coelho et al.	2009	human	8 - 13 Jahre	20 - 80

Tab. 8 Literaturübersicht zum Knochen-Implantat-Kontakt (BIC)

Bereits 1991 wurde die prozentuale BIC-Untergrenze von 50% als notwendige Voraussetzung für den Langzeiterfolg dentaler Implantate postuliert [Trisi et al., 2003b, Trisi et al., 2003a]. Sämtliche Implantate von 46% der o.g. Studien und viele der restlichen Studien erreichen diesen Wert nicht. Allein die Studie von Coelho et al. (2009), in der Implantate nach acht bis 13 Jahren funktioneller Belastung nur aufgrund einer prothetischen Indikation entnommen werden mussten, belegt, dass Implantate aus klinischer Sicht ausreichend osseointegriert sind, wenn der geforderte BIC-Wert von 50% nicht erreicht wird [Coelho et al., 2009]. Die von den Autoren angegebene Streuung von 60% bezüglich des BIC muss als physiologische Streubreite im humanen Knochen betrachtet werden. Allein diese Streuung relativiert sämtliche in den weiteren in Tab. 8 genannten Studien gefundenen Vorteile unterschiedlichster Einflussfaktoren. Gleiches ist in den eigenen Ergebnissen zu finden. Bei Betrachtung des Einflusses der Oberflächenstruktur waren bei einem Explantat mit maschinierter Oberfläche (Explantat 1) bis 40% höhere BIC-Werte als bei einem Implantat mit sandgestrahlter Oberfläche (Explantat 5) zu finden, wobei die Implantate in den beiden Proben mit Ausnahme der Oberflächenbeschaffenheit baugleich sind. Dieser Unterschied ist wesentlich höher als der in der Literatur gefundene, wobei jedoch im Schrifttum mehrheitlich der maschinierten Oberfläche geringere Werte zugeordnet werden. In der eigenen Studie wird die Streuung des BIC-Wertes einer Probe an Explantat 3 deutlich. Hier lagen die BIC-Werte zwischen 60% und 79%, was einer Abweichung von 25% zueinander gleichkommt. Diese allein durch die Lage der Schnitt-

ebene bedingte Abweichung befindet sich deutlich über den als statistisch signifikant angegebenen Unterschieden von wenigstens fünf o.g. Studien. Somit ist die Festlegung der Schnittebene ein wichtiger und ergebnisbeeinflussender Faktor bei Histomorphometrien, woraus differierende Aussagen resultieren können, wie am oben beschriebenen Beispiel in Bezug auf die Oberflächenstruktur deutlich wird. Der BIC unterliegt nach aktueller Definition der Osseointegration dynamischen Veränderungen. Diese können lastabhängig sogar zu einer Ossifikation fibröser Strukturen und umgekehrt führen, was sowohl der klinischen Beobachtung als auch experimentellen Nachweisen entspricht [Kawahara et al., 2003, Ihde, 2008a].

Weitere Faktoren, die neben dem BIC zur Anwendung kommen, sind die Flächen Threated Area (TA) und Mirrowed Area (MA). Diese können zwar aufgrund abweichenden Designs nicht für die hier untersuchten basalen Implantate angegeben werden, jedoch zeigte das krestale Präparat von Patient 5 eine deutliche Knochendichteabnahme etwa 100 µm entfernt vom Implantat, das großflächig knöchern bedeckt ist. Dies entspricht einem räumlichen Verteilungsgradienten der Knochendichte, der analog bei basalen Implantaten festgestellt wurde. Dieser Prozess stellt eine physiologische Optimierung nativen Knochens dar [Kopp, 2010c]. Der Verringerung von BIC, TA und MA kann nur, wie Todisco et al. gezeigt haben, mittels nicht resorbierbarer Augmentate umgangen werden [Todisco und Trisi, 2006]. Zielt eine Studie also auf hohe Werte für BIC, TA und MA ab, sollten native Strukturen durch nichtresorbierbare Knochenersatzmaterialien hoher Dichte ausgetauscht werden. Ob dies jedoch zu physiologisch günstigen Verhältnissen führt, bleibt fraglich.

Bei kortikaler Implantatverankerung ist in der eigenen Studie in kortikalen Bereichen neben der höheren Knochendichte ein größerer BIC feststellbar (bis 100%).

Die Wertigkeit des BIC wird von Testori et al. übereinstimmend mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie wie folgt eingeordnet: „Auch der Zusammenhang (sofern dieser existiert) zwischen BIC und Implantatstabilität wurde noch nicht definiert. Implantatstabilität entsteht durch die Verankerung des Implantats in der Kortikalis und wird eher von der Makrogeometrie des Implantats beeinflusst (z.B. durch ein Schraubengewinde, das die Retention in dichter Kortikalis verbessert) als von seiner Oberflächenkonfiguration.“ [Testori et al., 2013]. Dieses Prinzip der maximalen kortikalen Verankerung wurde in der eigenen Studie durch die Wahl der Implantattypen konsequent verfolgt.

5.7 Schlussfolgerungen

- Das prothetische Konzept und seine Umsetzung bestimmen signifikant den Erfolg einer implantatbasierten prothetischen Rehabilitation. Daher kommt der prothetischen Planung einschließlich der unmittelbar erfolgenden Verblockung der Implantate eine wesentliche Bedeutung für eine erfolgreiche implantat-assoziierte Therapie zu.
- Die vorliegenden Ergebnisse belegen eine hohe Erfolgsrate für sofortbelastete Implantate und des darauf verankerten Zahnersatzes. Patienten können auf diese Weise eine zeitnahe, schnelle und minimalinvasive Versorgung erhalten.
- Der Einsatz spezifischer Implantatdesigns unter Berücksichtigung des lokal vorhandenen ortsständigen Knochens kann vorausgehende augmentierende Maßnahmen, die der alleinigen Schaffung eines Implantatbetts dienen, vermeiden.
- Basale Implantate stellen durch ihr spezielles Verankerungsprinzip eine Indikationserweiterung dentaler Implantate dar und weisen eine gute Erfolgsrate auf.
- Das Verlustrisiko aller untersuchten Implantattypen sinkt signifikant nach dem ersten Halbjahr funktioneller Nutzung. In dieser ersten Phase ist neben der Infektionsvermeidung die prothetische Nachsorge, insbesondere die Adjustierung der okklusalen Verhältnisse für den Erfolg der Therapie entscheidend.
- Einteilige Implantate wiesen signifikant die besten Ergebnisse auf.
- Patientengeschlecht, Patientenalter, die Kieferregion sowie Implantatdesign und –länge wurden als Faktoren ohne signifikanten Einfluss auf den Therapieerfolg identifiziert.
- Als einziger signifikanter patientenimmanenter Faktor bezüglich der implantologischen Erfolgsrate wurde der Parameter „Kiefer“ (Oberkiefer vs. Unterkiefer) ermittelt. Es ergab sich ein höheres Verlustrisiko bei einer Implantation im Oberkiefer. Dieser Tatsache kann mit einer entsprechenden Wahl des Implantattyps und Erhöhung der Implantatanzahl begegnet werden.

- Die zufällige oder bewusste Wahl der Schnittebene eines Knochen-Implantat-Blocks hat einen Einfluss auf den BIC-Wert. Zur besseren Vergleichbarkeit des BIC-Werts sollte eine Normierung der Schnittebene etabliert werden.
- Eine Entwicklung von patientenindividuellen, sofortbelastbaren, transgingivalen Implantaten, die auch bei geringem Knochenangebot eingesetzt werden können, ist anzustreben und sollte Gegenstand weiterer Forschung sein.

6 Zusammenfassung

- Zielstellung

Das wesentliche Ziel der vorliegenden retrospektiven Studie bestand darin, den Einfluss der prothetischen Suprakonstruktion bei Sofortimplantation und Sofortbelastung der Implantate auf den Gesamterfolg dentaler implantatbasierter Suprakonstruktionen zu bewerten.

- Material und Methoden

Vom Autor wurden 195 Patienten im Alter zwischen 16 und 80 Jahren im Zeitraum zwischen Mai 2003 und Juni 2010 konsekutiv implantologisch und prothetisch behandelt. Sie erhielten 310 prothetische Suprakonstruktionen auf 896 sofortbelasteten Implantaten. Einsatz fanden drei für die Sofortbelastung geeignete und zugelassene Implantatformen (KOS® (n = 82), BCS® (n = 118), BOI® (n = 696); Biomed, Vaduz, Liechtenstein). Mögliche Risikofaktoren (Patientengeschlecht, Patientenalter, Kiefer, Kieferregion, Sofortimplantation, Implantatdesign, Implantatlänge, Implantat-Abutmentverbindung, Art der prothetischen Suprakonstruktion, Funktionsperiode) wurden systematisch erfasst und einer statistischen Datenanalyse unterzogen (IBM® SPSS® Statistics Version 20 (IBM, Armonk, New York, USA)).

Die Beschreibung der quantitativen Merkmale erfolgte durch Mittelwert [$\bar{x}$], Standardabweichung [s], Median [M], Minimum [x_{min}], Maximum [x_{max}], Spannweite [R] und Anzahl der verfügbaren Observationen [n]. Absolute und prozentuale Häufigkeit repräsentieren die einzelnen Ausprägungen der qualitativen Merkmale. Die Berechnung und Darstellung der Überlebensfunktionen folgte mittels der Kaplan-Meier-Methode. Zur Ermittlung von Einflussfaktoren wurden univariate und multivariate Cox-Regressionsanalysen durchgeführt. Alle p-Werte sind das Resultat zweiseitiger statistischer Tests. Prinzipiell wird im multivariaten Modell $p \leq 0{,}05$ als statistisch signifikant angesehen.

Proben humanen Knochens mit frakturierten osseointegrierten Implantaten (Funktionsperiode: 37 ± 16,6 Monate, x_{min} = 13, x_{max} = 61) konnten von 6 Patienten gewonnen werden. Diese Explantate wurden präpariert, dehydriert und mit Kunststoff infiltriert. Unentkalkte Knochenschnitte (n = 15, Dicke: ca. 20 µm) resultierten aus der Anwendung der Dünnschlifftechnik nach Donath. Der Knochen-Implantat-Kontakt (BIC) wurde histomorphometrisch bestimmt.

Aus den ermittelten Werten der Explantate erfolgte die Bildung von sechs maximal auseinanderliegenden Paaren und deren Signifikanzprüfung mittels *t*-Test für abhängige Stichproben.

- Ergebnisse

Die mittlere Kontrollzeit der Implantate betrug 27,5 Monate, deren Gesamterfolgsrate am Ende des Beobachtungszeitraums bei 96,7% lag. Bei der multivariaten Cox-Regression ergaben sich signifikante Ergebnisse ($p < 0,05$) für die Einflussfaktoren Kiefer ($p = 0,026$), Implantat-Abutmentverbindung ($p < 0,001$), prothetische Suprakonstruktion ($p < 0,001$), und Funktionsperiode ($p < 0,001$). Die Parameter Patientengeschlecht, -alter, Kieferregion, Implantatdesign und –länge hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Therapieerfolg. Implantate, die in frische Extraktionsalveolen inseriert wurden, wiesen ein reduziertes Hazard Ratio von 0,483 gegenüber Implantaten auf, die in ausgeheilten Knochen eingebracht wurden. Dieser Einfluss wurde bei der univariaten Analyse als signifikant ($p = 0,040$), bei der multivariaten Cox-Regression als nicht signifikant ($p = 0,085$) eingestuft.
Einteilige Implantate wiesen signifikant bessere Ergebnisse im Vergleich zu Implantaten mit verschraubten Abutments auf.
Es ergab sich ein arithmetisches Mittel der Differenzen im Knochen-Implantat-Kontakt (BIC) von 11,69 ± 9,79%. Der durchgeführte zweiseitige *t*-Test ergab mit $p = 0,033$ einen signifikanten Unterschied.

- Schlussfolgerungen

Das prothetische Konzept und seine Umsetzung bestimmen signifikant den Erfolg einer implantatbasierten prothetischen Rehabilitation. Einteilige Implantate wiesen signifikant die besten Ergebnisse auf. Patientengeschlecht, Patientenalter, die Kieferregion sowie Implantatdesign und –länge wurden als Faktoren ohne signifikanten Einfluss auf den Therapieerfolg identifiziert.
Die zufällige oder bewusste Wahl der Schnittebene beeinflusst signifikant den BIC.
Eine Entwicklung von patientenindividuellen, sofortbelastbaren Implantaten, die auch bei geringem Knochenangebot eingesetzt werden können, ist anzustreben und sollte Gegenstand weiterer Forschung sein.

7 Literatur

ABRAHAMSSON, I., BERGLUNDH, T., WENNSTRÖM, J. & LINDHE, J. 1996. The peri-implant hard and soft tissues at different implant systems. A comparative study in the dog. *Clin Oral Implants Res,* 7, 3, 212-9

ABTAHI, J., TENGVALL, P. & ASPENBERG, P. 2010. Bisphosphonate coating might improve fixation of dental implants in the maxilla: a pilot study. *Int J Oral Maxillofac Surg,* 39, 7, 673-7

AKAGAWA, Y., ICHIKAWA, Y., NIKAI, H. & TSURU, H. 1993. Interface histology of unloaded and early loaded partially stabilized zirconia endosseous implant in initial bone healing. *J Prosthet Dent,* 69, 6, 599-604

ALBREKTSSON, T., BRÅNEMARK, P. I., HANSSON, H. A. & LINDSTRÖM, J. 1981. Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. *Acta Orthop Scand,* 52, 2, 155-70

ALBREKTSSON, T., ZARB, G., WORTHINGTON, P. & ERIKSSON, A. R. 1986. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 1, 1, 11-25

ALBREKTSSON, T., DAHL, E., ENBOM, L., ENGEVALL, S., ENGQUIST, B., ERIKSSON, A. R., FELDMANN, G., FREIBERG, N., GLANTZ, P. O. & KJELLMAN, O. 1988. Osseointegrated oral implants. A Swedish multicenter study of 8139 consecutively inserted Nobelpharma implants. *J Periodontol,* 59, 5, 287-96

ALBREKTSSON, T. & SENNERBY, L. 1991. State of the art in oral implants. *J Clin Periodontol,* 18, 6, 474-81

ANSEL, A. 2010. Atrophies maxillaries et technique diskimplant implantologie basale: "mode d'emploi". *CMF Impl Dir,* 4, 2, 48-62

APARICIO, C., RANGERT, B. & SENNERBY, L. 2003. Immediate/early loading of dental implants: a report from the Sociedad Espanola de Implantes World Congress consensus meeting in Barcelona, Spain, 2002. *Clin Implant Dent Relat Res,* 5, 1, 57-60

ASHMAN, A. 1990. An immediate tooth root replacement: an implant cylinder and synthetic bone combination. *J Oral Implantol,* 16, 1, 28-38

ATTARD, N. J. & ZARB, G. A. 2005. Immediate and early implant loading protocols: a literature review of clinical studies. *J Prosthet Dent,* 94, 3, 242-58

AVILA, G., GALINDO, P., RIOS, H. & WANG, H. L. 2007. Immediate implant loading: current status from available literature. *Implant Dent,* 16, 3, 235-45

BABBUSH, C. A. 1986. Titanium plasma spray screw implant system for reconstruction of the edentulous mandible. *Dent Clin North Am,* 30, 1, 117-31

BAHAT, O. & SULLIVAN, R. M. 2010a. Parameters for successful implant integration revisited part I: immediate loading considered in light of the original prerequisites for osseointegration. *Clin Implant Dent Relat Res,* 12 Suppl 1, 2-12

BAHAT, O. & SULLIVAN, R. M. 2010b. Parameters for successful implant integration revisited part II: algorithm for immediate loading diagnostic factors. *Clin Implant Dent Relat Res,* 12 Suppl 1, 13-22

BALSHI, S. F., WOLFINGER, G. J. & BALSHI, T. J. 2007. A retrospective analysis of 44 implants with no rotational primary stability used for fixed prosthesis anchorage. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 22, 3, 467-71

BECKER, W., HUJOEL, P. P., BECKER, B. E. & WILLINGHAM, H. 2000. Osteoporosis and implant failure: an exploratory case-control study. *J Periodontol,* 71, 4, 625-31

BEHR, M., LANG, R., LEIBROCK, A., ROSENTRITT, M. & HANDEL, G. 1998. Complication rate with prosthodontic reconstructions on ITI and IMZ dental implants. Internationales Team für Implantologie. *Clin Oral Implants Res,* 9, 1, 51-8

BEHREND, D., WARKENTIN, M., SPECHT, O., SCHMIDT, W., ROSENTRITT, M. & OTTL, P. 2011. Materialographical Investigations of Dental Materials. *Practical Metallography* 48, 1-9

BERGENDAL, B. 2008. When should we extract deciduous teeth and place implants in young individuals with tooth agenesis? *J Oral Rehabil,* 35 Suppl 1, 55-63

BILHAN, H., SONMEZ, E., MUMCU, E. & BILGIN, T. 2009. Immediate loading: three cases with up to 38 months of clinical follow-up. *J Oral Implantol,* 35, 2, 75-81

BLANES, R. J., BERNARD, J. P., BLANES, Z. M. & BELSER, U. C. 2007. A 10-year prospective study of ITI dental implants placed in the posterior region. I: Clinical and radiographic results. *Clin Oral Implants Res,* 18, 6, 699-706

BLOMQVIST, J. E., ALBERIUS, P., ISAKSSON, S., LINDE, A. & HANSSON, B. G. 1996. Factors in implant integration failure after bone grafting: an osteometric and endocrinologic matched analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg,* 25, 1, 63-8

BORNSTEIN, M. M., HART, C. N., HALBRITTER, S. A., MORTON, D. & BUSER, D. 2009. Early Loading of Nonsubmerged Titanium Implants with a Chemically Modified Sand-Blasted and Acid-Etched Surface: 6-Month Results of a Prospective Case Series Study in the Posterior Mandible Focusing on Peri-Implant Crestal Bone Changes and Implant Stability Quotient (ISQ) Values. *Clin Implant Dent Relat Res,* 11, 4, 338-347

BOYNE, P. J., LILLY, L. C., MARX, R. E., MOY, P. K., NEVINS, M., SPAGNOLI, D. B. & TRIPLETT, R. G. 2005. De novo bone induction by recombinant human bone morphogenetic protein-2 (rhBMP-2) in maxillary sinus floor augmentation. *J Oral Maxillofac Surg,* 63, 12, 1693-707

BRÅNEMARK, P. I., HANSSON, B. O., ADELL, R., BREINE, U., LINDSTRÖM, J., HALLÉN, O. & OHMAN, A. 1977. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Scand J Plast Reconstr Surg Suppl,* 16, 1-132

BRÅNEMARK, P. I. 1983. Osseointegration and its experimental background. *J Prosthet Dent,* 50, 3, 399-410

BRIEM, D., STRAMETZ, S., SCHRÖDER, K., MEENEN, N. M., LEHMANN, W., LINHART, W., OHL, A. & RUEGER, J. M. 2005. Response of primary fibroblasts and osteoblasts to plasma treated polyetheretherketone (PEEK) surfaces. *J Mater Sci Mater Med,* 16, 7, 671-7

BRUNSKI, J. B. 1992. Biomechanical factors affecting the bone-dental implant interface. *Clin Mater,* 10, 3, 153-201

BRUNSKI, J. B. 1993. Avoid pitfalls of overloading and micromotion of intraosseous implants. *Dent Implantol Update,* 4, 10, 77-81

BRUNSKI, J. B., PULEO, D. A. & NANCI, A. 2000. Biomaterials and biomechanics of oral and maxillofacial implants: current status and future developments. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 15, 1, 15-46

BRYANT, S. R. & ZARB, G. A. 2002. Outcomes of implant prosthodontic treatment in older adults. *J Can Dent Assoc,* 68, 2, 97-102

BRYANT, S. R., MACDONALD-JANKOWSKI, D. & KIM, K. 2007. Does the type of implant prosthesis affect outcomes for the completely edentulous arch? *Int J Oral Maxillofac Implants,* 22 Suppl, 117-39

BUDTZ-JØRGENSEN, E. 1981. Oral mucosal lesions associated with the wearing of removable dentures. *J Oral Pathol,* 10, 2, 65-80

CAMERON, H. U., PILLIAR, R. M. & MACNAB, I. 1973. The effect of movement on the bonding of porous metal to bone. *J Biomed Mater Res,* 7, 4, 301-11

CANNIZZARO, G. & LEONE, M. 2003. Restoration of partially edentulous patients using dental implants with a microtextured surface: a prospective comparison of delayed and immediate full occlusal loading. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 18, 4, 512-22

CANNIZZARO, G., LEONE, M., FERRI, V., VIOLA, P., FEDERICO, G. & ESPOSITO, M. 2012. Immediate loading of single implants inserted flapless with medium or high insertion torque: a 6-month follow-up of a split-mouth randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol,* 5, 4, 333-42

CARLSSON, G. E. & OMAR, R. 2010. The future of complete dentures in oral rehabilitation. A critical review. *J Oral Rehabil,* 37, 2, 143-56

CARR, A. B., GERARD, D. A. & LARSEN, P. E. 2000. Histomorphometric analysis of implant anchorage for 3 types of dental implants following 6 months of healing in baboon jaws. *Int J oral maxillofac implants,* 15, 6, 785-91

CAVALCANTI, R., OREGLIA, F., MANFREDONIA, M. F., GIANSERRA, R. & ESPOSITO, M. 2011. The influence of smoking on the survival of dental implants: a 5-year pragmatic multicentre retrospective cohort study of 1727 patients. *Eur J Oral Implantol,* 4, 1, 39-45

CHEN, S. T., WILSON, T. G., JR. & HÄMMERLE, C. H. 2004. Immediate or early placement of implants following tooth extraction: review of biologic basis, clinical procedures, and outcomes. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 19 Suppl, 12-25

CHIAPASCO, M. 2004. Early and immediate restoration and loading of implants in completely edentulous patients. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 19 Suppl, 76-91

COCHRAN, D. L., MORTON, D. & WEBER, H. P. 2004. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding loading protocols for endosseous dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 19 Suppl, 109-13

COCHRAN, D. L. 2006. The evidence for immediate loading of implants. *J Evid Based Dent Pract,* 6, 2, 155-63

COELHO, P. G., CARDAROPOLI, G., SUZUKI, M. & LEMONS, J. E. 2009. Early healing of nanothickness bioceramic coatings on dental implants. An experimental study in dogs. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater,* 88, 2, 387-93

COOPER, L. F., RAHMAN, A., MORIARTY, J., CHAFFEE, N. & SACCO, D. 2002. Immediate mandibular rehabilitation with endosseous implants: simultaneous extraction, implant placement, and loading. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 17, 4, 517-25

CORSO, M., SIROTA, C., FIORELLINI, J., RASOOL, F., SZMUKLER-MONCLER, S. & WEBER, H. P. 1999. Clinical and radiographic evaluation of early loaded free-standing dental implants with various coatings in beagle dogs. *J Prosthet Dent,* 82, 4, 428-35

COVANI, U., MARCONCINI, S., GALASSINI, G., CORNELINI, R., SANTINI, S. & BARONE, A. 2007. Connective tissue graft used as a biologic barrier to cover an immediate implant. *J Periodontol,* 78, 8, 1644-9

DAVO, R., MALEVEZ, C., ROJAS, J., RODRIGUEZ, J. & REGOLF, J. 2008. Clinical outcome of 42 patients treated with 81 immediately loaded zygomatic implants: a 12- to 42-month retrospective study. *Eur J Oral Implantol,* 1, 2, 141-50

DAVO, R. 2009. Zygomatic implants placed with a two-stage procedure: a 5-year retrospective study. *Eur J Oral Implantol,* 2, 2, 115-24

DAVO, R., PONS, O., ROJAS, J. & CARPIO, E. 2010. Immediate function of four zygomatic implants: a 1-year report of a prospective study. *Eur J Oral Implantol,* 3, 4, 323-34

DAVO, R., MALEVEZ, C. & PONS, O. 2013. Immediately loaded zygomatic implants: a 5-year prospective study. *Eur J Oral Implantol,* 6, 1, 39-47

DEGIDI, M., PERROTTI, V., STROCCHI, R., PIATTELLI, A. & IEZZI, G. 2009. Is insertion torque correlated to bone-implant contact percentage in the early healing period? A histological and histomorphometrical evaluation of 17 human-retrieved dental implants. *Clin Oral Implants Res,* 20, 8, 778-81

DEPORTER, D. A., WATSON, P. A., PILLIAR, R. M., MELCHER, A. H., WINSLOW, J., HOWLEY, T. P., HANSEL, P., MANIATOPOULOS, C., RODRIGUEZ, A., ABDULLA, D. & ET AL. 1986. A histological assessment of the initial healing response adjacent to porous-surfaced, titanium alloy dental implants in dogs. *J Dent Res,* 65, 8, 1064-70

DONATH, K. & BREUNER, G. 1982. A method for the study of undecalcified bones and teeth with attached soft tissues. The Sage-Schliff (sawing and grinding) technique. *J Oral Pathol,* 11, 4, 318-26

DONSIMONI, J. M., DOHAN, A., GABRIELEFF, P. & DOHAN, D. 2004. Les implants maxillofaciaux à plateaux d`assise; Concepts et technologies orthopediques, rehabilitations maxillomandibulaires, reconstructions maxillo-faciales, rehabilitations dentaires partielles, techniques de reintervention, meta-analyse. 6e partie: une meta-analyse? *Implantodontie,* 13, 4, 217-28

DUCHEYNE, P., DE MEESTER, P. & AERNOUDT, E. 1977. Influence of a functional dynamic loading on bone ingrowth into surface pores of orthopedic implants. *J Biomed Mater Res,* 11, 6, 811-38

EKFELDT, A., JOHANSSON, L. A. & ISAKSSON, S. 1997. Implant-supported overdenture therapy: a retrospective study. *Int J Prosthodont,* 10, 4, 366-74

ELIASSON, A., BLOMQVIST, F., WENNERBERG, A. & JOHANSSON, A. 2009. A retrospective analysis of early and delayed loading of full-arch mandibular prostheses using three different implant systems: clinical results with up to 5 years of loading. *Clin Implant Dent Relat Res,* 11, 2, 134-48

ESPOSITO, M., PELLEGRINO, G., PISTILLI, R. & FELICE, P. 2011a. Rehabilitation of postrior atrophic edentulous jaws: prostheses supported by 5 mm short implants or by longer implants in augmented bone? One-year results from a pilot randomised clinical trial. *Eur J Oral Implantol,* 4, 1, 21-30

ESPOSITO, M., CANNIZARRO, G., SOARDI, E., PELLEGRINO, G., PISTILLI, R. & FELICE, P. 2011b. A 3-year post-loading report of a randomised controlled trial on the rehabilitation of posterior atrophic mandibles: short implants or longer implants in vertically augmented bone? *Eur J Oral Implantol,* 4, 4, 301-11

FEINE, J. S., CARLSSON, G. E., AWAD, M. A., CHEHADE, A., DUNCAN, W. J., GIZANI, S., HEAD, T., HEYDECKE, G., LUND, J. P., MACENTEE, M.,

MERICSKE-STERN, R., MOJON, P., MORAIS, J. A., NAERT, I., PAYNE, A. G., PENROD, J., STOKER, G. T., TAWSE-SMITH, A., TAYLOR, T. D., THOMASON, J. M., THOMSON, W. M. & WISMEIJER, D. 2002a. The McGill consensus statement on overdentures. Mandibular two-implant overdentures as first choice standard of care for edentulous patients. *Gerodontology,* 19, 1, 3-4

FEINE, J. S., CARLSSON, G. E., AWAD, M. A., CHEHADE, A., DUNCAN, W. J., GIZANI, S., HEAD, T., LUND, J. P., MACENTEE, M., MERICSKE-STERN, R., MOJON, P., MORAIS, J., NAERT, I., PAYNE, A. G., PENROD, J., STOKER, G. T., JR., TAWSE-SMITH, A., TAYLOR, T. D., THOMASON, J. M., THOMSON, W. M. & WISMEIJER, D. 2002b. The McGill Consensus Statement on Overdentures. Montreal, Quebec, Canada. May 24-25, 2002. *Int J Prosthodont,* 15, 4, 413-4

FEINE, J. S., CARLSSON, G. E., AWAD, M. A., CHEHADE, A., DUNCAN, W. J., GIZANI, S., HEAD, T., LUND, J. P., MACENTEE, M., MERICSKE-STERN, R., MOJON, P., MORAIS, J., NAERT, I., PAYNE, A. G., PENROD, J., STOKER, G. T., TAWSE-SMITH, A., TAYLOR, T. D., THOMASON, J. M., THOMSON, W. M. & WISMEIJER, D. 2002c. The McGill consensus statement on overdentures. Mandibular two-implant overdentures as first choice standard of care for edentulous patients. Montreal, Quebec, May 24-25, 2002. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 17, 4, 601-2

FELICE, P., SOARDI, E., PIATTELLI, M., PISTILLI, R., JACOTTI, M. & ESPOSITO, M. 2011. Immediate non-occlusal loading of immediate post-extractive versus delayed placement of single implants in preserved sockets of the anterior maxilla: 4-month post-loading results from a pragmatic multicentre randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol,* 4, 4, 329-44

FERGUSON, S. J., BROGGINI, N., WIELAND, M., DE WILD, M., RUPP, F., GEIS-GERSTORFER, J., COCHRAN, D. L. & BUSER, D. 2006. Biomechanical evaluation of the interfacial strength of a chemically modified sandblasted and acid-etched titanium surface. *Journal of biomedical materials research. Part A,* 78, 2, 291-7

FISCHER, K. & STENBERG, T. 2004. Early loading of ITI implants supporting a maxillary full-arch prosthesis: 1-year data of a prospective, randomized study. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 19, 3, 374-81

FISCHER, K. & STENBERG, T. 2006. Three-year data from a randomizd, controlled study of early loading of single-stage dental implants supporting maxillary full-arch prostheses. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 21, 2, 245-52

FISCHER, K., STENBERG, T., HEDIN, M. & SENNERBY, L. 2008. Five-year results from a randomized, controlled trial on early and delayed loading of implants supporting full-arch prosthesis in the edentulous maxilla. *Clin Oral Implants Res,* 19, 5, 433-41

FRIBERG, B., SENNERBY, L., GRÖNDAHL, K., BERGSTRÖM, C., BÄCK, T. & LEKHOLM, U. 1999a. On cutting torque measurements during implant placement: a 3-year clinical prospective study. *Clin Implant Dent Relat Res,* 1, 2, 75-83

FRIBERG, B., SENNERBY, L., MEREDITH, N. & LEKHOLM, U. 1999b. A comparison between cutting torque and resonance frequency measurements of maxillary implants. A 20-month clinical study. *Int J Oral Maxillofac Surg,* 28, 4, 297-303

FROBERG, K. K., LINDH, C. & ERICSSON, I. 2006. Immediate loading of Branemark System Implants: a comparison between TiUnite and turned implants placed in the anterior mandible. *Clin Implant Dent Relat Res,* 8, 4, 187-97

FROST, H. M. 1990a. Skeletal structural adaptations to mechanical usage (SATMU): 1. Redefining Wolff's law: the bone modeling problem. *Anat Rec,* 226, 4, 403-13

FROST, H. M. 1990b. Skeletal structural adaptations to mechanical usage (SATMU): 2. Redefining Wolff's law: the remodeling problem. *Anat Rec,* 226, 4, 414-22

GALLI, F., CAPELLI, M., ZUFFETTI, F., TESTORI, T. & ESPOSITO, M. 2008. Immediate non-occlusal vs. early loading of dental implants in partially edentulous patients: a multicentre randomized clinical trial. Peri-implant bone and soft-tissue levels. *Clin Oral Implants Res,* 19, 6, 546-52

GANELES, J., ZÖLLNER, A., JACKOWSKI, J., TEN BRUGGENKATE, C., BEAGLE, J. & GUERRA, F. 2008. Immediate and early loading of Straumann implants

with a chemically modified surface (SLActive) in the posterior mandible and maxilla: 1-year results from a prospective multicenter study. *Clin Oral Implants Res,* 19, 11, 1119-28

GAPSKI, R., WANG, H. L., MASCARENHAS, P. & LANG, N. P. 2003. Critical review of immediate implant loading. *Clin Oral Implants Res,* 14, 5, 515-27

GARBER, D. A., SALAMA, M. A. & SALAMA, H. 2001. Immediate total tooth replacement. *Compend Contin Educ Dent,* 22, 3, 210-6, 218

GILLOT, L., NOHARET, R., BUTI, J. & CANNAS, B. 2011. A retrospective cohort study of 105 patients rehabilitated with immediately loaded mandibular cross-arch bridges in combination with immediate implant placement. *Eur J Oral Implantol,* 4, 3, 247-53

GITTENS, R. A., OLIVARES-NAVARRETE, R., CHENG, A., ANDERSON, D. M., MCLACHLAN, T., STEPHAN, I., GEIS-GERSTORFER, J., SANDHAGE, K. H., FEDOROV, A. G., RUPP, F., BOYAN, B. D., TANNENBAUM, R. & SCHWARTZ, Z. 2013. The roles of titanium surface micro/nanotopography and wettability on the differential response of human osteoblast lineage cells. *Acta biomaterialia,* 9, 4, 6268-77

GOKCEN-ROHLIG, B., YALTIRIK, M., OZER, S., TUNCER, E. D. & EVLIOGLU, G. 2009. Survival and Success of ITI Implants and Prostheses: Retrospective Study of Cases with 5-Year Follow-Up. *Eur J Dent,* 3, 1, 42-9

GOLDMANN, T., IHDE, S., KUZELKA, J. & HIMMLOVA, L. 2008. Bendable vs. angulated dental implants: consideration of elastic and plastic material properties based on experimental implant material data and FEA. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub,* 152, 2, 309-16

GOTFREDSEN, K., CARLSSON, G. E., JOKSTAD, A., ARVIDSON FYRBERG, K., BERGE, M., BERGENDAL, B., BERGENDAL, T., ELLINGSEN, J. E., GUNNE, J., HOFGREN, M., HOLM, B., ISIDOR, F., KARLSSON, S., KLEMETTI, E., LANG, N. P., LINDH, T., MIDTBO, M., MOLIN, M., NARHI, T., NILNER, K., OWALL, B., PJETURSSON, B., SAXEGAARD, E., SCHOU, S., STOKHOLM, R., THILANDER, B., TOMASI, C. & WENNERBERG, A. 2008. Implants and/or teeth: consensus statements and recommendations. *J Oral Rehabil,* 35 Suppl 1, 2-8

GRANDI, T., GUAZZI, P., SAMARANI, R. & GRANDI, G. 2012. Immediate loading of four (all-on-4) post-extractive implants supporting mandibular cross-arch fixed prostheses: 18-month follow-up from a multicentre prospective cohort study. *Eur J Oral Implantol,* 5, 3, 277-85

GRANSTRÖM, G., GRÖNDAHL, H. G. & TJELLSTRÖM, A. 2009. Sleeping Implant in the Temporal Bone: Report of a Case with 20-Year Follow-Up. *Clin Implant Dent Relat Res,* 14, 2, 236-40

GRASSI, S., PIATTELLI, A., FERRARI, D. S., FIGUEIREDO, L. C., FERES, M., IEZZI, G. & SHIBLI, J. A. 2007. Histologic evaluation of human bone integration on machined and sandblasted acid-etched titanium surfaces in type IV bone. *J Oral implantol,* 33, 1, 8-12

GREENSTEIN, G., CAVALLARO, J., ROMANOS, G. & TARNOW, D. 2008. Clinical recommendations for avoiding and managing surgical complications associated with implant dentistry: a review. *J Periodontol,* 79, 8, 1317-29

GRUBER, R. M., LUDWIG, A., MERTEN, H. A., PIPPIG, S., KRAMER, F. J. & SCHLIEPHAKE, H. 2009. Sinus floor augmentation with recombinant human growth and differentiation factor-5 (rhGDF-5): a pilot study in the Goettingen miniature pig comparing autogenous bone and rhGDF-5. *Clin Oral Implants Res,* 20, 2, 175-82

HANASONO, M. M., GOEL, N. & DEMONTE, F. 2009. Calvarial reconstruction with polyetheretherketone implants. *Ann Plast Surg,* 62, 6, 653-5

HASHIMOTO, M., AKAGAWA, Y., NIKAI, H. & TSURU, H. 1988. Single-crystal sapphire endosseous dental implant loaded with functional stress-clinical and histological evaluation of peri-implant tissues. *J Oral Rehabil,* 15, 1, 65-76

HENRY, P. J. & LIDDELOW, G. J. 2008. Immediate loading of dental implants. *Aust Dent J,* 53 Suppl 1, S69-81

HOSSEINI, M., WORSAAE, N., SCHIODT, M. & GOTFREDSEN, K. 2011. A 1-year randomised controlled trial comparing zirconia versus metal-ceramic implant supported single-tooth restorations. *Eur J Oral Implantol,* 4, 4, 347-61

HUMMEL, S. K., MARKER, V. A., BUSCHANG, P. & DEVENGENCIE, J. 1999. A pilot study to evaluate different palate materials for maxillary complete dentures with xerostomic patients. *J Prosthodont,* 8, 1, 10-7

IHDE, S. 1999. Fixed prosthodontics in skeletal Class III patients with partially edentulous jaws and age-related prognathism: the basal osseointegration procedure. *Implant Dent,* 8, 3, 241-6

IHDE, S. 2001. Restoration of the atrophied mandible using basal osseointegrated implants and fixed prosthetic superstructures. *Implant Dent,* 10, 1, 41-5

IHDE, S. & MUTTER, E. 2003. Versorgung von Freiendsituationen mit basalosseointegrierten Implantaten (BOI) bei reduziertem vertikalem Knochenangebot. *Dtsch Zahnärztl Z,* 58, 94-102

IHDE, S. & EBER, M. 2004. Case report: restoration of edentulous mandible with 4 BOI implants in an immediate load procedure. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub,* 148, 2, 195-8

IHDE, S. 2005. *Principles of BOI,* Heidelberg, Springer.

IHDE, S. 2008a. Radiological assesments and clinical implications in cases including basal implants. *Arab Dental,* 20, 2, 30-1

IHDE, S., GOLDMANN, T., HIMMLOVA, L. & ALEKSIC, Z. 2008a. The use of finite element analysis to model bone-implant contact with basal implants. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod,* 106, 1, 39-48

IHDE, S. 2008b. Outcomes of immediately loaded full arch reconstructions on basal implants and teeth *CMF Impl Dir,* 3, 1, 50-60

IHDE, S., GOLDMANN, T., HIMMLOVA, L., ALEKSIC, Z. & KUZELKA, J. 2008b. Implementation of contact definitions calculated by FEA to describe the healing process of basal implants. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub,* 152, 1, 169-73

IHDE, S., KOPP, S., GUNDLACH, K. & KONSTANTINOVIĆ, V. S. 2009. Effects of radiation therapy on craniofacial and dental implants: a review of the literature. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod,* 107, 1, 56-65

IQBAL, M. K. & KIM, S. 2007. For teeth requiring endodontic treatment, what are the differences in outcomes of restored endodontically treated teeth compared to implant-supported restorations? *Int J Oral Maxillofac Implants,* 22 Suppl, 96-116

JAINKITTIVONG, A., ANEKSUK, V. & LANGLAIS, R. P. 2002. Oral mucosal conditions in elderly dental patients. *Oral Dis,* 8, 4, 218-23

JAINKITTIVONG, A., ANEKSUK, V. & LANGLAIS, R. P. 2010. Oral mucosal lesions in denture wearers. *Gerodontology,* 27, 1, 26-32

JEMT, T. 2008. Single implants in the anterior maxilla after 15 years of follow-up: comparison with central implants in the edentulous maxilla. *Int J Prosthodont,* 21, 5, 400-8

JOHNSSON, A. A., SAWAII, T., JACOBSSON, M., GRANSTRÖM, G. & TURESSON, I. 1999. A histomorphometric study of bone reactions to titanium implants in irradiated bone and the effect of hyperbaric oxygen treatment. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 14, 5, 699-706

JOHNSSON, A. A., SAWAII, T., JACOBSSON, M., GRANSTRÖM, G. & TURESSON, I. 2000. A histomorphometric and biomechanical study of the effect of delayed titanium implant placement in irradiated rabbit bone. *Clin Implant Dent Relat Res,* 2, 1, 42-9

JOKSTAD, A. & CARR, A. B. 2007. What is the effect on outcomes of time-to-loading of a fixed or removable prosthesis placed on implant(s)? *Int J Oral Maxillofac Implants,* 22 Suppl, 19-48

KARAKY, A. E., SAWAIR, F. A., AL-KARADSHEH, O. A., EIMAR, H. A., ALGARUGLY, S. A. & BAQAIN, Z. H. 2011. Antibiotic prophylaxis and early dental implant failure: a quasi-random controlled clinical trial. *Eur J Oral Implantol,* 4, 1, 31-8

KATZER, A., MARQUARDT, H., WESTENDORF, J., WENING, J. V. & VON FOERSTER, G. 2002. Polyetheretherketone-cytotoxicity and mutagenicity in vitro. *Biomaterials,* 23, 8, 1749-59

KAWAHARA, H., KAWAHARA, D., HAYAKAWA, M., TAMAI, Y., KUREMOTO, T. & MATSUDA, S. 2003. Osseointegration under immediate loading: biomechanical stress-strain and bone formation-resorption. *Implant Dent,* 12, 1, 61-8

KELLER, E. E., TOLMAN, D. & ECKERT, S. 1998. Endosseous implant and autogenous bone graft reconstruction of mandibular discontinuity: a 12-year longitudinal study of 31 patients. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 13, 6, 767-80

KIM, H. K., HEO, S. J., KOAK, J. Y. & KIM, S. K. 2009. In vivo comparison of force development with various materials of implant-supported prostheses. *J Oral Rehabil,* 36, 8, 616-25

KLEMETTI, E. 2008. Is there a certain number of implants needed to retain an overdenture? *J Oral Rehabil,* 35 Suppl 1, 80-4

KLOKKEVOLD, P. R. & HAN, T. J. 2007. How do smoking, diabetes, and periodontitis affect outcomes of implant treatment? *Int J Oral Maxillofac Implants,* 22 Suppl, 173-202

KONSTANTINOVIĆ, V. S., ALEKSIC, Z., VASIC, J., BIENENGRÄBER, V., ÖRI, F., KOPP, S. & IHDE, S. 2010a. Histological Investigations of three different dental implants in irradiated bone. An animal experimental study. XXth Congress of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery, Brügge/Belgien.

KONSTANTINOVIĆ, V. S., LAZIĆ, V. M. & IHDE, S. 2010b. Nasal epithesis retained by basal (disk) implants. *J craniofac surg,* 21, 1, 33-6

KONSTANTINOVIĆ, V. S., TODOROVIĆ, V. S. & LAZIĆ, V. M. 2013. Possibilities of reconstruction and implant-prosthetic rehabilitation following mandible resection. *Military-medical and pharmaceutical review,* 70, 1, 80-5

KOPP, S. 2007. Basal implants: a safe and effective treatment option in dental implantology. *CMF Impl Dir,* 2, 3, 111-8

KOPP, S. 2008. Implant based crowns in aesthetic challenging regions. *Arab Dental,* 22, 3, 20-3

KOPP, S. & KOPP, W. 2008. Comparison of immediate vs. delayed basal implants. *J Maxillofac Oral Surg,* 7, 1, 116-22

KOPP, S., BIENENGRÄBER, V. & IHDE, S. 2009a. Basal implants as solide base for immediately loaded full arch bridges. *Dental Forum* 37, 1, 51-60

KOPP, S., PANEK, H., IHDE, S. & LIEB, B. 2009b. Clinical problems with implants installation in geriatric patients. *Dent Med Probl,* 46, 4, 486-93

KOPP, S. 2010a. Technical and clinical aspects of cone beam CT in dental applications. SADA IDEC South African Dental Association – International Dental Exhibition & Congress, Durban/Südafrika.

KOPP, S., KONSTANTINOVIĆ, V. S., ALEKSIC, Z., YUGOSLAV, V., BIENENGRÄBER, V., ÖRI, F. & IHDE, S. 2010a. Einfluss der Implantatgeometrie auf das Einheilungsverhalten dentaler Implantate in bestrahlten und unbestrahlten Knochen - Histologische Untersuchungen an Kaninchentibia. *Biomaterialien,* 11, 1, 12

KOPP, S. 2010b. Sterile Osteolysen? - Klinik und FEA im MKG-Bereich. *Osteologie,* 19, Suppl 1, 19

KOPP, S. 2010c. Histomorphometrie als Erfolgsmesser in der Implantologie? *CMF Impl Dir,* 4, 1, 19-41

KOPP, S. & OTTL, P. 2010a. Digitale Volume Tomographie - Makro versus Mikro? *Digital Dental News,* 4, 3, 42-8

KOPP, S., KONSTANTINOVIĆ, V. S., ALEKSIC, Z., YUGOSLAV, V., BIENENGRÄBER, V., ÖRI, F. & IHDE, S. 2010b. Histologische Untersuchungen dreier Implantatgeometrien in bestrahlter und unbestrahlter Kaninchentibia. *Osteologie,* 19, Suppl. 1, 52

KOPP, S., IHDE, S. & BIENENGRÄBER, V. 2010c. Differential diagnosis of stafne idiopathic bone cyst with Digital Volume Tomography (DVT). *J Maxillofac Oral Surg,* 9, 1, 80-1

KOPP, S. & OTTL, P. 2010b. Dimensional stability in composite cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol,* 39, 8, 512-6

KOPP, S. 2011a. Digitale Volumentomographie - präzise Darstellung dentaler Strukturen. *Der Freie Zahnarzt,* 3, IDS-Sonderbeilage, 1-8

KOPP, S., KUZELKA, J., GOLDMANN, T., HIMMLOVA, L. & IHDE, S. 2011a. Modeling of load transmission and distribution of deformation energy before and after healing of basal dental implants in the human mandible. *Biomed Tech,* 56, 1, 53-8

KOPP, S., KUNDT, G. & OTTL, P. 2011b. Dimensional stability of software bases Cone beam CT image composition. *J Dent Res,* 90, Spec Iss A, Abstract#163

KOPP, S. 2011b. Multivariate Influence of Prothetic Superstructures on Immediately Loaded Implant Success. *J Dent Res,* 90, Spec Iss B, Abstract#509

KOPP, S., WARKENTIN, M., ÖRI, F., OTTL, P., KUNDT, G. & FRERICH, B. 2012a. Section plane selection influences the results of histomorphometric studies: the example of dental implants. *Biomed Tech,* 57, 5, 365–70

KOPP, S., WARKENTIN, M., ÖRI, F., OTTL, P., KUNDT, G. & FRERICH, B. 2012b. Section plane selection influences the results of histomorphometric studies. *J Dent Res* 91, Spec Iss C, Abstract#157

KOPP, S., WARKENTIN, M., KRÖGER, D., BEHREND, D. & OTTL, P. 2012c. Dimensions, choice of materials and processing of dental implants as source

of failure caused by dynamic load. 9th World Biomaterials Congress (WBC), Chengdu/China. ID1307.

KOPP, S., BEHREND, D., SPECHT, O., TROSTMANN, D., ROSENTRITT, M., OTTL, P., GEIS-GERSTORFER, J. & WARKENTIN, M. 2013a. Materialographic examination of three different types of failed dental implants. *Pract Metallogr,* accepted,

KOPP, S., BEHREND, D., KUNDT, G., OTTL, P., FRERICH, B. & WARKENTIN, M. 2013b. No influence of simultaneous bone-substitute application on the success of immediately loaded dental implants: a retrospective cohort study. *Biomed Tech* 1-7

KOPP, S., BEHREND, D., KUNDT, G., OTTL, P., FRERICH, B. & WARKENTIN, M. 2013c. Dental implants and immediate loading: Multivariate analysis of success factors. *Rev Stomatol Chir Maxillofac,* 114, 3, 146-54

KUPEYAN, H. K., SHAFFNER, M. & ARMSTRONG, J. 2006. Definitive CAD/CAM-guided prosthesis for immediate loading of bone-grafted maxilla: a case report. *Clin Implant Dent Relat Res,* 8, 3, 161-7

LANG, N. P., TONETTI, M. S., SUVAN, J. E., PIERRE BERNARD, J., BOTTICELLI, D., FOURMOUSIS, I., HALLUND, M., JUNG, R., LAURELL, L., SALVI, G. E., SHAFER, D. & WEBER, H. P. 2007. Immediate implant placement with transmucosal healing in areas of aesthetic priority. A multicentre randomized-controlled clinical trial I. Surgical outcomes. *Clin Oral Implants Res,* 18, 2, 188-96

LEDERMANN, P. 1979. Vollprothetische Versorgung des zahnlosen Problemunterkiefers mit Hilfe von 4 titanplasmabeschichteten PDL-Schraubenimplantaten. *Schweiz Monatsschr Zahnheilkd,* 89, 11, 1137-8

LEDERMANN, P. D. 1977. Vollprothetische Versorgung des atrophierten Problem-Unterkiefers mit Hilfe von CBS-Implantaten. *Quintessenz,* 28, 12, 21-6

LINDERBACK, P., AREVA, S., ASPENBERG, P. & TENGVALL, P. 2010. Sol-gel derived titania coating with immobilized bisphosphonate enhances screw fixation in rat tibia. *J Biomed Mater Res A,* 94, 2, 389-95

LINDH, T. 2008. Should we extract teeth to avoid tooth-implant combinations? *J Oral Rehabil,* 35 Suppl 1, 44-54

LINKOW, L. I. 1970a. The ideal implant support: the cleft-blade implant. Report after 3 years. *Promot Dent,* 10, 8-12

LINKOW, L. I. 1970b. Endosseous oral implantology: a 7-year progress report. *Dent Clin North Am,* 14, 1, 185-99

LINKOW, L. I., DONATH, K. & LEMONS, J. E. 1992. Retrieval analyses of a blade implant after 231 months of clinical function. *Implant Dent,* 1, 1, 37-43

LIRAN, L. & SCHWARTZ-ARAD, D. 2005. The effects of cigarette smoking on dental implants and related surgery. *Implant Dent,* 14, 357-61

LUM, L. B., BEIRNE, O. R. & CURTIS, D. A. 1991. Histologic evaluation of hydroxylapatite-coated versus uncoated titanium blade implants in delayed and immediately loaded applications. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 6, 4, 456-62

LUONGO, G., DI RAIMONDO, R., FILIPPINI, P., GUALINI, F. & PAOLESCHI, C. 2005. Early loading of sandblasted, acid-etched implants in the posterior maxilla and mandible: a 1-year follow-up report from a multicenter 3-year prospective study. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 20, 1, 84-91

MANGANO, C., PIATTELLI, A., MANGANO, F., PERROTTI, V. & IEZZI, G. 2009. Immediate loading of modified acid etched dental implants in postextraction sockets: a histological and histomorphometrical comparative study in nonhuman primate Papio ursinus. *Implant Dent,* 18, 2, 142-50

MANIATOPOULOS, C., PILLIAR, R. M. & SMITH, D. C. 1986. Threaded versus porous-surfaced designs for implant stabilization in bone-endodontic implant model. *J Biomed Mater Res,* 20, 9, 1309-33

MCKENZIE, K., DENNIS BOBYN, J., ROBERTS, J., KARABASZ, D. & TANZER, M. 2010. Bisphosphonate Remains Highly Localized After Elution From Porous Implants. *Clin Orthop Relat Res,* 469, 2, 514-22

MEIJER, G. J. & CUNE, M. S. 2008. Surgical dilemmas. Medical restrictions and risk factors. *Ned Tijdschr Tandheelkd,* 115, 12, 643-51

MELONI, S. M., DE RIU, G., PISANO, M., DE RIU, N. & TULLIO, A. 2012. Immediate versus delayed loading of single mandibular molars. One-year results from a randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol,* 5, 4, 345-53

MENINGAUD, J. P., DONSIMONI, J. M. & LANTIERI, L. 2009. Facial allograft transplantation and basal implantology(cortically anchored disk-design implants). *Rev Stomatol Chir Maxillofac,* 110, 6, 353-8

MERLI, M., MERLI, A., BERNARDELLI, F., LOMBARDINI, F. & ESPOSITO, M. 2008a. Immediate versus early non-occlusal loading of dental implants placed flapless in partially edentulous patients. One-year results from a randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol,* 1, 3, 207-20

MERLI, M., BERNARDELLI, F. & ESPOSITO, M. 2008b. Immediate versus early nonocclusal loading of dental implants placed with a flapless procedure in partially edentulous patients: preliminary results from a randomized controlled clinical trial. *Int J Periodontics Restorative Dent,* 28, 5, 453-9

MESA, F., MUNOZ, R., NOGUEROL, B., DE DIOS LUNA, J., GALINDO, P. & O'VALLE, F. 2008. Multivariate study of factors influencing primary dental implant stability. *Clin Oral Implants Res,* 19, 2, 196-200

MICHAELI, E., WEINBERG, I. & NAHLIELI, O. 2009. Dental implants in the diabetic patient: Systemic and rehabilitative considerations. *Quintessence Int,* 40, 8, 639-45

MISCH, C. E., HAHN, J., JUDY, K. W., LEMONS, J. E., LINKOW, L. I., LOZADA, J. L., MILLS, E., MISCH, C. M., SALAMA, H., SHARAWY, M., TESTORI, T. & WANG, H. L. 2004. Workshop guidelines on immediate loading in implant dentistry. November 7, 2003. *J Oral Implantol,* 30, 5, 283-8

MUNOZ, F., LOPEZ-PENA, M., MINO, N., GOMEZ-MORENO, G., GUARDIA, J. & CUTANDO, A. 2012. Topical application of melatonin and growth hormone accelerates bone healing around dental implants in dogs. *Clin implant dent relat res,* 14, 2, 226-35

NAERT, I., GIZANI, S. & VAN STEENBERGHE, D. 1999. Bone behavior around sleeping and non-sleeping implants retaining a mandibular hinging overdenture. *Clin Oral Implants Res,* 10, 2, 149-54

NEUGEBAUER, J., TRAINI, T., THAMS, U., PIATTELLI, A. & ZÖLLER, J. E. 2006. Peri-implant bone organization under immediate loading state. Circularly polarized light analyses: a minipig study. *J Periodontol,* 77, 2, 152-60

NKENKE, E. & FENNER, M. 2006. Indications for immediate loading of implants and implant success. *Clin Oral Implants Res,* 17 Suppl 2, 19-34

ODIN, G., BALAGUER, T., SAVOLDELLI, C. & SCORTECCI, G. 2010. Immediate functional loading of an implant-supported fixed prosthesis at the time of ablative surgery and mandibular reconstruction for squamous cell carcinoma. *J Oral Implantol,* 36, 3, 225-30

ODIN, G., MISCH, C. E., BINDERMAN, I. & SCORTECCI, G. 2012. Fixed rehabilitation of severely atrophic jaws using immediately loaded basal disk implants after in situ bone activation. *J Oral Implantol,* 38, 5, 611-6

OGAWA, T., DHALIWAL, S., NAERT, I., MINE, A., KRONSTROM, M., SASAKI, K. & DUYCK, J. 2010. Impact of implant number, distribution and prosthesis material on loading on implants supporting fixed prostheses. *J Oral Rehabil,* 37, 7, 525-31

ORSINI, G., PIATTELLI, M., SCARANO, A., PETRONE, G., KENEALY, J., PIATTELLI, A. & CAPUTI, S. 2007. Randomized, controlled histologic and histomorphometric evaluation of implants with nanometer-scale calcium phosphate added to the dual acid-etched surface in the human posterior maxilla. *J Periodontol,* 78, 2, 209-18

OTTL, P., HAHN, L., LAUER, H. & FAY, M. 2002. Fracture characteristics of carbon fibre, ceramic and non-palladium endodontic post systems at monotonously increasing loads. *J Oral Rehabil,* 29, 2, 175-83

PENARROCHA, M., BORONAT, A. & GARCIA, B. 2009. Immediate loading of immediate mandibular implants with a full-arch fixed prosthesis: a preliminary study. *J Oral Maxillofac Surg,* 67, 6, 1286-93

PETITBOIS, R. & SCORTECCI, G. 2012. Alveolar corticotomy: a new surgical approach based on bone activation: principle and protocol. *Int Orthod,* 10, 4, 432-8

PIATTELLI, A., RUGGERI, A., FRANCHI, M., ROMASCO, N. & TRISI, P. 1993. An histologic and histomorphometric study of bone reactions to unloaded and loaded non-submerged single implants in monkeys: a pilot study. *J Oral Implantol,* 19, 4, 314-20

PIATTELLI, A., PAOLANTONIO, M., CORIGLIANO, M. & SCARANO, A. 1997. Immediate loading of titanium plasma-sprayed screw-shaped implants in man: a clinical and histological report of two cases. *J Periodontol,* 68, 6, 591-7

PJETURSSON, B. E. & LANG, N. P. 2008. Prosthetic treatment planning on the basis of scientific evidence. *J Oral Rehabil,* 35 Suppl 1, 72-9

QUIRYNEN, M., NAERT, I., VAN STEENBERGHE, D., TEERLINCK, J., DEKEYSER, C. & THEUNIERS, G. 1991. Periodontal aspects of osseointegrated fixtures supporting an overdenture. A 4-year retrospective study. *J Clin Periodontol,* 18, 10, 719-28

QUIRYNEN, M., VAN ASSCHE, N., BOTTICELLI, D. & BERGLUNDH, T. 2007. How does the timing of implant placement to extraction affect outcome? *Int J Oral Maxillofac Implants,* 22 Suppl, 203-23

RAMS, T. E., ROBERTS, T. W., TATUM, H., JR. & KEYES, P. H. 1984. The subgingival microbial flora associated with human dental implants. *J Prosthet Dent,* 51, 4, 529-34

ROBERTS, W. E., GARETTO, L. P. & DECASTRO, R. A. 1989. Remodeling of devitalized bone threatens periosteal margin integrity of endosseous titanium implants with threaded or smooth surfaces: indications for provisional loading and axially directed occlusion. *J Indiana Dent Assoc,* 68, 4, 19-24

ROCCI, A., MARTIGNONI, M. & GOTTLOW, J. 2003. Immediate loading of Branemark System TiUnite and machined-surface implants in the posterior mandible: a randomized open-ended clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res,* 5 Suppl 1, 57-63

RODD, H. D. & ATKIN, J. M. 2000. Denture satisfaction and clinical performance in a paediatric population. *Int J Paediatr Dent,* 10, 1, 27-37

ROMANOS, G. E. 2003. Treatment of advanced periodontal destruction with immediately loaded implants and simultaneous bone augmentation: a case report. *J Periodontol,* 74, 2, 255-61

ROMANOS, G. E. 2004. Present status of immediate loading of oral implants. *J Oral Implantol,* 30, 3, 189-97

ROMANOS, G. E. & NENTWIG, G. H. 2006. Immediate versus delayed functional loading of implants in the posterior mandible: a 2-year prospective clinical study of 12 consecutive cases. *Int J Periodontics Restorative Dent,* 26, 5, 459-69

ROMANOS, G. E. & NENTWIG, G. H. 2008. Immediate loading using cross-arch fixed restorations in heavy smokers: nine consecutive case reports for edentulous arches. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 23, 3, 513-9

RUBIN, C. T. & LANYON, L. E. 1984. Regulation of bone formation by applied dynamic loads. *J Bone Joint Surg Am,* 66, 3, 397-402

RUPP, F., SCHEIDELER, L., REHBEIN, D., AXMANN, D. & GEIS-GERSTORFER, J. 2004. Roughness induced dynamic changes of wettability of acid etched titanium implant modifications. *Biomaterials,* 25, 7-8, 1429-38

SAGARA, M., AKAGAWA, Y., NIKAI, H. & TSURU, H. 1993. The effects of early occlusal loading on one-stage titanium alloy implants in beagle dogs: a pilot study. *J Prosthet Dent,* 69, 3, 281-8

SALINAS, T. J. & ECKERT, S. E. 2007. In patients requiring single-tooth replacement, what are the outcomes of implant- as compared to tooth-supported restorations? *Int J Oral Maxillofac Implants,* 22 Suppl, 71-95

SAXER, U. P., WALTER, C., BORNSTEIN, M. M., KLINGLER, K. & RAMSEIER, C. A. 2007. Einfluss des Tabakkonsums auf das Parodont-ein Update. II. Teil 2: Klinische und radiologische Veranderungen des Parodonts sowie Folgen auf die Parodontaltherapie und orale Implantologie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed,* 117, 2, 153-69

SCEPANOVIC, M., CALVO-GUIRADO, J. L., MARKOVIC, A., DELGARDO-RUIZ, R., TODOROVIC, A., MILICIC, B. & MISIC, T. 2012. A 1-year prospective cohort study on mandibular overdentures retained by mini dental implants. *Eur J Oral Implantol,* 5, 4, 367-79

SCHATZKER, J., HORNE, J. G. & SUMNER-SMITH, G. 1975. The effect of movement on the holding power of screws in bone. *Clin Orthop Relat Res,* 108, 111, 257-62

SCHINCAGLIA, G. P., MARZOLA, R., SCAPOLI, C. & SCOTTI, R. 2007. Immediate loading of dental implants supporting fixed partial dentures in the posterior mandible: a randomized controlled split-mouth study-machined versus titanium oxide implant surface. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 22, 1, 35-46

SCHOU, S., HOLMSTRUP, P., WORTHINGTON, H. V. & ESPOSITO, M. 2006. Outcome of implant therapy in patients with previous tooth loss due to periodontitis. *Clin Oral Implants Res,* 17 Suppl 2, 104-23

SCHOU, S. 2008. Implant treatment in periodontitis-susceptible patients: a systematic review. *J Oral Rehabil,* 35 Suppl 1, 9-22

SCHROEDER, A., MAEGLIN, B. & SUTTER, F. 1983. Das ITI-Hohlzylinderimplantat Typ F zur Prothesenretention beim zahnlosen Kiefer. *Schweiz Monatsschr Zahnheilkd,* 93, 9, 720-33

SCHROPP, L., KOSTOPOULOS, L., WENZEL, A. & ISIDOR, F. 2005. Clinical and radiographic performance of delayed-immediate single-tooth implant placement associated with peri-implant bone defects. A 2-year prospective, controlled, randomized follow-up report. *J Clin Periodontol,* 32, 5, 480-7

SCHROPP, L. & ISIDOR, F. 2008. Timing of implant placement relative to tooth extraction. *J Oral Rehabil,* 35 Suppl 1, 33-43

SCHWARZ, F., WIELAND, M., SCHWARTZ, Z., ZHAO, G., RUPP, F., GEIS-GERSTORFER, J., SCHEDLE, A., BROGGINI, N., BORNSTEIN, M. M., BUSER, D., FERGUSON, S. J., BECKER, J., BOYAN, B. D. & COCHRAN, D. L. 2009. Potential of chemically modified hydrophilic surface characteristics to support tissue integration of titanium dental implants. *Journal of biomedical materials research. Part B, Applied biomaterials,* 88, 2, 544-57

SCHWERIN, L. 2011. Landgericht Schwerin 1O381/07 verkündet am 11.11.2011.

SCORTECCI, G. 1999. Immediate function of cortically anchored disk-design implants without bone augmentation in moderately to severely resorbed completely edentulous maxillae. *J Oral Implantol,* 25, 2, 70-9

SCULLY, C., MADRID, C. & BAGAN, J. 2006. Dental endosseous implants in patients on bisphosphonate therapy. *Implant Dent,* 15, 3, 212-8

SENNERBY, L. & GOTTLOW, J. 2008. Clinical outcomes of immediate/early loading of dental implants. A literature review of recent controlled prospective clinical studies. *Aust Dent J,* 53 Suppl 1, S82-8

SHIBLI, J. A., GRASSI, S., DE FIGUEIREDO, L. C., FERES, M., MARCANTONIO, E., JR., IEZZI, G. & PIATTELLI, A. 2007. Influence of implant surface topography on early osseointegration: a histological study in human jaws. *J Biomed Mat Res Appl Biomat,* 80, 2, 377-85

SPIEKERMANN, H., JANSEN, V. K. & RICHTER, E. J. 1995. A 10-year follow-up study of IMZ and TPS implants in the edentulous mandible using bar-retained overdentures. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 10, 2, 231-43

SYKARAS, N., TRIPLETT, R. G., NUNN, M. E., IACOPINO, A. M. & OPPERMAN, L. A. 2001. Effect of recombinant human bone morphogenetic protein-2 on bone regeneration and osseointegration of dental implants. *Clin oral implants res,* 12, 4, 339-49

SZMUKLER-MONCLER, S., SALAMA, H., REINGEWIRTZ, Y. & DUBRUILLE, J. H. 1998. Timing of loading and effect of micromotion on bone-dental implant interface: review of experimental literature. *J Biomed Mater Res,* 43, 2, 192-203

SZMUKLER-MONCLER, S., PIATTELLI, A., FAVERO, G. A. & DUBRUILLE, J. H. 2000. Considerations preliminary to the application of early and immediate loading protocols in dental implantology. *Clin Oral Implants Res,* 11, 1, 12-25

TALLARICO, M., VACCARELLA, A. & MARZI, G. C. 2011. Clinical and radiological outcomes of 1- versus 2-stage implant placement: 1-year results of a randomised clinical trial. *Eur J Oral Implantol,* 4, 1, 13-20

TEHEMAR, S., HANES, P. & SHARAWY, M. 2003. Enhancement of osseointegration of implants placed into extraction sockets of healthy and periodontally diseased teeth by using graft material, an ePTFE membrane, or a combination. *Clin Implant Dent Relat Res,* 5, 3, 193-211

TESTORI, T., GALLI, F., CAPELLI, M., ZUFFETTI, F. & ESPOSITO, M. 2007. Immediate nonocclusal versus early loading of dental implants in partially edentulous patients: 1-year results from a multicenter, randomized controlled clinical trial. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 22, 5, 815-22

TESTORI, T., GALLI, F. & DEL FABBRO, M. 2013. *Sofortbelastung Eine neue Ära der dentalen Implantologie,* Berlin, Quintessenz.

THILANDER, B. 2008. Orthodontic space closure versus implant placement in subjects with missing teeth. *J Oral Rehabil,* 35 Suppl 1, 64-71

TODISCO, M. & TRISI, P. 2006. Histomorphometric evaluation of six dental implant surfaces after early loading in augmented human sinuses. *J oral implantol,* 32, 4, 153-66

TOMASI, C., WENNSTRÖM, J. L. & BERGLUNDH, T. 2008. Longevity of teeth and implants - a systematic review. *J Oral Rehabil,* 35 Suppl 1, 23-32

TORABINEJAD, M., ANDERSON, P., BADER, J., BROWN, L. J., CHEN, L. H., GOODACRE, C. J., KATTADIYIL, M. T., KUTSENKO, D., LOZADA, J.,

PATEL, R., PETERSEN, F., PUTERMAN, I. & WHITE, S. N. 2007. Outcomes of root canal treatment and restoration, implant-supported single crowns, fixed partial dentures, and extraction without replacement: a systematic review. *J Prosthet Dent,* 98, 4, 285-311

TRISI, P., MARCATO, C. & TODISCO, M. 2003a. Bone-to-implant apposition with machined and MTX microtextured implant surfaces in human sinus grafts. *Int J periodont rest dent,* 23, 5, 427-37

TRISI, P., LAZZARA, R., REBAUDI, A., RAO, W., TESTORI, T. & PORTER, S. S. 2003b. Bone-implant contact on machined and dual acid-etched surfaces after 2 months of healing in the human maxilla. *J periodontol,* 74, 7, 945-56

TRUHLAR, R. S., MORRIS, H. F. & OCHI, S. 2000. Implant surface coating and bone quality-related survival outcomes through 36 months post-placement of root-form endosseous dental implants. *Ann Periodontol,* 5, 1, 109-8

TSOLAKI, I. N., MADIANOS, P. N. & VROTSOS, J. A. 2009. Outcomes of dental implants in osteoporotic patients. A literature review. *J Prosthodont,* 18, 4, 309-23

TURKYILMAZ, I., AVCI, M., KURAN, S. & OZBEK, E. N. 2007. A 4-year prospective clinical and radiological study of maxillary dental implants supporting single-tooth crowns using early and delayed loading protocols. *Clin Implant Dent Relat Res,* 9, 4, 222-7

TURKYILMAZ, I., TOZUM, T. F. & TUMER, C. 2010. Early versus delayed loading of mandibular implant-supported overdentures: 5-year results. *Clin Implant Dent Relat Res,* 12 Suppl 1, e39-46

VAN DER WEIJDEN, G. A., VAN BEMMEL, K. M. & RENVERT, S. 2005. Implant therapy in partially edentulous, periodontally compromised patients: a review. *J Clin Periodontol,* 32, 5, 506-11

VIGOLO, P., MUTINELLI, S., GIVANI, A. & STELLINI, E. 2012. Cemented versus screw-retained implant-supported single-tooth crowns: a 10-year randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol,* 5, 4, 355-64

VON SCHWANEWEDE, H., FOCK, G., BEHREND, D. & SCHMITZ, K. P. 2002. Optimization of the neck region of dental implants with a bioactive, resorbable coating. *Biomed Tech,* 47 Suppl 1 Pt 1, 479-81

WAGENBERG, B. & FROUM, S. J. 2006. A retrospective study of 1925 consecutively placed immediate implants from 1988 to 2004. *Int J Oral Maxillofac Implants,* 21, 1, 71-80

WANG, H. L., ORMIANER, Z., PALTI, A., PEREL, M. L., TRISI, P. & SAMMARTINO, G. 2006. Consensus conference on immediate loading: the single tooth and partial edentulous areas. *Implant Dent,* 15, 4, 324-33

WANG, K., LI, D. H., GUO, J. F., LIU, B. L. & SHI, S. Q. 2009. Effects of buccal bi-cortical anchorages on primary stability of dental implants: a numerical approach of natural frequency analysis. *J Oral Rehabil,* 36, 4, 284-91

WARKENTIN, M., KOPP, S., TROSTMANN, D., SPECHT, O., OTTL, P. & BEHREND, D. 2013. Vergleichende Schadensanalysen an Dentalimplantaten. *Pract Metallogr,* accepted,

WEBER, H. P. & SUKOTJO, C. 2007. Does the type of implant prosthesis affect outcomes in the partially edentulous patient? *Int J Oral Maxillofac Implants,* 22 Suppl, 140-72

WICHMANN, M. 2007. Chancen und Risiken in der Implantologie. *Zahnärztl Mitt,* 97, 12, 52-4

WOLF, J., STERNBERG, K., BEHREND, D., SCHMITZ, K. P. & VON SCHWANEWEDE, H. 2009. Pharmakafreisetzende biodegradierbare Polymerbeschichtung von dentalen Titanimplantaten zur Verbesserung der Weichgewebsintegration. *Biomed Tech,* 54, 4, 219-27

WORM, F., LURTZ, C., BEHREND, D., SCHMITT, L., SCHMITZ, K. P., OTTL, P. & VON SCHWANEWEDE, H. 2009. Der Einfluss der Makro- und Mikrostruktur auf die Benetzungs- und Retentionseigenschaften von Wurzelkanalstiften in vitro. *Biomed Tech,* 54, 4, 211-7

YOUNES, F., RAES, F., BERGHE, L. V. & DE BRUYN, H. 2013. A retrospective cohort study of metal-cast resin-bonded fixed dental prostheses after at least 16 years. *Eur J Oral Implantol,* 6, 1, 61-70

ZEMBIC, A., GLAUSER, R., KHRAISAT, A. & HÄMMERLE, C. H. 2010. Immediate vs. early loading of dental implants: 3-year results of a randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res,* 21, 5, 481-9

ZHAO, G., SCHWARTZ, Z., WIELAND, M., RUPP, F., GEIS-GERSTORFER, J., COCHRAN, D. L. & BOYAN, B. D. 2005. High surface energy enhances cell

response to titanium substrate microstructure. *Journal of biomedical materials research. Part A,* 74, 1, 49-58

ZHU, X., CHEN, J., SCHEIDELER, L., ALTEBAEUMER, T., GEIS-GERSTORFER, J. & KERN, D. 2004. Cellular reactions of osteoblasts to micron- and submicron-scale porous structures of titanium surfaces. *Cells, tissues, organs,* 178, 1, 13-22

ZÖLLNER, A., GANELES, J., KOROSTOFF, J., GUERRA, F., KRAFFT, T. & BRÄGGER, U. 2008. Immediate and early non-occlusal loading of Straumann implants with a chemically modified surface (SLActive) in the posterior mandible and maxilla: interim results from a prospective multicenter randomized-controlled study. *Clin Oral Implants Res,* 19, 5, 442-50

8 Anhang

8.1 Abkürzungen und Formelzeichen

$\bar{x}$	Mittelwert
M	Median
s	empirische Standardabweichung
x_{min}	kleinster Beobachtungswert
x_{max}	größter Beobachtungswert
R	Spannweite
n	Anzahl der verfügbaren Observationen
BIC	Knochen-Implantat-Kontakt (Bone-Implant-Contact)
BMC	Knochen-Metall-Kontakt (Bone-Metal-Contact)
BMU	Knochenbildender Zellverband aus Osteoklasten und Osteoblasten (Bone Morphogenetic Unit)
PSA	Panoramaschichtaufnahme
DVT	dentale digitale Volumentomographie / dentales Volumentomogramm

8.2 Hilfsmittel

Die humanhistologischen Präparate wurden von Mitarbeitern des Labors der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universitätsmedizin Rostock angefertigt.

8.3 Datenerfassungsbogen

Patientenname:

Patientenvorname:

_____hier zwecks Anonymisierung abtrennen_____

Patientennummer: _____

Patientengeschlecht: ☐ männlich ☐ weiblich

Geburtsdatum: __.__.20__

Implantatnummer: ____

Datum der Implantation: __.__.20__

Art der Implantation: ☐ in Alveole ☐ in ausgeheilten Knochen

falls in Alveole: ☐ entfernter Zahn ☐ entferntes Implantat

Position des Implantats:

18 17 16 15 14 13 12 11 21 22 23 24 25 26 27 28

48 47 46 45 44 43 42 41 31 32 33 34 35 36 37 38

Angaben zum Implantat:

Typ:

Länge:

maximaler Durchmesser:

Charge:

Abutmentverbindung: ☐ einteilig ☐ verschraubt

falls verschraubt: rotationsgesichert? ☐ ja ☐ nein

Datum der Lasteinleitung: __.__.20__

Nur für basale Implantate ausfüllen:

Einsatz von Hilfsschrauben zur primären Fixierung im Knochen: ☐ ja ☐ nein

Einsatz von Knochenersatzmaterial : ☐ ja ☐ nein

falls „ja“: Typ:

Charge:

Einsatz von Fibrinmembranen: ☐ ja ☐ nein

Patientennummer: ____

Implantatnummer: ____

Nummer der prothetischer Konstruktion: ____

prothetischer Konstruktionstyp: □ Einzelkrone

□ Brücke: zirkulär: □ ja □ nein

□ herausnehmbarer Zahnersatz

Einbezug vorhandener Zähne: □ ja □ nein

Einbezug vorhandener Implantate: □ ja □ nein

falls „ja“ Implantatnummer(n):

Extensionsbrücke: □ ja □ nein

Datum der Eingliederung des definitiven Zahnersatzes: __.__.20__

Datum der letzten Kontrolluntersuchung: __.__.20__

Zustand bei letzter Kontrolle:

klinische Festigkeit: □ ja □ nein

falls „nein“: Lockerungsgrad: □ I □ II □ III

periimplantäre Aufhellungen: □ ja □ nein

vertikaler Knochenverlust: □ ja □ nein

falls „ja“: __mm

Schmerz: □ ja □ nein

Infektionen: □ ja □ nein

Neuropathien: □ ja □ nein

Verletzung des Mandibularkanals: □ ja □ nein

Implantat ohne Funktion: □ ja □ nein

Korrekturbedarf: □ ja □ nein

Korrektur erfolgreich vorgenommen: □ ja □ nein

resultierender Implantaterfolg: □ ja □ nein

tatsächlicher Implantatverlust: □ ja □ nein

Datum des Implantatverlustes: __.__.20__

Implantat ersetzt: □ ja □ nein

Nummer des neuen Implantats an dieser Position:

8.4 Formulare

Patienteninformation

Sofortbelastete Implantate als Basis prothetischer Suprakonstruktionen-klinische, histologische und mathematisch-statistische Untersuchungen sowie Finite-Elemente-Analysen

Sehr geehrte(r) Patient(in)!

Im Laufe der Zeit kam es bei Ihnen zu Gründen, die eine Entnahme funktionslosen Implantatmaterials erfordern. Sie werden nach aktuellem wissenschaftlichen Stand zu einer sofortigen oder verzögerten Wiederherstellung der Funktion behandelt. Dies kann i.a. durch Anwendung sofortbelastbarer Implantate in derselben Sitzung nach Entfernung des defekten Materials erfolgen. Da diese Ereignisse sehr selten auftreten, ist es für wissenschaftliche Fragestellungen hilfreich, das entnommene Material histologisch zu untersuchen.

Anliegen der Studie
Es ist Anliegen der Studie, die bisherigen hohen Erfolgsraten in der dentalen Implantologie durch Analyse der Verlustrisiken weiter zu steigern.

Konzeption - Studiendurchführung - Untersuchungen
Da diese Verlustereignisse nur sehr selten auftreten, sollte in dieser Studie möglichst jeder auftretende Fall in unserem Hause erfasst, untersucht und ausgewertet werden. Durch Ihre Teilnahme kann Ihr persönliches Risiko besser eingeschätzt werden und darüber hinaus können entsprechende Maßnahmen zu Ihrer erfolgreichen weiteren zahnärztlichen Versorgung ergriffen werden.

Studiendurchführung/Untersuchungen
Für Sie ergeben sich aus dieser Studie keine weiteren, über die ohnehin medizinisch notwendige klinische Versorgung hinausgehenden Untersuchungen oder Belastungen.

Risiken und Nebenwirkungen

Durch die Studienteilnahme bestehen keine zusätzlichen Risiken und Nebenwirkungen in Bezug auf das bewährte, regulär durchzuführende medizinische Vorgehen. Ebenso entstehen Ihnen durch die Studienteilnahme keine über die ohnehin notwendige Entnahme des betreffenden Materials hinausgehenden Beeinträchtigungen.

Notfalladresse bei unerwünschten Ereignissen während der Studie sowie Name und Adresse des Prüfarztes

Dr. Sigmar Kopp	Privatanschrift:
Niklotstraße 39	Kirch Rosin 2c
18273 Güstrow	18276 Mühl Rosin
03843 214553	Mobiltelefon: 0172 3013158

Hinweis auf Versicherung:

Für diese Studie wurde keine zusätzliche Versicherung abgeschlossen, da die Entnahme des zu untersuchenden Materials als eine ohnehin medizinisch indizierte Maßnahme zu betrachten ist. Die vorliegende Berufshaftpflichtversicherung des Behandlers deckt die Risiken medizinisch indizierter Handlungen ab.

Widerruf der Zustimmung zur Datenverwendung

Ich weiß, dass ich meine Zustimmung zur Verwendung meiner Daten jederzeit und ohne Angabe von Gründen gegenüber der einleitend genannten Institution bzw. Person widerrufen kann und dass dies keinen Einfluss auf meine etwaige weitere zahnärztliche Behandlung hat. Im Falle des Widerrufs bin ich damit einverstanden, dass meine Daten zu Kontrollzwecken weiterhin gespeichert bleiben. Ich habe jedoch das Recht, deren Löschung zu verlangen, sofern gesetzliche Bestimmungen der Löschung nicht entgegenstehen. Ich bin mir bewusst, dass im Falle einer anonymisierten Speicherung meiner Daten deren Löschung auf meinen Wunsch nicht möglich ist.

Hinweis auf Vertraulichkeit

Die Beachtung der Schweigepflicht und des vertraulichen Umgangs mit allen Daten wird hiermit zugesagt.

Güstrow, den

Unterschrift des Prüfarztes Unterschrift des(r) Patienten(in)

Einwilligungserklärung zur wissenschaftlichen Verwendung von Gewebeproben und personenbezogenen Daten

Sehr geehrte Frau / Sehr geehrter Herr

_____,

hiermit bitten wir Sie um Ihr Einverständnis zur wissenschaftlichen Verwendung Ihrer Gewebeprobe und Ihrer personenbezogenen Daten, wie sie Ihnen in der Patienten-information näher erläutert worden ist.

Studienthema: Sofortbelastete Implantate als Basis prothetischer Suprakonstruktionen-klinische, histologische und mathematisch-statistische Untersuchungen sowie Finite-Elemente-Analysen
Praxis Dres. Kopp Niklotstraße 39 18273 Güstrow Ansprechpartner: Dr. Sigmar Kopp
A. Allgemeines

Ich bin durch den Prüfarzt über den Zweck, den Ablauf, die Bedeutung der klinischen Studie sowie die Vorteile und Risiken, die damit verbunden sein können, mündlich aufgeklärt worden.

Die schriftliche Patienteninformation habe ich gelesen. Alle meine Fragen sind zu meiner Zufriedenheit beantwortet worden.

Ich habe eine Kopie der Patienteninformation und Einverständniserklärung aus-gehändigt bekommen. Ich hatte genügend Zeit, meine Entscheidung zur Studien-teilnahme zu überdenken und frei zu treffen.

Meine folgenden Erklärungen reichen nur so weit, wie mir dies im Rahmen der schriftlichen Patienteninformation bzw. in der mündlichen Erläuterung näher dargelegt wurde.

Meine folgenden Erklärungen berechtigen und verpflichten die oben einleitend genannte Institution.

B. Einwilligung in die Entnahme und Nutzung der Gewebeprobe
(Zutreffendes bitte ankreuzen)

B 1 Ich bin mit der Entnahme einer Gewebeprobe einverstanden und überlasse die mir entnommene Gewebeprobe hiermit der oben genannten Institution.
Ich stimme zu, dass die Gewebeprobe unter der Verantwortung der oben genannten Institution in verschlüsselter Form (d.h. so, dass eine Zuordnung zu meiner Person nur über weitere Hilfsmittel – etwa eine Referenzliste – möglich ist)

☐ für Studien mit allen wissenschaftlich in Betracht kommenden Fragestellungen verwendet wird.

oder

☐ für Studien mit der oben genannten Fragestellung verwendet wird.

☐ Ich bin damit einverstanden, dass ich ggf. (soweit möglich) von der einleitend genannten Institution kontaktiert werde, um meine Zustimmung zur Verwendung meiner Gewebeprobe in weiteren Studien zu erlauben.

oder

☐ Ich verlange bereits heute, dass meine Gewebeprobe nach Abschluss der genannten Studien vernichtet wird.

B 2 Weitergabe AN DRITTE
Ich bin mit der Weitergabe meiner Gewebeprobe an folgende Institution einverstanden:
Universität Rostock, Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde „Hans Moral“.
Die oben genannten Grenzen meiner Zustimmung gelten auch hier.

B 3 Information über Studienergebnisse

☐ Sofern durch die oben bezeichnete Studie Ergebnisse erzielt werden, die für mich oder meine nächsten Angehörigen von unmittelbarer Bedeutung sind, möchte ich darüber informiert werden.

oder

☐ Ich bin damit einverstanden, dass ich keine individuellen Rückinformationen über die Ergebnisse der Studie erhalte.

B 4 Unentgeltlichkeit

Ich bin mir bewusst, dass ich für die Überlassung meiner Gewebeprobe kein Entgelt erhalte.

Ich bin mir bewusst, keinerlei Ansprüche auf Vergütung, Tantieme oder sonstige Beteiligung an finanziellen Vorteilen und Gewinnen zu haben, die möglicherweise auf der Basis der Forschung mit meiner Gewebeprobe erlangt werden.

B 5 Widerruf der Zustimmung zur Probenentnahme

Ich weiß, dass ich meine Zustimmung zur Verwendung meiner Gewebeprobe jederzeit und ohne Angabe von Gründen gegenüber der oben genannten Institution / Person widerrufen kann und dass dies keinen Einfluss auf meine etwaige weitere zahnärztliche Behandlung hat.

Im Falle des Widerrufs bin ich damit einverstanden, dass meine Gewebeprobe zu Kontrollzwecken weiter aufbewahrt wird. Ich habe jedoch das Recht, deren Vernichtung zu verlangen, sofern gesetzliche Bestimmungen der Vernichtung nicht entgegenstehen.

Ich bin mir bewusst, dass eine Vernichtung der Gewebeprobe auf meinen Wunsch nicht möglich ist, wenn sie so weit verschlüsselt („anonymisiert“) wurde, dass eine Verbindung zwischen den Proben und meiner Person nicht oder nur mit einem unverhältnismäßig großen Aufwand an Zeit, Kosten und Arbeitskraft möglich ist.

C. Datenschutzrechtliche Einwilligungserklärung *(Zutreffendes bitte ankreuzen)*

Ich bin damit einverstanden, dass die einleitend genannte Person bzw. ein Mitarbeiter der einleitend genannten Institution Einblick in meine Original-Krankenunterlagen nimmt.

Ich stimme zu, dass Daten, die meine Person betreffen (hierzu gehören insbesondere auch Krankheitsdaten aus meinen Krankenunterlagen), unter der Verantwortung der oben genannten Institution in verschlüsselter Form

☐ für Studien mit allen wissenschaftlich in Betracht kommenden Fragestellungen gespeichert und verarbeitet werden.

oder

☐ für Studien mit der oben genannten Fragestellung gespeichert und verarbeitet werden.

Weitergabe der Daten / Einblick durch Dritte

☐ Ich bin damit einverstanden, dass ferner folgende Personen Einblick in meine Original-Krankenunterlagen nehmen*:* teilnehmende Mitarbeiter der Studie.

☐ Ich bin mit der Weitergabe meiner Daten in verschlüsselter Form an folgende Institution/Person einverstanden:
Universität Rostock, Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde „Hans Moral“.

Ich bin mir bewusst, dass die zuständigen Behörden im Rahmen ihrer gesetzlichen Befugnisse ggf. Einblick in sämtliche Unterlagen nehmen können.

Widerruf der Zustimmung zur Datenverwendung

Ich weiß, dass ich meine Zustimmung zur Verwendung meiner Daten jederzeit und ohne Angabe von Gründen gegenüber der einleitend genannten Institution bzw. Person widerrufen kann und dass dies keinen Einfluss auf meine etwaige weitere zahnärztliche Behandlung hat.
Im Falle des Widerrufs bin ich damit einverstanden, dass meine Daten zu Kontrollzwecken weiterhin gespeichert bleiben. Ich habe jedoch das Recht, deren Löschung zu verlangen, sofern gesetzliche Bestimmungen der Löschung nicht entgegenstehen. Ich bin mir bewusst, dass im Falle einer anonymisierten Speicherung meiner Daten deren Löschung auf meinen Wunsch nicht möglich ist.

Datum Name des(r) Patienten(in) Unterschrift