

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

Sofort- vs. Spätimplantation konischer Tissue-Level-Implantate

–

eine vergleichende multizentrische Studie

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

Vorgelegt von

Leila Henriette Raahimi

Aus St. Wendel

Mainz, 2025

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. med. Philipp Drees

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

2. Gutachter: PD Dr. Stefan Jürgen Wentaschek

Tag der Promotion: 22.09.2025

Nachnutzungslizenz: Urheberrechtsschutz C-1.0

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung, Ziel der Dissertation	1
2.	Literaturdiskussion.....	3
2.1.	Geschichte dentaler Implantate.....	3
2.2.	Knochenheilung	5
2.2.1.	Primäre Knochenheilung	5
2.2.2.	Sekundäre Knochenheilung	5
2.2.3.	Knochenheilungsphasen bei Implantation	6
2.3.	Osseointegration	8
2.3.1.	Primärstabilität und Sekundärstabilität.....	8
2.3.2.	Beeinflussende Faktoren der Stabilität	9
2.3.3.	Methoden zur Bestimmung der Implantatstabilität	11
2.4.	Einteilung der Implantate	14
2.4.1.	Der Implantationszeitpunkt.....	15
2.4.2.	Die Implantatbelastung und der Einheilmodus	19
2.4.3.	Die Implantatart	21
2.4.4.	Implantatdesign	22
2.4.5.	Implantatmaterial	25
2.4.6.	Implantatoberfläche	27
3.	Material und Methoden.....	29
3.1.	Studiendesign.....	29
3.2.	Patientenkollektiv	30
3.2.1.	Ein- und Ausschlusskriterien	31
3.3.	Chirurgische Verfahren und Ergebnisbewertung	31
3.4.	Prothetische Versorgung	32
3.5.	Periimplantäre Pflege.....	32
3.6.	Klinische und radiologische Nachuntersuchungen	32
3.6.1.	Implantaterfolg nach Albrektsson.....	33

3.7.	Datenanalyse	33
3.7.1.	Verweildaueranalyse nach Kaplan Meier	34
3.7.2.	Cox-Modell, Hazard Funktion.....	35
3.7.3.	Konfidenzintervall	35
3.7.4.	T-Test von Satterthwaite	36
4.	Ergebnisse.....	37
4.1.	Studiendaten	37
4.2.	Überlebensraten.....	40
4.3.	Marginales Knochenniveau und Erfolgsraten	43
4.4.	Fallbeispiele	44
4.4.1.	Fallbeispiel: Typ-1A-Gruppe.....	44
4.4.2.	Fallbeispiel: Typ-4A-Gruppe.....	48
5.	Diskussion	53
5.1.	Patientenkollektiv	53
5.2.	Implantatsystem	55
5.3.	Chirurgische Verfahren und Prothetische Versorgung	55
5.4.	Periimplantäre Pflege.....	58
5.5.	Datenanalyse	59
6.	Zusammenfassung.....	61
7.	Literaturverzeichnis	62

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
API	Approximalraum-Plaque-Index
BOP	Bleeding-On-Probing (Blutung auf Sondierung)
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
DVT	Digitale Volumetomographie
et al.	et alii (Latein: und andere)
HR	Hazard Ratio
Hz	Herz
ISQ	Implantatstabilitätsquotient
ITI	International Team for Implantology
mm	Millimeter
OPG	Orthopantomogramm
PES	Pink Esthetic Score
®	Registered in U.S. Patent and Trademark Office
RFA	Resonanzfrequenzanalyse
SBI	Sulkus-Blutungs-Index
SLA	Sand-blasted, Large grit, Acid-etched
SLActive	Sand-blasted, Large grit, Acid-etched, chemical active and hydrophilicity
SPSS	Statistical Package für Social Sciences
STROBE	Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology
Tab.	Tabelle
TPS	Titan-Plasma-Flame-Surface

TT

Taschentiefen

vs.

Versus

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Graphische Darstellung der Implantatstabilität (y-Achse) in Abhängigkeit der Einheilzeit in Wochen (x-Achse)(26).....	9
Abb. 2: Knochenklassen nach Lekholm und Zarb (34, 35)	11
Abb. 3: Links: präoperatives Bild, klinischer Zustand vor Extraktion 36, Ansicht von okklusal	17
Abb. 4: Zustand nach atraumatischer Zahnextraktion 36, Implantatbohrung, Einbringung eines Parallelitätspfosten, Ansicht von okklusal	17
Abb. 5: Zustand nach Sofortimplantation 036 (Typ 1), Ansicht von okklusal	17
Abb. 6: Klinische Bilder einer Spätimplantation (Typ 4) in Regio 046 und 047, links: präoperative klinische Situation, Ansicht von okklusal	18
Abb. 7: Zustand nach Implantation, Ansicht von okklusal	18
Abb. 8: Tissue-Level-Implantate mit Verschlusschraube, Ansicht von okklusal	18
Abb. 9: links: subgingivale Einheilung, mitte und rechts: transgingivale Einheilung (mitte: Tissue Level Implantat, rechts: Bone Level Implantat mit Gingivaformer (49)20	
Abb. 10: verschiedene Implantatarten, links: Schraubenimplantat, mitte: Hohlzylinderimplantat, rechts: Blattimplantat (48)	21
Abb. 11: links: Tissue-Level-Implantat mit maschinierem Kragen (TLX Straumann®), rechts: Bone Level Implantat (BLX Straumann) (49).....	23
Abb. 12: links: Tissue-Level-Implantat, rechts: Bone-Level-Implantat (49)	23
Abb. 13: Mikroskopische Ansicht der Osteoblastenadhäsion auf der SLA-Oberfläche (49).....	28
Abb. 14: Das untersuchte konische, selbstschneidende Tissue-Level Implantat (Straumann® TLX (Straumann, Basel, Schweiz))	29
Abb. 15: Patientenkollektiv der Studie	30
Abb. 16: Implantationszeitpunkt: Sofortimplantation (Typ 1) und Spätimplantation (Typ 4)	37
Abb. 17: Implantationszeitpunkte Sofortimplantation (Typ 1) und Spätimplantation (Typ 4), bezogen auf die Patienten- und Implantat Anzahl.....	38
Abb. 18: Geschlechterverteilung in den Vergleichsgruppen	38
Abb. 19: Implantatlokalisierung (Maxilla anterior/ posterior und Mandibula anterior/ posterior) bezogen auf den Implantationszeitpunkt.....	39
Abb. 20: Implantatlänge kurz (6mm) und Standardlänge (8mm, 10mm, 12mm, 14mm) bezogen auf die untersuchten Gruppen.....	39

Abb. 21: Implantatdurchmesser: 3,75mm, 4,5mm und 5,0mm bezogen auf den Implantationszeitpunkt.....	40
Abb. 22: Kumulative Überlebensrate nach Kaplan-Meier für die Typ-1- und die Typ-4-Gruppe	41
Abb. 23: Kumulative Überlebensrate nach Kaplan-Meier für kurze (6mm) Implantate und Implantate mit einer Standardlänge (>6mm) und Implantate mit einer Standardlänge (>6mm).....	42
Abb. 24: Röntgenbild präoperativ, Zahn 15	44
Abb. 25: Digitale Planung mit DVT.....	44
Abb. 26: Präoperative klinische Situation, Ansicht von okklusal.....	45
Abb. 27: Zustand nach Zahnextraktion, Ansicht von okklusal.....	45
Abb. 28: Implantatbohrung mit Bohrschablone, Ansicht von vestibulär.....	45
Abb. 29: Bohrung und Parallelisierungspfofen, Ansicht von okklusal	46
Abb. 30: TLX-Implantat.....	46
Abb. 31: Einbringung von Xenoflex Knochenersatzmaterial, Ansicht von vestibulär ..	46
Abb. 32: Zustand nach Implantatinserion und Einbringung von Knochenersatzmaterial in den entstandenen Spalt zwischen Implantat und Extraktionsalveole, Ansicht von okklusal	47
Abb. 33: Sofortversorgung mit zuvor laborgefertigtem Provisorium, Ansicht von vestibulär.....	47
Abb. 34: Provisorische Krone, Ansicht von okklusal	47
Abb. 35: Provisorische Versorgung, Ansicht von vestibulär.....	48
Abb. 36: Postoperatives OPG	48
Abb. 37: Präoperative Digitale Planung mit DVT.....	48
Abb. 38: Präoperatives klinisches Bild, Zahnlücke Regio 36, Ansicht von okklusal ..	49
Abb. 39: Präoperatives klinisches Bild, Zahnlücke 36, Ansicht von vestibulär.....	49
Abb. 40: Implantat Bohrung mit Bohrschablone, Ansicht von vestibulär	50
Abb. 41: TLX-Implantat.....	50
Abb. 42: Spätimplantation Regio 36: Implantat Einbringung mit Bohrschablone und Ratsche, hohe Primärstabilität von über 35 Ncm, Ansicht von okklusal.....	50
Abb. 43: Inseriertes Implantat Regio 36, Ansicht von vestibulär.....	51
Abb. 44: Einbringung der provisorischen Krone, Ansicht von vestibulär	51
Abb. 45: Sofortversorgtes Implantat mit Provisorium, Ansicht von vestibulär	52
Abb. 46: Sofortversorgtes Implantat mit Provisorium, Ansicht von okklusal.....	52
Abb. 47: OPG postoperativ.....	52

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Klassifikationsschema der Knochenqualität nach Lekholm und Zarb 1985 (33)	10
Tab. 2: Einteilung der Implantate in Bezug auf: Implantationszeitpunkt, Implantatbelastung, Einheilmodus, Implantatart, -design, -material und -oberfläche	14
Tab. 3: Implantationskonzepte in Bezug auf den Implantationszeitpunkt nach Gallucci et al. (4)	15
Tab. 4: Verschiedene Konzepte der Implantatbelastung nach Gallucci et al. (4).....	19

1. Einleitung, Ziel der Dissertation

Dentale Implantate sind heutzutage ein etabliertes Therapiekonzept, um Einzelzahnlücken sowie teilweise oder komplett unbezahnte Kiefer, auch bei medizinisch beeinträchtigten Patienten, zu versorgen (1-3).

Unter einem dentalen Implantat versteht man einen schraubenförmigen Stift, der in den Kieferknochen inseriert wird, um eine Zahnwurzel zu ersetzen. Durch diese alloplastische Zahnwurzel können prothetische Aufbauten wie Kronen, Brücken oder Elemente zur Verankerung von Prothesen befestigt werden.

Die zunehmende Relevanz dentaler Implantate hat in den letzten Jahren zu stetigen Veränderungen und Verbesserungen der, auf dem Markt verfügbaren Produkte, geführt. Ein Teil der Forschung hat sich von Anfang an mit der Implantatform, dem Design, dem Material, sowie den Eigenschaften der Oberfläche mit ihren Makro- und Mikrostrukturen beschäftigt. Das Ziel ist es, die Implantateinheilung zu optimieren und die Überlebensraten zu steigern.

Hinsichtlich des Implantatdesigns wurden in der Vergangenheit verschiedene Konzepte evaluiert. Unter anderem werden Bone-Level-Implantate von Tissue-Level-Implantaten unterschieden. Außerdem können Behandlungskonzepte hinsichtlich des Zeitpunktes der Implantation und des Zeitpunkts der Belastung unterschieden werden (4). Beim Implantationszeitpunkt unterscheidet man die Sofortimplantation (Typ 1), die Frühimplantation (Typ 2 und Typ 3) und die Spätimplantation (Typ 4). Frühimplantationen können wiederum vom frühen (Typ 2) oder späten Typ (Typ 3) sein. Der Belastungszeitpunkt wird in sofort, früh und konventionell eingeteilt (4). Das Konzept der Sofortimplantation hat in den letzten Jahren für den Behandler und den Patienten an Bedeutung gewonnen (5). Vorteile dieses Behandlungskonzeptes sind insbesondere der Erhalt der umliegenden Hart- und Weichgewebe, eine verkürzte Behandlungsdauer der Patienten und weniger invasive chirurgische Eingriffe. Ästhetisch anspruchsvolle Bereiche, wie der Frontzahnbereich, können direkt nach der Sofortimplantation durch eine provisorische Implantatkrone versorgt werden. Die Sofortimplantation ist ein chirurgisch anspruchsvoller Eingriff und sollte nur von erfahrenen Chirurgen durchgeführt werden (6, 7). Das Ziel dieser Studie ist der Vergleich des konischen Tissue-Level-Implantats TLX der Firma Straumann® in den Konzepten der Sofortimplantation (Typ 1) und der Spätimplantation (Typ 4). Analysiert wurden sowohl die Überlebensraten der Implantate als auch die röntgenologischen

Befunde. Ergebnisse dieser Studie wurden bereits im Clinical Oral Implants Reserach unter dem Titel „Immediate versus delayed implant placement of novel fully tapered tissue-level-implants – A retrospective multicenter clinical study“ von den Autoren Prof. Dr. Dr. Eik Schiegnitz, PD Dr. Dr. Keyvan Sagheb, Leila Raahimi, Jochem König, Dr. Adriano Azaripour, Prof. Dr. Dr. Bilal Al-Nawas veröffentlicht (8).

2. Literaturdiskussion

2.1. Geschichte dentaler Implantate

Die Geschichte der Implantologie reicht bis in die Antike zurück. Bereits damals wurde dokumentiert, wie Zahnwurzeln nach Zahnverlust ersetzt wurden (9).

Der Durchbruch der dentalen Implantologie erfolgte in den 1960er- und 1970er- Jahren als Brånemark in Göteborg (Schweden) entdeckte, dass sich Titan im Knochen fest verankern lässt. Er entwickelte die ersten Implantate aus Titan und gilt als einer der bedeutendsten Wegbereiter der modernen Implantologie. Brånemark untersuchte als erster Forscher den direkten Kontakt zwischen Knochen und Implantat bei Titanimplantaten. Darüber hinaus definierte er 1969 den Begriff der Osseointegration, der heute noch Teil der internationalen Nomenklatur ist. Osseointegration beschreibt nach Brånemark den Verbund von lebendem Knochengewebe mit der belasteten Implantatoberfläche ohne dazwischenliegendes Bindegewebe. Letzteres gilt als ein wesentliches Kriterium für eine erfolgreiche Implantation (10-13). Das von Brånemark entwickelte maschinerte Schraubenimplantat unterscheidet sich nur geringfügig von den heutzutage verwendeten Implantaten. Wenige Jahre später begann Andre Schröder von der Universität Bern (Schweiz) mit seinem Forschungsteam, die Osseointegration in Bezug auf verschiedene Implantatmaterialien und Weichgewebsreaktionen zu untersuchen (14, 15). 1976 entwickelte er das transgingivale Hohlzylinderimplantat, dessen Oberfläche durch eine Titan-Plasma-Spray-Beschichtung modifiziert wurde (14). Seit den 1970er-Jahren entwickelte sich die dentale Implantologie kontinuierlich weiter. Um eine verbesserte Primärstabilität und Osseointegration zu ermöglichen, wurden unterschiedliche Implantatformen und -designs, sowie neue Materialien und Oberflächenmodifikationen erforscht. Desweiteren entstanden Konzepte bezüglich des Zeitpunktes der Implantation und der Implantatbelastung. In den letzten Jahren schufen neue Erkenntnisse in der digitalen Technologie, wie die Einführung von CAD/CAM Verfahren (Computer Aided Design, Computer Aided Manufacturing) und der digitalen Volumetomographie (DVT), neue Möglichkeiten in der digitalen Planung und im digitalen Workflow, was sowohl im chirurgischen als auch im prothetischen Bereich zu erheblichen Fortschritten führte (16).

Die dentale Implantologie entwickelte sich von einer experimentellen Behandlungsoption zu einem etablierten und vorhersagbaren Konzept mit 10-Jahres Erfolgs- und Überlebensraten von über 95% (17, 18). Insgesamt haben die

Entwicklungen der dentalen Implantologie die zahnmedizinischen Behandlungsmöglichkeiten revolutioniert und zur Verbesserung der Lebensqualität vieler Menschen beigetragen (19, 20).

2.2. Knochenheilung

Eine wesentliche Voraussetzung für den erfolgreichen Einheilprozess von Implantaten ist die Knochenheilung. Knochengewebe befindet sich in einem ständigen Umbau, um sich dynamisch an veränderte Belastungszustände anzupassen. In diesem Prozess übernehmen Osteoblasten den Aufbau neuer Knochensubstanz, während Osteoklasten für den Abbau verantwortlich sind. Bei der Knochenheilung unterscheidet man primäre und sekundäre Knochenheilung.

2.2.1. Primäre Knochenheilung

Bei der primären, direkten Knochenheilung wird der Frakturspalt ohne intermediäre Zwischenprodukte wie Bindegewebe oder Faserknorpel direkt mit Lamellenknochen gefüllt. Voraussetzung für eine primäre Knochenheilung ist ein Frakturspalt von weniger als einem Millimeter (mm), sowie eine stabile Fixierung des Spalts und eine ausreichende Blutversorgung. Sind diese Bedingungen nicht gegeben können Bewegungen zu einer Deformation der neu gebildeten Knochensubstanz führen, oder deren Zerstörung verursachen. In solchen Fällen bauen Osteoklasten das zerstörte Gewebe als Detritus ab, was zu einer Vergrößerung des Frakturspalts führt.

2.2.2. Sekundäre Knochenheilung

Liegt ein Frakturspalt von mehr als einem mm vor, erfolgt die Knochenheilung indirekt, über Zwischenprodukte (21). Sie verläuft in mehreren Phasen: Hämostase, inflammatorische Phase, proliferative Phase und Remodelling. Zu Beginn entsteht durch die Verletzung des Knochens ein Hämatom mit einem Blutkoagulum und einem Fibrinnetz. Während der inflammatorischen Phase sprossen Kapillaren in den Knochenspalt ein und Entzündungszellen wandern in das umliegende Gewebe. Pluripotente Stammzellen im Hämatom differenzieren sich zu Osteoblasten, Fibroblasten und Chondroblasten. Im Anschluss an die inflammatorische Phase folgt die Granulationsphase, in der ein weicher Kallus entsteht. Dieser wird durch Mineralisierungsvorgänge innerhalb weniger Wochen zu Geflechtknochen, dem sogenannten knöchernen Kallus. Der Geflechtknochen wird schließlich im Verlauf von Monaten durch Umbauprozesse, dem sogenannten „Remodelling“ zu lamellärem Knochen umgebaut. (21).

2.2.3. Knochenheilungsphasen bei Implantation

Bei dentalen Implantaten spielt die Einheilung des Implantats eine entscheidende Rolle für den Implantaterfolg. Damit ein zunächst nur mechanisch stabilisiertes (primärstabiles) Implantat auch biologisch stabil (sekundärstabil) und osseointegriert wird, müssen mehrere biodynamische Prozesse ablaufen. Diese Vorgänge entsprechen weitestgehend der sekundären Knochenheilung. Die Knochenheilung wird auch hier in die vier Phasen Hämostase, inflammatorische Phase, proliferative Phase und Remodelling unterteilt. In der Hämostase, die innerhalb von Minuten nach der Implantatbettauflbereitung einsetzt, kommt es durch das Anschneiden von Blutgefäßen zur Einblutung in das Gewebe. Aus dem Blut werden wichtige Serumproteine und Ionen freigesetzt. Die Blutung wird durch Thrombozyten gestillt und Fibroblasten werden aktiviert, welche ein Fibrinnetzwerk bilden. Dieses Blutgerinnsel durchsetzt den Wundraum bis an die Implantatoberfläche und bildet die Grundlage für eine erfolgreiche Einheilung. Die inflammatorische Phase beginnt Stunden nach dem Eingriff. In dieser Phase wird die Wunde durch eine erhöhte Gefäßpermeabilität von Granulozyten gereinigt, welche Knochensplitter und Bakterien entfernen. Granulozyten aktivieren zudem Makrophagen, die sowohl für die Phagozytose als auch für die Aktivierung der Angiogenese verantwortlich sind. Die proliferative Phase setzt etwa drei bis vier Tage postoperativ ein, beginnend mit der Angiogenese. Fibroblasten wandern in die Wunde ein und synthetisieren die extrazelluläre Matrix. Auch Perizyten und mesenchymale Stammzellen wandern ein und bilden neue Blutgefäße, die sich mit dem bestehenden Blutgefäßnetz verbinden. Die Sauerstoffversorgung, die durch die Angiogenese sichergestellt wird, ist eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Knochenheilung. Ab dem siebten Tag beginnen aktivierte Osteoklasten, die Knochensplitter zu resorbieren, um Raum für die Knochenneubildung zu schaffen, was zu einem vorübergehenden Abfall der Primärstabilität in den ersten postoperativen Wochen führt. Gleichzeitig werden Osteoblasten aktiviert welche organische Matrix bilden, die anschließend mineralisiert wird, wodurch Geflechtknochen entsteht. Dieser Geflechtknochen verläuft parallel zur Implantatoberfläche. Das Ziel der letzten Phase, der Remodelling Phase, ist der Umbau des Knochens entsprechend der Implantatbelastung, um eine Lastanpassung zu ermöglichen. Der parallel zur Implantatoberfläche verlaufende Geflechtknochen wird in lamellären Knochen umgebaut, dessen Trabekel senkrecht zu den Implantatgewindespitzen verlaufen. Dieser Umbauvorgang beginnt etwa ab der vierten bis sechsten Woche nach der Implantation und kann, abhängig vom Patienten, drei

bis sechs Monate dauern. In dieser Phase arbeiten Osteoblasten und Osteoklasten im Gleichgewicht koordiniert durch Osteozyten. Mit der Ausbildung der Knochentrabekel ist das Implantat osseointegriert. (22)

2.3. Osseointegration

Unter Osseointegration (lat. *osseus* „knöchern“, *integrare* „einbinden“) versteht man einen mikroskopisch sichtbaren, direkten funktionellen und strukturellen Verbund zwischen lebendem Knochengewebe und der Oberfläche eines belasteten Knochenimplantats (13, 23, 24). Der strukturelle Verbund ist gegeben, wenn der Knochen direkt an die Implantatoberfläche anlagert, ohne dass eine bindegewebige Zwischenschicht vorhanden ist. Von einem funktionellen Verbund spricht man, wenn der strukturelle Verbund mechanischen Belastungen standhält (25).

2.3.1. Primärstabilität und Sekundärstabilität

Im Verlauf der Implantateinheilung lassen sich verschiedene Phasen der Festigkeit des Implantats beobachten. Die Stabilität eines Implantats im Knochen kann in zwei Phasen eingeteilt werden: die Primär- und die Sekundärstabilität.

Unmittelbar nach Implantatinsertion besteht die sogenannte „Primärstabilität“. Sie ist rein mechanisch und wird vor allem durch die Klemmpassung definiert (26). Nach der Implantatinsertion wird der Knochen an den Bruchkanten durch Osteoklasten resorbiert. Dies erklärt in den ersten Wochen die Abnahme der Primärstabilität (siehe Abb. 1) und folglich auch der Gesamtstabilität auf ein Minimum. Im weiteren Verlauf bildet sich neuer Knochen, der zunehmend mineralisiert, wodurch die Sekundärstabilität steigt (26). Wie in der Abbildung 1 ebenfalls zu erkennen ist, besteht etwa ab der dritten Woche postoperativ eine Stabilitätslücke, die durch die labile Zwischenstufe des Geflechtknochens entsteht. Technisch versucht man durch Oberflächenmodifikationen diese Stabilitätslücke so gering wie möglich zu halten. In dieser labilen Zwischenstufe können übermäßige Belastungen des Implantats dazu führen, dass durch Mikrobewegungen keine Mineralisationsvorgänge stattfinden und somit keine erfolgreiche Osseointegration erfolgt. Dieser Zeitraum ist häufig für frühe Implantatverluste verantwortlich (26). Nach vollständiger Einheilung des Implantats in den Knochen liegt die Sekundärstabilität vor, die biologischer Natur ist (26).

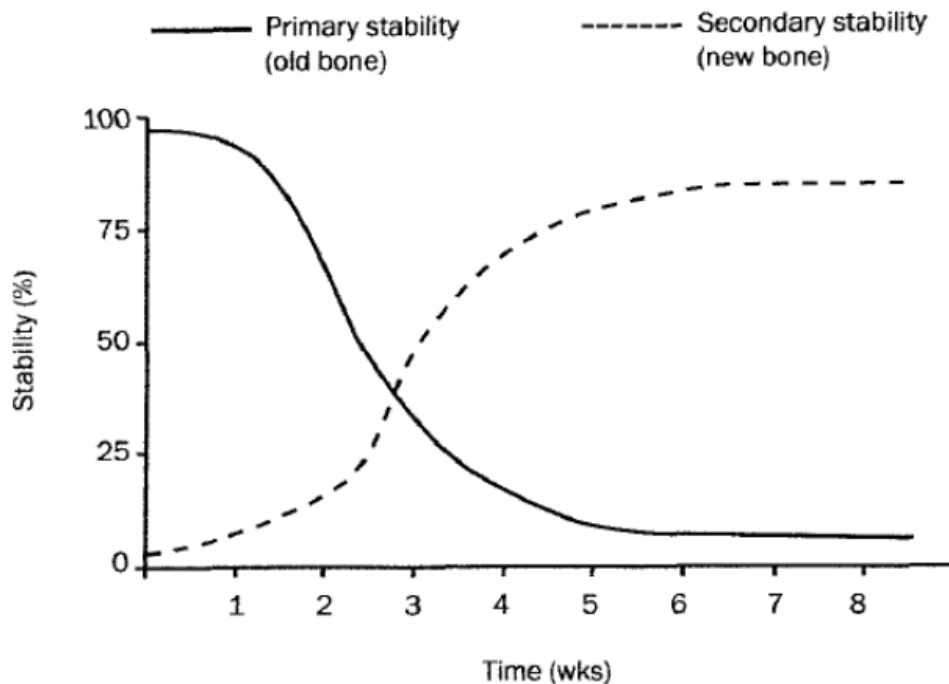


Abb. 1: Graphische Darstellung der Implantatstabilität (y-Achse) in Abhängigkeit der Einheitszeit in Wochen (x-Achse)(26)

2.3.2. Beeinflussende Faktoren der Stabilität

Die Stabilität kann sowohl durch patientenbezogene Faktoren wie Knochenqualität und Knochenvolumen als auch durch andere Aspekte wie Implantateigenschaften (Implantatdimensionen: Durchmesser und Länge, Oberflächenbeschaffenheit, Implantatart) und Operationstechnik beeinflusst werden (27, 28).

Im Gegensatz zu den patientenbezogenen Faktoren sind die Operationstechnik und die Implantateigenschaften modifizierbar, weshalb ihnen besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird. Ziel ist es, ein passgenaues, formkongruentes Implantatbett für das gewählte Implantatdesign zu schaffen und einen möglichst hohen Implantat-Knochen-Kontakt zu erreichen (29, 30).

Im Folgenden Kapitel 2.4 werden die implantatbezogenen Faktoren, die Einfluss auf die Stabilität nehmen näher beleuchtet.

Die Knochenqualität

Für eine erfolgreiche Implantation ist ein ausreichendes Knochenangebot in vertikaler als auch horizontaler Dimension von entscheidender Bedeutung. Daher sollte der

Knochenabbau nach einer Extraktion so gering wie möglich gehalten werden. Nach Verlust eines Zahnes kommt es zu Veränderungen im umliegenden Kieferknochen und Weichgewebe, die sowohl den Verlust der Knochenhöhe als auch der Weichgewebisdicke betreffen. Durch die fehlende mechanische Belastung des Knochens nach Zahnverlust und die wegfallende Blutversorgung des Knochens über den Parodontalspalt kommt es zum Knochenschwund. Dabei ist die knöcherne Resorption transversal stärker ausgeprägt als in der horizontalen Richtung und betrifft die vestibulären Knochenwände stärker als die lingualen oder palatinalen Wände (28, 31).

Es gibt verschiedene Möglichkeiten um die Knochenresorption nach Zahnverlust zu minimieren oder zu verhindern. Diese umfassen die Sofortimplantation in die Extraktionsalveole oder die sogenannte Socket Preservation. Eine Sofortimplantation ist an strenge Voraussetzungen geknüpft und daher nicht für alle Patienten geeignet. Bei der Socket Preservation wird ein Knochentransplantat, Knochenersatzmaterial oder ein anderes Material in die leere Zahnalveole eingebracht. Dadurch wird die Knochenregeneration angeregt, das postoperative Knochenvolumen erhalten und das Risiko für später notwendige aufwendige Augmentationen verringert (31-33).

Die Knochenqualität der Patienten ist nicht modifizierbar. Sie wurde 1985 von Lekholm und Zarb in vier Klassen anhand patientenspezifischer Parameter unterteilt (siehe Tab. 1) (34). Je nach vorliegender Knochenklasse variiert der Schwierigkeitsgrad, eine hohe Primärstabilität zu erreichen.

Klasse	Spongiosa	Kompakta
I	Wenig	Überwiegend, homogen
II	Engmaschig	Breit
III	Engmaschig	Dünn
IV	Weitmaschig	Dünn

Tab. 1: Klassifikationsschema der Knochenqualität nach Lekholm und Zarb 1985 (34)

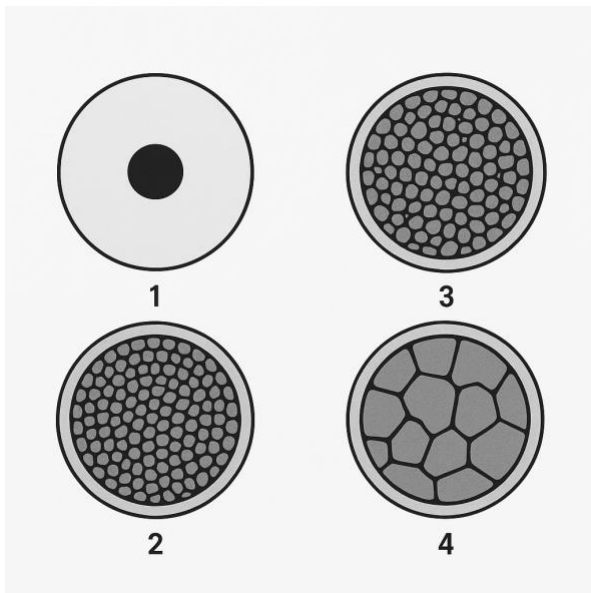


Abb. 2: Knochenklassen nach Lekholm und Zarb (34, 35)

Bei Insertionen in Knochen der Klasse I, der fast ausschließlich aus dichter und homogener Kompakta besteht, ist eine hohe Primärstabilität des Implantats sehr wahrscheinlich. In Knochen der Klasse II, der eine dicke Kompakta mit engmaschiger Spongiosa aufweist, ist ebenfalls eine hohe Primärstabilität zu erwarten. Bei Knochen der Klasse III, der durch eine dünne, poröse Kompakta mit engmaschiger Spongiosa gekennzeichnet ist, kann die Präparation des Implantatbetts leicht zu groß ausfallen, was mit einer reduzierten Primärstabilität einhergehen kann. In diesen Fällen wird die Technik der Unterpräparation (Underdrilling) empfohlen (36). Ähnlich verhält es sich bei Knochen der Klasse IV, der eine dünne Kompakta mit weitmaschiger Spongiosa aufweist. Hier ist es besonders schwierig eine hohe Primärstabilität zu erzielen.

2.3.3. Methoden zur Bestimmung der Implantatstabilität

Zur Bestimmung der Stabilität eines inserierten Implantats stehen verschiedene Methoden zur Verfügung.

Das Eindrehmoment und das Ausdrehmoment

Das Eindrehmoment (Insertion Torque) bezeichnet die aufgewendete Kraft, die notwendig ist, um das Implantatgewinde in das präparierte Implantatbett einzudrehen. Diese Kraft kann während der Insertion mithilfe eines Handstücks oder einer Ratsche

gemessen werden und liefert Rückschlüsse auf die Primärstabilität des Implantats. Im Gegensatz dazu gibt das Ausdrehmoment (removal torque), die Kraft, die erforderlich ist, um ein Implantat nach der Einheilphase wieder herauszudrehen, Rückschlüsse auf die Sekundärstabilität (37).

Die Resonanzfrequenzanalyse und der Implantatstabilitätsquotient

Die Resonanzfrequenzanalyse (RFA) ist ein objektives Verfahren zur Beurteilung der Implantatstabilität. Hierbei wird die Biegefestigkeit des Knochen-Implantat-Systems gemessen. Ein spezieller Pfosten wird in das Implantat eingedreht, und eine horizontale Kraft wird mittels eines impulsgesteuerten Magneten ohne direkten Kontakt auf das Implantat ausgeübt. Die dadurch entstehende Auslenkung wird gemessen und liefert objektive Rückschlüsse auf die Implantatstabilität. Je stärker dabei der Kontakt von Knochen und Implantat, desto höher die Resonanzfrequenz. Der RFA-Messwert, gemessen in Herz (Hz), wird in den Implantatstabilitätsquotient (ISQ) umgewandelt, welcher die lokale Knochendichte widerspiegelt. Der ISQ-Wert reicht von 1 (geringe Stabilität) bis 100 (hohe Stabilität) (38, 39). Nach Sennerby et al. gelten ISQ-Werte über 70 als „sicher“ und ISQ-Werte unter 55 werden als „fragwürdig“ eingestuft. Implantate mit niedrigeren ISQ-Werten weisen ein höheres Versagensrisiko auf als solche mit höheren ISQ-Wert (40).

Auskultation

Mittels Klopfchallauskultation lässt sich der Zustand des Implantats beurteilen. Hierbei wird mit einem metallenen Griff eines Instrumentes rechtwinklig zur Längsachse des Implantates geklopft und der entstehende Ton analysiert. Man unterscheidet einen hellen von einem dumpfen Ton. Ein dumpfer Klang ist charakteristisch für ein bindegewebig eingeheltes Implantat. Während ein heller Klang aufgrund der geringen Dämpfung charakteristisch für osseointegrierte Implantate ist. (41)

Manuelle Messung

Die Implantatstabilität kann auch manuell überprüft werden, jedoch handelt es sich hierbei um eine subjektive Einschätzung ohne instrumentelle Unterstützung (41).

Radiologische Untersuchung

Die meisten Röntgenaufnahmen bieten eine zweidimensionale Darstellung des Implantats im Knochen, weshalb sie nur begrenzte Aussagen über die Implantatstabilität ermöglichen. Postoperativ eignen sich Röntgenbilder gut, um periimplantäre Knochenverhältnisse zu beurteilen, sind jedoch intraoperativ ungeeignet für kurzfristige Beurteilungen der Implantatstabilität (38).

2.4. Einteilung der Implantate

Implantate lassen sich hinsichtlich verschiedener Kriterien einteilen (siehe Tab. 2).

Implantationszeitpunkt	Sofort	Früh (vom frühen Typ, vom späten Typ)	Spät
Implantatbelastung	Sofort	Früh	Konventionell
Einheilmodus	Subgingival (geschlossen)	Transgingival (offen)	
Implantatarten	Schrauben-implantat	Hohlzylinder-implantat	Blattimplantat
Implantatdesign	Bone-Level	Tissue Level	
Implantatmaterial	Titan	Keramik	Kombinationen (Roxolid)
Implantatoberfläche	Additive Verfahren	Subtraktive Verfahren	

Tab. 2: Einteilung der Implantate in Bezug auf: Implantationszeitpunkt, Implantatbelastung, Einheilmodus, Implantatart, -design, -material und -oberfläche

2.4.1. Der Implantationszeitpunkt

Hinsichtlich des Zeitpunkts der Implantation unterscheidet man vier Konzepte, welche Gallucci et al. in einer systematischen Übersichtsarbeit 2018 definierte (siehe Tab. 3) (4, 42).

Sie beziehen sich auf den Zeitpunkt der Implantation nach Zahnextraktion: die Sofortimplantation (Typ 1), die Frühimplantation vom frühen Typ mit Weichgewebsheilung (Typ 2), die Frühimplantation vom späten Typ mit partieller Knochenheilung (Typ 3) und die Spätimplantation (Typ 4) (31, 43, 44).

Bei einer Sofortimplantation wird das Implantat direkt nach der Extraktion, innerhalb einer Zeitspanne von maximal acht Tagen nach Extraktion inseriert. Eine Frühimplantation vom frühen Typ („verzögerte Sofortimplantation“) erfolgt vier bis acht Wochen nach der Extraktion, während die Frühimplantation vom späten Typ nach 12 bis 16 Wochen durchgeführt wird. Die Spätimplantation hingegen erfolgt erst nach Ausheilung des Hartgewebes, also frühestens sechs Monate nach Extraktion. (4, 7)

Zeitpunkt	0-8 Tage	4-8 Wochen	12-16 Wochen	> 6 Monate
Konzepte	Sofort- implantation Typ 1	Früh- implantation vom frühen Typ Typ 2	Früh- implantation vom späten Typ Typ 3	Spätimplantation Typ 4
	am selben Tag, bis zu 8 Tage nach Extraktion	Weichgewebs- heilung	partielle Knochenheilung	komplette Knochenheilung

Tab. 3: Implantationskonzepte in Bezug auf den Implantationszeitpunkt nach Gallucci et al. (4)

Sofortimplantationen haben in den letzten Jahren sowohl für Patienten als auch für Behandler an Bedeutung gewonnen (5). Dieses Konzept bietet viele Vorteile, insbesondere den Erhalt der umliegenden Schleimhaut und des Knochens. Zudem verkürzt sich die Behandlungsdauer erheblich, da weniger chirurgische Eingriffe erforderlich sind und die Einheilzeit des Implantats mit der Abheilzeit der Extraktionswunde zusammenfällt. Durch die Reduktion der Eingriffe ergeben sich auch potenziell niedrigere Kosten für den Patienten. In ästhetisch anspruchsvollen Regionen wie dem Frontzahnbereich kann nach Sofortimplantation sogar die direkte Versorgung mit einer provisorische Implantatkrone erfolgen (7).

Allerdings müssen für eine erfolgreiche Sofortimplantation mehrere Kriterien erfüllt werden. Der 2. ITI-Konsensus aus dem Jahr 2018 empfiehlt ideale klinische Voraussetzungen. Dazu zählen ein dicker Gingivabiotyp (Morphotyp B: dicke befestigte Gingiva), eine intakte vestibuläre Knochenwand (mit einer Mindestdicke von einem mm) sowie ein entzündungsfreies Hart- und Weichgewebe (6, 45). Darüber hinaus sollte der Behandler über ausreichende klinische Expertise verfügen (6).

Sollte eine dieser Bedingungen nicht erfüllt sein oder liegen lokale bzw. systemische Komplikationen wie eine schlechte Compliance oder ein Diabetes mellitus vor, sollte auf eine Früh- oder Spätimplantation ausgewichen werden (7).

Die Spätimplantation ist in klinischen Studien am ausführlichsten dokumentiert und aufgrund der hohen Erfolgsraten ein etabliertes Verfahren in der dentalen Implantologie. Ein Vorteil liegt in der vollständigen Knochenheilung, was die Planung und die Vorhersagbarkeit auch bei komplexen Ausgangssituationen vereinfacht. Ein Nachteil der vorhersagbaren Spätimplantation ist die Resorption des Knochens nach der Extraktion, insbesondere des Bündelknochens, der ausgehend vom Parodontalspalt des Zahnes mit Blut versorgt wird. Diese Resorption kann zu einer Atrophie des Knochens führen und sich negativ auf den Verlauf der Mukogingivallinie auswirken, was in ästhetisch anspruchsvollen Bereichen problematisch sein kann (7).

Die Frühimplantationen vom frühen oder späten Typ bieten einen individuellen Kompromiss zwischen den Vor- und Nachteilen der Sofort- und Spätimplantation (7, 31).

Ein Beispiel der verschiedenen Behandlungsschritte einer Sofortimplantation sind in den Abbildungen 3 bis 5 dargestellt.



Abb. 3: Links: präoperatives Bild, klinischer Zustand vor Extraktion 36, Ansicht von okklusal



Abb. 4: Zustand nach atraumatischer Zahnextraktion 36, Implantatbohrung, Einbringung eines Parallelitätspfosten, Ansicht von okklusal

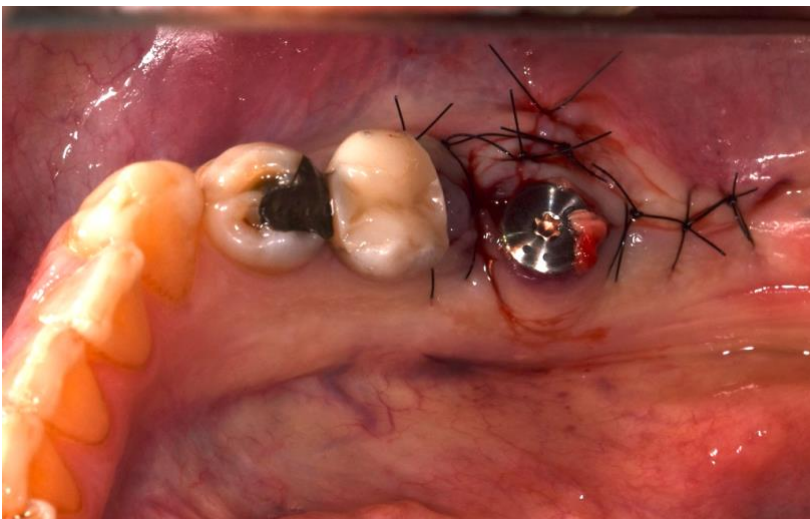
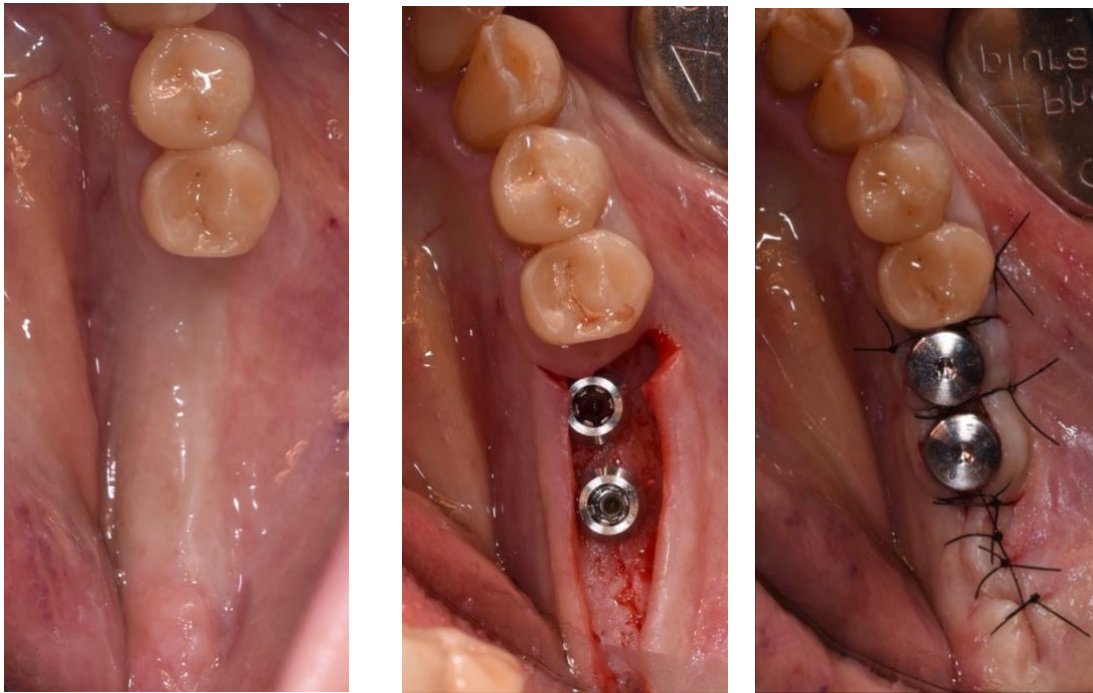


Abb. 5: Zustand nach Sofortimplantation 036 (Typ 1), Ansicht von okklusal

Ein Beispiel der verschiedene Behandlungsschritte einer Spätimplantation sind in den Abbildungen 6 bis 8 dargestellt.



Von links nach rechts: Abb. 6, Abb. 7, Abb. 8

Abb. 6: Klinische Bilder einer Spätimplantation (Typ 4) in Regio 046 und 047, links: präoperative klinische Situation, Ansicht von okklusal

Abb. 7: Zustand nach Implantation, Ansicht von okklusal

Abb. 8: Tissue-Level-Implantate mit Verschlusschraube, Ansicht von okklusal

2.4.2. Die Implantatbelastung und der Einheilmodus

Die Notwendigkeit den Zeitpunkt der Implantation und den Zeitpunkt der Implantatbelastung stets gemeinsam zu betrachten betonten Gallucci et al. 2018 in ihrer Übersichtsarbeit. Beide Faktoren können einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis der Implantation haben.

Man unterscheidet drei Konzepte bezüglich des Belastungszeitpunkts der Implantate: Die Sofortbelastung wird als Gruppe A, die Frühbelastung als Gruppe B und die konventionelle Belastung als Gruppe C bezeichnet (siehe Tab. 4) (4, 42).

Von einer Sofortbelastung spricht man, wenn das Implantat innerhalb der ersten Woche nach Implantation funktionell belastet wird. Eine Frühbelastung erfolgt zwischen einer Woche und zwei Monaten nach der Insertion. Bei der konventionellen Belastung lässt man das Implantat mindestens zwei Monate ohne Verbindung zu prothetischen Versorgung einheilen (42, 46).

	Sofortbelastung (Gruppe A)	Frühbelastung (Gruppe B)	Konventionelle Belastung (Gruppe C)
Zeitpunkt der Belastung	Innerhalb der 1. Woche	1 Woche – 2 Monate	Nach mindestens 2 Monaten

Tab. 4: Verschiedene Konzepte der Implantatbelastung nach Gallucci et al. (4)

Für alle drei Belastungstypen wurden hohe Überlebensraten berichtet (4).

Trotzdem ist die konventionelle Belastung in den meisten klinischen Situationen am vorhersagbarsten beschrieben worden und wird insbesondere beim Vorliegen von lokalen Kompromissen wie beispielsweise einer geringen Primärstabilität, oder systemischen Komplikationen empfohlen(4, 42, 47).

Die verschiedenen Belastungskonzepte gehen mit unterschiedlichen Einheilmodi einher. Ein Implantat kann postoperativ entweder subgingival, also geschlossen unter einem Mukoperiostlappen, oder transgingival, offen zur Mundhöhle, einheilen (siehe Abb. 9: links subgingivale Einheilung, mitte und rechts: transgingivale Einheilung) (48).

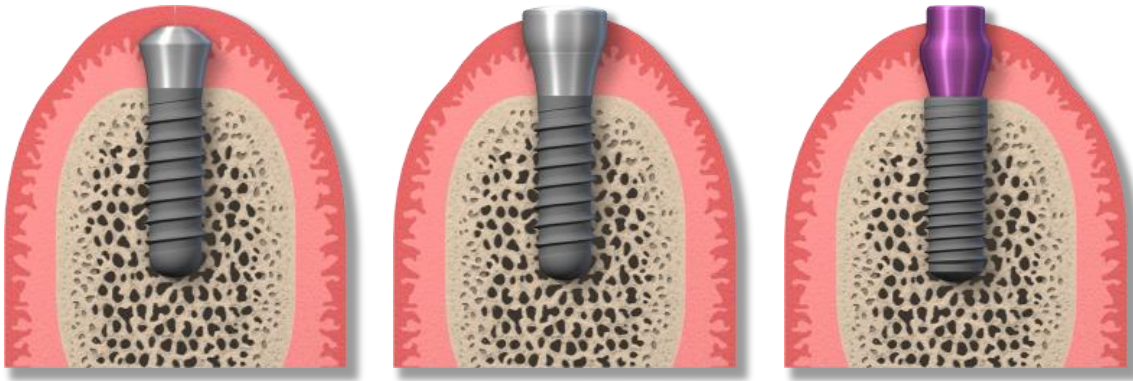


Abb. 9: links: subgingivale Einheilung, mitte und rechts: transgingivale Einheilung (mitte: Tissue Level Implantat, rechts: Bone Level Implantat mit Gingivaformer (49)

Das einphasige Einheilen erfolgt transgingival, wobei das Implantat frei in die Mundhöhle ragt, ohne von einem Mukoperiostlappen bedeckt zu sein. Dadurch entfällt ein zweiter chirurgischer Eingriff zur Freilegung des Implantats.

Die zweiphasige geschlossene Einheilung erfolgt subgingival. Das Implantat wird nach der Insertion mit einer Verschlusschraube abgedeckt und anschließend mit einem Mukoperiostlappen vernäht. Durch die Mukosaabdeckung heilt das Implantat geschützt vor mechanischen Beanspruchungen und Infektionen ein. Ein zweiter chirurgischer Eingriff ist erforderlich, um das Implantat freizulegen und einen Gingivaformer einzusetzen.

Ein transgingival einheilendes Implantat kann sofort, früh oder spät belastet werden. Ein subgingival einheilendes Implantat kann erst nach der Freilegung belastet werden.

2.4.3. Die Implantatart

Hinsichtlich der Implantatarten unterscheidet man zwischen Schraubenimplantaten, Hohlzylinderimplantaten und Blattimplantaten (48).

Erstere sind schraubenförmig aufgebaut und verfügen über ein Gewinde (siehe Abb. 10 links). Diese Implantatart findet am häufigsten Gebrauch. Bei der Implantatbettpräparation wird ein Loch in den Kieferknochen gebohrt, in welches das Implantat inseriert wird. Schraubenimplantate können entweder als selbstschneidend mit aktivem Gewinde oder als nicht selbstschneidend mit passivem Gewinde vorliegen. Zudem unterscheiden sie sich in ihrer Form, die entweder konisch, zylindrisch-konisch oder zylindrisch sein kann.

Hohlzylinderimplantate wurden erstmals 1976 von Andre Schröder vorgestellt (siehe Abb. 10 mitte) (14). Diese Implantate haben eine glatte Oberfläche und besitzen im Gegensatz zu Schraubenimplantaten kein Gewinde. Mit Hilfe von Hammerschlägen werden sie in einen formkongruenten, vorgefrästen Hohlraum eingebracht. Aufgrund ihrer Konstruktion weisen Hohlzylinderimplantate sowohl innen als auch außen eine große Kontaktfläche zum Knochen auf. Allerdings ist der innere Knochenanteil im Vergleich zum äußeren schlechter durchblutet. Diese Implantatart wird heutzutage nur noch selten verwendet.

Blattimplantate, die 1968 von Linkow entwickelt wurden, sind flach und erinnern in ihrer Form an ein Blatt (siehe Abb. 10 rechts). Aufgrund ihrer großen Extensionsfläche werden sie auch als Extensionsimplantate bezeichnet. Diese Implantate wurden in der Anfangszeit der Implantologie verwendet. Allerdings erwiesen sie sich unter Belastung als instabil, was zu Komplikationen wie Brüchen führte. Daher finden Blattimplantate heute keine Anwendung mehr (50).

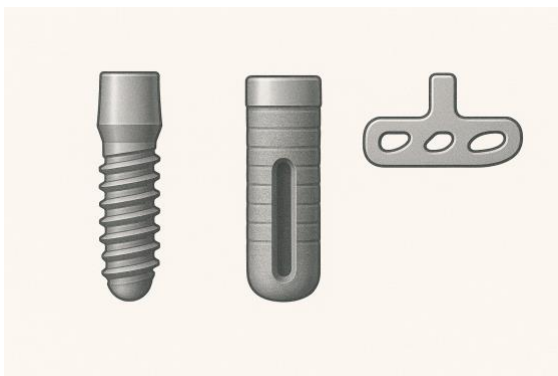


Abb. 10: verschiedene Implantatarten, links: Schraubenimplantat, mitte: Hohlzylinderimplantat, rechts: Blattimplantat (48)

2.4.4. Implantatdesign

Implantate können entweder einteilig oder zweiteilig sein. Bei einteiligen Implantaten sind das Implantat und das Befestigungselement für die prothetische Suprakonstruktion nicht voneinander getrennt (48).

Im Laufe der Zeit haben sich insbesondere zweiteilige Implantate etabliert, die nach der Konfiguration ihrer Implantatschulter klassifiziert werden. Implantate mit einer rauen Oberfläche bis zur Implantatschulter werden als Bone-Level-Implantate bezeichnet (siehe Abb. 11 rechts,

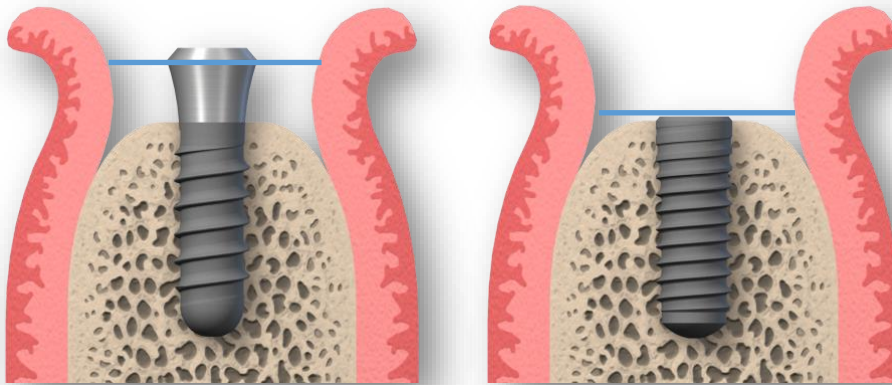


Abb. 12 rechts). Tissue-Level-Implantate hingegen verfügen über einen maschinerten, glatten Kragen und eine nach krestal raue Oberfläche (siehe Abb. 11 links,

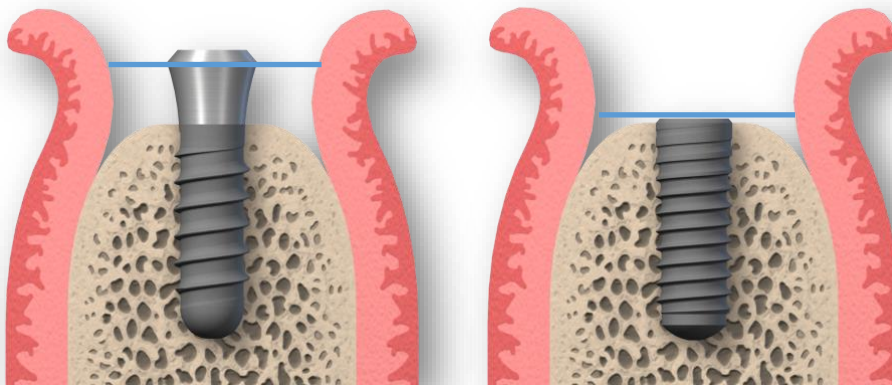


Abb. 12 links). Tissue-Level-Implantate sind auch als Hybrid-Design-Implantate bekannt und heilen in der Regel transgingival ein (51).



Abb. 11: links: Tissue-Level-Implantat mit maschinierem Kragen (TLX Straumann®), rechts: Bone Level Implantat (BLX Straumann) (49)

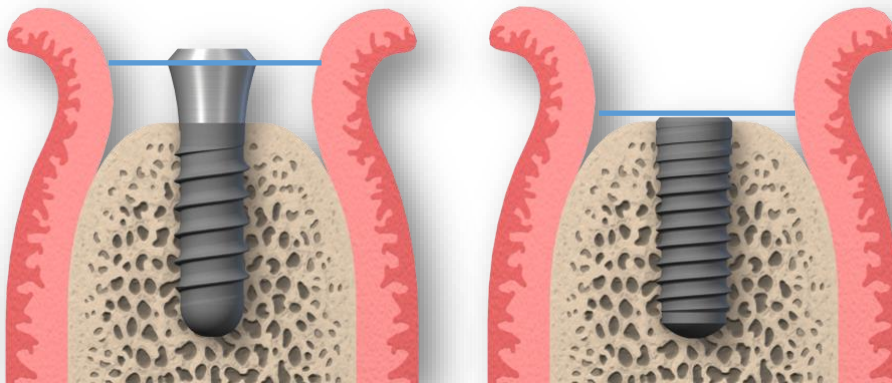


Abb. 12: links: Tissue-Level-Implantat, rechts: Bone-Level-Implantat (49)

Tissue-Level-Implantate zeichnen sich durch eine integrierte biologische Breite aus. Die biologische Breite ist die Distanz von der am weitesten koronal liegenden Ausdehnung des Saumepithels (Taschenfundus) der Gingiva bis zum am weitesten krestal liegenden Rand des Alveolarknochens. Die integrierte biologische Breite der Tissue-Level-Implantate wird durch die Auftulung des Implantats im krestalen Bereich geschaffen. Diese Auftulung weist eine maschinierete, glatte Oberfläche auf. Darunter befindet sich eine raue Implantatoberfläche, welche in den Knochen inseriert wird. Da die glatte Implantatschulter auf Weichgewebshöhe liegt, entsteht ein einfacher Zugang zu dem Implantat, dem Abutment und der prothetischen Versorgung. Sowohl die

Pflege als auch die klinische Kontrolle des Implantats wird erleichtert. Aus diesen Gründen sind Tissue-Level-Implantate besonders im Seitenzahnbereich indiziert. Ein weiterer Vorteil der suprakrestalen Auftulping ist die Ausformung des Weichgewebes bereits nach Implantation, was ansprechende ästhetische Ergebnisse ermöglicht (51). Durch das Entfallen der Freilegungsoperation bei dem einzeitigen Verfahren der transgingivalen Einheilung verkürzt sich die benötigte Behandlungszeit (51). Dank der biologischen Breite des Implantates gibt es keinen Mikropalt in der für die Einheilung kritischen Zone, da dieser sich im Inneren der Restauration befindet. Die Verbindung des Implantats mit dem Abutment liegt nicht direkt am Knochen, sondern auf Gingiva-Niveau. Dadurch sind Mikrobewegungen und bakterieller Austausch nur in gewissem Abstand zum Knochen möglich. Es gibt Hinweise darauf, dass das Tissue-Level-Design weniger anfällig für Periimplantitis ist. Aufgrund der transgingivalen Belastung kommt es zudem zu einem geringeren Remodelling im Bereich des krestalen Knochenniveaus, was den Knochen schützt (52-54).

2.4.5. Implantatmaterial

Titan und seine Legierungen sowie Zirkondioxid gelten aufgrund ihrer schnellen Osseointegration als Standardmaterialien für dentale Implantate (55).

In den letzten Jahren werden wieder vermehrt Implantate aus dem keramischen Werkstoff Zirkoniumdioxid eingesetzt. Ein entscheidender Vorteil dieses Materials ist seine Zahnfarbe. Bei Patienten mit einem dünnen Gingivatyp kann es bei Titanimplantaten zu einem Durchscheinen des Metalls durch das Gewebe kommen, was sich besonders im ästhetisch anspruchsvollen Frontzahnbereich negativ auswirken kann. Cionca et al. haben die aktuelle Sachlage zu Zirkonimplantaten untersucht, doch es gibt bisher nur wenig solide Langzeitergebnisse. Zirkondioxid zeichnet sich durch eine hohe Biegefestigkeit und Härte aus. Biologisch gesehen zeigt Zirkondioxid eine geringere Affinität zur bakteriellen Plaque, ein geringeres Entzündungsinfiltrat und eine gute Weichgewebsintegration. Allerdings sind die frühen Ausfallraten von Zirkondioxid Implantaten im Vergleich zu Titanimplantaten höher. Technisches Versagen, insbesondere durch Materialbrüche, spielt hierbei eine Rolle. Weitere klinische Studien sind notwendig um die Eigenschaften dieses Materials genauer zu erforschen (56).

Das Titan kann durch verschiedene Verfahren in seinen Eigenschaften, wie Festigkeit, Verformbarkeit und Härte, modifiziert werden. Dies erfolgt durch den Zusatz von Legierungselementen, die Verfestigung durch kalte Verformung und die Feinkornhärtung durch heiße Verformung. Eine besondere Eigenschaft von Titan ist die Bildung einer sogenannten Passivschicht. Diese Schicht bietet dem Metall nicht nur Korrosionsschutz, sondern verhindert auch eine elektrochemische Reaktion mit seiner Umgebung (57).

In den letzten Jahren wurden Legierungen aus Titan und Zirkondioxid entwickelt. Die sogenannte „Roxolid“-Legierung der Firma Straumann® besteht zu 85% aus Titan und zu 15% aus Zirkondioxid. In der Studie von Grandin et al. wurde nachgewiesen, dass diese Legierung eine um 40% höhere Zug-, Ermüdungs- und Dauerfestigkeit aufweist als reine Titanimplantate (58, 59). Besonders Implantate mit einem reduzierten Durchmesser, die unter anderem bei Einzelzahnlücken oder zahnlosen Kieferkämme mit reduzierter Breite indiziert sind, müssen hohe Anforderungen an die mechanische Stabilität erfüllen. Diese Implantate profitieren von den verbesserten mechanischen Eigenschaften der Legierung, was das Risiko von Materialbrüchen durch Überlastung verringert. Dadurch stehen Patienten mehr Behandlungsoptionen zur Verfügung, da

das Material auch anspruchsvolle klinische Situationen minimalinvasiv bewältigen kann (60, 61). Es wurde gezeigt, dass es keine signifikanten Unterschiede in der Effizienz zwischen Titan und Titan-Zirkondioxid-Legierungen gibt. Die Titan-Zirkonoxid-Legierung stellt eine sichere, langfristige und vorhersagbare Alternative zu Titan-Grad-IV Implantaten dar. (60, 61)

2.4.6. Implantatoberfläche

Die Oberflächeneigenschaften von Implantaten, wie Topografie, Beschichtung und Benetzbarkeit beeinflussen maßgeblich den Osseointegrationsprozess (62, 63). Diese Eigenschaften ermöglichen die Interaktion des Biomaterials mit den Osteoblasten und fördern somit die erfolgreiche Osseointegration des Implantats.

Es gibt verschiedene Ansätze zur Gestaltung von Implantatoberflächen, wobei eine wichtige Modifikation die Oberflächenvergrößerung ist. Diese führt zu einer vergrößerten Knochen-Implantat-Kontaktfläche, was die Implantatstabilität verbessert, da mehr Osteone mit dem Implantat in Kontakt treten. Insbesondere die Mikro- und Makrostrukturen des Implantats tragen zur Vergrößerung der Oberfläche bei und spielen daher eine entscheidende Rolle. Zur Oberflächenmodifikationen können unterschiedliche Verfahren eingesetzt werden, die in additive und subtraktive Techniken unterteilt werden (64).

Additive Beschichtungen beinhalten das Auftragen von Material, beispielsweise durch das Plasma-Flammenspritzverfahren (Titanplasmabeschichtung), durch eine Beschichtung mit osteokonduktiven Hydroxylapatit oder durch maschinell bearbeitete Oberflächen. Bei dem Titanplasma-Spritz-Verfahren werden Titanpartikel erhitzt und auf das Implantat aufgetragen, wodurch die Oberfläche (Titan-Plasma-Flame-Surface, TPS) um das Sechsfache vergrößert wird. Bei subtraktiven Verfahren wird Material von der Oberfläche abgetragen, etwa durch Ätzen, Sandstrahlen oder Lasertechnologie (64). Häufig werden auch Kombinationen der subtraktiven Verfahren angewendet, wie bei der Herstellung der SLA-Oberfläche (Sand-blasted, large grit, acid-etched) der Firma Straumann®. Hierbei erzeugt das Sandstrahlverfahren zunächst eine Makrorauigkeit, gefolgt von einer Mikrorauigkeit durch Säureätzung. Nach diesen Oberflächenmodifikation konnten in Studien verkürzte Einheilzeiten nachgewiesen werden (65). Es hat sich gezeigt, dass auf sandgestrahlten, säuregeätzten Oberflächen, die Knochendifferenzierung und Proteinproduktion gefördert wird, und es so zu einer sehr hohen Knochen-Implantatkontaktrate kommt. Funktionstests haben zudem hohe Ausdrehwiderstände ergeben (65).

Eine Weiterentwicklung der SLA-Oberfläche stellt die SLActive-Oberfläche (Sand-blasted, large grit- acid-etched, chemical active and hydrophilicity) dar. Diese Oberfläche ist zusätzlich hydrophil und weist Nanostrukturen auf, die die Osseointegration weiter beschleunigen (66).

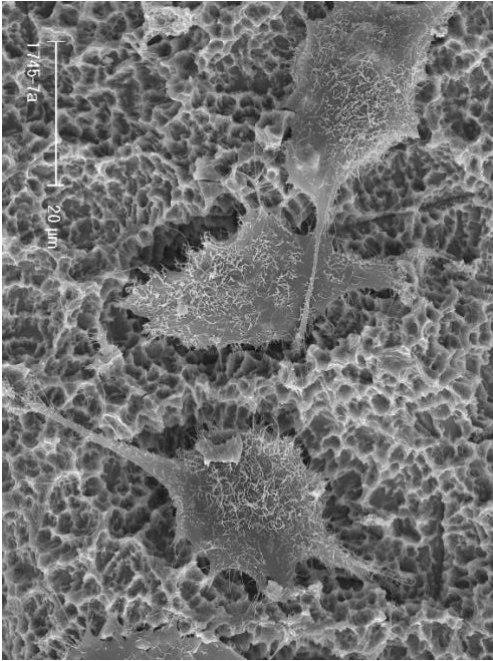


Abb. 13: Mikroskopische Ansicht der Osteoblastenadhäsion auf der SLA-Oberfläche (49)

Im Vergleich zu maschinieren Titanflächen ist die Oberfläche von SLA und SLActive Implantaten durch die Mikrorauigkeit bereits um 100% vergrößert. Die SLActive Modifikation erhöht diese Vergrößerung durch die Nanostrukturen um weitere 50%. In-vitro-Untersuchungen zeigen, dass diese Nanostrukturen insbesondere in der frühen Phase der Osseointegration die Fibrinnetzbildung und die Mineralisation unterstützen, was den Heilungsprozess nach der Implantation fördert. Dank dieser Modifikationen sind auch bei Risikopatienten, wie Rauchern, Patienten mit Diabetes mellitus und solchen, die eine Strahlen- oder Chemotherapie durchlaufen haben, vorhersagbar erfolgreiche Implantationen möglich. Dies ist unter anderem auf eine verstärkte antiinflammatorische Makrophagenreaktion in der frühen Heilungsphase zurückzuführen (67-71).

3. Material und Methoden

Im gesamten Dokument wird das generische Maskulinum verwendet. Dieses schließt das weibliche Geschlecht sowie alle weiteren Geschlechtsidentitäten ein, soweit dies für die Aussage erforderlich ist und nicht ausdrücklich anders deklariert wird.

3.1. Studiendesign

In dieser multizentrischen klinischen Studie wurden die klinischen und radiologischen Ergebnisse aller konischen, selbstschneidenden Tissue-Level-Implantate (TLX, Straumann, Basel, Schweiz; Abb. 14), die in der Universitätsmedizin Mainz – Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (Studienzentrum 1, Chirurgen: Prof. Dr. Dr. Eik Schiegnitz, PD Dr. Dr. Keyvan Sagheb, Prof. Dr. Dr. Bilal Al-Nawas) sowie in der Privatpraxis Dr. Adriano Azaripour (Studienzentrum 2, Chirurg: Dr. Adriano Azaripour) von Mai 2020 bis Dezember 2021 inseriert wurden, retrospektiv analysiert und ausgewertet. Im untersuchten Zeitraum wurde kein Implantat von der Analyse ausgeschlossen.



Abb. 14: Das untersuchte konische, selbstschneidende Tissue-Level Implantat (Straumann® TLX (Straumann, Basel, Schweiz))

Die ethische Genehmigung wurde von der Ethikkommission des Landes Rheinland-Pfalz eingeholt (Deutschland, Registrierungsnummer: 2022-16442, Landes Zahnärztekammer Rheinland-Pfalz). Die Studie wurde in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki durchgeführt. Diese Deklaration gilt als allgemeiner Standard der ärztlichen Ethik und wurde 1964 in Helsinki, Finnland von der 18. Generalversammlung des Weltärztebundes verabschiedet. Seitdem wurde sie sieben Mal revidiert, zuletzt 2013 in Fortaleza, Brasilien. Für diese Studie gilt jedoch die Revision von 2000 aus Edinburgh, Schottland. Zudem steht die Studie im Einklang mit den STROBE-Leitlinien.

Jeder Patient war mindestens 18 Jahre alt, wurde über die Teilnahme an der Studie informiert und stimmte dieser zu. Alle Implantate wurden von erfahrenen Chirurgen der Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universitätsmedizin Mainz und der Privatpraxis - Zentrum für mikroinvasive Zahnheilkunde, Zahnarztpraxis Dr. Adriano Arzaripour - inseriert.

3.2. Patientenkollektiv

Insgesamt wurden 165 Patienten mit 318 konischen Tissue-Level-Implantaten versorgt. Im Studienzentrum 1 waren es 100 Patienten mit 212 Implantaten und im Studienzentrum 2, 65 Patienten mit insgesamt 106 Implantaten.

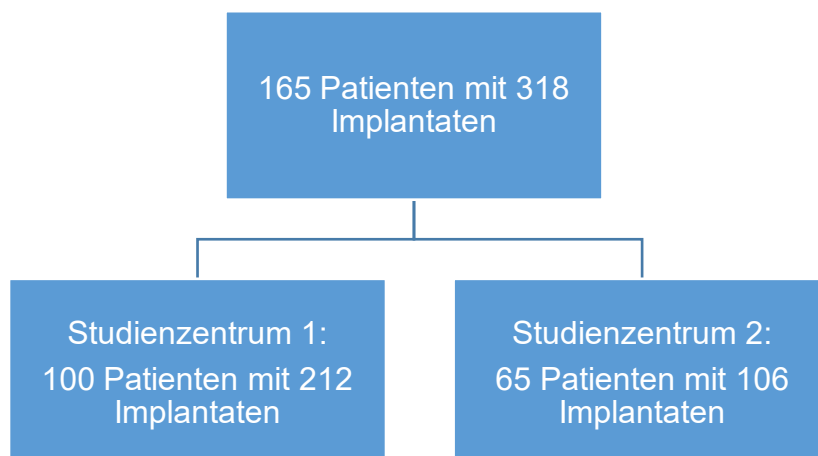


Abb. 15: Patientenkollektiv der Studie

3.2.1. Ein- und Ausschlusskriterien

1. Patienten, die ein oder mehrere konische Tissue-Level-Implantate (TLX, Straumann, Basel, Schweiz) in einem der beiden Studienzentrum zwischen Mai 2020 und Dezember 2021 inseriert bekamen.
2. Die Implantate wurden gemäß Gallucci et al. (4) entweder in die frische Extraktionsalveole am Tage der Extraktion (Typ 1, Sofortimplantation) oder nach abgeschlossener Knochenheilung (Typ 4, Spätimplantation) gesetzt.
3. Die Patienten waren ≥ 18 Jahre alt.

Es lagen keine Ausschlusskriterien vor.

3.3. Chirurgische Verfahren und Ergebnisbewertung

Die Implantate wurden nach dem vorgegebenen Protokoll des Herstellers inseriert.

Alle Fälle wurden mit Hilfe eines DVTs (Digitale Volumentomographie) geplant. Einige Patientenfälle wurden unter Verwendung einer zuvor geplanten und angefertigten Bohrschablone inseriert, andere wurden nach Planung mithilfe des DVTs freihändig inseriert. Patientenbeispiele für Typ 1 und Typ 4 finden sich in Kapitel 4.4.

Entscheidungskriterien für eine Sofortimplantation waren nach Buser et al. (7) eine intakte vestibuläre Knochenlamelle mit einer Dicke von mindestens einem mm. Zudem musste ein dicker gingivaler Phänotyp, keine akute Infektion in der Extraktionsalveole und ein ausreichendes Knochenvolumen apikal und palatinal der extrahierten Wurzel vorliegen, um eine korrekte dreidimensionale Implantatpositionierung mit guter Primärstabilität zu ermöglichen. Eine Voraussetzung für eine Sofortbelastung war eine ausreichend hohe Primärstabilität. Diese wurde vom Chirurgen mithilfe des Eindrehmoments (Insertion Torque) während der Insertion beurteilt. Zur Sofortversorgung musste ein Eindrehmoment von mindestens 35 Newtonzentimeter (N/cm) erreicht werden. Lag der Wert darunter, fand keine Sofortbelastung statt.

Entstandene Lücken im Implantatbett bei einer Sofortimplantation wurden durch Knochenersatzmaterialien aufgefüllt. Verwendet wurden deproteinisierte Rinderknochenmineralien mit 10% Kollagen (Bio-Oss® Collagen, Geistlich, Schweiz; XenoFlex®, Straumann, Basel, Schweiz), kortiko-spongiöser allograft Knochenersatz (Puros® Cortico-Cancellous, Partikelgröße: 0,25 bis 1 mm Zimmer dental, Palm Beach Garden, FL, USA; maxGraft® Granulat, botiss biomaterials, Berlin, Deutschland) und/oder autologe Knochenpartikel. Bei Knochenaugmentationsverfahren wurde eine

gesteuerte Knochenregeneration unter Verwendung der oben genannten Knochenersatzmaterialien in Kombination mit einer Kollagenmembran durchgeführt (Bio-Gide®, Geistlich, Schweiz).

3.4. Prothetische Versorgung

Bei Sofortbelastungen wurden die provisorischen Kronen entweder mithilfe eines digitalen Verfahrens (Smile in a Box®, Institut Straumann AG, Schweiz) oder Chairside (direkt am Behandlungsstuhl) hergestellt. Die definitiven Restaurationen wurden vier Monate nach Insertion angefertigt.

3.5. Periimplantäre Pflege

Nach Abschluss der chirurgischen und prothetischen Versorgung wurden die Patienten detailliert über die Pflege der Restauration aufgeklärt, um Infektionen zu verhindern. Je nach Restaurationsart wurden Zahnbürsten, Interdentalbürsten und/oder Zahnseide patientenspezifisch ausgewählt, um den periimplantären Bereich richtig zu reinigen.

3.6. Klinische und radiologische Nachuntersuchungen

Klinische Nachuntersuchungen wurden nach drei, sechs, zwölf und 18 Monaten durchgeführt. Zu den jeweiligen Untersuchungsterminen wurden Röntgenaufnahmen in Form eines Orthopantomogramm oder eines intraoralen Einzelzahnaufnahmen angefertigt. Die aktuellen und klinischen Nachsorge Röntgenbilder wurden verglichen und der Abstand von der Implantat-Abutment-Peripherie bis zur Spitze des Implantats ermittelt, diese Methode wurde bereits in vorangegangenen Studien verwendet (2, 72, 73). Die Länge des Implantats wurde in jeder Röntgenaufnahme als Referenz verwendet, um die korrekte Entfernung zu kalibrieren. Die Implantatlänge (Abstand Apex zum Abutment) des Röntgenbildes konnte mit der bekannten Implantatlänge entsprechend den Herstellerangaben verglichen werden, und durch einen einfachen Dreisatz ließen sich die genauen Verhältnisse für den vertikalen Knochenabbau ermitteln.

Es gab verschiedene Ansätze, den Erfolg eines Implantates zu bewerten. Durch unterschiedliche Anforderungen und Definitionen des Implantaterfolges konnten die

Ergebnisse zum Teil erheblich variieren. In unserer Studie wurde der Implantaterfolg nach Albrektsson et al. erörtert (74).

3.6.1. Implantaterfolg nach Albrektsson

Ein Implantaterfolg nach Albrektsson et al. wurde 1986 mit folgenden Kriterien definiert:

- Die Überlebensrate der Implantate sollte nach fünf Jahren Belastung mindestens 85% und nach zehn Jahren mindestens 80% betragen
- Das Implantat befindet sich in situ
- Das Implantat ist nicht beweglich
- Auf dem Röntgenbild ist keine durchgehende periimplantäre Transluzenz nachweisbar
- Nach dem 1. Jahr Liegedauer ist der vertikale Knochenabbau kleiner als 0,2mm/ Jahr
- Es liegen keine bleibenden und/oder irreversiblen Symptome wie Schmerz, Infektion, Neuropathie, Parästhesie oder Verletzungen des Mandibularkanals vor

Für einen Implantaterfolg müssen alle genannten Kriterien erfüllt sein (74).

3.7. Datenanalyse

Für die Datenanalyse wurden implantatbezogene Daten berechnet. Der Charakter der Studie war deskriptiv, explorativ ohne eine primäre Hypothese. Überlebensraten und Hazard-Ratios (HR, Risikoquotienten) wurden mit Konfidenzintervallen dargestellt. Es wurden keine p-Werte für das Implantatüberleben angegeben, um den deskriptiven Charakter der Studie zu betonen. Eine Anpassung für Mehrfachtests wurde nicht vorgenommen. Zur Beschreibung der Überlebensraten kam die Kaplan-Meier-Methode zur Anwendung. Um den statistischen Unterschied zwischen den Behandlungsgruppen in Bezug auf das Implantatüberleben zu analysieren, wurde ein Log-Rank-Test durchgeführt. Ein Cox-Modell wurde erstellt, das die Clusterbildung durch mehrere Implantate pro Patienten berücksichtigt. Es wurden 95%ige-wald-konforme-Konfidenzintervalle angegeben. Aufgrund der geringen Anzahl von Ereignissen wurde die Annahme proportionaler Hazards, im Cox-Modell nicht

überprüft. Der marginale Knochenverlust wurde mit einem unabhängigen t-Test von Satterthwaite berechnet, der auf den durchschnittlichen Knochenverlust pro Patienten angewendet wurde. Die Analysen erfolgten mit SPSS-Version 20.0 (IBM, USA).

3.7.1. Verweildaueranalyse nach Kaplan Meier

Die Verweildaueranalyse nach Kaplan Meier wurde 1958 von Edward L. Kaplan und Paul Meier gemeinsam entwickelt und beschreibt den Umgang mit unvollständigen Beobachtungen. Die Kaplan-Meier-Kurve ist eine Methode zur Analyse unterschiedlicher Überlebenszeiten (Zeit bis zu einem Ereignis), insbesondere in Fällen, in denen nicht alle Probanden die Studie vollständig durchlaufen. Diese „Überlebenszeiten“ beziehen dabei nicht zwingend auf das tatsächliche Überleben, bei dem der Tod als Ereignis gilt, sonst das „Ereignis“ kann jedes Ereignis von Interesse sein.

Im Rahmen dieser Studie ist der Implantatverlust das Ereignis von Interesse. Es wurde somit die Zeitdauer ermittelt, während der das Implantat in situ war. Die Kaplan-Meier Kurve stellt somit eine Methode zur zeitabhängigen Untersuchung des Parameters Implantatverlust dar.

Zur Berechnung der Kaplan-Meier-Kurve wurde der Anteil der Implantate ermittelt, die nach einer bestimmten Zeit noch in situ waren. Trug man diese Ergebnisse in eine Kurve ein, waren zu Beginn der Beobachtungszeit 100% der Implantate insitu. Mit der Zeit nahm dieser Wert ab, da immer mehr Implantatverluste auftraten. Bei der Kaplan-Meier-Kurve handelt es sich um eine kumulative Überlebensrate, da sie durch Multiplikation der Überlebenswahrscheinlichkeiten an verschiedenen Zeitpunkten entsteht. Die Überlebenswahrscheinlichkeit wird also aus der Verlustrate über die Zeit hinweg berechnet.

Ein Nachteil dieser Analyse besteht darin, dass nur untersucht wird, ob das Implantat nach einer bestimmten Zeit noch in situ ist. Es wird nicht berücksichtigt, ob das Implantat funktionell eingesetzt wird oder wie die periimplantären Bedingungen sind.

Der Log-Rang Test

Der Log-Rang-Test dient der Durchführung von Gruppenvergleichen in der Überlebenszeitanalyse. Dieser Test prüft, ob statistisch signifikante Unterschiede in den Überlebensraten zwischen den Gruppen bestehen.

Der Name „Log-Rang“ leitet sich davon ab, dass das Verfahren, aus dem sich der Test herleitet, auf dem Logarithmus der Ränge der Daten basiert.

3.7.2. Cox-Modell, Hazard Funktion

Das Cox-Modell ist eine Regressionsmethode zur Überlebensanalyse. Es wird angewendet, wenn der Effekt mehrerer Einflussgrößen auf eine Zielvariable simultan untersucht werden soll. Es wird häufig in der Medizin verwendet, um den Einfluss von Variablen auf das Risiko (Hazard) für das Eintreten eines bestimmten Ereignisses zu analysieren.

Mithilfe des Cox-Modells kann das Hazard Ratio berechnet werden, welches das Verhältnis des Risikos zwischen zwei Gruppen angibt. Ein Hazard Ratio von 1 deutet darauf hin, dass es keinen Unterschied im Risiko zwischen den Gruppen gibt. Werte über 1 deuten auf ein höheres Risiko in der Vergleichsgruppe hin, während Werte unter 1 auf ein geringeres Risiko hindeuten (75).

3.7.3. Konfidenzintervall

Konfidenzintervalle definieren einen Bereich in dem sich der „wahre“ Wert des Parameters mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit (üblicherweise 95%) befindet. Das Konfidenzintervall kann auch als Erweiterung der Wahrscheinlichkeitsfunktion betrachtet werden. Grundsätzlich können Konfidenzintervalle für jede Verteilungsfunktion berechnet werden, wobei die meisten statischen Verfahren die Normalverteilung oder die Standardverteilung als Grundlage verwenden.

In diesem Kontext kann das Konfidenzintervall als Signifikanztest interpretiert werden: Liegt der Wert der Nullhypothese nicht im Konfidenzintervall, kann man von einem statisch signifikanten Effekt ausgegangen werden. Anders als reine p-Werte bieten Konfidenzintervalle somit zusätzliche Informationen zur Gültigkeit des untersuchten Effekts (76).

3.7.4. T-Test von Satterthwaite

Der Satterthwaite-t-Test ist eine robuste Methode zum Vergleich von Mittelwerten zweier Gruppen, insbesondere wenn deren Varianzen ungleich sind und/oder die Stichprobengrößen unterschiedlich sind. Der Test berücksichtigt diese Ungleichheiten durch eine Anpassung der Freiheitsgrade, wodurch genauere und zuverlässigere Ergebnisse im Vergleich zum Standard-t-Test erzielt werden.

4. Ergebnisse

4.1. Studiendaten

Insgesamt nahmen 165 Patienten an der Studie teil. Im Studienzentrum 1 wurden 100 Patienten mit 212 Implantaten versorgt, und im Studienzentrum 2 wurden 65 Patienten mit 106 Implantaten versorgt. Das durchschnittliche Alter betrug 59 ± 16 Jahre, mit einer Altersspanne von 18 bis 86 Jahren. Von den insgesamt 165 Patienten waren 96 Frauen und 69 Männer. Während des Untersuchungszeitraums wurden 68 Implantate bei 50 Patienten (21,4%) sofort implantiert (Typ 1), während 250 Implantate bei 115 Patienten (78,6%) spät inseriert wurden (Typ 4) (Abb. 16, Abb. 17).

Unter den 50 sofort implantierten Patienten befanden sich 25 Männer und 25 Frauen. Bei den Patienten der Spätimplantation waren 71 Frauen und 44 Männer (Abb. 18).

Von den insgesamt 318 Implantaten waren 24 Implantate (7,5%) kurz (6mm), während 294 Implantate (92,5%) eine Standardlänge (>6mm) aufwiesen (Abb. 20).

209 Implantate (66%) hatten einen Durchmesser von 3,75mm, während 109 Implantate (34%) einen Durchmesser von mehr als 3,75mm hatten (**Error! Reference source not found.**).

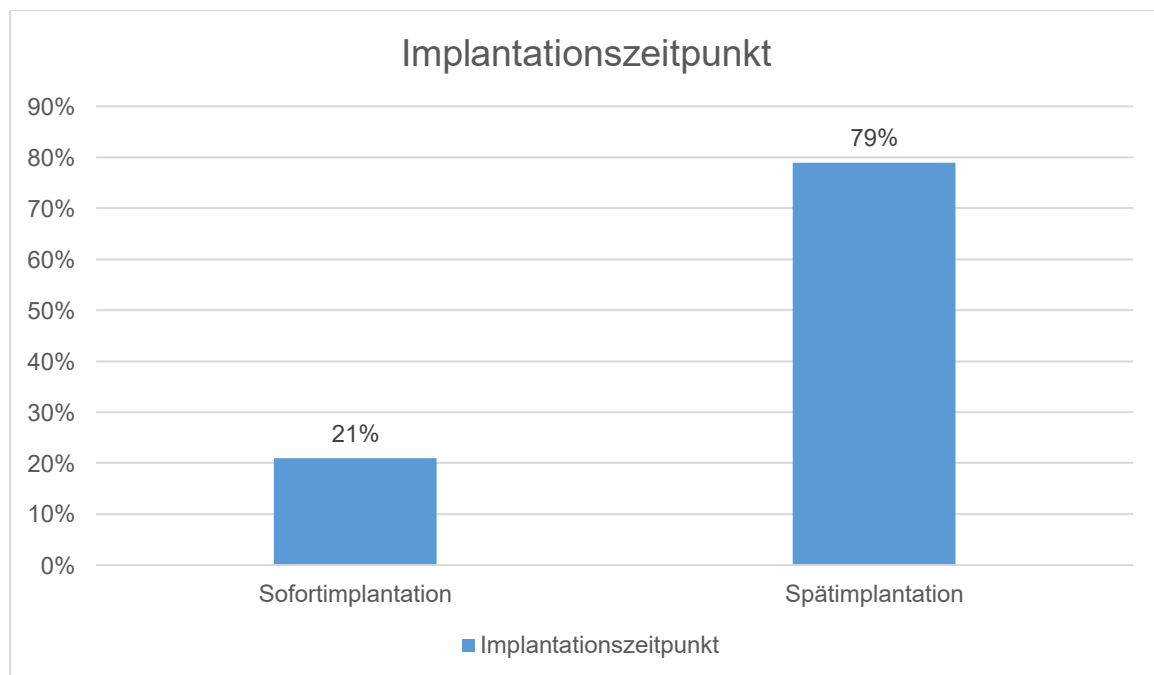


Abb. 16: Implantationszeitpunkt: Sofortimplantation (Typ 1) und Spätimplantation (Typ 4)

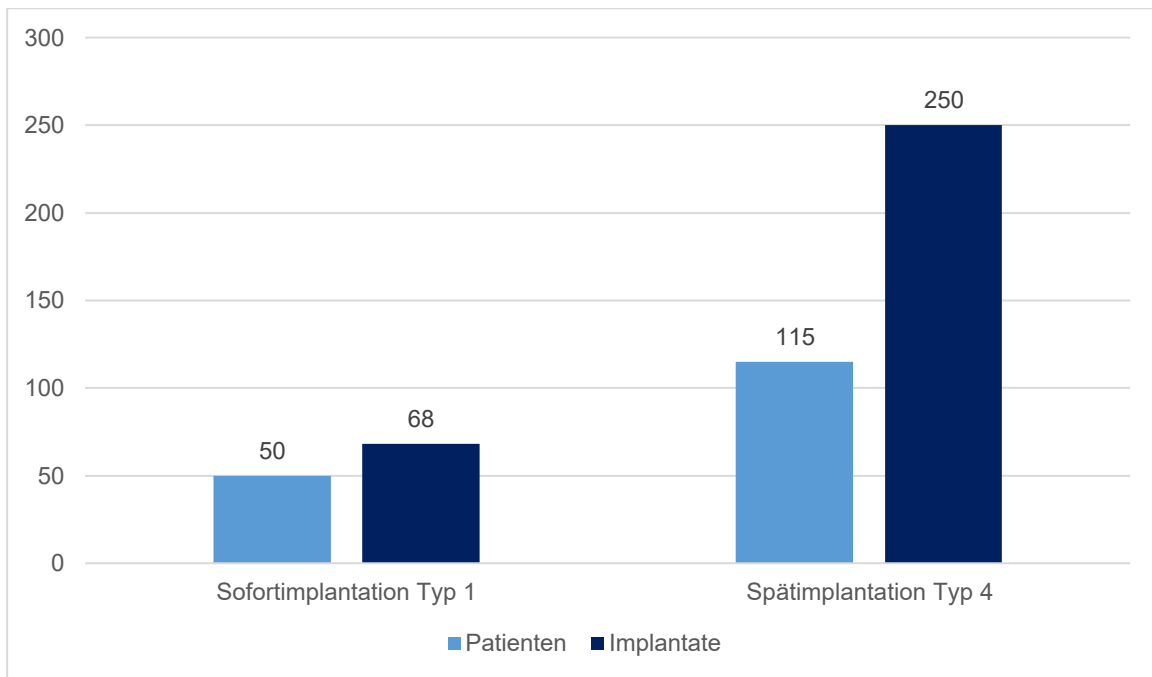


Abb. 17: Implantationszeitpunkte Sofortimplantation (Typ 1) und Spätimplantation (Typ 4), bezogen auf die Patienten- und Implantat Anzahl

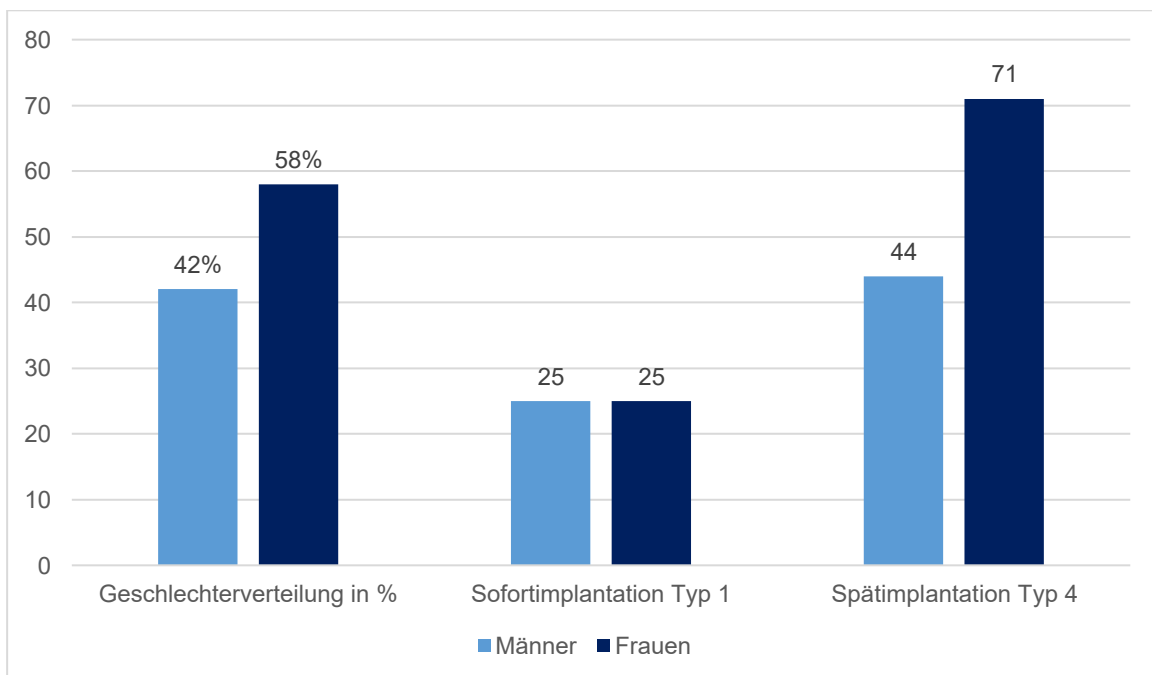


Abb. 18: Geschlechterverteilung in den Vergleichsgruppen

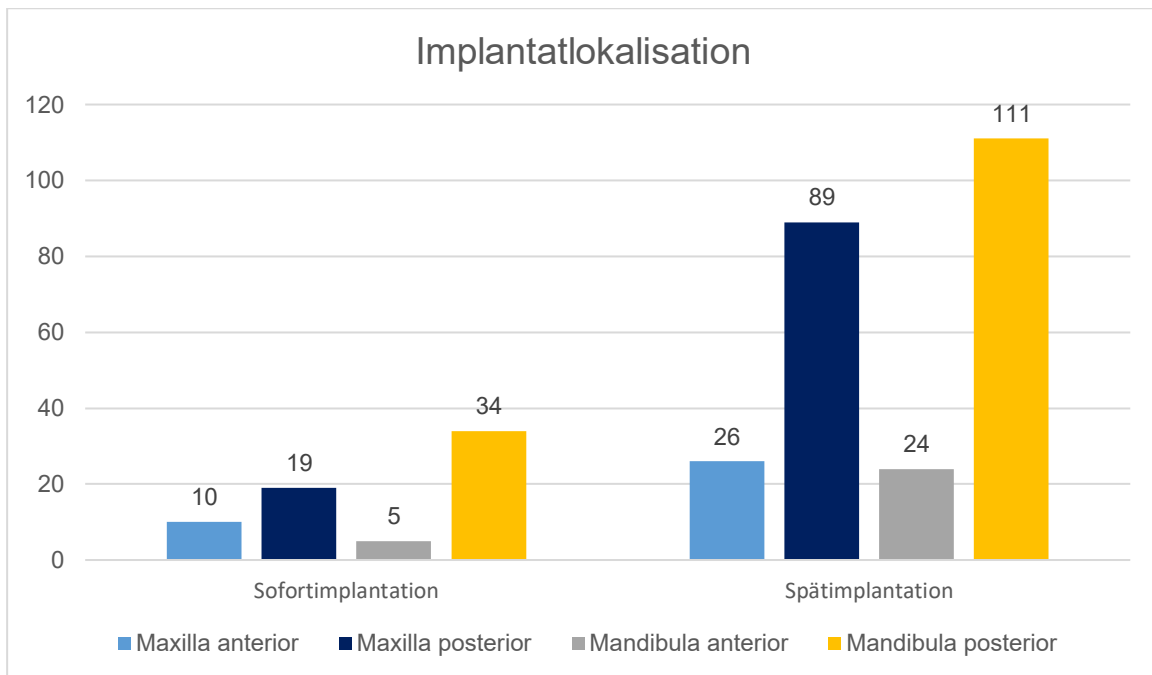


Abb. 19: Implantatlokalisierung (Maxilla anterior/ posterior und Mandibula anterior/ posterior) bezogen auf den Implantationszeitpunkt

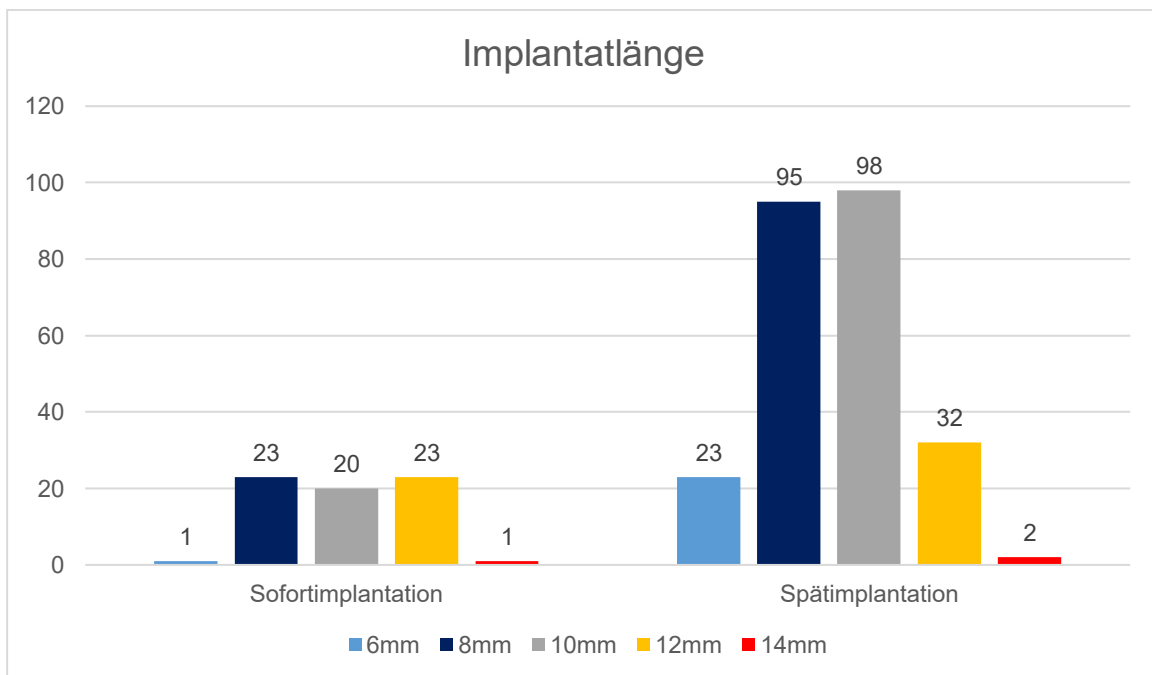


Abb. 20: Implantatlänge kurz (6mm) und Standardlänge (8mm, 10mm, 12mm, 14mm) bezogen auf die untersuchten Gruppen

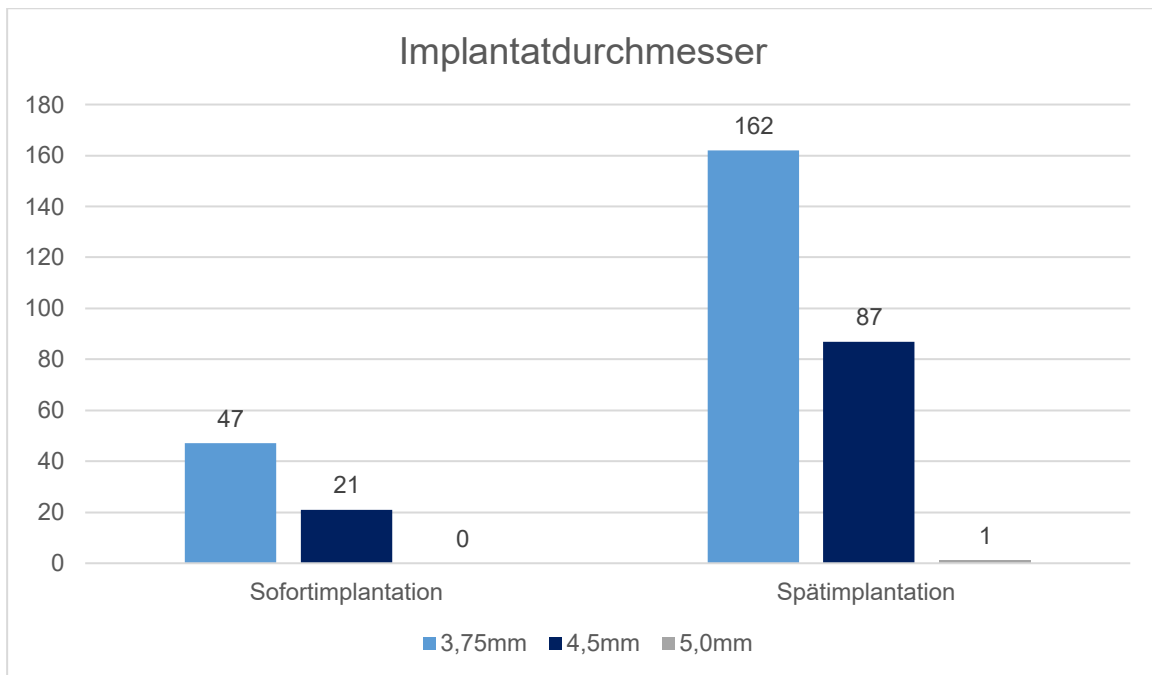


Abb. 21: Implantatdurchmesser: 3,75mm, 4,5mm und 5,0mm bezogen auf den Implantationszeitpunkt

4.2. Überlebensraten

Die durchschnittliche Nachbeobachtungszeit für alle eingeschlossenen Patienten betrug $12,0 \pm 5$ Monate (Spanne: ein bis 25 Monate). Während dieses Zeitraums versagten sieben Implantate bei sechs Patienten, was einer mittleren Überlebensrate von 97,8% entspricht. Fünf dieser Misserfolge waren frühe Implantatverluste aufgrund fehlender Osseointegration in den ersten drei Monaten. Die beiden weiteren Misserfolge traten bei einem Patienten aufgrund von Periimplantitis 14 Monate postoperativ auf und wurden als späte Misserfolge klassifiziert.

In der Typ-1-Gruppe betrug die durchschnittliche Nachbeobachtungszeit $11,1 \pm 5$ Monate. Während dieses Zeitraums ging ein Sofortimplantat verloren, was zu einer mittleren Überlebensrate von 98,5% führte. In der Typ-4-Gruppe betrug die durchschnittliche Nachbeobachtungszeit $12,2 \pm 6$ Monate. Hier versagten sechs Implantate, was einer mittleren Überlebensrate von 97,6% entspricht.

Die kumulative 5-Jahres-Überlebensrate betrug für in der Typ-1-Gruppe 98,5% und in der Typ-4-Gruppe 98,4%. Der Unterschied in den Überlebensraten zwischen Typ 1 und Typ 4 war nicht signifikant (Abb. 22). Das angepasste Cox-Modell lieferte keine schlüssigen Ergebnisse, da die Punktschätzung zugunsten der Typ-1-Gruppe ausfiel, jedoch ein breites Konfidenzintervall aufwies (Hazard Ratio, HR 0,7, 95%-Konfidenzintervall 0,084 bis 5,81).

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Nachbeobachtungszeiträume betrug die Überlebensrate für Implantate bei einer Nachbeobachtung von null bis sechs Monaten 94,9%, bei einem Zeitraum von sieben bis zwölf Monaten 99,1% und bei einer Nachbeobachtung von mehr als zwölf Monaten 98,4%.

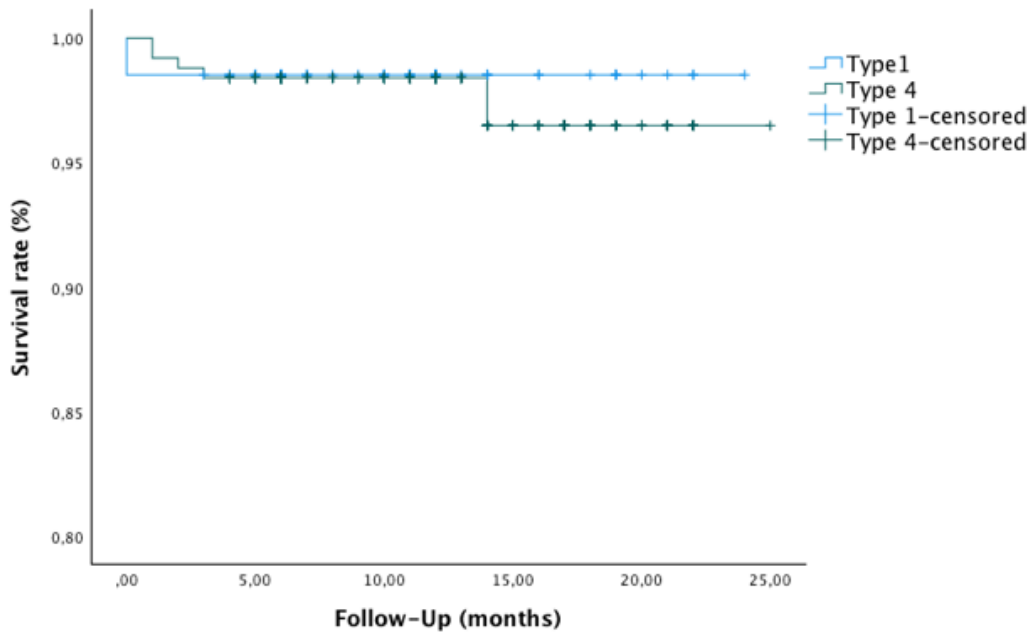


Abb. 22: Kumulative Überlebensrate nach Kaplan-Meier für die Typ-1- und die Typ-4-Gruppe

Kurze, konische Implantate (6mm Länge) zeigten eine vergleichbare Überlebensrate wie Implantate mit Standardlänge (>6mm) (95,8% vs. 98%; Abb. 23). Das angepasste Cox-Modell war nicht schlüssig, da die Punktschätzung zugunsten der Gruppe mit langen Implantaten ausfiel (HR 0,53; 95%-Konfidenzintervall 0,055 bis 5,08).

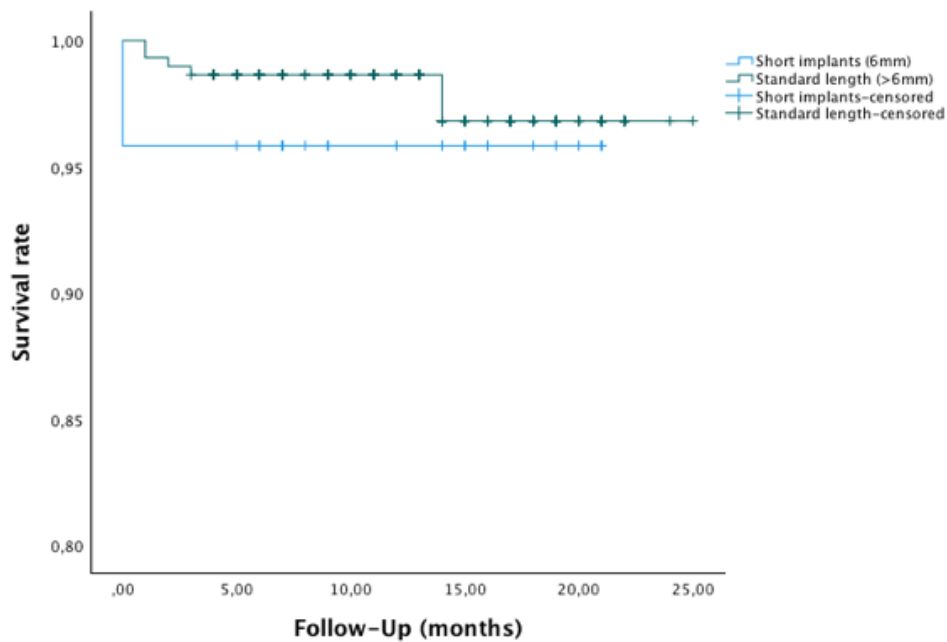


Abb. 23: Kumulative Überlebensrate nach Kaplan-Meier für kurze (6mm) Implantate und Implantate mit einer Standardlänge (>6mm) und Implantate mit einer Standardlänge (>6mm)

Darüber hinaus hatte der Implantatdurchmesser (3,75mm vs. >3,75mm) keinen signifikanten Einfluss auf das Implantatüberleben (97,1% vs. 99,1%;). Das angepasste Cox-Modell begünstigte die Gruppe der breiteren Implantate mit einer Hazard Ratio von 0,27 (95%-Konfidenzintervall 0,028 bis 2,55).

Die Art des verwendeten Biomaterials (deproteinisiertes bovines Knochenmineral mit 10% Kollagen vs. kortiko-zelluläres allogenes Knochenersatzmaterial vs. autologe Knochenpartikel) zum Füllen von Lücken in der Typ-1-Gruppe, hatte keinen Einfluss auf das Implantatüberleben der Sofortimplantate. Aufgrund der geringen Anzahl von Ereignissen (n=1) wurde auf die Anwendung eines Cox-Modells verzichtet.

Von den 68 sofort inserierten Implantaten wurden 18 sofort belastet (Typ 1A nach Gallucci et al.) (4). Bei diesen sofort belasteten Sofortimplantaten trat kein Implantatversagen auf, was auf einer Implantatüberlebensrate von 100 % entspricht. Bei den konventionell belasteten, sofort inserierten Implantaten (Typ 1C nach Gallucci et al.) (4) trat ein Implantatversagen auf, was zu einer Überlebensrate von 98% führte. Auch hier wurde aufgrund der geringen Anzahl von Ereignissen (n=1) auf die Anwendung eines Cox-Modells verzichtet.

4.3. Marginales Knochenniveau und Erfolgsraten

Der mittlere marginale Knochenverlust für alle eingeschlossenen konischen Tissue-Level-Implantate, die für eine 6-monatige Nachuntersuchung zur Verfügung standen (n=157), betrug $0,03\pm 0,1\text{mm}$ (Bereich: 0-0,69mm; mesial mittlerer Knochenverlust: $0,02\pm 0,09\text{mm}$, distaler mittlerer Knochenverlust: $0,04\pm 0,13\text{mm}$). In der Typ-1-Gruppe betrug der mittlere Knochenverlust $0,02\pm 0,05\text{mm}$ (mesialer mittlerer Knochenverlust: $0\pm 0\text{mm}$, distaler mittlerer Knochenverlust Verlust: $0,03\pm 0,1\text{mm}$). In der Typ-4-Gruppe betrug der mittlere Knochenverlust $0,04\pm 0,1\text{mm}$ (mesialer mittlerer Knochenverlust: $0,03\pm 0,1\text{mm}$, distaler mittlerer Knochenverlust: $0,05\pm 0,1\text{mm}$). Diese Ergebnisse zeigten einen vergleichbaren mittleren marginalen Knochenverlust zwischen der Typ-1- und der Typ-4-Gruppe ($p=0,108$).

Die Anwendung der Erfolgskriterien von Albrektsson et al. (74) ergab eine Erfolgsrate von 98,5% für die Typ-1-Gruppe und 97,6% für die Typ-4-Gruppe.

4.4. Fallbeispiele

4.4.1. Fallbeispiel: Typ-1A-Gruppe

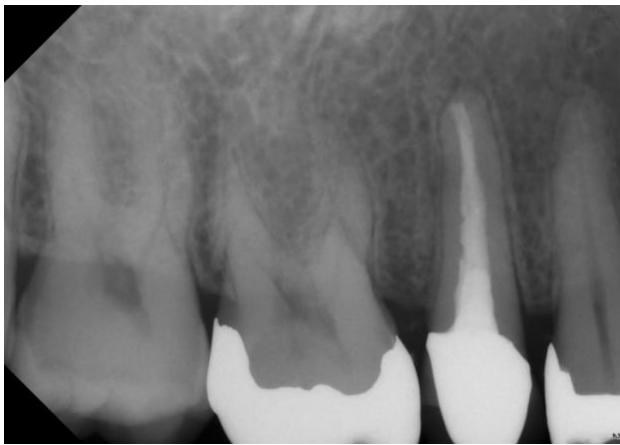


Abb. 24: Röntgenbild präoperativ, Zahn 15

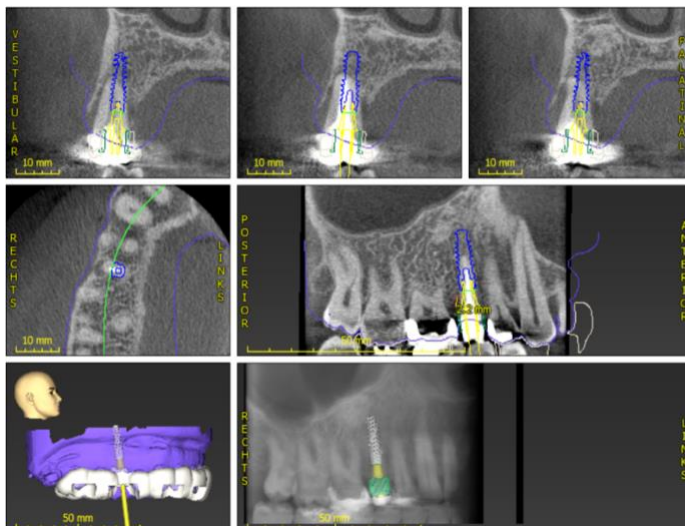


Abb. 25: Digitale Planung mit DVT



Abb. 26: Präoperative klinische Situation, Ansicht von okklusal



Abb. 27: Zustand nach Zahnextraktion, Ansicht von okklusal



Abb. 28: Implantatbohrung mit Bohrschablone, Ansicht von vestibulär



Abb. 29: Bohrung und Parallelisierungsposten, Ansicht von okklusal



Abb. 30: TLX-Implantat



Abb. 31: Einbringung von Xenoflex Knochenersatzmaterial, Ansicht von vestibulär



Abb. 32: Zustand nach Implantatinsertion und Einbringung von Knochenersatzmaterial in den entstandenen Spalt zwischen Implantat und Extraktionsalveole, Ansicht von okklusal



Abb. 33: Sofortversorgung mit zuvor laborgefertigtem Provisorium, Ansicht von vestibulär



Abb. 34: Provisorische Krone, Ansicht von okklusal



Abb. 35: Provisorische Versorgung, Ansicht von vestibulär

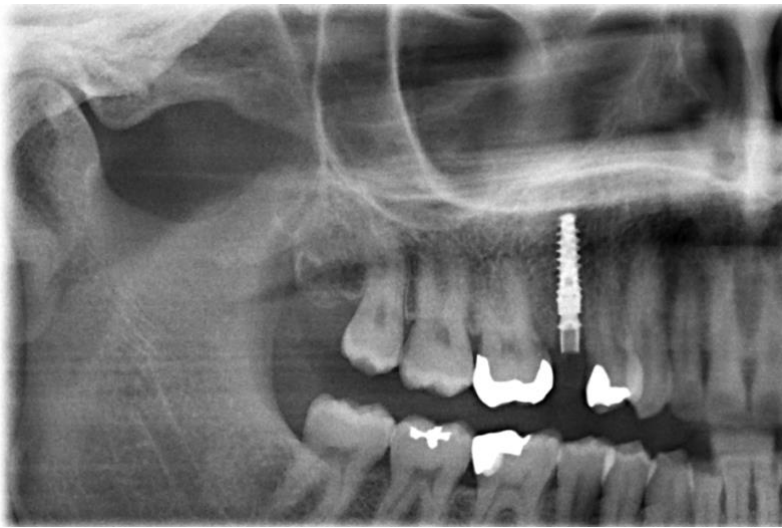


Abb. 36: Postoperatives OPG

4.4.2. Fallbeispiel: Typ-4A-Gruppe

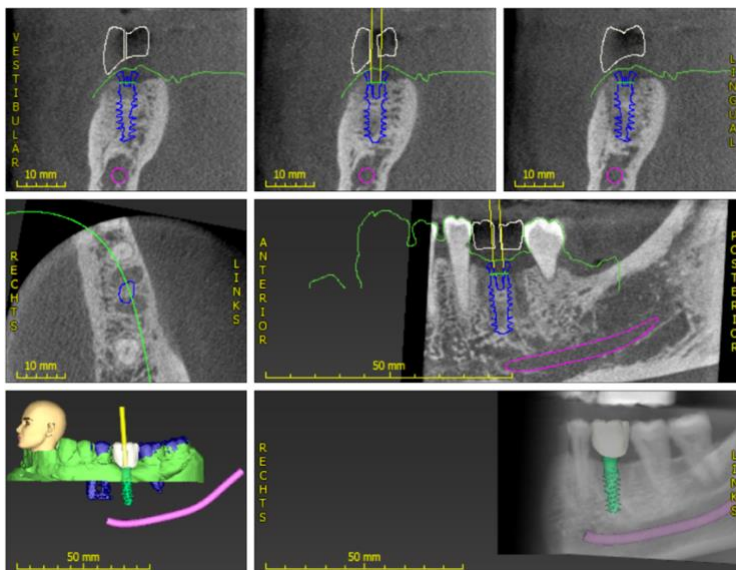


Abb. 37: Präoperative Digitale Planung mit DVT

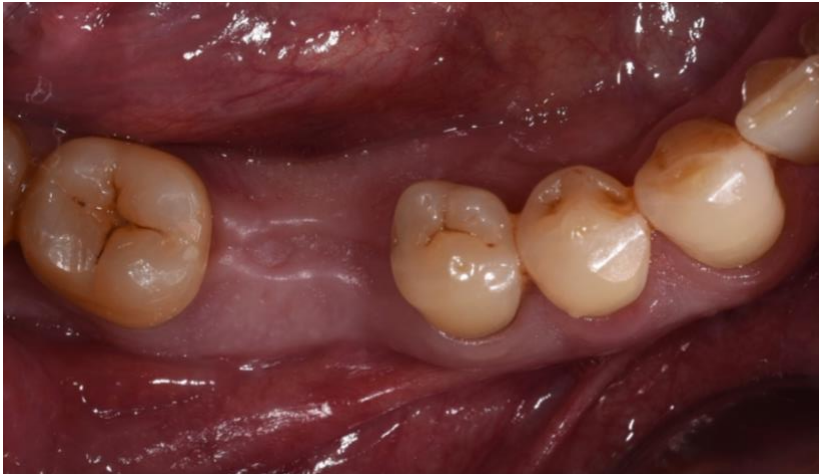


Abb. 38: Präoperatives klinisches Bild, Zahnücke Regio 36, Ansicht von okklusal



Abb. 39: Präoperatives klinisches Bild, Zahnücke 36, Ansicht von vestibulär



Abb. 40: Implantat Bohrung mit Bohrschablone, Ansicht von vestibulär



Abb. 41: TLX-Implantat



Abb. 42: Spätimplantation Regio 36: Implantat Einbringung mit Bohrschablone und Ratsche, hohe Primärstabilität von über 35 Ncm, Ansicht von okklusal

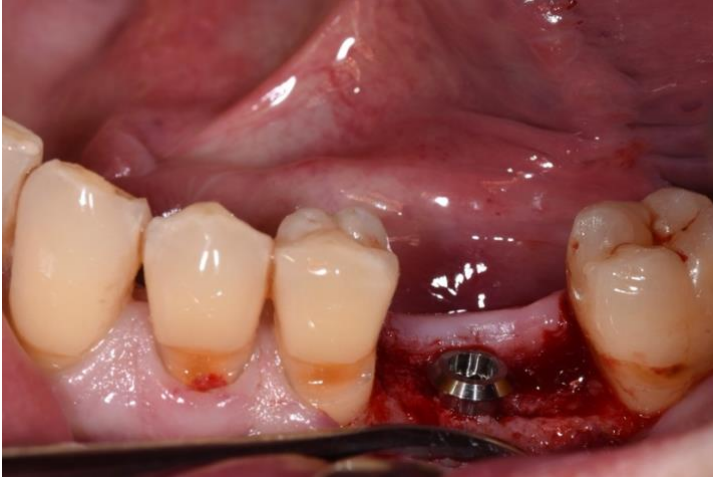


Abb. 43: Insetiertes Implantat Regio 36, Ansicht von vestibulär



Abb. 44: Einbringung der provisorischen Krone, Ansicht von vestibulär



Abb. 45: Sofortversorgtes Implantat mit Provisorium, Ansicht von vestibulär

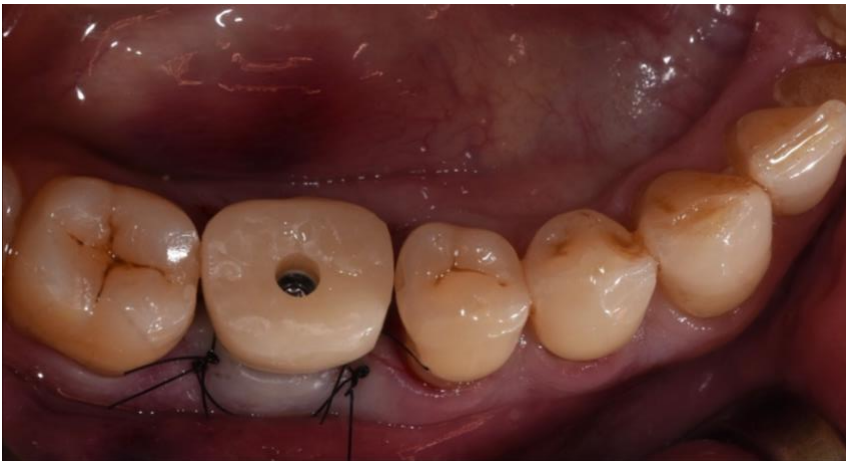


Abb. 46: Sofortversorgtes Implantat mit Provisorium, Ansicht von okklusal

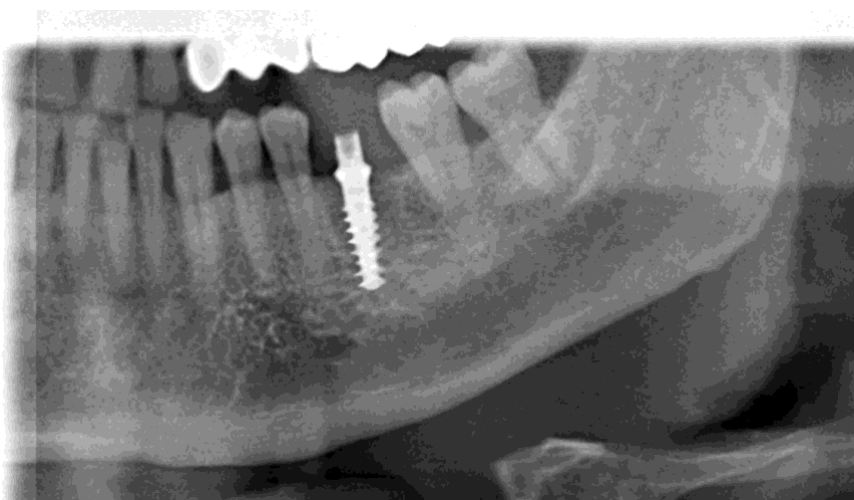


Abb. 47: OPG postoperativ

5. Diskussion

Ziel dieser retrospektiven klinischen Studie war es, die Überlebens- und Erfolgsrate sowie das röntgenologische Knochenniveau nach Implantation eines neuartigen konischen, selbstschneidenden Tissue-Level-Implantats zwischen Sofortimplantation (Typ-1-Gruppe) und Spätimplantation (Typ-4-Gruppe) zu vergleichen. Die Ergebnisse, basierend auf einer mittleren Nachbeobachtungszeit von zwölf Monaten, zeigten, dass sowohl die Typ-1- als auch die Typ-4-Implantate vergleichbare Überlebens- und Erfolgsraten aufwiesen.

5.1. Patientenkollektiv

In dieser multizentrischen Studie wurden insgesamt 318 Implantate bei 165 Patienten gesetzt, wobei 68 Implantate in der Typ-1-Gruppe bei 50 Patienten sofort und 250 Implantate in der Typ-4-Gruppe bei 115 Patienten spät implantiert wurden. Die Studie von Tonetti et al. (77) verglich 62 sofort und 62 verzögert (≥ 3 Monate nach Extraktion) inserierte Implantate. Im Vergleich zu Tonetti et al. sind die Vergleichsgruppen in der vorliegenden Studie jedoch hinsichtlich der Gruppengröße nicht kongruent, was den direkten Vergleich der Ergebnisse erschwert.

Die untersuchten Patienten waren zwischen 18 und 86 Jahre alt, mit einem durchschnittlichen Alter von 59 ± 16 Jahren, was eine breite Altersspanne darstellt. In der Studie wurden 96 Frauen und 69 Männer berücksichtigt. Geschlecht und Alter wurden im Hinblick auf das Implantatüberleben in dieser Studie nicht isoliert betrachtet. Frühere Untersuchungen zeigen, dass ältere männliche Patienten ein erhöhtes Risiko für Implantatverluste aufweisen können, was jedoch oft in Verbindung mit anderen Faktoren wie Rauchen, schlechter Mundhygiene und systemischen Erkrankungen steht (78, 79).

Die Implantate in dieser retrospektiven Studie wurden in zwei Operationszentren von insgesamt vier erfahrenen Chirurgen gesetzt. Eine Meta-Analyse von Sendyk et al. (80) zeigte, dass die chirurgische Erfahrung keinen signifikanten Einfluss auf das Implantatversagen hatte, sofern die Erfahrung anhand der Spezialisierung beurteilt wurde. Allerdings war ein signifikanter Einfluss erkennbar, wenn die Erfahrung in Bezug auf die Anzahl der gesetzten Implantate bewertet wurde. Alle Implantate in unserer Studie wurden von Chirurgen mit umfassender praktischer Erfahrung gesetzt.

In Bezug auf das Patientenkollektiv wurden keine Ausschlusskriterien angewandt, und die Anamnese der Patienten wurde in dieser retrospektiven Analyse nicht gesondert betrachtet. Dennoch ist bekannt, dass bestimmte Vorerkrankungen und Gewohnheiten, wie Rauchen, Diabetes mellitus, Zustand nach Bestrahlung, Osteoporose und Vitamin-D-Mangel, das Einheilen der Implantate und den Implantaterfolg beeinflussen können (1, 81-83).

Rauchen gilt als Risikofaktor für marginalen Knochenabbau und periimplantäre Entzündungen. In einer retrospektiven Studie wurden implantatgetragene festsitzende Prothesen 36 Monate nach Belastung hinsichtlich marginalen Knochenabbaus und Parodontalparametern wie Taschentiefe (TT), Approximalraum Plaque Index (API) und Sulkusblutungsindex (SBI) kontrolliert. Bei Rauchern wurde ein erhöhter marginaler Knochenabbau festgestellt, ebenso höhere Werte bei API und TT. Hinsichtlich des SBI zeigten sich jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (82).

Die Prävalenz von Diabetes mellitus und Prädiabetes nimmt zu und stellt ein wachsendes Gesundheitsproblem dar, das den gesamten Organismus betrifft. Wagner et al. (1) untersuchten in einer systematischen Übersichtsarbeit die Auswirkungen von Diabetes mellitus auf den Erfolg von Zahnimplantaten. Sie kamen zu dem Schluss, dass Patienten mit schlecht eingestelltem Diabetes mellitus häufiger an Periimplantitis leiden und langfristig höhere Verlustraten aufweisen als gesunde Patienten. Unter gut kontrollierten Bedingungen zeigen sich jedoch vergleichbare Erfolgsquoten.

Osteoporose, gekennzeichnet durch verminderte Knochendichte und -qualität, beeinflusst möglicherweise die Knochenheilung bei Implantationen. Eine Meta-Analyse von Lemos et al. (84) deutet darauf hin, dass Osteoporose mit einem erhöhten Risiko für Implantatverluste assoziiert sein könnte, wenngleich weitere Untersuchungen erforderlich sind, um diese Hypothese zu untermauern. Werny et al. (85) zeigten, dass ein Vitamin-D-Mangel die Osseointegration beeinträchtigen kann, da Patienten mit niedrigem Vitamin-D-Serumspiegel eine höhere Wahrscheinlichkeit für frühes Implantatversagen aufweisen. Eine Vitamin-D-Supplementierung könnte hilfreich sein, aber weitere Studien sind notwendig, um diese Annahme zu bestätigen.

In dem systematischen Review von Chambrone et al. (83) wird berichtet, dass Bestrahlung das Risiko eines Implantatversagens signifikant erhöhen kann, obwohl die

Überlebensrate insgesamt dennoch über 80% liegt. Die mittlere Überlebensrate in den untersuchten Studien variierte zwischen 46,3% und 98%, wobei Implantate im Unterkiefer tendenziell bessere Überlebensraten aufwiesen als solche im Oberkiefer.

5.2. Implantatsystem

In der vorliegenden Studie wurde ein konisches, selbstschneidendes Tissue-Level-Implantat verwendet, für das bisher, soweit uns bekannt, keine vergleichbaren klinischen Studien existieren. Dieses Implantat, welches im Jahr 2022 auf dem deutschen Markt eingeführt wurde, wird hier erstmals im Rahmen einer klinischen Anwendung untersucht. In einer tierexperimentellen Studie an Minischweinen wurden die Osseointegration und der Erhalt des krestalen Knochenniveaus dieses Implantattyps mit einem etablierten, parallelwandigen Tissue-Level-Implantat verglichen. Die Ergebnisse zeigten, dass der histologisch bestimmte Knochen-Implantat-Kontakt zwischen beiden Implantatdesigns vergleichbar war. Bemerkenswert ist, dass die Werte für das maximale Eindrehmoment bei dem konischen Tissue-Level-Implantat signifikant höher lagen als bei dem parallelwandigen Implantat. Dies deutet darauf hin, dass das konische Implantat ein vielversprechender Kandidat für die Sofortimplantation in Knochen von geringer Qualität sein könnte (86).

Im Zusammenhang mit Tissue-Level-Implantaten, die in Sofortbehandlungskonzepten eingesetzt werden, konnten lediglich Studien zu parallelwandigen Implantaten identifiziert werden. Eine prospektive, multizentrische Studie untersuchte die sofort und frühzeitig belasteten parallelwandigen Tissue-Level-Implantate. In dieser Untersuchung versagten vier Implantate in der Sofortbelastungsgruppe und sechs in der Frühbelastungsgruppe, was zu Überlebensraten von 98% bzw. 97% führte (87).

5.3. Chirurgische Verfahren und Prothetische Versorgung

In dieser Studie wurde das konische Tissue-Level-Implantat teils mithilfe einer Bohrschablone, teils freihändig inseriert. Eine digitale Planung mit DVT wurde stets durchgeführt, wobei jedoch die Datenanalyse nicht berücksichtigte, ob die Implantation mit oder ohne Bohrschablone erfolgte. In einigen Fällen diente die Bohrschablone lediglich zur Orientierung, und die Implantation wurde letztlich freihändig vorgenommen. Eine digitale Navigation kam nicht zum Einsatz. Studien haben gezeigt,

dass unerfahrene Anwender bei der freihändigen Insertion und bei der statisch unterstützten Insertion mit Bohrschablone schlechtere Ergebnisse erzielen als erfahrene Anwender. Im Gegensatz dazu erreichen unerfahrene Anwender bei der digitalen Navigation vergleichbare Ergebnisse wie erfahrene Anwender (88).

Ragucci et al. (89) untersuchten die Sofortimplantation im Molarenbereich über einen Zeitraum von einem Jahr und analysierten 1106 Implantate hinsichtlich Überlebensrate, Erfolgsrate und marginalem Knochenverlust. Die Ergebnisse zeigten eine Überlebensrate von 96,6% und eine Erfolgsrate von 93,3%, wobei der marginale Knochenverlust $1,29 \pm 0,24$ mm betrug. Auffällig war, dass Implantate, bei denen der Spalt zwischen Implantat und Alveole augmentiert wurde, eine höhere Überlebensrate aufwiesen als Implantate ohne Augmentation. Sofort belastete Implantate hatten zudem eine geringere Überlebensrate als konventionell belastete.

In dieser Studie wurde der Spalt zwischen Implantatoberfläche und Alveole entweder mit autologem Knochen, xenogenem oder allogenen Knochenersatzmaterial aufgefüllt. Die Wahl des Materials lag bei den Patienten und beeinflusste nicht die Überlebensrate der Implantate. Seyssens et al. (90) untersuchten in einer Meta-Analyse den Effekt der Socket Preservation nach Sofortimplantation. Die Ergebnisse zeigten eine um 0,59 mm geringere horizontale Knochenresorption bukkal, wobei vertikale Knochenveränderungen bukkal nicht signifikant waren. Durch das Socket Grafting kam es zudem zu einer geringeren apikalen Migration des mittleren Weichgewebsniveaus, wobei distale Papillen weniger Rezession zeigten, während mesiale Papillen unverändert blieben.

In ästhetisch anspruchsvollen Regionen, wie dem Frontzahnbereich, kann ein Bindegewebstransplantat notwendig sein, um das periimplantäre Weich- und Hartgewebe zu unterstützen. Diese Option wurde in der vorliegenden Datenanalyse nicht bewertet. Bianchi und Sanfilippo untersuchten 116 parallelwandige Tissue-Level-Implantate mit und ohne Bindegewebstransplantat und stellten fest, dass beide Gruppen nach neun Jahren eine Überlebensrate von 100% aufwiesen. Die periimplantären Weich- und Hartgewebeparameter waren jedoch in der Gruppe mit Bindegewebstransplantat signifikant besser als in der Gruppe ohne Transplantat (91).

Gallucci et al. (4) überprüften im Rahmen der ITI-Konsensuskonferenz klinische Ergebnisse von festsitzenden Implantatprothesen mit verschiedenen Implantations- und Belastungsprotokollen. In der vorliegenden Studie orientierte man sich an dieser

Einteilung der Implantations- und Belastungskonzepte. Die gewichtete kumulative Überlebensrate betrug für Sofortimplantation und Sofortbelastung (Typ 1A) 98,4%, für Sofortimplantation und Frühbelastung (Typ 1B) 98,2%, für Sofortimplantation und konventionelle Belastung (Typ 1C) 96%, für Spätimplantation und Sofortbelastung (Typ 4A) 97,9%, für Spätimplantation und Frühbelastung (Typ 4B) 98,3% und für Spätimplantation und konventionelle Belastung (Typ 4C) 97,7%. Die meisten Studien schlossen Patienten mit ausreichender Knochenhöhe und -breite ein; in einigen Studien wurde auch auf angemessene Knochenqualität und die Abwesenheit von parodontalen Erkrankungen geachtet.

Benic et al. (92) verglichen in ihrer Übersichtsarbeit die Sofortbelastung von Einzelzahnimplantaten mit der konventionellen Belastung hinsichtlich des Überlebens, des marginalen Knochenabbaus, der periimplantären Weichgewebsstabilität, der Ästhetik und der Patientenzufriedenheit. Nach zwei, drei und fünf Jahren Belastung zeigte sich kein signifikanter Unterschied im marginalen Knochenabbau oder im Implantatüberleben. Auch bei der Papillenhöhe ergab sich im ersten Jahr kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Aufgrund uneinheitlicher Zeitpunkte und widersprüchlicher Ergebnisse sind jedoch keine klaren Schlussfolgerungen bezüglich der bukkalen Schleimhaut und der ästhetischen Ergebnisse möglich.

In einer Meta-Analyse von Cosyn et al. (93) wurde die Sofortimplantation mit der verzögerten Implantation (≥ 3 Monate nach Extraktion) in Bezug auf Implantatüberleben und weitere klinische Parameter verglichen. Die Ergebnisse zeigten eine Überlebensrate von 94,9% bei Sofortimplantation und 98,9% bei verzögerter Implantation, wobei eine erhöhte Verlustrate bei Sofortimplantation festgestellt wurde, besonders wenn kein postoperatives Antibiotikum verabreicht wurde. Ähnliche Ergebnisse fanden sich im Pink Esthetic Score (PES) zwischen beiden Gruppen.

Eine aktuelle Übersichtsarbeit von Garcia-Sanchez et al. (94) untersuchte ebenfalls Unterschiede zwischen Sofort- und verzögerter Implantation. Die Analyse zeigte keinen signifikanten Unterschied in der Überlebensrate, jedoch Unterschiede bei Knochenniveaus und PES ein Jahr nach Belastung, wobei die Sofortimplantat-Gruppe in diesen Aspekten tendenziell bevorzugt wurde.

5.4. Periimplantäre Pflege

In der vorliegenden retrospektiven klinischen Studie traten zwei späte Implantatverluste auf, die nach 14 Monaten aufgrund von Periimplantitis in der Typ-4-Gruppe (Spätimplantation) diagnostiziert wurden. Es ist bekannt, dass periimplantäre Mukositis und Periimplantitis häufige Krankheitsbilder darstellen, wobei die Periimplantitis besonders schwer zu behandeln ist. Sie kann gravierende Folgen haben, einschließlich des Verlustes von Implantaten und implantatgetragenen Zahnersatz, was für die betroffenen Patienten erhebliche zahnärztliche Kosten zur Folge haben kann. Die S3-Leitlinie zur Prävention und Behandlung periimplantärer Erkrankungen von Herrera et al. (2023) (95) empfiehlt daher, präventive Maßnahmen bereits während der Planungsphase, der chirurgischen Insertion und der prothetischen Belastung zu berücksichtigen. Sobald Implantate funktionell belastet werden, sollte ein unterstützendes periimplantäres Pflegeprogramm etabliert werden, das die regelmäßige Beurteilung der periimplantären Gesundheit einschließt. Bei Auftreten von periimplantärer Mukositis oder Periimplantitis sind geeignete therapeutische Maßnahmen erforderlich.

Heitz-Mayfield et al. (96) stellten eine Risikobewertungstechnik vor, die es ermöglicht, das Risiko für die Entwicklung einer Periimplantitis bei Patienten einzuschätzen. Diese Technik berücksichtigt acht Risikofaktoren: eine Vorgeschichte mit Parodontitis (1), den Prozentsatz der Sondierungsblutungen (BOP) (2), die Anzahl der Zähne und Implantate mit einer Sondierungstiefe von ≥ 5 mm (3), das Verhältnis von parodontalem Knochenverlust, bewertet anhand eines Röntgenbildes, geteilt durch das Alter des Patienten (4), die Anfälligkeit für Parodontitis entsprechend dem Staging und Grading (5), die Häufigkeit und das Einhalten der unterstützenden Parodontistherapie (6), den Abstand in mm zwischen der restaurativen Grenze des implantatgetragenen Zahnersatzes und dem marginalen Knochenkamm (7) sowie prothetische Faktoren wie Reinigungsfähigkeit und Passform des Zahnersatzes (8). Diese Faktoren ermöglichen die Identifizierung von Patienten, die ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung einer Periimplantitis aufweisen.

5.5. Datenanalyse

In der vorliegenden retrospektiven klinischen Studie wurden 165 Patienten mit insgesamt 318 Implantaten in zwei Studienzentren versorgt. Davon wurden 68 Implantate sofort und 250 Implantate verzögert inseriert. Nach einer mittleren Nachbeobachtungszeit von 12 ± 5 Monaten verblieben 97,8% der Implantate in situ. Es kam zu sieben Implantatverlusten, davon ein Implantat in der Sofortimplantationsgruppe und sechs Implantate in der Spätimplantationsgruppe. Fünf Implantate gingen früh verloren, während zwei Verluste zu einem späteren Zeitpunkt auftraten. Die Überlebensrate für Sofortimplantate (Typ-1-Gruppe) betrug nach durchschnittlich $11,1 \pm 5$ Monaten 98,5%, und für Spätimplantate (Typ-4-Gruppe) nach $12,2 \pm 6$ Monaten 97,6%.

In einer multizentrischen Studie von Esposito et al. (97) wurden 54 Sofortimplantationen und 52 Spätimplantationen (≥ 4 Monate nach Extraktion, Typ 3) bei 106 Patienten in einem Parallelgruppen-Design untersucht und bis zu einem Jahr nach Belastung nachverfolgt. Da die Gruppengrößen bei Esposito et al. nur um zwei Implantate differierten, war ein direkter Vergleich der Gruppen möglich. Unsere Studie weist hingegen eine Differenz von 182 Implantaten zwischen den Vergleichsgruppen auf. Die Überlebensrate bei Esposito et al. betrug für Sofortimplantate nach einem Jahr 96% und für Spätimplantate 100%. Unsere Ergebnisse zeigten keinen signifikanten Unterschied in der Überlebensrate zwischen Typ-1- und Typ-4-Implantaten. Da in beiden Studien die Implantate lediglich ein Jahr nachkontrolliert wurden, sind Langzeitprognosen limitiert, und weitere Studien mit längeren Follow-up-Zeiträumen wären erforderlich.

In einer prospektiven Studie von Raes et al. (98) wurden Sofortimplantate (Typ-1-Gruppe) und Spätimplantate (Typ-4-Gruppe) über acht bis zehn Jahre beobachtet, nachdem sie sofort mit provisorischen Kronen belastet und nach zehn Wochen durch definitive Kronen ersetzt wurden. Der Nachbeobachtungszeitraum umfasste regelmäßig überprüfte Parameter wie Implantatüberleben, Komplikationen, Knochenveränderungen, Plaque-Score, Sondierungstiefen und Blutungen bei Sondierung. Nach acht Jahren konnten elf von 16 sofort implantierten und 18 von 23 spät implantierten Patienten evaluiert werden. Ein Sofortimplantat ging nach zwölf Wochen verloren, während in der Spätimplantationsgruppe alle Implantate überlebten. Im Verlauf zeigten sich keine signifikanten Knochenniveau-Veränderungen zwischen den beiden Gruppen. Auch traten sowohl technische als auch biologische

Komplikationen in beiden Gruppen auf. Die Vergleichsgruppen sind im Vergleich zu unserer Studie kleiner, allerdings lässt der längere Nachbeobachtungszeitraum auf Langzeitergebnisse schließen. Die Langzeitergebnisse für das konische Tissue-Level-Implantatsystem bleiben abzuwarten.

Die radiologische Bestimmung des Knochenabbaus ist ein wesentlicher Parameter zur Beurteilung des Implantaterfolges. Eine erfolgreiche Osseointegration kann zwar nur histologisch nachgewiesen werden, jedoch ist die radiologische Untersuchung ein praktikabler Ansatz zur Beurteilung des periimplantären Knochenlagers. Die Aussagekraft dieser Methode ist jedoch eingeschränkt, da die dreidimensionale Struktur auf zweidimensionale Bilder projiziert wird, was zu einem Verlust an Detailgenauigkeit führt und kleinere periimplantäre Veränderungen unentdeckt bleiben können (99).

Für die radiologische Analyse in unserer Studie wurden aktuelle Aufnahmen mit unmittelbar postoperativen Aufnahmen verglichen. Die Basisaufnahme für den Vergleich war eine Panoramaschichtaufnahme; im Verlauf wurden intraorale Tubusaufnahmen oder weitere Panoramaschichtaufnahmen angefertigt. Aufgrund der bekannten Implantatlänge war es möglich, die Werte auf den Röntgenbildern zu korrigieren und die marginale Knochenresorption zu bestimmen. Zwar variierten die Aufnahmemethoden zwischen intraoralen Tubusaufnahmen und Panoramaschichtaufnahmen, was die Vergleichbarkeit einschränkt, dennoch liefert dieses Verfahren unter Berücksichtigung der Einschränkungen verlässliche Ergebnisse (100, 101).

6. Zusammenfassung

Die Studie hatte das Ziel, erstmals die klinischen und radiologischen Ergebnisse von konischen Tissue-Level-Implantaten bei Sofortimplantation (Typ 1) und Spätimplantation (Typ 4) zu vergleichen. Dafür wurden insgesamt 318 Implantate bei 65 Patienten in zwei verschiedenen Zentren entweder sofort (n = 68) oder spät (n = 250) inseriert. Die Analyse konzentrierte sich auf die Überlebens- und Erfolgsraten der Implantate sowie auf das marginale Knochenniveau.

Nach einer durchschnittlichen Nachbeobachtungszeit von $12,0 \pm 5$ Monaten betrug die Gesamtüberlebensrate der Implantate 97,8 %. Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Überlebensraten von Typ-1- und Typ-4-Implantaten konnte nicht festgestellt werden (98,5 % vs. 97,6 %, HR 0,70, 95%-CI 0,084-5,81). Ebenso hatten weder die Implantatlänge (HR 0,53, 95%-CI 0,055-5,08) noch die Implantatbreite (HR 0,27, CI 0,028-2,55) einen signifikanten Einfluss auf das Implantatüberleben. Darüber hinaus zeigte sich, dass die Verwendung verschiedener Biomaterialien zur Defektauffüllung sowie eine mögliche Sofortbelastung keinen Einfluss auf das Überleben der Implantate hatten. Der durchschnittliche marginale Knochenverlust war minimal und lag bei $0,02 \pm 0,05$ mm für Typ 1 und $0,04 \pm 0,1$ mm für Typ 4.

Trotz der Einschränkungen dieser retrospektiven Studie und der relativ kurzen Nachbeobachtungszeit weisen die Ergebnisse darauf hin, dass dieses neuartige Tissue-Level-Implantat sowohl bei Sofort- als auch bei Spätimplantation hohe Überlebens- und Erfolgsraten sowie stabile marginale Knochenniveaus aufweist. Da es sich um eine retrospektive Untersuchung handelt, wurde keine Registrierung als klinische Studie vorgenommen.

7. Literaturverzeichnis

1. Wagner J, Spille JH, Wiltfang J, Naujokat H. Systematic review on diabetes mellitus and dental implants: an update. *Int J Implant Dent.* 2022;8(1):1.
2. Schiegnitz E, Müller LK, Sagheb K, Theis L, Cagiran V, Kämmerer PW, et al. Clinical long-term and patient-reported outcomes of dental implants in oral cancer patients. *Int J Implant Dent.* 2021;7(1):93.
3. Duttonhoefer F, Fuessinger MA, Beckmann Y, Schmelzeisen R, Groetz KA, Boeker M. Dental implants in immunocompromised patients: a systematic review and meta-analysis. *Int J Implant Dent.* 2019;5(1):43.
4. Gallucci GO, Hamilton A, Zhou W, Buser D, Chen S. Implant placement and loading protocols in partially edentulous patients: A systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2018;29 Suppl 16:106-34.
5. Huynh-Ba G, Oates TW, Williams MAH. Immediate loading vs. early/conventional loading of immediately placed implants in partially edentulous patients from the patients' perspective: A systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2018;29 Suppl 16:255-69.
6. Morton D, Gallucci G, Lin WS, Pjetursson B, Polido W, Roehling S, et al. Group 2 ITI Consensus Report: Prosthodontics and implant dentistry. *Clin Oral Implants Res.* 2018;29 Suppl 16:215-23.
7. Buser D, Chappuis V, Belser UC, Chen S. Implant placement post extraction in esthetic single tooth sites: when immediate, when early, when late? *Periodontol* 2000. 2017;73(1):84-102.
8. Schiegnitz E, Sagheb K, Raahimi L, König J, Azaripour A, Al-Nawas B. Immediate versus delayed implant placement of novel fully tapered tissue-level implants – A retrospective multicenter clinical study. *Clinical Oral Implants Research.* 2024;35(6):668-76.
9. Schwenzer N, Ehrenfeld M. *Zahnärztliche Chirurgie.* 3., aktualis. u. erw. Aufl. ed. Stuttgart: Thieme; 2000. XII, 328 S. 484 Abb. , 28 Tab. p.
10. Albrektsson T, Brånemark PI, Hansson HA, Lindström J. Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. *Acta Orthop Scand.* 1981;52(2):155-70.
11. Brånemark PI. Osseointegration and its experimental background. *J Prosthet Dent.* 1983;50(3):399-410.
12. Brånemark PI, Adell R, Breine U, Hansson BO, Lindström J, Ohlsson A. Intraosseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies. *Scand J Plast Reconstr Surg.* 1969;3(2):81-100.
13. Brånemark PI, Hansson BO, Adell R, Breine U, Lindström J, Hallén O, et al. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Scand J Plast Reconstr Surg Suppl.* 1977;16:1-132.
14. Schroeder A, Pohler O, Sutter F. [Tissue reaction to an implant of a titanium hollow cylinder with a titanium surface spray layer]. *SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd.* 1976;86(7):713-27.
15. Schroeder A, van der Zypen E, Stich H, Sutter F. The reactions of bone, connective tissue, and epithelium to endosteal implants with titanium-sprayed surfaces. *J Maxillofac Surg.* 1981;9(1):15-25.
16. Buser D, Sennerby L, De Bruyn H. Modern implant dentistry based on osseointegration: 50 years of progress, current trends and open questions. *Periodontology* 2000. 2017;73(1):7-21.
17. Buser D, Janner SF, Wittneben JG, Brägger U, Ramseier CA, Salvi GE. 10-year survival and success rates of 511 titanium implants with a sandblasted and acid-etched

- surface: a retrospective study in 303 partially edentulous patients. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012;14(6):839-51.
18. Fischer K, Stenberg T. Prospective 10-year cohort study based on a randomized controlled trial (RCT) on implant-supported full-arch maxillary prostheses. Part 1: sandblasted and acid-etched implants and mucosal tissue. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012;14(6):808-15.
 19. Wang Y, Bäumer D, Ozga AK, Körner G, Bäumer A. Patient satisfaction and oral health-related quality of life 10 years after implant placement. *BMC Oral Health.* 2021;21(1):30.
 20. Bandiaky ON, Lokossou DL, Soueidan A, Le Bars P, Gueye M, Mbodj EB, et al. Implant-supported removable partial dentures compared to conventional dentures: A systematic review and meta-analysis of quality of life, patient satisfaction, and biomechanical complications. *Clin Exp Dent Res.* 2022;8(1):294-312.
 21. 1.4 Wund- und Frakturheilung. 2010 2014/05/16. In: Orthopädie und Unfallchirurgie essentials [Internet]. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KGEssentials - Intensivkurs zur Weiterbildung. Available from: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/lookinside/10.1055/b-0034-34821>.
 22. Terheyden H, Lang NP, Bierbaum S, Stadlinger B. Osseointegration--communication of cells. *Clin Oral Implants Res.* 2012;23(10):1127-35.
 23. Listgarten MA, Lang NP, Schroeder HE, Schroeder A. Periodontal tissues and their counterparts around endosseous implants. *Clinical Oral Implants Research.* 1991;2(3):1-19.
 24. T A, C J. Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration. *European Spine Journal.* 2001;10(0):S96-S101.
 25. Gutwald R, Gellrich NC, Schmelzeisen R, GmbH DÄ-V. Zahnärztliche Chirurgie und Implantologie: für Studium, Examen und Beruf: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2019.
 26. Raghavendra S, Wood MC, Taylor TD. Early wound healing around endosseous implants: a review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2005;20(3):425-31.
 27. Martinez H, Davarpanah M, Missika P, Celletti R, Lazzara R. Optimal implant stabilization in low density bone. *Clin Oral Implants Res.* 2001;12(5):423-32.
 28. Jochen Jackowski HP, Frank Hölzle. Zahnärztliche Chirurgie. In: Jackowski J, Peters H, Hölzle F, editors. Berlin: Springer; 2017.
 29. Quesada-García MP, Prados-Sánchez E, Olmedo-Gaya MV, Muñoz-Soto E, Vallecillo-Capilla M, Bravo M. Dental implant stability is influenced by implant diameter and localization and by the use of plasma rich in growth factors. *J Oral Maxillofac Surg.* 2012;70(12):2761-7.
 30. Makowiecki A, Hadzik J, Błaszczyszyn A, Gedrange T, Dominiak M. An evaluation of superhydrophilic surfaces of dental implants - a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health.* 2019;19(1).
 31. Hämmerle CHF, Araújo MG, Simion M. Evidence-based knowledge on the biology and treatment of extraction sockets. *Clinical Oral Implants Research.* 2012;23:80-2.
 32. Chappuis V, Araújo MG, Buser D. Clinical relevance of dimensional bone and soft tissue alterations post-extraction in esthetic sites. *Periodontol 2000.* 2017;73(1):73-83.
 33. Jung RE, Ioannidis A, Hämmerle CHF, Thoma DS. Alveolar ridge preservation in the esthetic zone. *Periodontol 2000.* 2018;77(1):165-75.
 34. Lekholm U ZG. Patient selection and preparation. In: Brånemark PI, Zarb GA, Albrektsson T. *Tissue-Integrated Prostheses: Osseointegration in Clinical Dentistry.* . Chicago: Quintessence Publishing Company, . 1985:199-209.
 35. Spiekermann H. *Implantologie:* Thieme; 1994.

36. Palaskar JN, Joshi N, Shah PM, Gullapalli P, Vinay V. Influence of different implant placement techniques to improve primary implant stability in low-density bone: A systematic review. *J Indian Prosthodont Soc.* 2020;20(1):11-6.
37. Trisi P, De Benedittis S, Perfetti G, Berardi D. Primary stability, insertion torque and bone density of cylindrical implant ad modum Branemark: is there a relationship? An in vitro study. *Clin Oral Implants Res.* 2011;22(5):567-70.
38. Meredith N, Alleyne D, Cawley P. Quantitative determination of the stability of the implant-tissue interface using resonance frequency analysis. *Clin Oral Implants Res.* 1996;7(3):261-7.
39. Herrero-Climent M, Santos-García R, Jaramillo-Santos R, Romero-Ruiz MM, Fernández-Palacin A, Lázaro-Calvo P, et al. Assessment of Osstell ISQ's reliability for implant stability measurement: a cross-sectional clinical study. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2013;18(6):e877-82.
40. Sennerby L. 20 Jahre Erfahrung mit der Resonanzfrequenzanalyse. *Implantologie.* 2013;21(1):21-33.
41. Behneke A BN, Koeck B, Wagner W. *Implantologie Praxis der Zahnheilkunde: Urban & Fischer 2. Auflage 2004.* 265 p.
42. Weber HP, Morton D, Gallucci GO, Rocuzzo M, Cordaro L, Grutter L. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding loading protocols. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24 Suppl:180-3.
43. Schropp L, Isidor F. Timing of implant placement relative to tooth extraction. *J Oral Rehabil.* 2008;35 Suppl 1:33-43.
44. Hämmerle CH, Chen ST, Wilson TG, Jr. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding the placement of implants in extraction sockets. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2004;19 Suppl:26-8.
45. De Oliveira-Neto O, Lemos C, Barbosa F, De Sousa-Rodrigues C, Camello De Lima F. Immediate dental implants placed into infected sites present a higher risk of failure than immediate dental implants placed into non-infected sites: Systematic review and meta-analysis. *Medicina Oral Patología Oral y Cirugía Bucal.* 2019:0-.
46. Esposito M, Grusovin MG, Willings M, Coulthard P, Worthington HV. The effectiveness of immediate, early, and conventional loading of dental implants: a Cochrane systematic review of randomized controlled clinical trials. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2007;22(6):893-904.
47. Gallucci GO, Benic GI, Eckert SE, Papaspyridakos P, Schimmel M, Schrott A, et al. Consensus statements and clinical recommendations for implant loading protocols. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2014;29 Suppl:287-90.
48. Weber T. 10 *Implantologie.* 2016 2016/05/09. In: *Zahnmedizin Memorix [Internet]. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG. 4. Auflage. Memorix. Available from: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/lookinside/10.1055/b-0036-134624>.*
49. Straumann Holding AG B, Schweiz. Straumann® Online Referenten-Material. 2025.
50. Knöfler W BT WS, Schmenger K. Blattimplantate – eine Rückschau. Eine retrospektive Studie. *Z Zahnärztl Implantol.* 2022:250-5.
51. Dinkelacker W, Hermann JS, Schmider D, Zipprich H. *Implantatprothetik.* Stuttgart Georg Thieme Verlag; 2014.
52. Hermann JS, Buser D, Schenk RK, Cochran DL. Crestal Bone Changes Around Titanium Implants. A Histometric Evaluation of Unloaded Non-Submerged and Submerged Implants in the Canine Mandible. *Journal of Periodontology.* 2000;71(9):1412-24.
53. Hermann JS, Schoolfield JD, Schenk RK, Buser D, Cochran DL. Influence of the Size of the Microgap on Crestal Bone Changes Around Titanium Implants. A

Histometric Evaluation of Unloaded Non-Submerged Implants in the Canine Mandible. *Journal of Periodontology*. 2001;72(10):1372-83.

54. Hermann JS, Jones AA, Bakaeen LG, Buser D, Schoolfield JD, Cochran DL. Influence of a Machined Collar on Crestal Bone Changes Around Titanium Implants: A Histometric Study in the Canine Mandible. *Journal of Periodontology*. 2011;82(9):1329-38.

55. Bosshardt DD, Chappuis V, Buser D. Osseointegration of titanium, titanium alloy and zirconia dental implants: current knowledge and open questions. *Periodontology* 2000. 2017;73(1):22-40.

56. Cionca N, Hashim D, Mombelli A. Zirconia dental implants: where are we now, and where are we heading? *Periodontology* 2000. 2017;73(1):241-58.

57. Gutwald R, Gellrich N-C, Schmelzeisen R. Einführung in die zahnärztliche Chirurgie und Implantologie : für Studium und Beruf ; mit 71 Tabellen. 2., überarb. und erw. Aufl. ed. Köln: Dt. Zahnärzte-Verl.; 2010. XXIV, 610 S. p.

58. Grandin HM, Berner S, Dard M. A Review of Titanium Zirconium (TiZr) Alloys for Use in Endosseous Dental Implants. *Materials*. 2012;5(8):1348-60.

59. Kobayashi E, Matsumoto S, Doi H, Yoneyama T, Hamanaka H. Mechanical properties of the binary titanium-zirconium alloys and their potential for biomedical materials. *Journal of Biomedical Materials Research*. 1995;29(8):943-50.

60. Al-Nawas B, Brägger U, Meijer HJ, Naert I, Persson R, Perucchi A, et al. A double-blind randomized controlled trial (RCT) of Titanium-13Zirconium versus Titanium Grade IV small-diameter bone level implants in edentulous mandibles--results from a 1-year observation period. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2012;14(6):896-904.

61. Müller F, Al-Nawas B, Storelli S, Quirynen M, Hicklin S, Castro-Laza J, et al. Small-diameter titanium grade IV and titanium-zirconium implants in edentulous mandibles: five-year results from a double-blind, randomized controlled trial. *BMC Oral Health*. 2015;15(1):123.

62. Dohan Ehrenfest DM, Coelho PG, Kang B-S, Sul Y-T, Albrektsson T. Classification of osseointegrated implant surfaces: materials, chemistry and topography. *Trends in Biotechnology*. 2010;28(4):198-206.

63. Davies JE. Mechanisms of endosseous integration. *Int J Prosthodont*. 1998;11(5):391-401.

64. Gutwald R, Gellrich N-C, Schmelzeisen R. Zahnärztliche Chirurgie und Implantologie 3. A. : Für Studium, Examen und Beruf. 3. überarbeitete und erweiterte Ausgabe ed. Köln2019.

65. Cochran DL, Buser D, Ten Bruggenkate CM, Weingart D, Taylor TM, Bernard J-P, et al. The use of reduced healing times on ITI® implants with a sandblasted and acid-etched (SLA) surface. *Clinical Oral Implants Research*. 2002;13(2):144-53.

66. Wennerberg A, Albrektsson, Galli. Current knowledge about the hydrophilic and nanostructured SLActive surface. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*. 2011:59.

67. Cabrera-Domínguez JJ, Castellanos-Cosano L, Torres-Lagares D, Pérez-Fierro M, Machuca-Portillo G. Clinical performance of titanium-zirconium implants with a hydrophilic surface in patients with controlled type 2 diabetes mellitus: 2-year results from a prospective case-control clinical study. *Clin Oral Investig*. 2020;24(7):2477-86.

68. Cabrera-Domínguez J, Castellanos-Cosano L, Torres-Lagares D, Machuca-Portillo G. A Prospective Case-Control Clinical Study of Titanium-Zirconium Alloy Implants with a Hydrophilic Surface in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2017;32(5):1135-44.

69. Nelson K, Stricker A, Raguse JD, Nahles S. Rehabilitation of irradiated patients with chemically modified and conventional SLA implants: a clinical clarification. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2016;43(11):871-2.
70. Lee RSB, Hamlet SM, Ivanovski S. The influence of titanium surface characteristics on macrophage phenotype polarization during osseous healing in type I diabetic rats: a pilot study. *Clinical Oral Implants Research*. 2017;28(10):e159-e68.
71. Hotchkiss KM, Ayad NB, Hyzy SL, Boyan BD, Olivares-Navarrete R. Dental implant surface chemistry and energy alter macrophage activation in vitro. *Clinical Oral Implants Research*. 2017;28(4):414-23.
72. Schiegnitz E, Al-Nawas B, Tegner A, Sagheb K, Berres M, Kämmerer PW, et al. Clinical and Radiological Long-Term Outcome of a Tapered Implant System with Special Emphasis on the Influence of Augmentation Procedures. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2016;18(4):810-20.
73. Schiegnitz E, Kämmerer PW, Hellwich P, König J, Sagheb K, Al-Nawas B. Treatment concepts of horizontally deficient ridges-A retrospective study comparing narrow-diameter implants in pristine bone with standard-diameter implants in augmented bone. *Clin Oral Implants Res*. 2021;32(10):1159-67.
74. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1986;1(1):11-25.
75. Ziegler A, Lange S, Bender R. Überlebenszeitanalyse: Die Cox-Regression. *Deutsche Medizinische Wochenschrift - DEUT MED WOCHENSCHR*. 2007;132.
76. Hemmerich WA. Konfidenzintervall: Statistik Guru; 2016 [Available from: <https://statistikguru.de/lexikon/konfidenzintervall.html>].