

Aus dem Zentrum für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde der Universität zu Köln
Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. Dr. med. dent. J. E. Zöller

**Retrospektive Analyse der Überlebensrate von
XiVE® S plus Implantaten mit primär und sekundär verblockten Restaurationen**

Inaugural-Dissertation
Zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde
Der medizinischen Fakultät
Der Universität zu Köln

vorgelegt von
Daria Niemietz
aus Lowicz/Polen

promoviert am 24. September 2024

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink
1. Gutachter: Professor Dr. med. Dr. med. dent. M. P. Kreppel
2. Gutachter: Privatdozent Dr. med. S. Fürderer

Erklärung:

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten:

Herr Professor Dr. med. Dr. med. dent. M. P. Kreppel

Weitere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertation wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden zahnmedizinischen und funktionellen Befunde wurden teilweise mit und teilweise ohne meine Mitarbeit im Rahmen der Behandlungssprechstunde der Praxis für Zahnheilkunde, Dr. med. dent. K. Aitzetmüller in Hamburg erhoben.

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Patientendaten wurden von mir persönlich erfasst und ausgewertet. Die dafür verwendete Software, IBM SPSS Statistics 24, wurde mir von Herr Professor Dr. med. Dr. med. dent. M. P. Kreppel zur Verfügung gestellt.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Hamburg, den 01.03.2023

Daria Niemietz

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Professor Dr. med. Dr. med. dent. M. P. Kreppel für seine konstruktive Unterstützung und Förderung der Arbeit.

Des Weiteren danke ich meiner lieben Kollegin Frau Dr. med. dent. Karin Aitzetmüller in Hamburg für die zur Verfügung Stellung ihrer Patientenkartei aus über 20 Jahren Implantologie.

Mein innigster Dank gilt meiner Familie, die immer für mich da war.

Abschliessend gebührt mein Dank meinem Mann Wolfgang für seine Unterstützung, Geduld, Motivation und unendliche Liebe.

- Du bist mein, ich bin dein, wir sind uns –

In Liebe und Dankbarkeit meinen Eltern und meiner
Tante, Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Ewa Szymaniak
gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	8
2. Einleitung	9
2.1 Geschichte der zahnärztlichen Implantologie	9
2.2 Osseointegration	11
2.2.1 Knochenqualität	12
2.2.2 Implantateigenschaften	14
2.3 Verblockung.....	16
2.4 Komplikationen und Implantatverlust	18
2.5 Periimplantitis	20
2.6 Fragestellung.....	22
3. Material und Methoden.....	24
3.1 Das Patientenkollektiv	24
3.2 Erfassung und statistische Auswertung der Daten.....	24
4. Ergebnisse	27
4.1 Untersuchte Parameter	27
4.2 Effekt der Verblockungsart auf die Komplikations- und Überlebensrate von XiVE® S plus Implantaten	28
4.2.1 Periimplantitis im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung.	28
4.2.2 Komplikationen im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung	28
4.2.3 Implantatverlust im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung	29
4.3 Risikofaktor Periimplantitis	30
4.3.1 Komplikationen im Zusammenhang mit Periimplantitis	30
4.3.2 Implantatverlust im Zusammenhang mit Periimplantitis.....	30
4.4 Risikofaktor Tabakkonsum.....	31
4.4.1 Periimplantitis im Zusammenhang mit Tabakkonsum	31
4.4.2 Komplikationen im Zusammenhang mit Tabakkonsum.....	32
4.4.3 Implantatverlust im Zusammenhang mit Tabakkonsum.....	33
5. Diskussion	34

5.1 Effekt der Verblockungsart auf die Komplikations- und Überlebensrate von XiVE® S plus Implantaten	34
5.1.1 Periimplantitis im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung.	34
5.1.2 Komplikationen im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung	36
5.1.3 Implantatverlust im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung	37
5.2 Risikofaktor Periimplantitis	38
5.2.1 Komplikationen im Zusammenhang mit Periimplantitis	39
5.2.2 Implantatverlust im Zusammenhang mit Periimplantitis.....	39
5.3 Risikofaktor Tabakkonsum.....	40
5.3.1 Periimplantitis im Zusammenhang mit Tabakkonsum	40
5.3.2 Komplikationen im Zusammenhang mit Tabakkonsum.....	41
5.3.3 Implantatverlust im Zusammenhang mit Tabakkonsum.....	42
5.4 Die untersuchten Variablen im Gesamtbild.....	43
6. Literaturverzeichnis.....	45
7. Anhang	53
7.1 Abbildungsverzeichnis.....	53
7.2 Tabellenverzeichnis	54

1. Zusammenfassung

Diese Dissertation hatte zum Ziel, ein in der Fachliteratur unterrepräsentiertes Forschungsobjekt zu beleuchten, nämlich das Zusammenspiel von Zahnimplantaten und Primär- beziehungsweise Sekundärverblockung, illustriert am Beispiel von XiVE® S plus Implantaten und ausgewertet anhand von drei Hauptparametern: Periimplantitis-, Komplikations- und Implantatverlustrate. Des Weiteren wurde der Einfluss des Tabakrauchens auf die Implantatprognose untersucht. Es stellte sich heraus, dass a) XiVE® S plus Implantate wie erwartet eine hohe generelle Erfolgsquote von mindestens 96 Prozent aufwiesen, und b) primärverblockte Restaurationen anfälliger für das Auftreten von Komplikationen waren als sekundärverblockte. Sowohl eine bestehende Periimplantitis als auch Tabakkonsum standen jeweils in deutlichem Zusammenhang mit Komplikationen und Implantatverlust. Das Rauchen begünstigte außerdem das Entstehen einer Periimplantitis. Im Rahmen der klinischen Anwendung können die Ergebnisse dem Behandler helfen, anhand der individuellen Krankengeschichte des Patienten die beste Entscheidung bezüglich der Verblockung von XiVE® S plus Implantaten zu treffen.

2. Einleitung

2.1 Geschichte der zahnärztlichen Implantologie

Die zahnärztliche Implantologie beschäftigt sich mit der gezielten Ersetzung ausgefallener beziehungsweise extrahierter Zähne durch Objekte, die Zahnform und -funktion bestmöglichst imitieren. Diese Objekte sind heutzutage als Implantate bekannt (Abbildung 1). Bereits vor mehr als 4500 Jahren wurden im Alten Ägypten Zähne mit Golddraht fixiert, eine Tradition, die Jahrhunderte später auch von anderen Völkern der Antiken Welt aufgegriffen und durch die Einführung von rudimentärem Zahnersatz aus Tierknochen oder Elfenbein erweitert wurde. Vor 1400 bis 1200 Jahren versorgten die mittelamerikanischen Maya dann erstmals einzelne Patienten mit aus Muschelschalen und später auch Stein gefertigten Unterkieferzahnimplantaten (Abraham 2014; Pal et al. 2015; Rajput et al. 2016). Erst im 16. Jahrhundert tauchen die ersten Hinweise auf Implantatnutzung in Europa auf, wobei es sich meist um natürliche Zähne handelt, die einem lebenden Individuum oder einer Leiche entnommen wurden, um sie dann einer anderen Person einzusetzen (Abraham 2014). Diese etwas gruselige Form der Implantatversorgung wurde im Jahr 1809 von der wahrscheinlich ersten Einbringung eines Implantats im modernen Sinn in den Kieferknochen eines Patienten abgelöst. Besagtes Implantat wurde von dem Italiener Maggiolo aus Gold gefertigt und erlaubte das Aufsetzen einer Porzellankrone. In den darauffolgenden Jahren wurde daraufhin mit zahlreichen anderen und teilweise neuen Materialien, vor allem Metallen, experimentiert. Hierbei stach besonders die Entdeckung der Legierung Vitallium heraus. In den 1940er Jahren schließlich tauchten spiralförmige Implantate aus Stahl auf, die sich durch eine gute Einheilung in den Knochen auszeichneten (Abraham 2014; Rajput et al. 2016). Die Periode von 1960 bis 1980 brachte eine Kondensierung, Integration und Konkretisierung der vorangegangenen Entdeckungen mit sich und läutete damit einen rasanten Fortschritt auf dem Gebiet der Implantologie ein. Meilensteine dieser Zeit sind unter anderem das Linkow-Blattimplantat, auf dessen ursprünglichem Design viele heutzutage verwendete enossale Implantate aufbauen, und natürlich die Forschungsarbeiten von Per-Ingvar Brånemark, die schließlich in der Darlegung des theoretischen Konzepts der Osseointegration sowie der praktischen Entwicklung von Titaniumimplantaten gipfelte. Die moderne Implantologie war geboren (Abraham 2014; Pal et al. 2015; Rajput et al. 2016)!

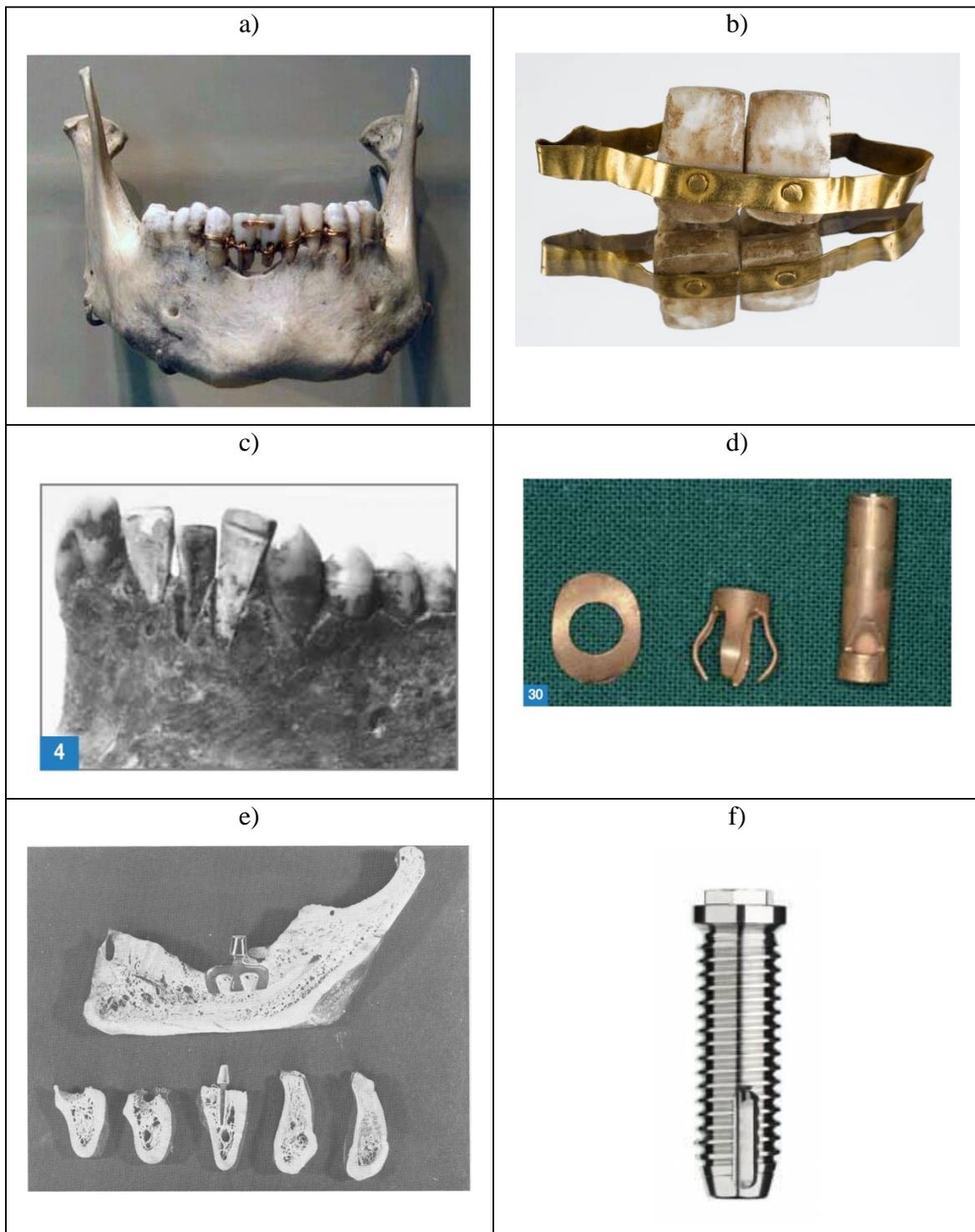


Abbildung 1. Meilensteine in der Geschichte der zahnärztlichen Implantologie: a) Ägyptische Golddrahtkonstruktion zur Zahnfixierung; b) Etruskischer Zahnersatz (beide nach museum-of-artifacts.blogspot.com); c) Maya-Unterkieferzahnimplantate; d) Replik von Maggiolos Zahnimplantat (beide nach Pasqualini & Pasqualini 2009); e) Linkow-Blattimplantat (nach Linkow & Cherchève 1970); f) Brånemark-Titanimplantat (nach osseosource.com).

2.2 Osseointegration

Unter Osseointegration versteht man die durch einen monatelangen Einheilungsprozess beförderte mechanisch-biologische und funktionell-strukturelle Verbindung zwischen einem Implantat und lebendigem Knochengewebe (Abbildung 2; Alghamdi & Jansen 2020; Parithimarkalaignan & Padmanabhan 2013). Der eigentliche Prozess beginnt mit der Implantateinsetzung in den Knochen, auf die der Körper umgehend mit einer Entzündungsreaktion antwortet. Es entstehen Blutgerinnsel, die wiederum die Zellmigration, -teilung und -wachstum stimulierende Signalproteine an die Implantatoberfläche abgeben. Thrombozyten bilden währenddessen ein das Gewebe und das Implantat verbindende Fibrinnetz, das sowohl die Zellmigration als auch die Ansammlung von Leukozyten am Implantat erleichtert. Die Leukozyten sorgen für eine erste effektive Immunantwort, indem sie Erreger und abgestorbenes Gewebe beseitigen, und schaffen somit die Voraussetzungen für eine Ansiedlung von mesenchymalen Stammzellen. Die Signalproteine regen Letztere zur Differenzierung an, und in der Folge entstehen erst Osteoblasten und schließlich Geflechtknochen. In der mehrere Monate andauernden Endphase reift dieses Gewebe zu Lamellenknochen aus. Mikrorisse werden geschlossen und die Gewebestruktur homogenisiert (Liu et al. 2020).

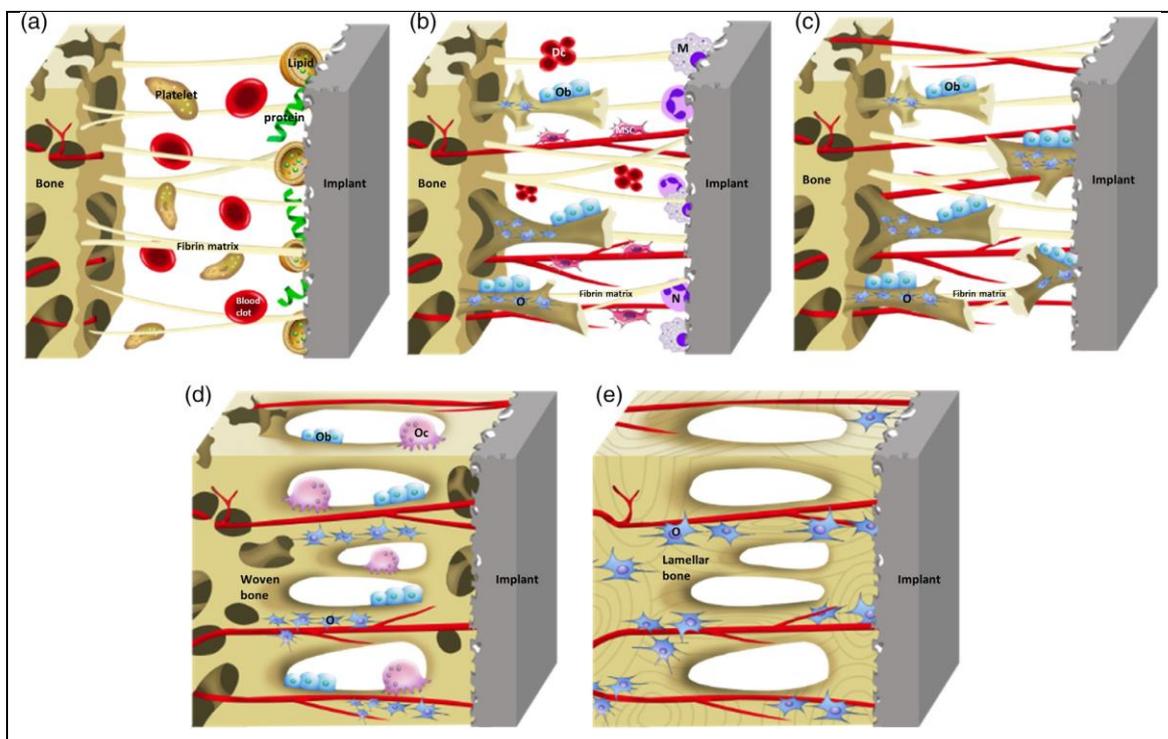


Abbildung 2. Verschiedene Phasen der Osseointegration: a) Bildung von Blutgerinnseln und Fibrinnetz; b) bis d) Wachstum von Blutgefäßen und Geflechtknochen; e) Entstehung von Lamellenknochen (nach Liu et al. 2020).

Damit der Idealfall einer festen, beständigen und symptomfreien Verbindung zwischen dem körpereigenen Gewebe und dem Fremdkörper eintritt, sollte das Implantat aus möglichst biokompatiblen Material bestehen und bestimmte physische, mechanische, topografische sowie Oberflächeneigenschaften sowohl auf der mikro- als auch der makroskopischen Ebene besitzen. Auf der biologischen Seite bestimmen die Knochenqualität und die Dauer und Umstände der Einheilungsphase die zu erwartenden Erfolgsaussichten. Natürlich spielt letztendlich auch die angewendete Technik und die Berufserfahrung des Behandlers eine Rolle (Parithimarkalaignan & Padmanabhan 2013). Je besser das Zusammenspiel von Implantateigenschaften, Knochenqualität und Technik, desto höher fällt die Primärstabilität aus, das heißt, der Grad der Verbindung zwischen Implantat und Knochengewebe unmittelbar nach Einsetzung des Fremdkörpers und noch bevor Einheilungseffekte zu beobachten sind. Eine akzeptable Primärstabilität bedeutet dabei auch immer eine effektive Kontrolle der Mikrobewegung des Implantats innerhalb des Implantatbetts. Ein gewisser Grad an Mikrobewegung hat eine stimulierende Wirkung auf die Differenzierung der mesenchymalen Stammzellen zu Osteoblasten und verbessert so die Osseointegration. Jenseits dieses Grades aber bildet sich vor allem fibröses Gewebe, das die Osseointegration beeinträchtigt (Li et al. 2020; Overmann et al. 2020). Generell ist es zwar unvermeidbar, dass die Primärstabilität mit der Zeit abnimmt, und die Mikrobewegung in der Folge zunimmt. Allerdings wird diese Tendenz zumindest teilweise durch eine Verstärkung der Sekundärstabilität abgemildert. Letztere bezieht sich auf die biologischen Prozesse, die während der Einheilungsphase stattfinden und die eine bidirektionale Neubildung von Knochengewebe zwischen Implantatoberfläche und -bett bewirken. Die schlussendliche Erfolgsquote eines Implantats wird also maßgeblich von fortschreitendem Knochenabbau und Verlust der Primärstabilität auf der einen Seite, sowie Verjüngung des verbindenden Knochengewebes und Zunahme der Sekundärstabilität auf der anderen Seite bestimmt (Li et al. 2020).

2.2.1 Knochenqualität

Um die Bedeutung der Knochenqualität für die Osseointegration korrekt einordnen zu können, muss man den zuerst den Knochenaufbau verstehen. Der ausgereifte Lamellenknochen zum Beispiel besteht prinzipiell aus zwei Gewebeschichten: der äußeren, kompakten Substantia corticalis und der inneren, wabenförmigen Substantia spongiosa. Die erstgenannte Schicht besteht wiederum aus Osteonen, während sich die

zweite aus Trabekeln zusammensetzt. Beide sind in eine extrazelluläre Matrix aus Kollagenfibrillen eingebunden, die durch die Verbindung von Proteinen wie Kollagen Typ I und anorganischen Mineralien wie Hydroxylapatit entsteht. Diese Kombination macht den Knochen sowohl leicht und flexibel als auch widerstandsfähig, und die genaue Proportion, in der die Bestandteile zueinander stehen, bestimmt Eigenschaften wie die Knochendichte. Im Fall des Alveolarknochens wird zwischen vier Typen unterschieden (Abbildung 3): Typ I, der hauptsächlich aus Substantia corticalis besteht; Typ II, bei dem eine dicke Schicht von Substantia corticalis die Markhöhle umgibt; Typ III, der sich durch eine dünne Schicht von Substantia corticalis, aber eine dicke und starke Schicht von Substantia spongiosa charakterisiert; und Typ IV, bei dem beide Schichten dünn beziehungsweise von geringer Dichte und Stärke sind. Generell reagieren Typ II und III am besten auf eine Implantateinsetzung und führen auch meist zu einer guten Osseointegration, während bei Typ IV das Auftreten von Komplikationen bis hin zum Implantatverlust keine Seltenheit ist (Li et al. 2020). Beim Menschen hängt die Knochendichte und -qualität von genetischen und epigenetischen Faktoren ab (Assad et al. 2019, 2020; Li et al. 2020), kann sich aber auch im Laufe eines Lebens oder aufgrund gesundheitlicher Probleme verändern. Aus klinischer Sicht relevant ist auch der Fakt, dass besagte Parameter in ein und demselben Individuum je nach anatomischer Zone variieren können. Normalerweise finden sich zum Beispiel dickere Schichten von Substantia corticalis im Unter- als im Oberkiefer, und in den vorderen als in den hinteren Kieferregionen (Abbildung 3). Dies erklärt, warum es kein Patentrezept für die Implantatversorgung geben kann. Im Gegenteil, bei jedem einzelnen Patienten und jeder einzelnen Stelle, an der konkret ein Implantat gesetzt werden soll, muss die entsprechende Knochendichte und -qualität in die Auswahl des am besten geeigneten Implantatmodells einfließen (Li et al. 2020). Die Verabreichung von Wachstumsfaktoren kann nach der Operation den Erholungsprozess des periimplantären Gewebes beschleunigen und eventuell sogar eine defiziente Knochenqualität teilweise ausgleichen (Anitua et al. 2012; Khouly et al. 2020; Lokwani et al. 2020). Eine wirkliche und anhaltende Verbesserung dieses Parameters könnte durch maßgeschneiderte Stammzellentherapien erreicht werden, allerdings sind auf dem Weg zur klinischen Anwendung noch viele Hürden zu nehmen (Wang et al. 2016).

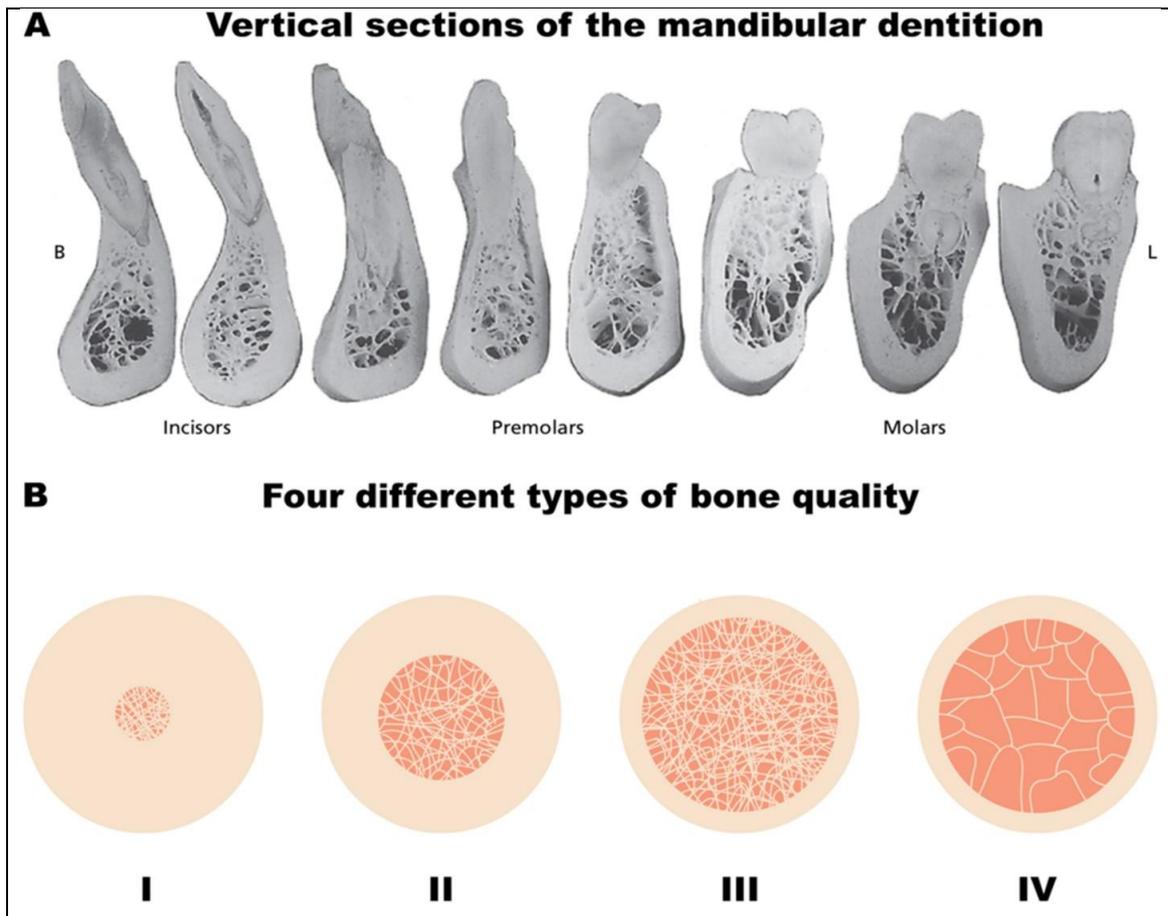


Abbildung 3. Unterschiede hinsichtlich der Knochendichte und -qualität: A) Vertikalschnitt von Teilen des Unterkiefergebisses; B) Knochentyp I bis IV (nach Li et al. 2020).

2.2.2 Implantateigenschaften

Im Laufe der Geschichte der Implantologie sind eine Vielzahl von Materialien getestet wurden. In den letzten Jahrzehnten haben sich vor allem Implantate aus Titan durchgesetzt, obwohl auch Cobalt-Chrom-Legierungen, Tantal, Keramik, Aluminiumoxid, Zirkonia und Kunststoffe wie Polyetheretherketon ihre Anwendung gefunden haben (Liu et al. 2020). Die beste Biokompatibilität wird von den Metallen Titan und Tantal, aber auch dem keramikähnlichen Werkstoff Zirkonia erzielt, wobei Letzterer den vielleicht höchsten Grad an Osseointegration ermöglicht, da er besonders widerstandsfähig gegen Korrosion ist und im Gegensatz zu Titan keine Allergien auslöst. Für Titan wiederum spricht, dass es die wahrscheinlich besten mechanischen Eigenschaften aller genannter Werkstoffe besitzt und seine geringere Abnutzungsrate sich in einer längeren Lebensdauer manifestiert. Außerdem können die spezifischen Eigenschaften von Titanimplantaten durch den Einsatz von ausgesuchten Legierungen

relativ einfach an besondere Anforderungen und Bedürfnisse angepasst werden. Im Vergleich zu reinem Titan kann die Zumischung von Aluminium und Vanadium in der richtigen Proportion zu Implantaten mit höherer Beanspruchbarkeit und Korrosionsbeständigkeit führen (Liu et al. 2020; Rajput et al. 2016). Bei hauptsächlich aus Tantal gefertigten Implantaten dagegen können ausgesprochen hohe Grade an Porosität erzielt werden (Abbildung 4; Alghamdi & Jansen 2020).

Die Auswahl des Materials steht also unbestreitbar in direktem Bezug mit den Implantateigenschaften. Variablen, die sofort ins Auge fallen, sind die Form, die bei modernen Implantaten entweder zylindrisch oder konisch ist, und die Dimensionen (Länge, Tiefe und Durchmesser). Viele Implantatmodelle werden zum Beispiel in verschiedenen Längen vom jeweiligen Hersteller angeboten, und je nach Situation können kurze oder lange Implantate von Vorteil sein. Ein größerer Durchmesser dagegen kann eine geringere Belastung für den Knochen bedeuten (Overmann et al. 2020; Schwartz 2020). Sowohl von der Gewindesteigung als auch vom Porositätsgrad hängt ab, wieviel Implantatoberfläche zur Verfügung steht, um mit dem Knochengewebe zu verwachsen (Alghamdi & Jansen 2020; Li et al. 2020; Liu et al. 2020). Allerdings kann sich ein zu großer Porositätswert auch in einer verminderten Widerstandsfähigkeit und Elastizität des Implantats niederschlagen, weshalb es wichtig ist, diesen Parameter den Ansprüchen entsprechend zu justieren. Hierbei spielt nicht nur die Porosität an sich eine Rolle, sondern auch die ihr untergeordneten Eigenschaften bezüglich der Porengröße, -geografie und -vernetzung, soll heißen, die Art und Weise, in der die einzelnen Poren miteinander verbunden sind (Li et al. 2020; Liu et al. 2020; Overmann et al. 2020). Die Steifheit beziehungsweise Starrheit eines Implantats beeinflusst den es umgebenden Knochen, da besonders steife Strukturen dazu neigen, einen Großteil der auf der Zone liegenden Belastung zu absorbieren. Der Knochen wird dadurch weniger beansprucht und fängt an, sich abzubauen, was schnell zu geringerer Dichte und Stärke führen kann. Ein Implantat mit gut ausbalancierten Eigenschaften sorgt deshalb auch für eine angemessene Kraftverteilung zwischen Implantat und Knochengewebe, was nicht nur durch den Steifheitsgrad, sondern auch das Design des Gewindes (Li et al. 2020; Overmann et al. 2020) und der Implantatbeschichtung erreicht werden kann. Der vielleicht bedeutendste Faktor, der sich direkt von der Beschichtung ableitet, ist die Mikrorauheit (Abbildung 4), die positive Effekte auf die Zellentwicklung und das Zellwachstum von vor allem Osteoblasten hat. Auch

erleichtert sie es dem Knochengewebe mit dem Implantat zu verwachsen. Die Mikrorauheit fördernde Produktionsprozesse können chemischer (zum Beispiel Säurebehandlung und anodische Oxidation) oder physischer Natur (Sandstrahlen, Laserverdampfen, et cetera) sein. Eine Alternative besteht darin, die Implantatoberfläche mit Hydroxylapatit zu beschichten, was ebenfalls in einer erheblich verbesserten Verbindung zwischen Implantat und Knochengewebe resultieren kann (Abraham 2014; Liu et al. 2020).

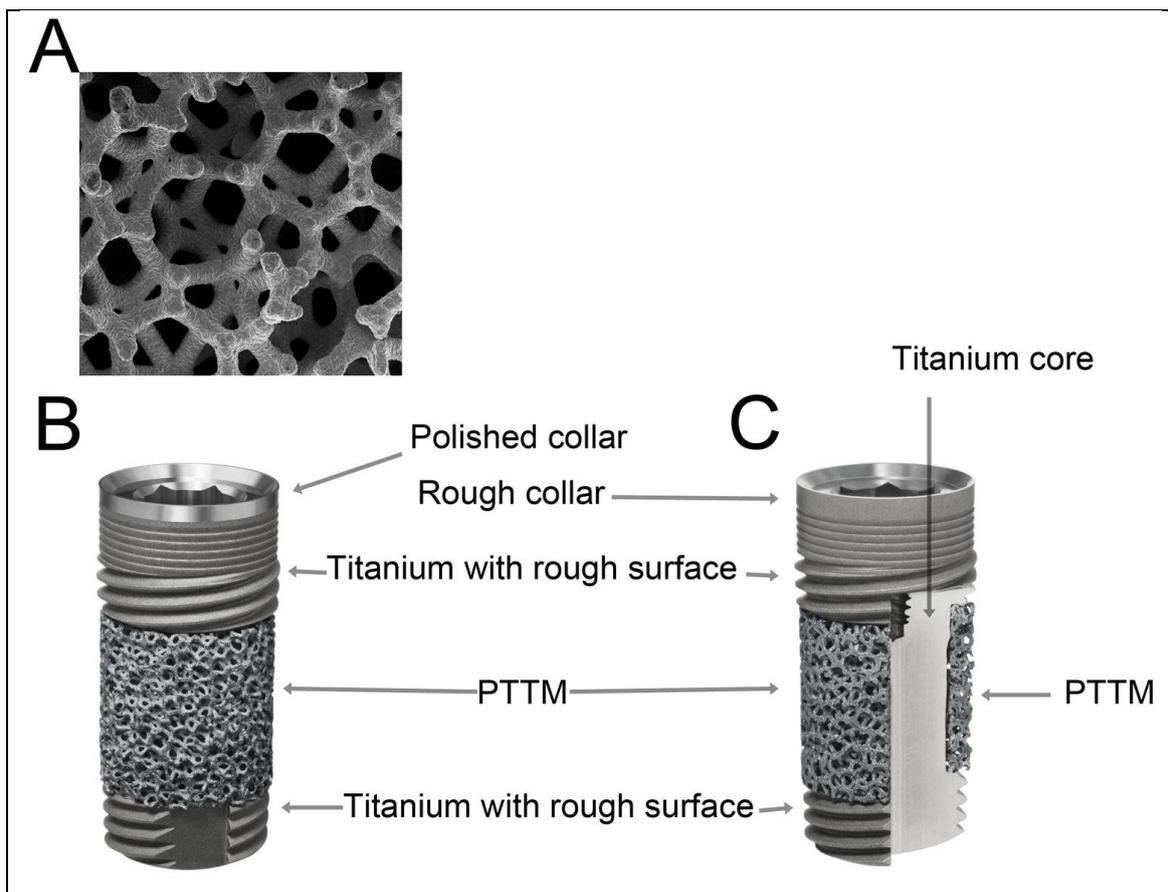


Abbildung 4. Mit Tantal angereichertes Titanimplantat, das sowohl einen hohen Grad an A) Porosität sowie B) und C) Mikrorauheit aufweist (nach Bencharit et al. 2014).

2.3 Verblockung

Ist ein Implantat erst einmal gesetzt, kann es entweder ähnlich eines natürlichen Zahnes als eigenständiges, in gewissem Maße isoliertes Objekt belassen werden oder aber im Verbund mit Zähnen zusätzlich stabilisiert werden. Im letzten Fall spricht man von Verblockung (Spiekermann & Nickenig 2006; Strub et al. 2010). Grundsätzlich sind weder verblockte noch unverblockte Restaurationen per se vorzuziehen, da beide sowohl zu Erfolg als auch Misserfolg führen können. Vielmehr muss bei jedem

Patienten die individuell beste Lösung gefunden werden (Alqutaibi et al. 2020; Boyce & Klemons 2015; Elemek et al. 2019; Spiekermann & Nickenig 2006). Während nicht verblockte Implantate relativ einfach mit zum Beispiel einer Krone bestückt werden können, sind bei der verblockten Variante etwas komplexere Konstruktionen vonnöten. Je nachdem, ob Letztere fest angebracht oder herausnehmbar sind, wird zwischen Primär- beziehungsweise direkter und Sekundär- beziehungsweise indirekter Verblockung unterschieden (Spiekermann & Nickenig 2006; Strub et al. 2010). Primärverblockte Restaurationen können wiederum starr oder beweglich sein, was bedeutet, dass zum Beispiel eine Brücke entweder durch Zementierung mit Implantaten und Zähnen oder aber Verschraubung mit den entsprechenden Implantaten verbunden wird (Abbildung 5). Im Allgemeinen sollte starren Primärverblockungen der Vorzug gegeben werden, da ihre Nutzung nach aktuellem Kenntnisstand komplikationsfreier sind als die ihrer beweglichen Pendanten (Lang et al. 2004; Spiekermann & Nickenig 2006). Auch sekundärverblockte Konstruktionen sollten nach Möglichkeit einen hohen Starrheitsgrad haben, was zum Beispiel durch den Einsatz von Teleskopversorgungen (Abbildung 5) erreicht werden kann. Obwohl sie bezüglich des Verblockungseffekts und der Kraftverteilung selten dieselbe Effizienz wie primärverblockte Restaurationen aufweisen, haben indirekte Verblockungen einen großen Vorteil: Aufgrund der herausnehmbaren Elemente sind sie wesentlich leichter anzupassen, sollten Probleme wie zum Beispiel der Verlust von Pfeilern auftreten (Spiekermann & Nickenig 2006; Strub et al. 2010).

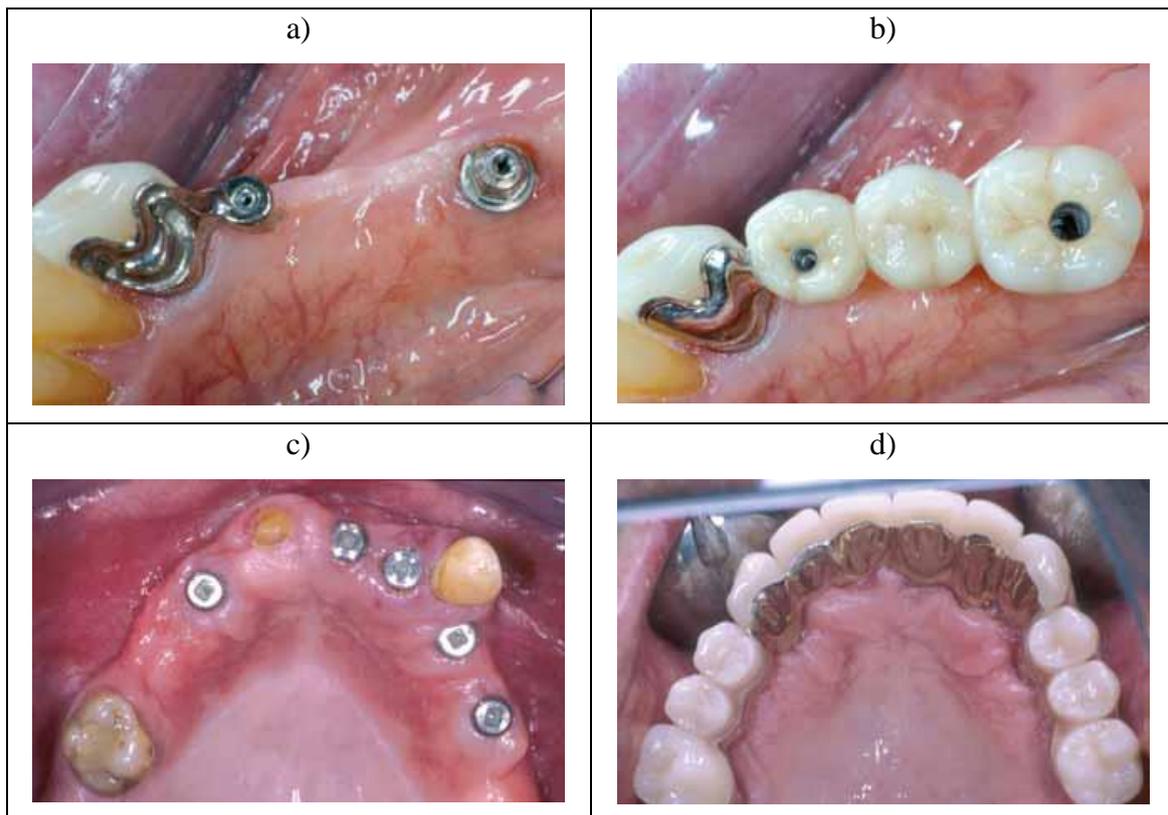


Abbildung 5. Primär- und sekundärverblockte Konstruktionen: a) abgeschraubte und b) angeschraubte geteilte Brücke; c) herausgenommene und d) eingesetzte teleskopierende Brücke (nach Spiekermann & Nickenig 2006).

2.4 Komplikationen und Implantatverlust

Obwohl der Einsatz von Implantaten eine der sichersten und effizientesten Optionen der Zahnersatzbehandlung darstellt, gibt es selbstverständlich keine 100-prozentige Erfolgsgarantie. Und auch wenn sich heutzutage die meisten Implantatmodelle und -typen durch gute Überlebensraten auszeichnen, ist es doch eher die Regel als die Ausnahme, dass sich mit der Zeit Begleitkomplikationen einstellen. Diese können gut kontrollierbar sein oder im schlimmsten Fall zum Implantatverlust führen (Do et al. 2020; Oh et al. 2020). Unbestreitbar dient es dem besseren Verständnis dieser Phänomene, sie in Anbetracht diverser Faktoren zu untergliedern und in Zusammenhang zu stellen:

1. Komplikationen können biologischen oder mechanischen Ursprungs sein.
2. Ein Implantatverlust kann zu einem frühen oder späten Zeitpunkt hinsichtlich des Datums der Implantatsetzung stattfinden.
3. Handelt es sich um einen frühzeitigen Implantatverlust, dann gingen diesem biologische Komplikationen voraus, die die Osseointegration in entscheidendem

Maß beeinträchtigen können, zum Beispiel durch Gewebeabbau oder eine verminderte Wundheilungsfähigkeit (Do et al. 2020; Kotsakis et al. 2014; Oh et al. 2020; Solderer et al. 2019).

4. Einem späten Implantatverlust dagegen können sowohl biologische als auch mechanische Komplikationen zugrunde liegen, die entweder den eigentlich schon hergestellten Grad der Osseointegration reduzieren oder aber das Implantat selbst in seiner Funktionsfähigkeit stören. Außer fortschreitendem Knochenabbau können hier technische Gründe wie suboptimale Einbringung des Implantats, Schraubenbrüche oder Materialermüdung eine Rolle spielen. Auch eine Kombination von biologischen und mechanischen Faktoren ist denkbar. Eine lockere Abutmentschraube etwa kann eine Kettenreaktion in Gang setzen, die zuerst ein bestimmtes Maß an Mikrobewegung des Abutments erlaubt, wodurch wiederum das Weichgewebesiegel zwischen Implant und Implantatbett geschädigt wird, und schlussendlich mikrobielle Erreger in die periimplantäre Zone eindringen (Abbildung 6; Do et al. 2020; Kim et al. 2020; Lauritano et al. 2020; Overmann et al. 2020; Solderer et al. 2019).

Über ein Drittel der Komplikation jeglicher Art werden in den ersten fünf Jahren nach Implantatsetzung registriert. Die Wahrscheinlichkeit eines Implantatverlusts nimmt circa alle fünf Jahre geringfügig zu, weswegen späte Verluste auch insgesamt etwas häufiger sind als frühzeitige. Selbst nach 20 Jahren liegt die Verlustquote aber noch bei unter 6 Prozent (Roy et al. 2020). Ebenfalls ist es möglich, ein von Komplikationen betroffenes Implantat chemisch oder mechanisch zu behandeln und so einen Implantatverlust zu verhindern oder zumindest zu verzögern. Sogar im Fall der invasiven Implantoplastik, also der mechanischen Glättung von Implantatoberfläche und -gewinde, ist es wesentlich wahrscheinlicher, dass bestehende Komplikationen beseitigt oder vermindert werden, als dass in der Folge neue Komplikationen entstehen. Die erwähnte Technik wird gezielt zur Behandlung einer Periimplantitis eingesetzt, die unter allen Komplikationen sowohl bei Patienten als auch Implantaten am häufigsten registriert wird (Ali & Kay 2019; Roy et al. 2020; Stavropoulos 2019).

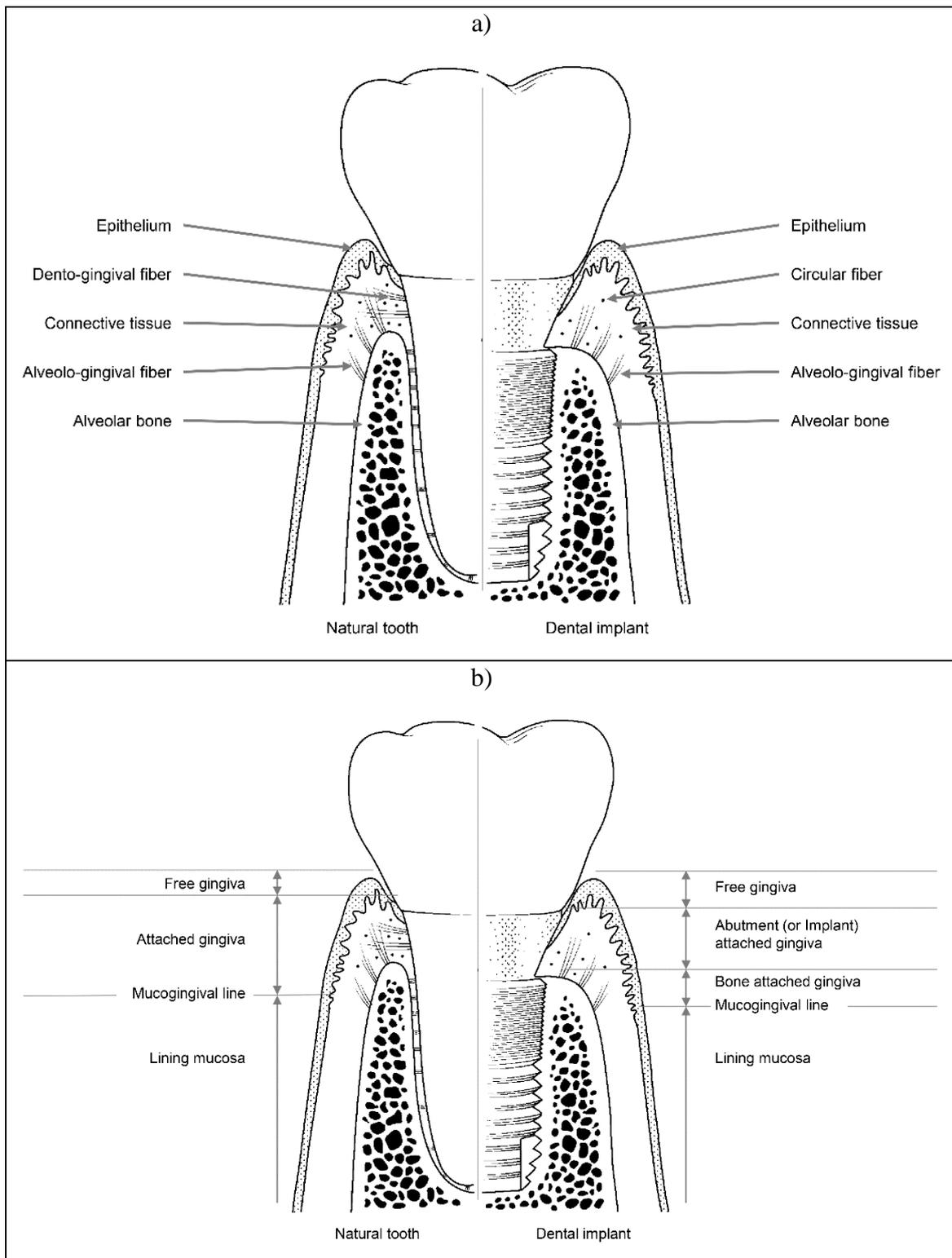


Abbildung 6. Vergleich zwischen Parodontium (links) und Implantatbett (rechts): a) Gewebetypen; b) Gewebestruktur (nach Kim et al. 2020).

2.5 Periimplantitis

In Analogie zu Parodontitis ist Periimplantitis eine Entzündungserkrankung, die das ein Implantat umgebende Gewebe befällt. In der Konsequenz entzündet sich im

Anfangsstadium das periimplantäre Bindegewebe, um dann zu kontinuierlichem Knochenabbau zu führen (Abbildung 7; Mombelli & Lang 1998; Sahrman et al. 2020; Schwartz et al. 2018). Eine Periimplantitis entwickelt sich meist aus einer periimplantären Mukositis. Der Hauptunterschied zwischen beiden Erkrankungen ist, dass bei Letzterer kein Knochenabbau beobachtet werden kann. Während bezüglich des Mechanismus, der diesen Übergang ermöglicht, nur rudimentäre Erklärungsansätze vorliegen, gilt als bewiesen, dass eine Periimplantitis sich immer auf die Existenz eines das betroffene Gewebe kolonisierenden Biofilms zurückführen lässt. Dessen charakteristische mikrobielle Zusammensetzung gleicht der eines typischerweise bei Parodontitis auftretenden Biofilms, was erklärt, warum Letztere das Entstehen einer Periimplantitis begünstigen kann (Aljohani et al. 2020; Lauritano et al. 2020; Sahrman et al. 2020; Schwartz et al. 2018). Mit Hinsicht auf die Auswirkungen gibt es aber durchaus Unterschiede, da eine Periimplantitis generell größere Wunden als eine Parodontitis verursacht. Die objektivsten und zuverlässigsten Diagnostiktests für beide Krankheiten sind Blutung auf Sondierung sowie das Messen der Taschentiefen (Schwartz et al. 2018). In Zukunft könnten aber auch molekularbiologische Werkzeuge zu diesem Zweck herangezogen werden. So haben aktuelle Studien typische bakterielle Vertreter des bei einer Parodontitis oder Periimplantitis präsenten Mikrobioms erfolgreich mit der Expression von bestimmten MikroRNAs (besser bekannt als microRNA oder miRNA) assoziieren können. Berücksichtigt man nun, dass sich die Abundanz und Artenvielfalt dieses Mikrobioms mit fortschreitender Erkrankung verändert, dann wird schnell offensichtlich, dass der Nachweis einer spezifischen miRNA oder Kombination von miRNAs eines Tages mit nur einem Test Rückschlüsse auf eine Vielzahl von Parametern erlauben könnte (Assad et al. 2019, 2020; De Melo et al. 2020), wie zum Beispiel die genaue qualitative und quantitative Zusammensetzung des periimplantären Biofilms, das gegenwärtige Ausmaß der Entzündung, einschließlich der sicheren Identifizierung von betroffenem und nicht betroffenem Gewebe sowie das zu erwartende Ausbreitungsmuster der Entzündung. Es versteht sich von selbst, dass diese zusätzliche Information einen wesentlich höheren Grad der Individualisierung bei der Periimplantitisbehandlung zulassen würde als heutzutage möglich ist. Würden dann noch moderne, auf Nanotechnologie beruhende Arzneimittelabgabesysteme benutzt, um die identifizierten dominanten Erreger gezielt mit Hilfe von geeigneten Molekülen auszuschalten, könnten auf der einen Seite die Bildung von Antibiotikaresistenzen sowie multiresistenten Keimen verhindert werden (Blatt & Al-Nawas 2019; De Avila et

al. 2020; Liang et al. 2020). Auf der anderen Seite würde vielleicht sogar eine bisher nicht mögliche Heilung der Periimplantitis in greifbare Nähe rücken.

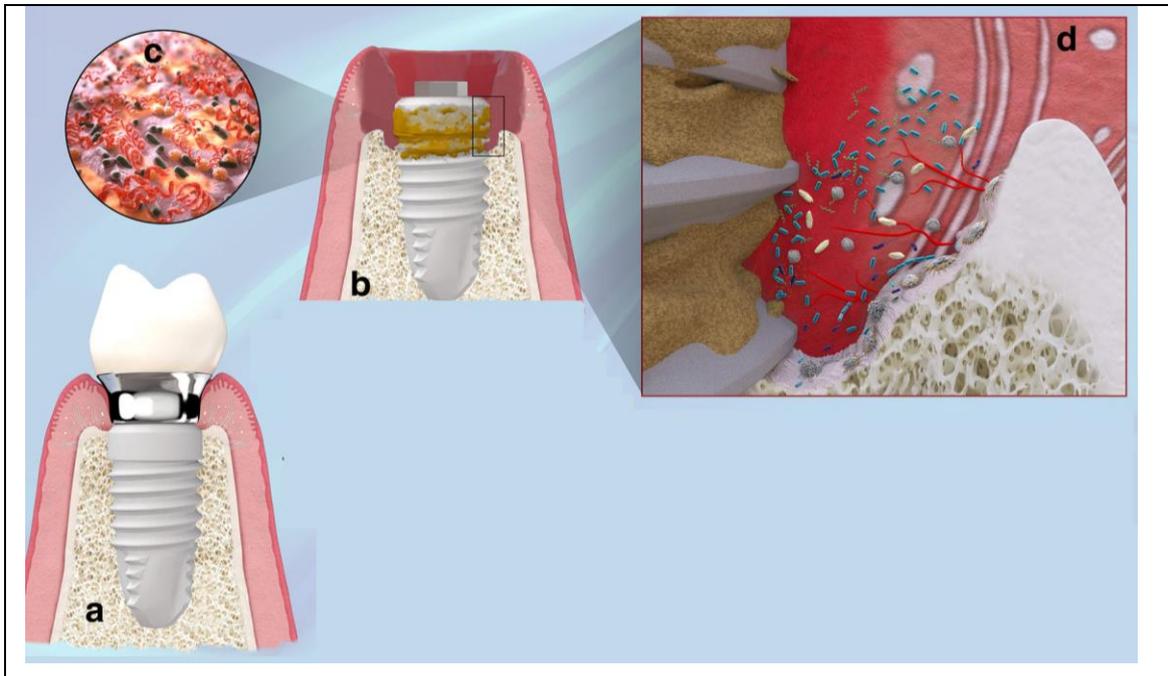


Abbildung 7. Entstehung einer Periimplantitis: a) Implantat in gesundem periimplantärem Gewebe; b) Implantat in von Entzündungssymptomen, Knochenabbau und c) Plaqueakkumulation betroffenem periimplantärem Gewebe; d) Nahaufnahme von typischen Symptomen einer Periimplantitis wie die Ansammlung von Bakterien, Entzündung des Weichgewebes, Blutungen und osteoklastische Reaktionen (modifiziert nach Khouly et al. 2020).

2.6 Fragestellung

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, mittels einer Datenanalyse von selbst erfassten Patientendaten festzustellen, ob sich zwischen primär- und sekundärverblockten XiVE® S plus Implantaten (Abbildung 8) Unterschiede bezüglich des qualitativen und quantitativen Auftretens von Komplikationen sowie dem Implantatüberleben zeigen. Im Speziellen sollten diese Variablen außerdem mit dem Ent- beziehungsweise Bestehen einer Periimplantitis und dem Rauchen von Tabak assoziiert werden. Obwohl Dentsply Sirona Inc. nach Eigenangabe einer der weltweit dominierenden Anbieter von Dentalprodukten ist, konnten in Bezug auf dieses Thema nur vom Unternehmen selbst herausgegebene Prospektunterlagen ausfindig gemacht werden. Neutrale wissenschaftliche Untersuchungen und/oder Studien, die diese Behauptungen objektiv bestätigen, widerlegen oder quantitativ beurteilen, liegen dagegen bisher nicht vor. Die

vorliegende Dissertation ist also die erste wissenschaftliche Veröffentlichung, die sich der eingangs genannten Fragestellung in dieser Kombination annimmt. Eine praktische Bedeutung für die klinische Versorgung war insbesondere durch den Nachweis von statistisch signifikanten Zusammenhängen zwischen speziellen Implantat- und Patientenparametern zu erwarten.



Abbildung 8. XiVE® S plus Implantat D 3,8, L 13 (nach Dentsply Sirona Inc.).

3. Material und Methoden

3.1 Das Patientenkollektiv

Der empirische Teil der vorliegenden Arbeit beinhaltet eine retrospektive Analyse der Erfolgsraten von XiVE® S plus Implantaten in primär beziehungsweise sekundär verblockten Restaurationen. Hierfür wurden retrospektiv 361 Implantatfälle von insgesamt 100 Patienten (46 Männer und 54 Frauen) im Alter von 20 bis 90 Jahren (Durchschnittsalter 63,17 Jahre) untersucht. Sämtliche Implantate wurden in einem Zeitraum von 12 Jahren (von August 2003 bis August 2015) in der Praxis für Zahnheilkunde Dr. med. dent. Karin Aitzetmüller in Hamburg eingesetzt. Eventuell bestehende Vorerkrankungen wurden in allen Fällen entsprechend registriert und mit Medikamenten stabilisiert. Nach Implantatversorgung nahmen insbesondere die Patienten mit Parodontitisdiagnose an einem Recallsystem teil, bei dem zwei- bis viermal jährlich eine professionelle Zahnreinigung (PZR) vorgenommen wurde. Alle Patienten wurden in derselben Praxis von derselben Behandlerin betreut, die seit über 20 Jahren auf dem Gebiet der Implantologie tätig ist. Des Weiteren war über den gesamten Auswertungszeitraum dasselbe Assistenten-Team in der Praxis tätig.

3.2 Erfassung und statistische Auswertung der Daten

Zwischen Juni und August 2017 wurden die Krankenakten der 100 Patienten nach den folgenden Parametern durchsucht:

- Name, Vorname
- Geschlecht
- Alter
- Papillen-Blutungs-Index (PBI)
- Parodontaler Screening-Index (PSI)
- Extraktionsdatum
- Präoperatives Röntgendatum
- Postoperatives Röntgendatum
- Freilegungsdatum
- Einsetzungsdatum
- Implantationsdatum
- Implantatregion

- Implantationsart
- Implantanzahl
- Länge und Durchmesser der Implantate
- Primärverblockung
- Sekundärverblockung
- Prothetik
- Vorerkrankungen
- Allergien
- Anzahl der Prophylaxe im Jahr
- Augmentationsart und -menge
- Membranart
- Sinuslift
- Laser (SOFT/PACT)
- Chemische Desinfektion mit CHX
- Abschirmung mit Antibiotika
- Abschirmung mit Schmerzmitteln
- Raucher/Nichtraucher
- Implantattyp
- Komorbiditäten
- Biologische und mechanische Komplikationen
- Periimplantitis
- Schwellungsart
- Implantatverlust
- Provisorium

Die entsprechenden Daten wurden ursprünglich mit dem Praxisverwaltungssystem „charly“ (solutio GmbH & Co. KG, Zahnärztliche Software und Praxismanagement, 71088 Holzgerlingen, Deutschland) erfasst, dann in das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel 2010 (Microsoft, Redmont, USA) übertragen und anschließend auf Vollständigkeit sowie Plausibilität überprüft. Die statistische Analyse erfolgte mit Hilfe der Software SPSS Statistics 24 (IBM, Armonk, USA) und untersuchte mittels des Pearson Chi-Quadrat-Tests, ob jeweils zwei ausgewählte Variablen in Zusammenhang

standen. Dieser wurde bei einem p -Wert von kleiner oder gleich 0,05 als statistisch signifikant bewertet.

4. Ergebnisse

4.1 Untersuchte Parameter

Folgende Parameterkombinationen wurden aufgrund der bereits erörterten Fragestellung sowie der Ergebnisse von vorbereitenden statistischen Probeauswertungen analysiert:

- Periimplantitis im Zusammenhang mit Primärverblockung
- Periimplantitis im Zusammenhang mit Sekundärverblockung
- Komplikationen im Zusammenhang mit Primärverblockung
- Komplikationen im Zusammenhang mit Sekundärverblockung
- Implantatverlust im Zusammenhang mit Primärverblockung
- Implantatverlust im Zusammenhang mit Sekundärverblockung
- Komplikationen im Zusammenhang mit Periimplantitis
- Implantatverlust im Zusammenhang mit Periimplantitis
- Periimplantitis im Zusammenhang mit Tabakkonsum
- Komplikationen im Zusammenhang mit Tabakkonsum
- Implantatverlust im Zusammenhang mit Tabakkonsum

Es konnte kein Zusammenhang zwischen den oben genannten Parametern auf der einen Seite und Alter, Geschlecht sowie Implantateinsetzungsdatum auf der anderen Seite beobachtet werden. Des Weiteren konnten die Implantatfälle auf der Grundlage der Verblockungsart (primäre oder sekundäre Verblockung) und des Tabakkonsums der entsprechenden Patienten (Selbstidentifizierung als Raucher oder Nichtraucher) klassifiziert werden (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1. Einteilung der untersuchten Implantate nach Verblockungsart und Tabakkonsum der entsprechenden Patienten.

	Primärverblockung (festsitzend)	Sekundärverblockung (herausnehmbar)	Gesamt
Raucher	79 (94,1 %)	5 (5,9 %)	84 (100 %)
Nichtraucher	220 (79,4 %)	57 (20,6 %)	277 (100 %)
Gesamt	299 (82,8 %)	62 (17,2 %)	361 (100 %)

4.2 Effekt der Verblockungsart auf die Komplikations- und Überlebensrate von XiVE® S plus Implantaten

Von den insgesamt 361 untersuchten Implantaten waren 299 primär- und 62 sekundärverblockt. Letztere Verblockungsart stand seltener mit Periimplantitis, Komplikationen und Implantatverlust in Verbindung. Allerdings waren die Unterschiede im Vergleich zu den Primärverblockungen nur hinsichtlich der registrierten Komplikation statistisch signifikant (siehe Tabellen 2 bis 4).

4.2.1 Periimplantitis im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung

Insgesamt 49 Fälle wurden mit Periimplantitis assoziiert. Von diesen entfielen 43 auf Primärverblockungen und sechs auf Sekundärverblockungen. Die Auswertungen ergaben nur geringfügige nicht signifikante Differenzen zu der statistisch jeweils erwarteten Anzahl. Eine Periimplantitis trat bei 14,4 Prozent der primärverblockten und bei 9,7 Prozent der sekundärverblockten Restaurationen auf. Die Gesamtquote lag bei 13,6 Prozent (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2. Periimplantitis im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung.

	Periimplantitis		Gesamt
	ja	nein	
Primärverblockung (festsitzend)	43 (14,4 %)	256 (85,6 %)	299 (100 %)
Sekundärverblockung (herausnehmbar)	6 (9,7 %)	56 (90,3 %)	62 (100 %)
Gesamt	49 (13,6 %)	312 (86,4 %)	361 (100 %)

$\chi^2 (1, N = 361) = 0,97, p = 0,325$. Nicht signifikant bei $p < 0,05$.

4.2.2 Komplikationen im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung

Komplikationen traten ausschließlich bei den primärverblockten Implantaten auf, die Unterschiede zwischen den beiden Verblockungsarten waren statistisch signifikant. Die Gesamtkomplikationsrate betrug mit 43 Fällen 11,9 Prozent, während innerhalb der primärverblockten Gruppe eine Quote von 14,4 Prozent ermittelt wurde (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3. Komplikationen im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung.

	Komplikationen		Gesamt
	ja	nein	
Primärverblockung (festsitzend)	43 (14,4 %)	256 (85,6 %)	299 (100 %)
Sekundärverblockung (herausnehmbar)	0 (0,0 %)	62 (100 %)	62 (100 %)
Gesamt	43 (11,9 %)	318 (88,1 %)	361 (100 %)

$\chi^2 (1, N = 361) = 10,12, p = 0,001$. Signifikant bei $p < 0,05$.

Frühkomplikationen wurden anhand der auftretenden Symptome identifiziert. Hier sind vor allem Hämatome, Pusentleerung, Zahnfleischentzündung, Ostitis und Nahtdehiszenz zu nennen. Spätkomplikationen manifestierten sich entweder in Form einer Periimplantitis oder machten sich durch Implantat- und Schraubenlockerungen, Kronenverlust sowie abgeplatzter Keramik bemerkbar.

4.2.3 Implantatverlust im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung

Bei 11 der insgesamt 361 untersuchten Fälle konnte ein Implantatverlust festgestellt werden, was einer Quote von 3 Prozent entspricht. Obwohl alle 11 Implantatverluste primärverblockt waren, zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Implantatverlust und Verblockungsart. Innerhalb der primärverblockten Gruppe betrug die Implantatverlustquote 3,7 Prozent (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4. Implantatverlust im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung.

	Implantatverlust		Gesamt
	ja	nein	
Primärverblockung (festsitzend)	11 (3,7 %)	288 (96,3 %)	299 (100 %)
Sekundärverblockung (herausnehmbar)	0 (0,0 %)	62 (100 %)	62 (100 %)
Gesamt	11 (3,0 %)	350 (97,0 %)	361 (100 %)

$\chi^2 (1, N = 361) = 2,35, p = 0,125$. Nicht signifikant bei $p < 0,05$.

4.3 Risikofaktor Periimplantitis

Die Präsenz einer Periimplantitis stand in deutlichem und statistisch signifikantem Zusammenhang mit Komplikationen und Implantatverlust (siehe Tabellen 5 und 6).

4.3.1 Komplikationen im Zusammenhang mit Periimplantitis

Die mit einer Periimplantitis diagnostizierten Fälle waren mit statistischer Signifikanz stärker von Komplikationen begleitet. Einer Komplikationsrate von 42,96 Prozent der Implantate innerhalb der von Periimplantitis betroffenen Patientengruppe standen 7,1 Prozent innerhalb der entzündungsfreien Gruppe gegenüber (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5. Komplikationen im Zusammenhang mit Periimplantitis.

Periimplantitis	Komplikationen		Gesamt
	ja	nein	
ja	21 (42,9 %)	28 (57,1 %)	49 (100 %)
nein	22 (7,1 %)	290 (92,9 %)	312 (100 %)
Gesamt	43 (11,9 %)	318 (88,1 %)	361 (100 %)

$X^2(1, N = 361) = 51,75, p < 0,001$. Signifikant bei $p < 0,05$.

4.3.2 Implantatverlust im Zusammenhang mit Periimplantitis

Mit Bezug auf einen Implantatverlust konnte erneut eine bestehende Periimplantitis statistisch signifikant mit einem höheren Risiko assoziiert werden, da sich der Anteil der betroffenen Fälle auf 12,2 Prozent in Präsenz, aber nur 1,6 Prozent in Abwesenheit der Entzündungserkrankung belief (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6. Implantatverlust im Zusammenhang mit Periimplantitis.

Periimplantitis	Implantatverlust		Gesamt
	ja	nein	
ja	6 (12,2 %)	43 (87,8 %)	49 (100 %)
nein	5 (1,6 %)	307 (98,4 %)	312 (100 %)
Gesamt	11 (3,0 %)	350 (97,0 %)	361 (100 %)

$X^2(1, N = 361) = 16,24, p < 0,001$. Signifikant bei $p < 0,05$.

4.4 Risikofaktor Tabakkonsum

Das Rauchen von Tabak erwies sich als bedeutender Risikofaktor sowohl für das Auftreten einer Periimplantitis als auch von Komplikationen und einem eventuellen Implantatverlust. Die statistischen Ergebnisse waren hierbei immer signifikant (siehe Tabellen 7 bis 9).

4.4.1 Periimplantitis im Zusammenhang mit Tabakkonsum

Tabakkonsum erhöhte die Wahrscheinlichkeit einer Periimplantitis stark. Während bei nur 0,4 Prozent der Implantate, die selbstidentifizierten Nichtraucher eingesetzt wurden, diese Entzündungserkrankung diagnostiziert werden konnte, waren 57,1 Prozent der den selbstidentifizierten Rauchern eingesetzten Implantate betroffen (siehe Tabelle 7). Die Unterschiede zwischen beiden Patientengruppen waren für alle Kieferregionen signifikant.

Tabelle 7. Periimplantitis im Zusammenhang mit Tabakkonsum.

	Periimplantitis		Gesamt
	ja	nein	
Raucher	48 (57,1 %)	36 (42,9 %)	84 (100 %)
Nichtraucher	1 (0,4 %)	276 (99,6 %)	277 (100 %)
Gesamt	49 (13,6 %)	312 (86,4 %)	361 (100 %)

$\chi^2 (1, N = 361) = 177,15, p < 0,001$. Signifikant bei $p < 0,05$.

Des Weiteren wurde ein Zusammenhang des Schweregrades der parodontalen Destruktion in Abhängigkeit von der Dosis und der Dauer des Tabakkonsums festgestellt (Daten nicht gezeigt). Hierzu ist anzumerken, dass alle Patienten der Rauchergruppe nach eigenen Angaben mindestens 20 Zigaretten pro Tag konsumierten und folgerichtig nach der parodontalen Risikobeurteilung von Lang & Tonetti (2003) in die hohe Risikokategorie eingestuft werden konnten. Sie wurden deswegen schon vor der Implantation in einem dreimonatigen Recallintervall klinisch betreut und über die Risiken des Tabakkonsums in Bezug auf die periimplantäre Gesundheit aufgeklärt, was allerdings nur in Ausnahmefällen zu einer Reduktion der Anzahl der pro Tag konsumierten Zigaretten zur Folge hatte. Eine erfolgreich durchgeführte konventionelle Parodontalbehandlung war Voraussetzung für die Implantatversorgung und konnte bei allen betroffenen Patienten gewährleistet werden. Da es in vielen Fällen trotz der ab

Erstbehandlung regelmäßig durchgeführten professionellen Zahnreinigung und guten Mundhygiene zu Blutungen auf Sondieren und Alveolarknochenverlust kam, wurden vor Beginn der Therapie alle kariösen Zähne restauriert, nicht erhaltungswürdige Zähne extrahiert, sowie alle abstehenden und scharfen Füllungs- und Restaurationskanten poliert. Die Taschenblutungen ließen aufgrund der Mundhygienekontrollen zwar nach, waren aber punktuell weiterhin vorhanden. Die Sondierungstiefe von mehr als 4 mm verbesserte sich bei den meisten, aber nicht bei allen Taschen. Die Rückbildung des Alveolarknochens verlangsamte sich oder kam zum Stillstand, was eine Stabilisierung der Anzahl von Zähnen mit einem Lockerungsgrad von 1 bis 2 zur Folge hatte. Einige dieser Zähne mussten daraufhin nicht extrahiert werden.

Unter den Patienten, die sich wegen einer positiven Parodontitis-Diagnose in Therapie begaben, wiesen Raucher eine weniger erfolgreiche und/oder verzögerte Wundheilung im Vergleich zu den Nichtrauchern auf. Im Fall einer geschlossenen Parodontitisbehandlung konnte diese Verzögerung bis zu zwei Monate betragen und von Symptomen wie geringerer Taschenschumpfung, nicht zu Ruhe kommender punktueller Taschenblutungen sowie schlecht durchblutetem Zahnfleisch begleitet werden. Bei offener Parodontitisbehandlung betrug die Verzögerung der Wundheilung sogar bis zu drei Monate. Die häufigsten Begleitsymptome waren hier Wundschwellungen, das Austreten von Wundexsudat, eine erhöhte Plaqueakkumulation an den Nähten, stark gerötetes Zahnfleisch und Wunddehiszenzen. Opportunistische Infektionen durch pathogene Mikroorganismen der oralen Flora begünstigten oftmals die Entstehung einer Periimplantitis und wurden durch mechanische Beseitigung des subgingivalen Biofilms sowie Antibiotikagabe (hauptsächlich Amoxicillin, Cindamycin oder Metronidazol) behandelt.

4.4.2 Komplikationen im Zusammenhang mit Tabakkonsum

Komplikationen traten mit 32,1 gegenüber 5,8 Prozent der Implantate über fünfmal häufiger bei Rauchern als bei Nichtrauchern auf. Der Unterschied war von einer hohen statistischen Singnifikanz geprägt (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8. Komplikationen im Zusammenhang mit Tabakkonsum.

	Komplikationen		Gesamt
	ja	nein	
Raucher	27 (32,1 %)	57 (67,9 %)	84 (100 %)
Nichtraucher	16 (5,8 %)	261 (94,2 %)	277 (100 %)
Gesamt	43 (13,6 %)	318 (86,4 %)	361 (100 %)

$\chi^2 (1, N = 361) = 42,71, p < 0,001$. Signifikant bei $p < 0,05$.

4.4.3 Implantatverlust im Zusammenhang mit Tabakkonsum

Ebenfalls erhöhte das Rauchen von Tabak die Wahrscheinlichkeit eines Implantatverlusts in statistisch signifikanter Art und Weise. Bei Rauchern lag die entsprechende Quote bei 11,9 Prozent der Implantate, bei Nichtrauchern nur bei nahezu unbedeutenden 0,4 Prozent (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9. Implantatverlust im Zusammenhang mit Tabakkonsum.

	Implantatverlust		Gesamt
	ja	nein	
Raucher	10 (11,9 %)	74 (88,1 %)	84 (100 %)
Nichtraucher	1 (0,4 %)	276 (99,6 %)	277 (100 %)
Gesamt	11 (3,0 %)	350 (97,0 %)	361 (100 %)

$\chi^2 (1, N = 361) = 29,07, p < 0,001$. Signifikant bei $p < 0,05$.

5. Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es, eine retrospektive Analyse der Komplikations- und Überlebensraten von XiVE® S plus Implantaten mit primär- und sekundärverblockten Restaurationen durchzuführen, unter besonderer Berücksichtigung des Periimplantitisrisikos und der Auswirkungen des Tabakkonsums auf diese Variablen. Wissenschaftlich fundierte Veröffentlichungen sind bezüglich dieser Kombination kaum beziehungsweise nicht vorhanden, weshalb die in der vorliegenden Dissertation präsentierten Ergebnisse sowohl einen wichtigen Beitrag auf dem Gebiet der Grundlagenforschung leisten als auch im praktischen Sinn die klinische Anwendung der Implantate verbessern können. Die Ergebnisauswertung basierte dabei nicht nur auf statistischen und radiologischen Kriterien, sondern bezog auch die im Rahmen des Recallsystems durchgeführten klinischen Untersuchungen mit ein.

5.1 Effekt der Verblockungsart auf die Komplikations- und Überlebensrate von XiVE® S plus Implantaten

Die im vorhergehenden Kapitel vorgestellten Ergebnisse legen den Grundstein für ein besseres Verständnis hinsichtlich des komplexen Zusammenspiels zwischen Implantattyp und Verblockungsart im Allgemeinen und XiVE® S plus Implantaten und Primär- beziehungsweise Sekundärverblockungen im Besonderen. Hierbei ist festzustellen, dass sekundärverblockte Restaurationen in der Tendenz von weniger Komplikationen und Problemen begleitet zu sein schienen, als primärverblockte Konstruktionen. Da die statistischen Ergebnisse nicht immer signifikant waren, sollten die beobachteten Trends in zukünftigen Studien mit ähnlicher Fragestellung verifiziert werden. Generell zeigten die verwendeten Implantate aber ungeachtet der Verblockungsart auf allen getesteten Gebieten voll akzeptable Erfolgsraten.

5.1.1 Periimplantitis im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung

Angaben zur Häufigkeit des Auftretens einer Periimplantitis variieren je nach zu Rate gezogener Studie stark. Es ist davon auszugehen, dass mindestens 5 und maximal über 56 Prozent der Patienten mit Zahnimplantaten solch eine Entzündung entwickeln. Bei den Implantaten per se ergeben sich mit 12 bis 43 Prozent vergleichbare Zahlen (Bäumer et al. 2020; Benli et al. 2019; Daubert et al. 2015; Degidi et al. 2015; Prathapachandran & Suresh 2012; Preissner et al. 2019; Rinke et al. 2020; Shankar et al.

2016; Tastepe et al. 2012). Die in der vorliegenden Arbeit diesbezüglich ermittelten Werte liegen in einem Intervall von 9,7 bis 14,4 Prozent und damit im unteren Bereich der in der Fachliteratur registrierten Zahlen. Die Verblockungsart hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Entstehung einer Periimplantitis. Zwar zeichnete sich eine leichte Tendenz zu höherer Erkrankungshäufigkeit bei Primärverblockungen ab, allerdings war die entsprechende Anzahl von untersuchten Implantaten auch fünfmal größer als die der sekundärverblockten Restaurationen. Die Hauptursache von Periimplantitis ist die Entstehung und Ansammlung von Plaque (Benli et al. 2019; John et al. 2015; Mombelli & Lang 1998; Piatelli et al. 1995; Pettersson et al. 2019; Preissner et al. 2019; Rosen et al. 2020; Tastepe et al. 2012; Yamane et al. 2012), oftmals ausgelöst durch eine ungünstige Verschiebung des Gleichgewichts zwischen dem körpereigenen Abwehrsystem und bestimmten in der Mundhöhle vorkommenden Mikroorganismen (Gosau et al. 2010; Lasserre et al. 2016). Obwohl Sekundärverblockungen generell eine bessere Hygiene des Approximalraums erlauben (Gernet et al. 2011), tritt Plaque auch bei ihnen und nicht ausschließlich bei Primärverblockungen auf (Shimura et al. 2010; Wagner & Kern. 2000; Yamane et al. 2012). Folgerichtig ist eine Auswirkung der Verblockungsart auf das Risiko für Periimplantitis nicht zwingend zu erwarten, was sich auch in den hier präsentierten Ergebnissen widerspiegelt.

Warum aber begünstigen Implantate die Bildung von Plaque und letztendlich das Entstehen einer Periimplantitis? Auf der einen Seite erschweren sie einige elementare physische Prozesse, die unter anderem der Reinigung der Mundhöhle dienen (Rosen et al. 2020; Shimura et al. 2010). Auf der anderen Seite sind sie aufgrund ihrer mikrorauen Oberflächenbeschaffenheit auch mechanisch schwieriger zu säubern als natürliche Zähne. Und hat sich Plaque erstmal etabliert, bietet die sie umgebende Matrix und Artenvielfalt den im Biofilm auftretenden Mikroorganismen ideale Wachstums- und Überlebensbedingungen, inklusive einer gewissen Resistenz gegen das menschliche Immunsystem und Antimikrobiotika (Lasserre et al. 2016; Sahrman et al. 2020). Das eine Periimplantitis umgebende Mikrobiom weist eine Vielzahl und Vielfalt von gramnegativen anaeroben Bakterien auf und ähnelt der Mikrobiota, die normalerweise eine Parodontitis begünstigt. Obwohl sich diesbezüglich auch einige charakteristische Unterschiede zwischen den beiden Erkrankungen ergeben, sind ihre Ursachen und Auswirkungen eng miteinander verwoben (Benli et al. 2019; Daubert & Weinstein

2019; Mombelli & Lang 1998; Sahrman et al. 2020; Schwartz et al. 2018; Tastepe et al. 2012; Yamane et al. 2012). Davon abgesehen gibt es Hinweise, dass sich in von Periimplantitis betroffenem Gewebe höhere Spuren Mengen des auch in XiVE® S plus Implantaten verwendeten Titans als in von Parodontitis beeinträchtigtem Gewebe finden. Ob diese Spuren allerdings wirklich von Titanimplantaten stammen, und ob sie entzündungsfördernde Prozesse initiieren können, die das Entstehen beziehungsweise Fortschreiten einer Periimplantitis erleichtern, ist umstritten (Pettersson et al. 2019; Rosen et al. 2020). Der Forschungsansatz sollte weitergeführt und ausgebaut werden, um entweder zu widerlegen oder zu bestätigen, dass Titan an sich ein Risikofaktor für diese Entzündungserkrankung ist. Eine Bestätigung würde bedeuten, dass die Verwendung von Titanimplantaten immer einen gewissen Prozentsatz von Periimplantitis mit sich brächte, da das Material per se entzündungsfördernd wirkt.

Unstrittig ist dagegen, dass sowohl Parodontitis als auch Periimplantitis im besten Fall kontrollierbar, aber nicht zuverlässig heilbar sind (Gosau et al. 2010; John et al. 2015; Lasserre et al. 2016; Preissner et al. 2019; Rosen et al. 2020; Tastepe et al. 2012). Umso wichtiger ist es deshalb, die Patienten vor und nach der Implantateinsetzung über die Bedeutung einer guten Mundhygiene aufzuklären, mit dem Ziel, eine Periimplantitis gar nicht erst aufkommen zu lassen. Zur lebens- oder zumindest jahreslangen Einhaltung entsprechender Hygieneregeln seitens der Patienten ist ihre Einbindung in ein Recallsystem unerlässlich (Bäumer et al. 2020; Wagner & Kern. 2000). In diesem Sinne kann das relativ seltene Vorkommen einer Periimplantitis in den im Rahmen der vorliegenden Studie untersuchten Patienten wohl auch darauf zurückgeführt werden, dass praktisch alle von ihnen in einem Recallintervall angemessen betreut wurden.

5.1.2 Komplikationen im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung

Die im Unterkapitel 3.3.2 beschriebenen biologischen (Periimplantitis) und technischen (Schraubenlockerungen, abgeplatzte Keramik, et cetera) Spätkomplikationen decken sich weitgehend mit denen, die in anderen Veröffentlichungen bezüglich von XiVE® Implantaten beobachtet worden sind. Dies gilt sowohl in qualitativer als auch quantitativer Hinsicht, obwohl die in der vorliegenden Dissertation ermittelte Komplikationsrate entweder im selben Bereich (Garlini et al. 2016) oder um die 6 bis 12 Prozent niedriger lag als in den Vergleichsstudien (Bäumer et al. 2020; Degidi et al. 2015). Eine mögliche Erklärung dieser leichten Diskrepanz mag in den

charakteristischen Eigenschaften des jeweils eingesetzten XiVE® Implantattyps und/oder der fachlichen Kompetenz des jeweiligen Behandlers liegen. Von den erwähnten Studien betrachtet nur die vorliegende Arbeit ausdrücklich die Verblockungsart im Zusammenhang mit Komplikationen. Die Ergebnisse zeigen mit statistischer Signifikanz, dass ausschließlich primärverblockte Restaurationen von Komplikationen betroffen waren.

5.1.3 Implantatverlust im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung

Eine Vielzahl von Faktoren - allein oder in diversen Kombinationen - können einen Implantatverlust befördern. Zu erwähnen wären das Bestehen einer Parodontitis und/oder Periimplantitis, Bruxismus, die individuelle Krankengeschichte, der Erhaltungszustand und das Volumen des betroffenen Knochenmaterials oder die Breite der befestigten Gingiva. Auch die Art, Beschichtung, Dimensionen und Einsetzungsstelle des Implantats sowie technische Fehler können über Implantaterfolg oder -verlust entscheiden. Während die erstgenannten Variablen meist einen Knochenabbau begünstigen, werden die zweitgenannten im Allgemeinen mit Über- und Fehlbelastungen assoziiert. Beides kann letztendlich zum Implantatverlust führen (Albrektsson et al. 2016; Bäumer et al. 2020; Castellanos-Cosano et al. 2019; Degidi et al. 2015; Do et al. 2020; Garlini et al. 2016; Karthik et al. 2013; Levin 2008; Naseri et al. 2020; Pettersson et al. 2019; Sgolastra et al. 2013).

Im spezifischen Fall von XiVE® Implantaten sind die in Tabelle 4 angegebenen Implantatverlustraten um die 3 Prozent ähnlich niedrig wie in vorhergehenden Studien, in denen entweder keine genau definierten Faktoren oder aber Periimplantitis, das Rauchen von Tabak und Knochenschäden als Hauptursachen für Implantatausfall identifiziert wurden (Bäumer et al. 2020; Degidi et al. 2015; Garlini et al. 2016; Wang et al. 2008). Generell zeichnen sich XiVE® Implantate nicht zuletzt wegen ihres innovativen Designs und besonderen technischen Eigenschaften wie zum Beispiel ihrer Mikrorauheit durch eine gute Erfolgsquote aus (Garlini et al. 2016; Wang et al. 2008), die die anderer Implantatmodelle durchaus übertreffen kann (Bäumer et al. 2020; Daubert et al. 2015). Im Gegensatz zu den Primärverblockungen konnte in dieser Dissertation kein einziger Fall von Implantatverlust bei sekundärverblockten Restaurationen festgestellt werden. Da kürzere Implantate mit einem höheren Ausfallrisiko in Verbindung gebracht worden sind (Olate et al. 2010), ist es möglich,

dass ihre Stabilität durch eine sekundärverblockte Restauration zunimmt. Unterschiedliche Einschubrichtungen bei Zähnen oder Implantaten etwa können durch diese Verblockungsart ausgeglichen werden, ohne dass ein parodontaler Knochenverlust sichtbar wird. Jedenfalls bei den in der vorliegenden Studie untersuchten Fällen schienen sowohl die Gesamtstatik der entsprechenden Konstruktionen als auch die axiale Kraftverteilung zwischen unterschiedlich starken Pfeilern stärker von sekundär- als primärverblockten Restaurationen zu profitieren.

Allerdings waren die Unterschiede mit Bezug auf die Implantatverlustrate zwischen den beiden Verblockungsarten statistisch nicht signifikant, eventuell aufgrund des schon erwähnten Ungleichgewichts zugunsten der Anzahl der untersuchten Implantate mit Primärverblockungen. Die beobachtete Tendenz wird aber indirekt durch den statistisch belegten Zusammenhang zwischen der Verblockungsart und den nach Implantatversorgung registrierten Komplikationen bestärkt, denn auch im letzten Fall waren ausschließlich primärverblockte Restaurationen betroffen. Es ist folglich möglich, dass sowohl Komplikationen als auch Implantatverlust wesentlich seltener (eventuell mit einer Inzidenz nahe Null) bei sekundär- als bei primärverblockten XiVE® S plus Implantaten auftreten, wobei die letztgenannte Verblockungsart mit höherer Wahrscheinlichkeit von Komplikationen als von Implantatverlust begleitet wird. An dieser Stelle soll aber noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit nur einen Effekt der Verblockungsart auf das Auftreten von Komplikationen unstrittig nachweisen. Es empfiehlt sich daher, die hier präsentierten Analysen in ähnlicher Form, aber mit einer größeren Anzahl von Implantaten mit Sekundärverblockungen durchzuführen, um die beobachteten Tendenzen statistisch signifikant zu belegen. Mit Hinblick auf das spezifische Beispiel der XiVE® S plus Implantate gilt dies sowohl für den Implantatverlust als auch die Periimplantitisrate im Zusammenhang mit der Verblockungsart.

5.2 Risikofaktor Periimplantitis

Wurde die Periimplantitis im Unterkapitel 4.1.1 als eine eventuelle Begleiterscheinung der jeweiligen Verblockungsart untersucht, wird sie im Folgenden als auslösender Faktor für Komplikationen und Implantatverlust betrachtet. Hier soll von vornherein klargestellt werden, dass diese strikte Trennung zwischen Ursache und Folge in der Realität natürlich nicht existiert, und die Entzündungserkrankung mit den genannten

Variablen in komplexer Wechselwirkung steht. Im Umkehrschluss muss aber ebenfalls erwähnt werden, dass die Periimplantitis in der Fachliteratur zumeist in ihrer passiven Form als Komplikation anstatt in ihrer aktiven Rolle als Komplikationen entfachender Risikofaktor beschrieben wird. Die im Kapitel 3.4 präsentierten Ergebnisse - alle durchweg statistisch signifikant - zeigen, dass auch die umgekehrte Betrachtungsweise einen lohnenden Forschungsansatz verspricht.

5.2.1 Komplikationen im Zusammenhang mit Periimplantitis

Per Definition impliziert eine Periimplantitis Gewebeentzündung und Knochenabbau in der ein Zahnimplantat unmittelbar umgebenden Region (Benli et al. 2019; Ephros et al. 2020; Rosen et al. 2020). Es ist also leicht vorstellbar, dass durch diese Prozesse auch weitere Komplikationen ausgelöst werden können. Dies wurde auch durch die in dieser Arbeit realisierte Datenanalyse bestätigt, da die von einer Periimplantitis betroffenen Fälle eine sechsmal höhere Komplikationsrate aufwiesen als jene, die nicht von dieser Erkrankung befallen waren (42,9 zu 7,1 Prozent). Eine vergleichbare Studie gab ähnliche Werte an, obwohl der Unterschied weniger ausgeprägt war und auf Patienten- anstatt Implantatbasis angegeben wurde: Bei 34 Prozent der von Periimplantitis betroffenen, aber nur bei 14,6 Prozent der Periimplantitis-freien Patienten wurden Komplikationen hinsichtlich der Implantate registriert (Daubert et al. 2015). Weitere Studien sollten sich darauf konzentrieren, den Effekt einer Periimplantitis auf die einzelnen Elemente des für die statistische Auswertung verwendeten Komplikations-Clusters zu beleuchten. Außerdem stellt die Aufgabe, die Interaktionen zwischen der Entzündungserkrankung und den verschiedenen Komplikationen zu erforschen, eine große Herausforderung dar. Besonders könnten positive Rückkopplungseffekte von Interesse sein.

5.2.2 Implantatverlust im Zusammenhang mit Periimplantitis

Eine Periimplantitisdiagnose stand sogar noch deutlicher mit der Wahrscheinlichkeit eines Implantatverlusts in Verbindung als mit der Komplikationsrate. Eine naheliegende Erklärung für diesen Zusammenhang ist der schon erwähnte durch Periimplantitis bedingte Knochenabbau, der ab einem bestimmten Grad zum Ausfall des Implantats führen kann (Prathapachandran & Suresh 2012; Shankar et al. 2016). In der Fachliteratur fanden sich Veröffentlichungen, die das Bestehen sowohl einer Periimplantitis (Adler et al. 2020) als auch einer aggressiven Parodontitis (Swierkot et

al. 2012) mit einem höherem Implantatverlustrisiko assoziierten. In der letztgenannten Studie hatten die an Parodontitis erkrankten Patienten zudem ein 14 mal höheres Risiko, auch eine Periimplantitis zu entwickeln (Swierkot et al. 2012).

5.3 Risikofaktor Tabakkonsum

Es ist kein Geheimnis, dass das Rauchen von Tabak eine Vielzahl von gesundheitlichen Problemen mit sich bringt, die zu chronischen Krankheiten und sogar zum Tod führen können. Besonders häufig kommen Atemwegs-, Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen vor (Levin & Schwartz-Arad 2005; Malaguti et al. 2020; White et al. 2020), aber auch die Zahn- und Mundgesundheit wird oftmals in Mitleidenschaft gezogen (Pinto et al. 2020). Diese schädlichen Effekte des Tabakkonsums manifestierten sich in der vorliegenden Arbeit in der Form von signifikanten statistischen, und teilweise drastischen, Ergebnissen in allen Testbereichen. Die Aufgabe des Rauchens repräsentiert wahrscheinlich eine der einfachsten Maßnahmen überhaupt, um eine große Anzahl von Komplikationen vor, während und nach der Implantateinsetzung zu verhindern oder zumindest zu reduzieren (Levin et al. 2004). Daher sollte es für jeden Behandler selbstverständlich sein, seine Patienten diesbezüglich ausreichend zu informieren und nicht zuletzt auch zu motivieren (Johnson & Hill 2004; Levin et al. 2004; Patel et al. 2012). In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass interessanterweise auch der Konsum von elektronischen Zigaretten ähnliche Komplikation wie der Tabakgenuss hervorrufen kann (Al Deeb et al. 2020; Jeong et al. 2020).

5.3.1 Periimplantitis im Zusammenhang mit Tabakkonsum

Dass Tabakrauchen die parodontale und periimplantäre Gesundheit im Allgemeinen stark beeinträchtigen, sowie die Entstehung von Parodontitis und Periimplantitis im Speziellen begünstigen kann, ist empirisch gut belegt (Adler et al. 2020; Al Deeb et al. 2020; Chambrone et al. 2013; Fiorini et al. 2014; Hanioka et al. 2019; Heasman et al. 2006; Jeong et al. 2020; Jiang et al. 2020; Johnson & Hill 2004; Leite et al 2019; Naji et al. 2020; Nociti et al. 2015; Patel et al. 2012; Rinke et al. 2020). Des Weiteren haben zahlreiche klinische Studien der vergangenen Jahre gezeigt, dass sowohl die geschlossene (Débridement, Scaling, Wurzelglätten, et cetera) als auch die offene Behandlung (chirurgische Oraltherapie) der Parodontitis/Periimplantitis bei Rauchern weniger erfolgreich und häufiger mit Folgekomplikationen verbunden ist als bei

Nichtrauchern (Chambrone et al. 2013; Fiorini et al. 2014; Heasman et al. 2006; Jiang et al. 2020; Johnson & Hill 2004; Naji et al. 2020; Nociti et al. 2015; Patel et al. 2012). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen diesen Zusammenhang nun auch eindrucksvoll am speziellen Beispiel der XiVE® S plus Implantate: Nahezu alle registrierten Fälle von Periimplantitis traten bei Patienten auf, die sich selbst als starke Raucher bezeichneten. Noch gravierender ist, dass bei mehr als der Hälfte der dieser Patientengruppe eingesetzten Implantate eine entsprechende Entzündungserkrankung festgestellt werden konnte, und dass die Wundheilung im Rahmen einer Therapie oftmals verzögert ablief und mit unangenehmen Begleitsymptomen verbunden war. Die negativen Effekte des Tabakkonsums auf die periimplantäre Gesundheit können mannigfaltig erklärt werden: So ist bekannt, dass einige der im Tabakrauch enthaltenen 4350 Chemikalien - von denen mindestens 173 eine toxische Wirkung haben können (Graves et al. 2020) - oxidativen Stress und Entzündungsprozesse auslösen, sowie die Hämostase, Sauerstoffsättigung, Knochenregeneration, Wundheilung und Immunreaktion stören. Sogar die Zusammensetzung des Mikrobioms kann aus dem Gleichgewicht gebracht werden und nützliche durch schädliche Bakterienarten zahlenmäßig verdrängt werden. In Bezug auf Zahnimplantate können all diese Faktoren zu einer Verminderung der Osseointegration führen (Al Deeb et al. 2020; Ephros et al. 2020; Fiorini et al. 2014; Hanioka et al. 2019; Jiang et al. 2020; Lasserre et al. 2016; Levin & Schwartz-Arad 2005; Martellacci et al. 2020; Patel et al. 2012; Pinto et al. 2020). So wird ersichtlich, warum zu den konkreten Folgen des Rauchens nicht nur das Entstehen einer Periimplantitis, sondern auch anderweitige Komplikationen und in letzter Konsequenz der Implantatverlust zählen können, wie in den folgenden zwei Unterkapiteln erörtert werden soll.

5.3.2 Komplikationen im Zusammenhang mit Tabakkonsum

Komplikationen wurden bei Implantaten, deren Träger rauchten, viermal öfter beobachtet als bei solchen, die Nichtrauchern eingesetzt worden waren. Die jeweiligen Quoten von 32 beziehungsweise 6 Prozent deckten sich dabei gut mit den Ergebnissen anderer Studien (Levin et al. 2004; Levin & Schwartz-Arad 2005). Das vermehrte Auftreten von Früh- und Spät komplikationen bei der Wundheilung der in dieser Studie behandelten Tabakkonsumenten kann zumindest teilweise auf den Fakt zurückgeführt werden, dass die meisten Patienten dieser Gruppe das Rauchen auch nach der Implantatversorgung und entgegen der Empfehlung des Behandlers nicht einstellten.

Professionelle Raucherentwöhnungstherapien sind effektive Methoden, um die periimplantäre Gesundheit im Allgemeinen sowie die Verankerung und Sondierungstiefe von Implantaten im Speziellen zu verbessern. Knochenschwund kann so entgegengewirkt und Zahnbelag reduziert werden (Chambrone et al. 2013; Fiorini et al. 2014; Heasman et al. 2006; Leite et al. 2019). Schon sechs Monate Rauchabstinenz können die Komplikationsrate auf Nichtraucherniveau senken (Levin et al. 2004). Daher sollten auch Patienten, die XiVE® S plus Implantate erhalten sollen und sich selbst als Raucher identifizieren, nicht nur vom behandelten Zahnarzt ausgiebig über die Risiken des Tabakkonsums informiert und eine Aufgabe oder zumindest Einschränkung dieser Angewohnheit als behandlungsvorbereitende Maßnahme nahegelegt werden, sondern auch die Weiterleitung in ein Raucherentwöhnungsprogramm angeboten werden.

5.3.3 Implantatverlust im Zusammenhang mit Tabakkonsum

Dem Rauchen von Tabak kommt nicht nur als hoher Risikofaktor für das Aufkommen einer Periimplantitis und Komplikationen, sondern ebenfalls als Auslöser eines eventuellen Implantatverlusts eine Sonderrolle zu (Albrektsson et al. 2016; Degidi et al. 2015; Naseri et al. 2020; Sgolastra et al. 2013). Interessanterweise scheint die Wahrscheinlichkeit eines Implantatverlusts mit der Anzahl der täglich konsumierten Zigaretten zu steigen. Laut einer Metastudie impliziert das Rauchen von mehr als zehn sowie von mehr als 20 Zigaretten ein jeweils höheres Risiko (Naseri et al. 2020). Da die in der vorliegenden Arbeit als Raucher eingeordneten Patienten nach Eigenaussage allesamt die zuletzt genannte Tabakmenge pro Tag konsumierten, erklärt sich auch die hohe Implantatverlustquote von 11,9 Prozent in dieser Gruppe, im Vergleich zu den nahezu unbedeutenden 0,4 Prozent in der Nichtrauchergruppe. Vergleichbare Studien zeigen mit 9 zu 1,8 Prozent, beziehungsweise 11,3 zu 4,8 Prozent ein ähnliches Muster (Bain & Moy 1993; De Bruyn & Collaert 1994). Aufschlussreich ist, dass sich in den drei Arbeiten die den Rauchern zugeordneten Werte in größerem Maße angleichen als die Zahlen, die jeweils für die Nichtraucher ermittelt wurden. Zieht man in Betracht, dass die erwähnten Vergleichsstudien in den Neunzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts veröffentlicht wurden, dann kann man spekulieren, dass die zahnärztliche Implantologie seitdem zwar allgemein bedeutende Fortschritte gemacht hat (repräsentiert durch eine geringere Implantatverlustrate bei Nichtrauchern), diese aber bisher nicht die speziell mit Tabakkonsum verbundenen Probleme auf dem Gebiet haben lösen oder auch nur reduzieren können (wie aus der auf demselben Niveau

verbliebenen Implantatverlustquote bei Rauchern ersichtlich wird). Nicht zuletzt aus diesem Grund empfiehlt es sich aus Behandlersicht einmal mehr, die im vorherigen Unterkapitel erwähnten Angebote zur Raucherentwöhnung routinemäßig in die Patientenberatung einzubauen.

5.4 Die untersuchten Variablen im Gesamtbild

Eine essenzielle Eigenschaft der wissenschaftlichen Forschung ist es, sich auf Teilaspekte der Realität zu konzentrieren, um diese trotz ihrer Komplexität begreifbar zu machen. Die einzelnen Ergebnisse ergeben allerdings nur dann einen Sinn, wenn sie retrospektiv wieder im großen Ganzen betrachtet werden. Deshalb sollen an dieser Stelle, die in der vorliegenden Dissertation präsentierten Ergebnisse noch einmal in ihrer Gesamtheit und im Zusammenhang mit der Fragestellung interpretiert werden. Zuerst empfiehlt es sich, dass der zahnärztliche Behandler vor der Verblockung von Implantaten im Allgemeinen und von XiVE® S plus Implantaten im Besonderen nicht nur rein technische Aspekte, sondern auch verschiedene Risiken, die auf unterschiedliche und spezifische Weise mit primär- oder sekundärverblockten Restaurationen in Verbindung stehen können, angemessen beachtet, bevor er sich für die eine und gegen die andere Verblockungsart entscheidet. Die in dieser Studie realisierte Datenanalyse ergab in dieser Hinsicht, dass primärverblockte Konstruktionen vor allem von mehr Komplikationen begleitet werden als sekundärverblockte. Bei Patienten, die sowieso schon ein höheres Komplikationsrisiko mit sich bringen, könnte deshalb die letztgenannte Verblockungsart die bessere Wahl sein. Am Ende sind aber natürlich beide Optionen bewährte Behandlungstechniken und zeichnen sich im Verbund mit den untersuchten XiVE® S plus Implantaten durch generell hohe Erfolgsquoten aus. Periimplantitis und Tabakkonsum dagegen sind sowohl in der Fachliteratur als auch in dieser Dissertation als wichtige Risikofaktoren für das Auftreten von Komplikationen und Implantatverlust identifiziert worden. Hierzu ist anzumerken, dass es nicht immer leicht ist, klar zu definieren, ob eine Periimplantitis Ursache oder Folge der beiden letzten Variablen ist, da meist eine komplexe Wechselwirkung vorliegt. Die Auswirkungen des Rauchens auf die periimplantäre Gesundheit sind deutlich besser zu verstehen und zu beschreiben: Tatsächlich kann diese Angewohnheit eine Kettenreaktion auslösen (oder verstärken), die zuerst zu einer vermehrten Ansammlung von Plaque, dann zu Periimplantitis sowie anderen Komplikationen und schließlich zum Implantatverlust führt. Wie nun all diese Faktoren

im Bezug zur Verblockungsart von Implantaten stehen, und welchen Effekt Änderungen einer Variable auf die anderen haben, dafür bietet die vorliegende Arbeit einen ersten Ansatz. Es versteht sich von selbst, dass mehr Forschung vonnöten ist, um unser Verständnis der Zusammenhänge auf diesem Gebiet zu vertiefen.

6. Literaturverzeichnis

- Abraham, C.M., 2014. A Brief Historical Perspective on Dental Implants, Their Surface Coatings and Treatments. *Open Dent. J.* 8, 50–55.
- Adler, L., Buhlin, K., Jansson, L., 2020. Survival and complications: A 9- to 15-year retrospective follow-up of dental implant therapy. *J. Oral Rehabil.* 47, 67–77.
- Al Deeb, M., Alresayes, S., A Mokeem, S., Alhenaki, A.M., AlHelal, A., Vohra, F., Abduljabbar, T., 2020. Clinical peri-implant health and biological bone marker levels in tobacco users treated with photodynamic therapy. *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 31, 101821.
- Albrektsson, T., Canullo, L., Cochran, D., De Bruyn, H., 2016. “Peri-Implantitis”: A Complication of a Foreign Body or a Man-Made “Disease”. Facts and Fiction. *Clin. Implant Dent. Relat. Res.* 18, 840–849.
- Alghamdi, H.S., Jansen, J.A., 2020. The development and future of dental implants. *Dent. Mater. J.* 39, 167–172.
- Ali, K., Kay, E.J., 2019. What are the long-term survival and complication rates of complete-arch fixed implant rehabilitation in edentulous patients? *Evid. Based. Dent.* 20, 97–98.
- Aljohani, M., Yong, S.L., Bin Rahmah, A., 2020. The effect of surgical regenerative treatment for peri-implantitis: A systematic review. *Saudi Dent. J.* 32, 109–119.
- Alqutaibi, A.Y., Elawady, D.M.A., 2020. Implant splinting in mandibular overdentures: A systematic review with meta-analysis of randomized clinical trials. *Quintessence Int. (Berl).* 51, 294–303.
- Anitua, E., Alkhraisat, M.H., Orive, G., 2012. Perspectives and challenges in regenerative medicine using plasma rich in growth factors. *J. Control. Release* 157, 29–38.
- Asa’ad, F., Monje, A., Larsson, L., 2019. Role of epigenetics in alveolar bone resorption and regeneration around periodontal and peri-implant tissues. *Eur. J. Oral Sci.* 127, 477–493.
- Asa’ad, F., Garaicoa-Pazmiño, C., Dahlin, C., Larsson, L., 2020. Expression of micrnas in periodontal and peri-implant diseases: A systematic review and meta-analysis. *Int. J. Mol. Sci.* 21, 1–14.
- Bain, C.A., Moy, P.K., 1993. The Association Between the Failure of Dental Implants and Cigarette Smoking. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants* 8 (6), 609–15.

- Bäumer, A., Toekan, S., Saure, D., Körner, G., 2020. Survival and success of implants in a private periodontal practice: A 10 year retrospective study. *BMC Oral Health* 20, 1–10.
- Bencharit, S., Byrd, W.C., Altarawneh, S., Hosseini, B., Leong, A., Reside, G., Morelli, T., Offenbacher, S., 2014. Development and applications of porous tantalum trabecular metal-enhanced titanium dental implants. *Clin. ImplantDent. Relat. Res.* 16 (6), 817–826.
- Benli, M., Petit, C., Tenenbaum, H., Huck, O., 2019. In vitro Assessment of Peri-implantitis Treatment Procedures: A Review. *Open Dent. J.* 13, 267–273.
- Blatt, S., Al-Nawas, B., 2019. A systematic review of latest evidence for antibiotic prophylaxis and therapy in oral and maxillofacial surgery. *Infection* 47, 519–555.
- Boyce, R.A., Klemons, G., 2015. Treatment Planning for Restorative Implantology. *Dent. Clin. North Am.* 59, 291–304.
- Castellanos-Cosano, L., Rodriguez-Perez, A., Spinato, S., Wainwright, M., Machuca-Portillo, G., Serrera-Figallo, M.A., Torres-Lagares, D., 2019. Descriptive retrospective study analyzing relevant factors related to dental implant failure. *Med. Oral Patol. Oral y Cir. Bucal* 24, e726–e738.
- Chambrone, L., Preshaw, P.M., Rosa, E.F., Heasman, P.A., Romito, G.A., Pannuti, C.M., Tu, Y.K., 2013. Effects of smoking cessation on the outcomes of non-surgical periodontal therapy: A systematic review and individual patient data meta-analysis. *J. Clin. Periodontol.* 40, 607–615.
- Daubert, D.M., Weinstein, B.F., 2019. Biofilm as a risk factor in implant treatment. *Periodontol.* 2000 81, 29–40.
- Daubert, D.M., Weinstein, B.F., Bordin, S., Leroux, B.G., Flemmig, T.F., 2015. Prevalence and Predictive Factors for Peri-Implant Disease and Implant Failure: A Cross-Sectional Analysis. *J. Periodontol.* 86, 337–347.
- De Avila, E.D., van Oirschot, B.A., van den Beucken, J.J.J.P., 2020. Biomaterial-based possibilities for managing peri-implantitis. *J. Periodontal Res.* 55, 165–173.
- De Bruyn, H., Collaert, B., 1994. The effect of smoking on early implant failure. *Clin. Oral Implants Res.* 5, 260–264.
- De Melo, F., Milanesi, F.C., Angst, P.D.M., Oppermann, R.V., 2020. A systematic review of the microbiota composition in various peri-implant conditions: data from 16S rRNA gene sequencing. *Arch. Oral Biol.* 117, 104776.

- Degidi, M., Nardi, D., Piattelli, A., 2016. 10-year prospective cohort follow-up of immediately restored XiVE implants. *Clin. Oral Implants Res.* 27, 694–700.
- Dentsply Sirona Inc. Produktkatalog: Xive S plus Implantat D 3,8, L 13. Zugriffsdatum 15.08.2020. <https://www.dentsplysirona.com/de-de/shop/implantologie/implantatsysteme/xive.html/Implantate/Implantatsysteme/Xive/Cirurgie/Implantate/Xive-S-plus-Implant/p/IMP-32262443/c/3000078.html>
- Do, T.A., Le, H.S., Shen, Y.W., Huang, H.L., Fuh, L.J., 2020. Risk factors related to late failure of dental implant—A systematic review of recent studies. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 3931.
- Elemek, E., Urgancioglu, A., Dincer, J., Cilingir, A., 2019. Does Implant-Abutment Interface affect Marginal Bone Levels around Implants? *Eur. J. Dent.* 13, 47–52.
- Ephros, H., Kim, S., DeFalco, R., 2020. Peri-implantitis: Evaluation and Management. *Dent. Clin. North Am.* 64, 305–313.
- Fiorini, T., Musskopf, M.L., Oppermann, R.V., Susin, C., 2014. Is There a Positive Effect of Smoking Cessation on Periodontal Health? A Systematic Review. *J. Periodontol.* 85, 83–91.
- Garlini, G., Chierichetti, V., D’Amato, S., Redemagni, M., 2016. A long term follow-up of single-tooth Xive implant: 15 year results. *Dent. Oral Craniofacial Res.* 3, 1–4.
- Gernet, W., Biffar, R., Schwenzer, N., Ehrenfeld, M. (Hrsg.), 2011. *Zahnärztliche Prothetik*, 4. Aufl. Thieme Verlag, Stuttgart.
- Gosau, M., Hahnel, S., Schwarz, F., Gerlach, T., Reichert, T.E., Bürgers, R., 2010. Effect of six different peri-implantitis disinfection methods on in vivo human oral biofilm. *Clin. Oral Implants Res.* 21, 866–872.
- Graves, B.M., Johnson, T.J., Nishida, R.T., Dias, R.P., Savareear, B., Harynyuk, J.J., Kazemimanesh, M., Olfert, J.S., Boies, A.M., 2020. Comprehensive characterization of mainstream marijuana and tobacco smoke. *Sci. Rep.* 10, 1–12.
- Hanioka, T., Morita, M., Yamamoto, T., Inagaki, K., Wang, P.L., Ito, H., Morozumi, T., Takeshita, T., Suzuki, N., Shigeishi, H., Sugiyama, M., Ohta, K., Nagao, T., Hanada, N., Ojima, M., Ogawa, H., 2019. Smoking and periodontal microorganisms. *Jpn. Dent. Sci. Rev.* 55, 88–94.
- Heasman, L., Stacey, F., Preshaw, P.M., McCracken, G.I., Hepburn, S., Heasman, P.A., 2006. The effect of smoking on periodontal treatment response: A review of clinical evidence. *J. Clin. Periodontol.* 33, 241–253.

- Jeong, W., Choi, D.W., Kim, Y.K., Lee, H.J., Lee, S.A., Park, E.C., Jang, S.I., 2020. Associations of electronic and conventional cigarette use with periodontal disease in South Korean adults. *J. Periodontol.* 91, 55–64.
- Jiang, Y., Zhou, X., Cheng, L., Li, M., 2020. The Impact of Smoking on Subgingival Microflora: From Periodontal Health to Disease. *Front. Microbiol.* 11, 1–13.
- John, G., Schwarz, F., Becker, J., 2015. Taurolidine as an effective and biocompatible additive for plaque-removing techniques on implant surfaces. *Clin. Oral Investig.* 19, 1069–1077.
- Johnson, G.K., Hill, M., 2004. Cigarette Smoking and the Periodontal Patient. *J. Periodontol.* 75, 196–209.
- Karthik, K., Sivakumar, Sivaraj, Thangaswamy, V., 2013. Evaluation of implant success: A review of past and present concepts. *J. Pharm. Bioallied Sci.* 5, 117–120.
- Khouly, I., Pardiñas-López, S., Ruff, R.R., Strauss, F.J., 2020. Efficacy of growth factors for the treatment of peri-implant diseases: a systematic review and meta-analysis. *Clin. Oral Investig.* 24, 2141–2161.
- Kim, J.J., Lee, J.H., Kim, J.C., Lee, J.B., Yeo, I.S.L., 2020. Biological responses to the transitional area of dental implants: Material- and structure-dependent responses of peri-implant tissue to abutments. *Materials* 13, 72.
- Kotsakis, G.A., Ioannou, A.L., Hinrichs, J.E., Romanos, G.E., 2015. A Systematic Review of Observational Studies Evaluating Implant Placement in the Maxillary Jaws of Medically Compromised Patients. *Clin. Implant Dent. Relat. Res.* 17, 598–609.
- Lang, N.P., Pjetursson, B.E., Tan, K., Brägger, U., Egger, M., Zwahlen, M., 2004. A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years: II. Combined tooth-implant-supported FPDs. *Clin. Oral Implants Res.* 15, 643–653.
- Lang, N., Tonetti, M., 2003. Periodontal risk assessment (PRA) for patients in supportive periodontal therapy (SPT). *Oral Health Prev. Dent.* 1(1), 7–16.
- Lasserre, J.F., Toma, S., Bourgeois, T., El Khatmaoui, H., Marichal, E., Brex, M.C., 2016. Influence of low direct electric currents and chlorhexidine upon human dental biofilms. *Clin. Exp. Dent. Res.* 2, 146–154.
- Lauritano, D., Moreo, G., Lucchese, A., Viganoni, C., Limongelli, L., Carinci, F., 2020. The impact of implant-abutment connection on clinical outcomes and microbial colonization: A narrative review. *Materials* 13, 1–12.

- Leite, F.R.M., Nascimento, G.G., Baake, S., Pedersen, L.D., Scheutz, F., López, R., 2019. Impact of Smoking Cessation on Periodontitis: A Systematic Review and Meta-analysis of Prospective Longitudinal Observational and Interventional Studies. *Nicotine Tob. Res.* 21, 1600–1608.
- Levin, L., 2008. Dealing with dental implant failures. *J. Appl. Oral Sci.* 16 (3), 171–175.
- Levin, L., Herzberg, R., Dolev, E., Schwartz-Arad, D., 2004. Smoking and complications of onlay bone grafts and sinus lift operations. *J. Prosthet. Dent.* 93, 69.
- Levin, L., Schwartz-Arad, D., 2005. The effect of cigarette smoking on dental implants and related surgery. *Implant Dent.* 14, 357–363.
- Li, J., Jansen, J.A., Walboomers, X.F., van den Beucken, J.J., 2020. Mechanical aspects of dental implants and osseointegration: A narrative review. *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* 103, 103574.
- Liang, J., Peng, X., Zhou, X., Zou, J., Cheng, L., 2020. Emerging applications of drug delivery systems in oral infectious diseases prevention and treatment. *Molecules* 25, 516.
- Linkow, L.I., Cherchève, R., 1970. Theories and techniques of oral implantology. C.V. Mosby Co., Saint Louis.
- Lokwani, B.V., Gupta, D, Agrawal, R.S., Mehta, S., Nirmal, N.J., 2020. The use of concentrated growth factor in dental implantology: A systematic review. *J. Indian Prosthodont. Soc.* 20 (1), 3–10.
- Liu, Y., Rath, B., Tingart, M., Eschweiler, J., 2020. Role of implants surface modification in osseointegration: A systematic review. *J. Biomed. Mater. Res. - Part A* 108, 470–484.
- Malaguti, A., Ciocanel, O., Sani, F., Dillon, J.F., Eriksen, A., Power, K., 2020. Effectiveness of the use of implementation intentions on reduction of substance use: A meta-analysis. *Drug Alcohol Depend.* 214, 108120.
- Martellacci, L., Quaranta, G., Patini, R., Isola, G., Gallenzi, P., Masucci, L., 2019. A literature review of metagenomics and culturomics of the peri-implant microbiome: Current evidence and future perspectives. *Materials* 12, 3010.
- Mombelli, A., Lang, N.P., 1998. The diagnosis and treatment of peri-implantitis. *Periodontol.* 2000 17: 63–76.

Museum of Artifacts. Ancient Dentistry: Gold and Pain. Zugriffsdatum 15.08.2020.<https://museum-of-artifacts.blogspot.com/2015/10/ancient-dentistry-gold-and-pain.html>

Naji, A., Edman, K., Holmlund, A., 2020. Influence of smoking on periodontal healing one year after active treatment. *J. Clin. Periodontol.* 47, 343–350.

Naseri, R., Yaghini, J., Feizi, A., 2020. Levels of smoking and dental implants failure: A systematic review and meta-analysis. *J. Clin. Periodontol.* 47, 518–528.

Nociti, F.H., Casati, M.Z., Duarte, P.M., 2015. Current perspective of the impact of smoking on the progression and treatment of periodontitis. *Periodontol.* 2000 67, 187–210.

Oh, S.L., Shiau, H.J., Reynolds, M.A., 2020. Survival of dental implants at sites after implant failure: A systematic review. *J. Prosthet. Dent.* 123, 54–60.

Olate, S., Lyrio, M.C.N., de Moraes, M., Mazzonetto, R., Moreira, R.W.F., 2010. Influence of Diameter and Length of Implant on Early Dental Implant Failure. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 68, 414–419.

OSSEOSource. Fixture Original (3.75). Zugriffsdatum 15.08.2020.http://osseosource.com/dental-implants/product_info.php?products_id=1000

Overmann, A.L., Aparicio, C., Richards, J.T., Mutreja, I., Fischer, N.G., Wade, S.M., Potter, B.K., Davis, T.A., Bechtold, J.E., Forsberg, J.A., Dey, D., 2020. Orthopaedic osseointegration: Implantology and future directions. *J. Orthop. Res.* 38, 1445–1454.

Pal, T., 2015. Fundamentals and history of implant dentistry. *J. Int. Clin. Dent. Res. Organ.* 7, 6.

Parithimarkalaignan, S., Padmanabhan, T. V., 2013. Osseointegration: An update. *J. Indian Prosthodont. Soc.* 13, 2–6.

Pasqualini, U., Pasqualini, M.E., 2009. *Treatise of Implant Dentistry: The Italian Tribute to Modern Implantology.* Ariesdue, Carimate, Italien.

Patel, R.A., Wilson, R.F., Palmer, R.M., 2012. The Effect of Smoking on Periodontal Bone Regeneration: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Periodontol.* 83, 143–155.

Pettersson, M., Pettersson, J., Johansson, A., Molin Thorén, M., 2019. Titanium release in peri-implantitis. *J. Oral Rehabil.* 46, 179–188.

Piattelli, A., Cosci, F., Scarano, A., Trisi, P., 1995. Localized chronic suppurative bone infection as a sequel of peri-implantitis in a hydroxyapatite-coated dental implant. *Biomaterials* 16, 917–920.

- Pinto, K.P., Ferreira, C.M., Maia, L.C., Sassone, L.M., Fidalgo, T.K.S., Silva, E.J.N.L., 2020. Does tobacco smoking predispose to apical periodontitis and endodontic treatment need? A systematic review and meta-analysis. *Int. Endod. J.* 53, 1068–1083.
- Prathapachandran, J., Suresh, N., 2012. Management of peri-implantitis. *Dent. Res. J.* 9 (5), 516–521.
- Preissner, S., Poehlmann, A.C., Schubert, A., Lehmann, A., Arnold, T., Nell, O., Rupf, S., 2019. Ex vivo study comparing three cold atmospheric plasma (CAP) sources for ebiofilmremoval on microstructured titanium. *Plasma Med.* 9, 1–13.
- Rajput, R., Chouhan, Z., Sindhu, M., Sundararajan, S., Raj, R., Chouhan, S., 2016. “ A Brief Chronological Review of Dental Implant History ”. *Int. Dent. J. Stud. Res.* 4 (3), 105–107.
- Rinke, S., Nordlohne, M., Leha, A., Renvert, S., Schmalz, G., Ziebolz, D., 2020. Risk indicators for mucositis and peri-implantitis: Results from a practice-based cross-sectional study. *J. Periodontal Implant Sci.* 50, 183–196.
- Rosen, P., Froum, Scott, Froum, Stuart, 2020. A Rationale for Postsurgical Laser Use to Effectively Treat Dental Implants Affected by Peri-implantitis: Two Case Reports. *Int. J. Periodontics Restorative Dent.* 40, 561–568.
- Roy, M., Loutan, L., Garavaglia, G., Hashim, D., 2020. Removal of osseointegrated dental implants: a systematic review of explantation techniques Extracción de implantes dentales osteointegrados: una revisión sistemática de las técnicas de explantación. *Clin. Oral Investig.* 24, 47–60.
- Sahrman, P., Gilli, F., Wiedemeier, D.B., Attin, T., Schmidlin, P.R., Karygianni, L., 2020. The microbiome of peri-implantitis: A systematic review and meta-analysis. *Microorganisms* 8, 661.
- Schwartz, S.R., 2020. Short Implants: An Answer to a Challenging Dilemma? *Dent. Clin. North Am.* 64, 279–290.
- Schwarz, F., Derks, J., Monje, A., Wang, H.L., 2018. Peri-implantitis. *J. Periodontol.* 89, S267–S290.
- Sgolastra, F., Petrucci, A., Severino, M., Gatto, R., Monaco, A., 2015. Periodontitis, implant loss and peri-implantitis: A meta-analysis. *Clin. Oral Implants Res.* 26, e8–e16.
- Shankar, T., Gowd, M.S., Ranjan, R., Jalaluddin, M., Singh, D.K., Kore, S.A., 2016. Peri-implantitis: A Concern for Implant Failure. *Int. J. Oral Care Res.* 4, 204–206.

- Shimura, Y., Wadachi, J., Nakamura, T., Mizutani, H., Igarashi, Y., 2010. Influence of removable partial dentures on the formation of dental plaque on abutment teeth. *J. Prosthodont. Res.* 54, 29–35.
- Solderer, A., Al-Jazrawi, A., Sahrman, P., Jung, R., Attin, T., Schmidlin, P.R., 2019. Removal of failed dental implants revisited: Questions and answers. *Clin. Exp. Dent. Res.* 5, 712–724.
- Spiekermann, H., Nickenig, H.J., 2006. Kontroverse Fragen zur Implantatprothetik (Teil I)* Verbindung von Zähnen und Implantaten – die primäre und sekundäre Verblockung. *Z. Zahnärztl. Implantol.* 22, 22–28.
- Stavropoulos, A., Bertl, K., Eren, S., Gotfredsen, K., 2019. Mechanical and biological complications after implantoplasty—A systematic review. *Clin. Oral Implants Res.* 30, 833–848.
- Strub, J.R., Kern, M., Türp, J.C., Witkowski, S., Heydecke, G., Wolfart, S., 2010. *Curriculum Prothetik Band II*, 4. Aufl. Quintessenz Verlag, Berlin.
- Swierkot, K., Lottholz, P., Flores-de-Jacoby, L., Mengel, R., 2012. Mucositis, Peri-Implantitis, Implant Success, and Survival of Implants in Patients With Treated Generalized Aggressive Periodontitis: 3- to 16-Year Results of a Prospective Long-Term Cohort Study. *J. Periodontol.* 83, 1213–1225.
- Tastepe, C.S., Liu, Y., Visscher, C.M., Wismeijer, D., 2013. Cleaning and modification of intraorally contaminated titanium discs with calcium phosphate powder abrasive treatment. *Clin. Oral Implants Res.* 24, 1238–1246.
- Wagner, B., Kern, M., 2000. Clinical evaluation of removable partial dentures 10 years after insertion: success rates, hygienic problems, and technical failures. *Clin. Oral Investig.* 4, 74–80.
- Wang, R., Yuan, H., Chen, N., Wang, G., Fang, Z., Zhou, G., 2008. Clinical evaluation of Xive implants 3-year after placement. *J. Nanjing Med. Univ.* 22, 379–381.
- Wang, W., Zhao, Q., Liao, S., Zhu, Y., 2016. Application of stem cells and nanomaterials in prosthodontics. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 16, 8935–8947.
- White, C.M., Hatsukami, D.K., Donny, E.C., 2020. Reducing the relative value of cigarettes: Considerations for nicotine and non-nicotine factors. *Neuropharmacology* 175, 108200.
- Yamane, K., Ayukawa, Y., Takeshita, T., Furuhashi, A., Yamashita, Y., Koyano, K., 2013. Bacterial adhesion affinities of various implant abutment materials. *Clin. Oral Implants Res.* 24, 1310–1315.

7. Anhang

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Meilensteine in der Geschichte der zahnärztlichen Implantologie: a) Ägyptische Golddrahtkonstruktion zur Zahnfixierung; b) Etruskischer Zahnersatz (beide nach museum-of-artifacts.blogspot.com); c) Maya-Unterkieferzahnimplantate; d) Replik von Maggiolos Zahnimplantat (beide nach Pasqualini & Pasqualini 2009); e) Linkow-Blattimplantat (nach Linkow & Cherchève 1970); f) Brånemark-Titanimplantat (nach osseosource.com).

Abbildung 2. Verschiedene Phasen der Osseointegration: a) Bildung von Blutgerinnseln und Fibrinnetz; b) bis d) Wachstum von Blutgefäßen und Geflecht Knochen; e) Entstehung von Lamellen Knochen (nach Liu et al. 2020).

Abbildung 3. Unterschiede hinsichtlich der Knochendichte und -qualität: A) Vertikalschnitt von Teilen des Unterkiefergebisses; B) Knochentyp I bis IV (nach Li et al. 2020).

Abbildung 4. Mit Tantal angereichertes Titanimplantat, das sowohl einen hohen Grad an A) Porosität sowie B) und C) Mikrorauheit aufweist (nach Bencharit et al. 2014).

Abbildung 5. Primär- und sekundärverblockte Konstruktionen: a) abgeschraubte und b) angeschraubte geteilte Brücke; c) herausgenommene und d) eingesetzte teleskopierende Brücke (nach Spiekermann & Nickenig 2006).

Abbildung 6. Vergleich zwischen Parodontium (links) und Implantatbett (rechts): a) Gewebetypen; b) Gewebestruktur (nach Kim et al. 2020).

Abbildung 7. Entstehung einer Periimplantitis: a) Implantat in gesundem periimplantärem Gewebe; b) Implantat in von Entzündungssymptomen, Knochenabbau und c) Plaqueakkumulation betroffenem periimplantärem Gewebe; d) Nahaufnahme von typischen Symptomen einer Periimplantitis wie die Ansammlung von Bakterien, Entzündung des Weichgewebes, Blutungen und osteoklastische Reaktionen (modifiziert nach Khouly et al. 2020).

Abbildung 8. XiVE® S plus Implantat D 3,8, L 13 (nach Dentsply Sirona Inc.).

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Einteilung der untersuchten Implantate nach Verblockungsart und Tabakkonsum der entsprechenden Patienten.

Tabelle 2. Periimplantitis im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung.

Tabelle 3. Komplikationen im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung.

Tabelle 4. Implantatverlust im Zusammenhang mit Primär- und Sekundärverblockung.

Tabelle 5. Komplikationen im Zusammenhang mit Periimplantitis.

Tabelle 6. Implantatverlust im Zusammenhang mit Periimplantitis.

Tabelle 7. Periimplantitis im Zusammenhang mit Tabakkonsum.

Tabelle 8. Komplikationen im Zusammenhang mit Tabakkonsum.

Tabelle 9. Implantatverlust im Zusammenhang mit Tabakkonsum.