

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Institut für Rechtsmedizin

Direktor/in der Einrichtung:
Prof. Dr. med. Benjamin Ondruschka

Auswertung von Implantat-getragenen Zahnersatz von Verstorbenen, die im Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg Eppendorf untersucht wurden, anhand von röntgenologischen Befunden über einen Zeitraum von 10 Jahren

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Finn Rasmus Lüth
aus Hamburg

Hamburg 2021

Angenommen von der Medizinischen Fakultät am: **13.10.2021**

Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: **Prof. Dr. Ibrahim Nergiz**

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: **Prof. Dr. Klaus Püschel**

Inhaltsverzeichnis

1. Arbeitshypothese und Zielsetzung	4
2. Einleitung	5
2.1. Allgemeine Einleitung in das Thema	5
2.2. Allgemeine Zahnheilkunde	7
2.2.1. Erkrankungen der Zahnsubstanz und des Zahnhalteapparates	7
2.2.2. Prothetische Versorgungen	8
2.3. Implantologie	10
2.3.1. Geschichte/Historie	10
2.3.2. Grundlagen	11
2.3.3. Prothetische Versorgungsmöglichkeiten	14
2.3.4. Erkrankung des periimplantären Gewebes	16
2.4. Das CCT	17
3. Material und Methoden	18
3.1. Auswertung von CCT's	18
3.1.1. Einschlusskriterien	23
3.1.2. Ausschlusskriterien	23
3.1.3. Datenauswertung	24
3.2. Implantat-Suche bei Verstorbenen in der Rechtsmedizin	24
3.3. Folgestudie	25
4. Ergebnisse	28
4.1. Allgemein	28
4.1.1. CCT Fälle	28
4.1.2. Geschlechtsverteilung	29
4.1.3. Altersverteilung	30
4.2. Implantat-Fälle	31
4.2.1. Periimplantitis	34
4.2.2. Prothetische Implantat-Versorgung	34
4.2.3. Versorgung der Restbezaehlung der Implantat-Fälle	37
5. Diskussion	40
5.1. Implantat vor Abschluss des Wachstums	49
5.2. Identifizierung unbekannter Toter	50
6. Fazit	51

7. Zusammenfassung	52
8. Summary	53
9. Literaturverzeichnis	55
10. Abbildungsverzeichnis	59
11. Tabellenverzeichnis	60
12. Danksagung	61
13. Lebenslauf	62
14. Eidesstattliche Versicherung	63

1. Arbeitshypothese und Zielsetzung

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation soll untersucht werden, wie sich die Zahl der mit dentalen Implantaten versorgten Menschen über einen Zeitraum von 10 Jahren verändert hat (2010-2019). Hierzu wird in dieser Arbeit die retrospektive Auswertung der cranialen Computertomographien (CCT), die im Institut für Rechtsmedizin im Zeitraum vom Januar 2010 bis zum Dezember 2019 erstellt wurden, vorgenommen. Es ergibt sich für diesen Zeitraum eine Gesamtzahl von $n = 4817$ CCTs, welche die Grundlage dieser Arbeit bilden.

Das besondere Augenmerk der zugrundeliegenden Dissertation liegt auf folgenden Aspekten:

1. Entwicklung der Qualität und Quantität der Versorgung mit Implantaten im oben genannten Zeitraum
2. Prothetische Versorgung der Implantate
3. Wie ist die prothetische Versorgung der Restbeziehung?
4. Geschlechterverteilung bei mit Implantaten versorgten Patienten
5. Röntgenologisch diagnostizierbare pathologische Zustände: Karies, Parodontitis, apikale Ostitis sowie Periimplantitis

Zudem wurden im Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf 1206 Verstorbene nach dem Vorhandensein von dentalen Implantaten untersucht. Die Untersuchungen fanden im Zeitrahmen von April 2020 bis September 2020 statt. Einigen Toten wurden Kiefersegmente, die Zahnimplantate enthalten, herausgetrennt. Diese wurden im Institut für Osteologie und Biomechanik zu Schliffpräparaten aufbereitet und daraufhin mikroskopisch untersucht. Damit soll eine Grundlage für weitere wissenschaftliche Arbeiten zu Zahnimplantaten geschaffen werden.

2. Einleitung

2.1. Allgemeine Einleitung in das Thema

Zahnimplantate sind seit vielen Jahren eine bewährte Methode zum Ersetzen fehlender Zähne. Ist eine Versorgung zahnloser Kieferabschnitte mit dentalen Implantaten aus anamnestischen und zahnmedizinischen Gesichtspunkten möglich, wird in Folge dessen die Versorgung mit feststehendem Zahnersatz ermöglicht. Dadurch wird in Behandlungsfällen, welche ansonsten nur mit herausnehmbarem prothetischem Zahnersatz versorgbar wären, ein feststehender Zahnersatz möglich. Alternativ bietet die Versorgung mit Implantaten bei zahnlosen Patienten, welche keine Vollprothese wünschen, die Herstellung eines kombinierten Zahnersatzes. Beim kombinierten Zahnersatz handelt es sich um eine Versorgung, welche aus einem herausnehmbaren und feststehenden Teil besteht, und dadurch verbesserten Halt im Vergleich zu Vollprothesen aufweist. Somit ermöglicht die Implantat-Versorgung sowohl im teilbezahntem als auch zahnlosen Gebiss die Verbesserung der prothetischen Versorgungsmöglichkeiten und damit einhergehend die Verbesserung der Kaufunktion der Patienten.

Im Großen und Ganzen ist eine signifikante Verbesserung der prothetischen Versorgungsmöglichkeiten und damit einhergehend eine Verbesserung der Lebensqualität, bei Patienten, welche mit Implantaten versorgt wurden, erkennbar. Die Verwendung von dentalen Implantaten zur Versorgung zahnloser Kiefer(abschnitte) hat in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen (Elani, Starr et al. 2018).

Dies ist zum einen bedingt durch einen wachsenden Implantatmarkt (Alghamdi und Jansen 2020), welcher sich durch Verbesserung und Weiterentwicklung der Implantat Systeme auszeichnet. Zum anderen ist dies bedingt durch eine wachsenden Zahl implantologisch tätiger Zahnärzte (Palti 2003) und eine steigende Akzeptanz der Patienten Implantat-getragenen Zahnersatz als Versorgungsoption anzunehmen.

Es wird davon ausgegangen, dass die Anzahl der dentalen Implantate als prothetische Versorgung in der Bevölkerung zugenommen hat. Ein bezeichnender Grund hierfür ist die verbesserte Langzeitüberlebensrate der Implantate. Diese Verbesserung ist auf die Weiterentwicklung der Implantat-Systeme, fortgeschrittene Operationstechniken und sich weiter etablierende Prophylaxe-Konzepte zurückzuführen.

Als eine Besonderheit des wissenschaftlichen Umfelds der Rechtsmedizin zeichnet sich die Tatsache aus, dass die Untersuchungsgruppe der vorliegenden Studie zu einem erheblichen Anteil aus Personen besteht, welche in anderen Studien nicht auftauchen würden. Die letztgenannte These lässt sich damit begründen, dass sich ein großer Teil der Probanden aufgrund hohen Alters und/oder schwerer Erkrankungen vor ihrem Tod nicht mehr in zahnärztlicher Betreuung befanden.

Folglich ist damit zu rechnen, dass sich ein deutlich schlechterer zahnmedizinischer Versorgungsgrad der untersuchten Patienten im Vergleich zur Gesamtbevölkerung darstellen wird.

Denn gemeinhin führen ein hohes Alter und/oder schwere Erkrankungen dazu, dass die Mundgesundheit weniger Beachtung findet. Somit wird in dieser Studie eine Personengruppe begutachtet, welche ansonsten weniger untersucht wird. Aufgrund dessen ist es jedoch naheliegend, dass dieser Umstand den Vergleich einzelner Zahlen zu anderen Studien nur schwer möglich macht. Allgemeine Erkenntnisse und Tendenzen lassen sich jedoch diskutieren.

2.2. Allgemeine Zahnheilkunde

2.2.1. Erkrankungen der Zahnschubstanz und des Zahnhalteapparates

2.2.1.1. Karies

Bei der Karies handelt es sich um die häufigste Erkrankung der Zahnhartsubstanzen. Hierbei kommt es bedingt durch organische Säuren zu einer Entmineralisierung der Zahnhartsubstanz. Bei einem Überangebot kariogener Substrate produzieren kariogene Mikroorganismen der Mundhöhle organische Säuren (Hellwig 2009). Röntgenologisch/radiologisch erkennbar ist eine Karies als koronale Aufhellung. Die in dieser Studie verwendete CT Diagnostik eignet sich nur sehr bedingt zur Kariesdiagnostik.

2.2.1.2. Gingivitis

Die Gingivitis stellt eine Entzündung der marginalen Gingiva dar, einhergehend mit Rötung, Schwellung und einer erhöhten Blutungsneigung. Es können Pseudotaschen auftreten sowie erhöhte Sondierungstiefen ohne Attachmentverlust.

Die Ursache einer Gingivitis liegt in einer Plaque auf dem Zahn bzw. der Wurzeloberfläche.

Bei der Plaque handelt es sich um einen weichen, zähen, strukturierten mikrobiellen Zahnbelag, welcher mit einem Wasserspray nicht entfernbar ist.

Eine Gingivitis kann zusätzlich durch systemische Faktoren ausgelöst oder verstärkt werden – als solche sind eine Schwangerschaft, Diabetes Mellitus oder Leukämie sowie einige Medikamente zu normieren. Werden die die Gingivitis auslösenden Faktoren beseitigt so ist diese vollständig reversibel (Hellwig 2009).

2.2.1.3. Parodontitis

Als Parodontitis wird gemeinhin ein Krankheitszustand definiert, bei welchem eine chronische, entzündliche Erkrankung des Zahnhalteapparates vorliegt. Assoziiert wird diese mit einem dysbiotischen Plaque-Biofilm.

Klinisch manifestiert sich die Parodontitis durch erhöhte Taschentiefen, gingivale Blutungen sowie dem Abbau des Zahnhalteapparates, welcher sich in Form von klinischen Attachmentverlust darstellt. Radiologisch ist ein Knochenabbau erkenntlich (European Federation of Periodontology 2019). Faktoren wie das Rauchen oder das Vorhandensein von allgemeinmedizinischen Risikofaktoren – wie beispielsweise Diabetes oder Osteoporose – können sich verstärkend auf die Erkrankung auswirken (Hellwig 2009). Von der klassischen Parodontitis werden die Formen der nekrotisierenden Parodontitis und die Parodontitis als direkte Manifestation einer systemischen Erkrankung abgegrenzt. Die Studie von Kruse aus dem Jahr 2008 zeigt, dass ein CT, wie in der vorliegenden Studie verwendet wurde, sich äußerst gut eignet, um parodontale Knochendefekte zu diagnostizieren (Kruse 2008).

2.2.1.4. Parodontitis apicalis

Bei der Parodontitis apicalis handelt es sich um eine Entzündung des apikalen Gewebes, welche eine Gewebedestruktion des Knochens zur Folge hat. Die häufigste Ursache dieser Krankheit stellt eine bakterielle Infektion der Pulpa dar, welche sich über die Wurzelkanäle bis zum Apex ausbreitet. Zu den weiteren Ursachen gehören Traumata, Parodontitis oder eine Reaktion auf eine Wurzelkanalfüllung. Als Folge der Entzündung ist die Ausbildung einer Zyste oder eines Granuloms möglich (Hellwig 2009).

Röntgenologisch lässt sich die Knochendestruktion in Folge einer Entzündung im Bereich der Wurzelspitze als apikale Aufhellung diagnostizieren.

2.2.2. Prothetische Versorgungen

Es wird zwischen feststehendem und herausnehmbarem Zahnersatz unterschieden. Bei feststehendem prothetischem Zahnersatz wird wiederum zwischen Kronen und Brücken unterschieden. Hierbei handelt es sich bei einer Krone um eine prothetische Restauration, bei welcher stark zerstörte Zähne zunächst zurechtgeschliffen werden und anschließend mit einer künstlichen Hülse – der Krone – versorgt werden. Alternativ zu Implantaten ermöglicht die prothetische Restauration mit Hilfe von Brücken die Versorgung von Zahnlücken oder Nichtanlagen. Es wird zwischen Endpfiler- und Freidendbrücken unterschieden.

Bei der Endpfeilerbrücke werden diejenigen Zähne überkront, welche die Lücke begrenzen – die Pfeilerzähne – und über ein Brückenglied miteinander verbunden. Bei einer Frendlücke kann maximal einen Zahn als Anhängerbrücke ersetzt werden. Die Brückenversorgung ist nur möglich bei vorhandenen Pfeilerzähnen. Zur Versorgung von teilbezahnten oder zahnlosen Kiefern werden herausnehmbare Prothesen verwendet. Herausnehmbare Prothesen kommen immer dann zu Einsatz, wenn mehrere oder alle Zähne fehlen oder aufgrund tiefer Zerstörung extrahiert werden mussten und eine festsitzende Versorgung mit Hilfe von Brücken, aufgrund fehlender/unzureichender Pfeilerzähne, nicht möglich ist. Bei vorhandenen Restzähnen kann eine Teilprothese die fehlenden Zähne ersetzen. Je nach Verankerung der Prothese unterscheidet man zwischen verschiedenen Arten der Teilprothese. Klammerprothesen halten über Klammern an den Restzähnen, dabei kann es sich um gebogene Klammern oder um Gussklammern handeln. Erstere dienen in der Regel nur der provisorischen Versorgung und werden als Interimsprothese bezeichnet. Demgegenüber stellen Gussklammerprothesen, auch Modellgussprothesen genannt, eine kostengünstige definitive prothetische Versorgung dar. Bei der Modellgussprothese wird die Prothese über gegossene Klammern an den natürlichen Zähnen befestigt. Ein weitaus ästhetisch zufriedenstellenderes Ergebnis mit mehr Prothesenhalt stellen kombinierte herausnehmbare Teilprothesen dar. Beim kombinierten Zahnersatz handelt es sich um eine Versorgung, welche aus einem herausnehmbaren und festsitzenden Teil besteht. Je nach Art der Verankerung an den Restzähnen unterscheidet man zwischen Geschiebe- und Teleskopprothesen. Bei letztgenanntem handelt es sich um ein kombiniertes System aus Primär- und Sekundärkronen. Geschiebeprothesen gibt es in verschiedenen Formen – allen gemeinsam ist dabei jedoch der Halt über Friktion. Dieser wird durch ein Haltesystem bestehend aus Patrize und Matrize erreicht. Hierbei wird die Matrize in die Krone des Pfeilerzahns gearbeitet, während die Patrize in der Prothese eingebaut ist. Im zahnlosen Kiefer kann eine prothetische Versorgung durch eine Totalprothese erfolgen. Bei der Totalprothese handelt es sich um eine Kunststoffprothese, welche über einen Saugeffekt Halt bietet.

2.3. Implantologie

2.3.1. Geschichte/Historie

Im Laufe der Geschichte wurde immer wieder versucht Zähne, durch das Einbringen verschiedener Werkstoffe – Elfenbein, Tierzähne, Holz, Muscheln, extrahierte Zähne oder verschiedenste Metallkörper – in eine Extraktionsalveole, zu ersetzen.

Jedoch konnte sich keine dieser Versuche durchsetzen, um eine gängige Implantationsmethode zu etablieren.

Der Beginn der modernen Implantologie ist auf die Entdeckung der Osseointegration von Titanimplantaten im Knochen zurückzuführen. Dies wurde von dem schwedischen Orthopäden Per Ingvar Brånemark 1969 festgestellt (Brånemark, Breine et al. 1969).

Ebenfalls Pionierarbeit in diesem Bereich leistete Andre Schröder, welcher maßgeblich weitere Forschungserfolge im Bereich der Einheilung von Titanimplantaten im Knochen erzielte.

Andre Schröder gründete 1980 das ITI (International Team for Implantologie). Dieses wurde zur größten Implantatgesellschaft der Welt (Buser, Sennerby et al. 2017). Die Firma, welche hinter den erarbeiteten Überlegungen der ITI steht, ist Straumann, während hinter der Forschungsgruppe um Brånemark die Firma Noble Biocare steht. Beide Konzerne gehören bis heute zu den Marktführern in der Implantologie.

Zwischen 1980 und 2000 entwickelte sich die Implantologie durch einige maßgeblichen Innovationen sprunghaft weiter. Wesentliche Entwicklungen betrafen Knochenaugmentationsverfahren wie die Guided Bone Regeneration (GBR) Technik (1990), die Entwicklung resorbierbarer Membranen und die Entwicklung des externen Sinusliftes in den 1980er Jahren sowie die Entwicklung mikroretentiver Implantatoberflächen (Buser, Sennerby et al. 2017).

Die Phase der großen innovativen Entwicklungen im Bereich der Implantologie war indes ab den 2000ern vorbei. Im Zuge der weiteren Optimierung wurden bis zum heutigen Zeitpunkt Feinheiten verbessert und weiter entwickelt (Buser, Sennerby et al. 2017).

Die ersten Titanimplantate inserierten in Deutschland hauptsächlich niedergelassene Zahnärzte– während hingegen die Universitäten dem Einsatz von dentalen Implantaten kritisch gegenüberstanden.

Erst 1982 gelang die wissenschaftliche Anerkennung der Implantologie in Deutschland (DGI - Deutsche Gesellschaft für Implantologie im Zahn- 2021). Die neue Technik sah sich ab 1988 in der GOZ (Gebührenordnung für Zahnärzte) vertreten.

Die Versorgung mit Implantaten wuchs in den Folgejahren stetig (Elani, Starr et al. 2018).

Dies kann insbesondere einerseits auf einen wachsenden Implantatmarkt (Alghamdi und Jansen 2020) sowie andererseits durch eine wachsenden Zahl implantologisch tätiger Zahnärzte (Palti 2003) zurückgeführt werden. Hinzukommt die steigende Akzeptanz der Patienten Implantat getragenen Zahnersatz als bestehende Versorgungsoption anzunehmen.

2.3.2. Grundlagen

Ein Zahnimplantat ist ein alloplastisches Material, welches in den Kieferknochen eingebracht wird, um einen fehlenden Zahn zu ersetzen und mithilfe dessen prothetische Restaurationen zu verankern (Strub 2013). Somit dienen dentale Implantate als künstliche Zahnwurzeln.

In der Vergangenheit existierten Formen der Blattimplantate oder der Nadelimplantate, welche sich jedoch nicht durchsetzen konnten.

Heutzutage werden fast ausschließlich schraubenförmige Implantate verwendet. Nachfolgend werden Unterscheidungsmerkmale schraubenförmiger Implantate genannt: Material, Oberflächenbeschaffenheit und die Form der Schraube können differieren.

Zudem kann ein Implantat aus einem oder zwei Teilen bestehen.

2.3.2.1. Osseointegration-Definition

Das Ziel jeder Implantatinserterion stellt die Osseointegration dar.

Unter einer solchen versteht man die spaltfreie Anlagerung von vitalem Knochen an der Implantatoberfläche in Form einer strukturellen und funktionellen Verbindung,

infolgedessen wird das inserierte Implantat bewegungsfrei im Knochen verankert (Mavrogenis, Dimitriou et al. 2009).

Hierbei verläuft die Osseointegration in nachfolgend erläuterten Schritten ab: Zunächst folgt auf das Operationstrauma eine Entzündungsreaktion und ein Abbau des traumatisierten Knochenareals durch Osteoklasten, daraufhin lagern sich Präosteoblasten an der Titanoxid- oder Zirkonoxidschicht des Implantates an. Die Präosteoblasten differenzieren sich zu Osteoblasten und bilden ein Osteoid aus. Die Mineralisierung der Knochenmatrix führt zur Bildung von Geflechtknochen. Im Weiteren führen Umbauprozesse zur Bildung des Lamellenknochens (Gutwald, Gellrich et al. 2018).

2.3.2.2. Primärstabilität

Unter der Primärstabilität versteht man die initiale mechanische Stabilität des Implantates nach Einbringung in den Knochen. Die Primärstabilität beruht hierbei ausschließlich auf der Klemmpassung nach Insertion eines Implantates in einen Knochenschacht, welcher geringer als die Implantatgröße aufbereitet ist (Jackowski, Peters et al. 2017).

2.3.2.3. Sekundärstabilität

Die Sekundärstabilität, auch biologische Stabilität, beschreibt die Stabilität des Implantates im Knochen nach erfolgter Osseointegration (Jackowski, Peters et al. 2017).

2.3.2.4. Einteilige versus zweiteilige Implantate

Bei der Konstruktion von Implantaten wird zwischen einteiligen und zweiteiligen Implantaten unterschieden. Zweiteilige Implantate weisen eine Trennung zwischen der intraossär inserierten Implantat-Schraube und dem prothetischen Anteil auf. Bei zweiteiligen Implantaten gliedert sich der chirurgische Eingriff in zwei Teile: der Implantatinsertion und der Implantatfreilegung. Ferner bieten zweiteilige Implantate den Vorteil einer gedeckten Einheilung: das Implantat wird nach dem Einbringen in den Kieferknochen vollständig von Schleimhaut bedeckt und die Wunde wird vernäht. So können während der Einheilphase keine Keime aus der Mundhöhle zum Implantat gelangen und das Implantat heilt ohne jegliche Belastung ein. Diese

Umstände ermöglichen eine zeitgleiche Augmentation mit der Implantation. Ein weiterer Vorteil zweiteiliger Implantate liegt in der Tatsache, dass Abweichungen von der optimalen prothetischen Positionierung des Implantates einfacher und besser ausgeglichen werden können.

Den zweiteiligen Implantaten stehen die seit den Anfängen der Implantologie vorhandenen einteiligen Implantate gegenüber. Der Nachteil dieser Konstruktion liegt jedoch darin, dass kein vollständiger Weichgeweberschluss möglich ist und damit Keime aus der Mundhöhle zum Implantat gelangen können. Zudem ragt bei einteiligen Implantaten der prothetische Anteil in der Mundhöhle und wird somit sofort belastet. Vorteil der einteiligen Implantate ist, dass kein zweiter chirurgischer Eingriff nach Implantatinsertion nötig ist und die Implantatfreilegung damit entfällt. Außerdem stellt auch der fehlende Mikropalt einen weiteren Vorteil dar.

2.3.2.5. Implantat-Materialien

Heutzutage beschränkt sich die Material Auswahl für dentale Implantate auf Titan und Zirkonoxid.

Titan stellt dabei den bewährtesten und weitverbreitetsten Werkstoff für Implantate dar – eine Tatsache, welche durch das Vorhandensein einer großen Anzahl von Studien und einer langen Zeitspanne von klinischen Erfahrungen bestätigt wird. Auch ist Titan äußerst biokompatibel (Strub 2013). Weiterhin zeichnet sich Titan durch ein hohes Elastizitätsmodul aus (Gutwald, Gellrich et al. 2018). Titan wird als Reintitan oder in Form einer Legierung verwendet. Für die besonders stark belasteten Komponenten des Implantats, wie Schrauben und Aufbaukomponenten, wird auf eine Titanlegierung – aufgrund der höheren mechanischen Stabilität – zurückgegriffen (Strub 2013). Nachteilig zu erwähnen ist allerdings, dass bei der Versorgung zahnloser Kieferabschnitte mit Titanimplantaten ein gräuliches Durchschimmern im Bereich der Gingiva auftreten kann. Vor allem im Frontzahnbereich kann dieser Umstand zu einem kritischen ästhetischen Ergebnis führen.

Auf dem dentalen Markt sind daneben ebenfalls Implantate aus Zirkonoxid verfügbar. Zirkonoxid-Implantate überzeugen durch ihre zahnähnliche, weißliche Farbe und ermöglichen damit ästhetisch optimale Ergebnisse. Zudem weist Zirkonoxid vergleichbare Eigenschaften bezüglich der Osseointegration auf wie Titan (Mueller, Solcher et al. 2011).

Im Gegensatz zu Titanimplantaten haben sich Implantate aus Zirkonoxid noch nicht vergleichbar etabliert, eine Tatsache, welche sich damit erklären lässt, dass die Studienlage insbesondere bezüglich Langzeitstudien nicht in dem Maße verfügbar und positiv ist wie bei Titanimplantaten. Des Weiteren weisen Zirkonoxid-Implantate folgenden Schwachpunkt im Vergleich zu Titanimplantaten auf: bei Zirkonoxid-Implantaten ist eine Schraubverbindung zwischen Implantat-Körper und Abutment materialtechnisch nicht vergleichbar möglich wie bei Implantaten aus Titan. Aufgrund dessen ist es naheliegend, dass es hauptsächlich einteilige Zirkonoxid-Implantate gibt (Payer, Heschl et al. 2015). Einteilige Implantat-Systeme bringen (wie bereits beschrieben) wesentliche prothetische Nachteile mit sich (Payer, Heschl et al. 2015).

2.3.2.6. Makro- und mikroretentive Verankerung

Zur Verbesserung der Osseointegration und der Vermeidung von Periimplantitis stellt ein wesentlicher Fokuspunkt der Implantat-Forschung die Gestaltung der Oberflächenmorphologie des Implantats dar.

Bei der Verankerung von Implantaten wird zwischen einer makro- und mikroretentiven Verankerung unterschieden. Die makroretentive Verankerung wird in der Regel durch ein Gewinde, welches eine Primärstabilität (Festigkeit des Implantates vom ersten Moment des Inserierens an) gewährleistet, erreicht. Unter mikroretentiver Verankerung versteht man die Oberflächengestaltung des Implantates zur Optimierung der Osseointegration, damit wird eine optimale Sekundärstabilität angestrebt. In diese Oberflächenrauigkeiten sollen die Knochenzellen einwachsen und eine Vergrößerung der in den Knochen osseointegrierten Implantat-Oberfläche soll ermöglicht werden. Es wird zwischen ablativen und additiven Verfahren zum Behandeln der Implantat-Oberflächen für die mikroretentive Verankerung unterschieden.

2.3.3. Prothetische Versorgungsmöglichkeiten

Dentale Implantate können festsitzend mit Kronen und Brücken versorgt werden. Die Versorgung kann direkt mit dem Implantat verschraubt werden oder indirekt zementiert werden. Bei dem indirekt zementierten Zahnersatz wird ein sogenanntes

Abutment auf das Implantat aufgeschraubt und im Anschluss eine Krone/Brücke ähnlich dem konventionellen Zahnersatz zementiert, hierbei ähnelt das Abutment einem präparierten Zahnstumpf. Abutments können aus Zirkonoxid oder aus Titan bestehen. Außerdem ist zwischen konfektionierten und individuellen Abutments zu differenzieren. Letztgenannte werden individuell an den Verlauf des Zahnfleisches angepasst und können eine Fehlpositionierung des Implantates bis zu einem gewissen Maß ausgleichen. Bei der direkt verschraubten Lösung wird die prothetische Restauration durch ein okklusales Loch verschraubt, welches mit Kompositmaterial verschlossen werden kann.

Der Langzeiterfolg Implantat-getragener Kronen und Brücken entspricht in etwa dem einer konventionellen Brücke (Strub 2013).

Neben der Möglichkeit, festsitzend prothetische Restaurationen auf Implantaten zu verankern, besteht ebenfalls die Möglichkeit kombiniert herausnehmbaren Zahnersatz auf Implantaten herzustellen. Als kombiniert herausnehmbarer Zahnersatz werden prothetische Restaurationen bezeichnet, bei welchen festsitzende Verankerungselemente mit einer herausnehmbaren Prothese kombiniert werden. In Fällen, bei welchen ein festsitzender Zahnersatz nicht möglich ist oder ein schlechtes ästhetisches Ergebnis auf Grund der anatomischen Bedingungen zu erwarten ist, wird eine kombiniert herausnehmbare Versorgung gewählt. Dabei ist zu beachten, dass sowohl konventioneller als auch Implantat-getragener herausnehmbarer Zahnersatz eine deutlich geringere Überlebensrate im Vergleich zu festsitzenden prothetischen Restaurationen aufzeigt (Strub 2013).

Nachfolgend werden die Arten Implantat-getragener herausnehmbarer Verankerungen erläutert:

- Teleskopprothesen: Diese sind zahntechnisch aufwendig und kostenintensiv. Es handelt sich um ein kombiniertes System aus Primär- und Sekundärkronen, bei welchem die Primärkronen auf dem Pfeilerzahn/Implantat verankert werden, während die Sekundärkronen in der Prothese eingearbeitet sind. Aufgrund der fehlenden Beweglichkeit von Implantaten stellt die Passung einer Implantat-getragenen Teleskopprothese eine besondere Herausforderung für den Zahnarzt und Zahntechniker dar.

Die Vorteile der Teleskopprothese liegen in ihrer Erweiterbarkeit bei Verlust weiterer Zähne/Implantate, der Ästhetik durch das Fehlen sichtbarer Verankerungselemente und der Möglichkeit, Implantate sowie Zähne im Zusammenhang mit einer Pfeilerzahnvermehrung zu kombinieren. Für eine rein Implantat-getragene doppelkronenverankerte Implantat-Arbeit sind mindestens vier Implantate notwendig (Strub 2013).

- Kugelköpfe und Lokatoren: Sie ermöglichen mit wenigen Implantaten einer Voll- oder Teilprothese zusätzlichen Prothesenhalt zu gewährleisten. Die Patrize ist hierbei in der Prothese eingearbeitet, während die dazu passende Matrize auf dem Implantat verschraubt wird. Die Retention wird durch Friktion erreicht und die Stärke der Friktion wird über austauschbare Kunststoffeinlagen bestimmt. Der Nachteil dieser Form der Verankerung, liegt darin, dass die Kunststoffeinlagen verschleifen, wodurch sich die Friktion mit der Zeit verringert – um dies zu vermeiden, sollte regelmäßiger Wechsel der Einlage erfolgen. Die weite Verbreitung von Lokatoren und Kugelkopfkernern liegt in der kostengünstigsten Art der Implantat-Versorgung.
- Stegversorgungen: Es handelt sich bei diesen um Metallstäbe, welche den Vorteil der direkten Verblockung der Implantate aufweisen, dadurch ist es möglich auch bei kürzeren Implantaten und schwierigen anatomischen Voraussetzungen eine sehr stabile Konstruktion zu erreichen. Es werden konfektionierte und individualisiert angefertigte Stege angeboten

2.3.4. Erkrankung des periimplantären Gewebes

- Bei der periimplantären Mukositis handelt es sich um das Äquivalent zu einer Gingivitis im Bereich eines Implantates.

Die periimplantäre Mukositis zeigt sich durch die klassischen Entzündungszeichen. Es wird Blutung auf Sondierung beobachtet, jedoch begrenzt sich die Entzündung nur auf das periimplantäre Weichgewebe, ferner ist röntgenologisch kein Knochenabbau erkenntlich (Obreja, Begic et al. 2020).

- Bei der Periimplantitis handelt es sich um das Äquivalent zur Parodontitis im Bereich eines Implantates. Klinisch lässt sich eine Periimplantitis nicht allein anhand von aktuell erhobenen Sondierungstiefen diagnostizieren. Dies lässt sich damit erklären, dass auch im gesunden periimplantären Gewebe die Sondierungstiefen stark schwanken. Daher sollten zur Diagnostik einer Periimplantitis die erhobenen Sondierungstiefen mit Referenzwerten aus der Vergangenheit – so liegen idealerweise Sondierungstiefen zum Zeitpunkt der Eingliederung der prothetischen Arbeit vor – verglichen werden (Wehner 2018). Ausschlaggebend für die Diagnosestellung ist die röntgenologische Diagnostik des Knochenabbaus um das Implantat (Obreja, Begic et al. 2020). Hierbei ist jedoch zu beachten, dass auch zur Beurteilung des periimplantären Knochenabbaus eine Referenzaufnahme, idealerweise mit der gleichen Aufnahmetechnik wie zum Zeitpunkt der Eingliederung der prothetischen Restauration, herangezogen werden sollte (Wehner 2018). Berglundh et al. definieren bei fehlenden Referenzwerten und Aufnahmen die Diagnosestellung der Periimplantitis durch folgende Faktoren: Blutung auf Sondierung, Taschentiefenmessung über 6 mm und röntgenologisch erkennlicher Knochenrückgang von 3mm oder mehr im Verhältnis zum coronalsten Punkt des intraossären Anteils des Implantates (Berglundh, Armitage et al. 2018). Die Studie von Kruse aus dem Jahr 2008 zeigt, dass sich ein CT, wie es in der zugrundeliegenden Arbeit verwendet wurde, äußerst gut dazu eignet, periimplantäre Knochendefekte zu diagnostizieren (Kruse 2008).

2.4. Das CCT

Die CCT (craniale Computertomographie) stellt eine spezielle Form der Computertomographie des Schädels dar. Bei dieser werden Röntgenschnittbilder über einen Fächerstrahl aus verschiedenen Projektionen aufgenommen. Ein Computer verarbeitet über Dichtemessungen die Schnittbilder, sodass jegliche Schichten beliebig rekonstruiert werden können und auch ein dreidimensionales Bild erzeugt werden kann (Gutwald, Gellrich et al. 2018).

Im Institut für Rechtsmedizin erfolgte die Anschaffung des CTs im Jahre 2008, seitdem werden Verstorbene insbesondere in Fällen bei denen Todesart und Ursache fraglich sind mit Hilfe der postmortalen CT-Diagnostik untersucht.

3. Material und Methoden

3.1. Auswertung von CCT's

In der vorliegenden Studie wurden die cranialen Computertomographien (CCT), welche im Institut für Rechtsmedizin im Zeitraum vom Januar 2010 bis zum Dezember 2019 erstellt wurden, ausgewertet. Es ergibt sich für diesen Zeitraum eine Gesamtzahl von n= 4817 CCT's, welche die Grundlage dieser Arbeit bilden. Hierzu wurde jedes CCT nach einer metallichten Verschattung (vgl. Abbildung 1) in Form eines Zahnimplantates abgesucht.



Abbildung 1 Gut Osseointegriertes Implantat im Oberkiefer mit erfolgtem Sinusbodenlift und einer festsitzenden Kronenversorgung

Metalllichte Verschattungen im Wurzelkanal infolge einer erfolgten Wurzelkanalbehandlung oder einer Stiftversorgung können hierbei durch die weniger dichte Verschattung der vorhandenen Zahnhartsubstanz von dentalen Implantaten

im CT abgegrenzt werden. Ferner ist im CCT eine Unterscheidung zwischen festsitzenden (in Form von Kronen und Brücken) und herausnehmbaren prothetischen Versorgungsmöglichkeiten möglich. Dies ist dadurch bedingt, dass im CCT bei herausnehmbarem Zahnersatz die metallreiche Verschattung des Prothesengerüsts sowie der weniger stark verschattete Kunststoffanteil der Prothese erkenntlich ist (vgl. Abbildung 2).



Abbildung 2 Mit herausnehmbarem Zahnersatz versorgte Implantate

Jedoch ist die Art des herausnehmbaren Zahnersatzes anhand des CCTs nicht immer eindeutig ersichtlich. Infolgedessen lassen sich Geschiebe und Teleskopprothesen nur schwer voneinander unterscheiden. Bei Implantatgetragenen prothetischen Restaurationen ist eine Abgrenzung zwischen festsitzenden und herausnehmbar versorgten Implantaten sowie zu unversorgten dentalen Implantaten eindeutig möglich. Jedoch ist eine Differenzierung der Verankerungsform von Implantatgetragenen herausnehmbaren Zahnersatz nur eindeutig bei Stegarbeiten möglich. Daraus resultiert, dass Teleskope, Kugelköpfe, Lokatoren und sonstige Verankerungsformen selten und häufig nur bei fehlendem Zahnersatz erkennbar sind.

Im CCT ist die Beurteilung des Knochenniveaus möglich, hierzu wird in bezahnten Kieferabschnitten die Schmelzzementgrenze sowie bei Implantat-versorgten Abschnitten die Implantat-Schulter zur Orientierung herangezogen. Folglich ist es möglich, zu beurteilen, inwiefern Knochenabbau in Folge einer Parodontitis bzw. einer Periimplantitis stattgefunden hat. Eine genaue Differenzierung nach Schweregraden ist aufgrund der sehr unterschiedlich ausgeprägten Bildqualität sowie disparatem Zustand der Leichen nicht angemessen.

Zusätzlich ist eine generelle Beurteilung des Gebisszustandes anhand eines CCTs möglich. So können fehlende Zähne sowie auch Knochendefekte aufgrund von Entzündungsprozessen in Form einer apikalen Aufhellung detektiert werden. Dahingegen ist die Beurteilung von kariösen Defekten sowie die Suffizienz von prothetischen und konservierenden Versorgung in Form von Füllungen und Wurzelfüllungen nur limitiert möglich. Für die vorliegende Arbeit wurden die genannten Befunde trotz dieser Defizite aufgenommen, um eine Entwicklung des Versorgungsgrades nach gleichen Kriterien über den Zeitverlauf beurteilen zu können.

Es wurden folgende Parameter tabellarisch in Microsoft Excel erfasst:

Von allen Verstorbenen mit einem vorhandenem CCT:

- Leichen-Nummer
- Alter
- Geschlecht

Von allen mit Implantaten versorgten Leichen wurden folgende Daten statistisch aufgenommen:

- Anzahl der Implantate im Oberkiefer und im Unterkiefer
- Position der Implantate im Kiefer
- Prothetische Versorgung der Implantate
 - o Festsitzende Versorgung
 - o Herausnehmbare Versorgung
 - o Unversorgte Implantate



Abbildung 3 Unterkieferimplantate mit Kugelkopfsankern für einen fehlenden herausnehmbaren Zahnersatz

- Versorgung der nicht mit Implantaten versorgten Kieferabschnitte
 - o Vollbezahnt
 - o Unbezahnt
 - o Unversorgte Lücken
 - o Festsitzende prothetische Versorgung
 - o Herausnehmbare prothetische Versorgung
- Kariöse Läsionen (vgl. Abbildung 4)
- Apikale Parodontitis (vgl. Abbildung 5).
- Knochenabbau bedingt durch eine Parodontitis (vgl. Abbildung 6).
- Knochenabbau im Bereich der Implantate (vgl. Abbildung 7).



Abbildung 4 Im CT erkennliche kariöse Läsion eines Unterkiefermolaren



Abbildung 5 Im CT diagnostizierbare apikale Parodontitis eines Oberkieferprämolaren



Abbildung 6 Im CT deutlich erkennlicher Knochenabbau aufgrund einer Parodontitis

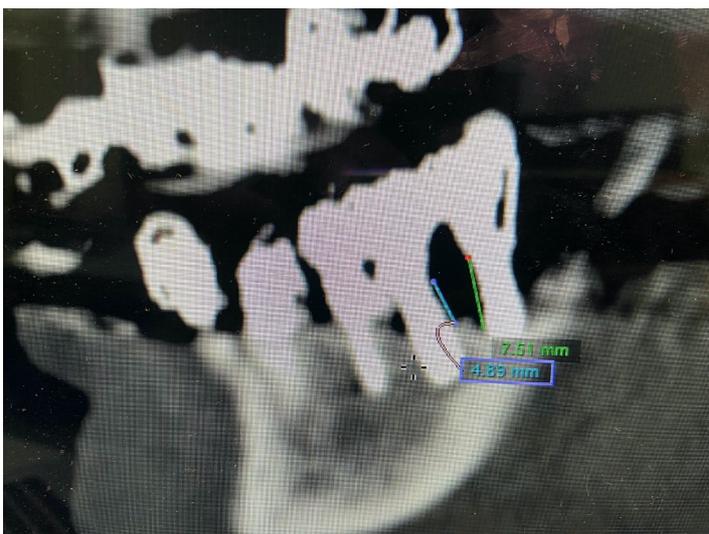


Abbildung 7 Röntgenologisch diagnostizierbarer Periimplantitis-bedingter Knochenabbau von über 3mm

Die folgenden Parameter wurden bei Zutreffen auf mindestens einen Zahn bzw. ein Implantat mit „Ja“ (0) und „Nein“ (1) codiert und mit Hilfe von Microsoft Excel erfasst:

- Prothetischen Versorgungen der Implantate
- Versorgungen der nicht Implantat-versorgten Kieferabschnitte
- Kariöse Läsion
- Apikale Parodontitis
- Knochenabbau bedingt durch Parodontitis
- Knochenabbau im Bereich der Implantate (Periimplantitis)

Dabei ist zu beachten, dass in der vorliegenden Arbeit die Periimplantitis als radiologisch diagnostizierbarer Knochenabbau von 3 mm an mindestens einem Implantat bezogen auf dem coronalsten Punkt des intraossären Anteils des Implantates definiert wird. Als Grundlage dient der Consensus Report von Berglundh et al. aus dem Jahr 2018 (Berglundh, Armitage et al. 2018).

3.1.1. Einschlusskriterien

Alle im Institut für Rechtsmedizin erstellten cranialen Computertomographien (CCT) – aus dem Zeitraum vom Januar 2010 bis zum Dezember 2019 – wurden ausgewertet. Für diesen Zeitraum ergibt sich eine Gesamtzahl von n= 4817 CCTs, welche die Grundlage dieser Arbeit bilden.

Zudem wurde der Zahnstatus/Gebissbefund von 1206 Verstorbenen im Zeitraum von April 2020 bis September 2020 im Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf direkt untersucht.

3.1.2. Ausschlusskriterien

CTs, welche aufgrund unzureichender Bildqualität nicht auswertbar waren, wurden aussortiert.

Ebenso wurde bei Leichen, die sich im Zustand der Unkenntlichkeit befanden, der zahnmedizinische Befund nicht erhoben. Daneben wurden infektiöse Leichen – hierbei seien aufgrund der aktuellen Lage besonders Verstorbene mit Verdacht auf eine Corona-Infektion zu erwähnen – nicht untersucht.

3.1.3. Datenauswertung

Die erhobenen Daten wurden zunächst mithilfe des Programms „Microsoft Excel“ erfasst und im Anschluss wurde mit dem Programm „SPSS“ die statistische Auswertung der erhobenen Daten durchgeführt. Zuerst wurden die erhobenen Daten mittels deskriptiver statischer Auswertung ausgewertet und in Relation gebracht. Anschließend wurden die Parameter nach Jahren sortiert, sowie mittels Kreuztabellen in Prozentzahlen dargestellt.

Im nächsten Schritt wurde mit einer binären logistischen Regression untersucht, inwiefern die erhobenen Parameter eine statistische signifikante Tendenz bezüglich einer zeitlichen Entwicklung in dem Zeitraum von 2010 bis 2019 aufweisen. Nach der statistischen Auswertung erfolgte die graphische Darstellung der Ergebnisse mittels Diagramme und Tabellen, die mit dem Programm „Microsoft Excel“ erstellt wurden.

3.2. Implantat-Suche bei Verstorbenen in der Rechtsmedizin

Für die vorliegende Arbeit wurden im Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf 1206 Verstorbene im Hinblick auf das Vorhandensein von dentalen Implantaten untersucht. Diese Untersuchungen fanden im Zeitrahmen von April 2020 bis September 2020 statt. Um in diesem Zeitraum möglichst alle Verstorbenen zu untersuchen, welche sich zur Leichenschau im Institut für Rechtsmedizin befanden, wurde das Screening dreimal in der Woche durchgeführt. Die Befunderhebung erfolgte mittels eines Mundspiegels, einer zahnärztlichen Sonde sowie einer Taschenlampe. Mit geschultem zahnärztlichem Auge konnte sowohl anhand der Versorgungsart als auch dem Knochen- und Gingivaverlauf bestimmt werden, ob es sich um ein Zahnimplantat handelt. Außerdem wurde bei der Diagnostik der CTs, welche bei einigen Leichen postmortal erstellt werden, auf vorhandene Implantate geachtet.

Sofern bei der Untersuchung das Vorhandensein eines dentalen Implantates festgestellt wurde, wurden nachfolgend genannte Parameter anhand eines Zahnschemas erfasst:

- Leichenummer
- Alter
- Geschlecht

- Position der Zahnimplantate

Nach Genehmigung der Ethik-Kommission der Ärztekammer Hamburg (Bearb.-Nr.: WF-066/20), wurden einigen Leichen Kiefersegmente, welche Zahnimplantate enthielten, herausgetrennt. Diese wurden im Institut für Osteologie und Biomechanik zu Schliffpräparaten aufbereitet und daraufhin mikroskopisch untersucht. Zu diesen Fällen wurde röntgenologisch das Implantat-System ermittelt.

Daraus sollen Vergleichsgruppen verschiedener Implantat-Systeme erstellt werden und die Grundlage für weitere wissenschaftliche Arbeiten geschaffen werden.

3.3. Folgestudie

In einer Folgestudie, welche den Titel „Untersuchung der Osseointegration erfolgreicher Zahnimplantate verschiedener Hersteller in der Hamburger Bevölkerung“ trägt, werden die herausgetrennten Kiefersegmente weiter untersucht.

In der Folgestudie wurden nach der initialen Erstellung einer Kontakttröntgenaufnahme (Faxitron X-ray Corp., Wheeling, IL, USA) die Implantate und das Knochensegment, welches das Implantat einschließt, aus der Mandibula oder Maxilla herausgesägt.

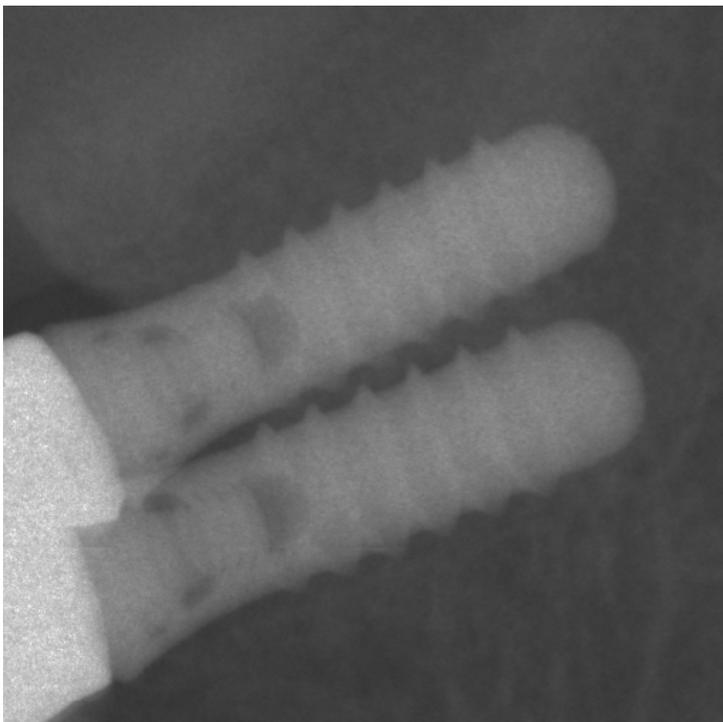


Abbildung 8 Kontakttröntgenaufnahme zur Implantatherstellerbestimmung (Straumann Implantate)

Im Anschluss wird ein Micro-CT (μ CT42, Scanco Medical AG, Brüttisellen, Switzerland) des Präparats erstellt. Nachfolgend werden die Implantate anhand der Röntgenaufnahmen nach Hersteller und Typ identifiziert und gruppiert.



Abbildung 9 Schliffpräparat mit Toluidinblau gefärbt.

Im weiteren Verlauf findet die unentkalkte histologische Schliffpräparation statt und das Schliffpräparat wird mittels Toluidinblau gefärbt. Anschließend erfolgt eine histomorphometrische Analyse dieses Präparates.

Die quantitativen Ergebnisse werden in 4-5 Vergleichsgruppen aus 40-50 Schliffpräparaten ausgewertet. Das Ergebnis der Untersuchung soll das Herausstellen der Vor- und Nachteile bestimmter Implantat-Typen der verschiedenen Hersteller und Grundlage weiterer wissenschaftlicher Arbeiten und Implantat-Entwicklungen sein.



Abbildung 10 Schliffpräparat (Straumann Implantat)

4. Ergebnisse

4.1. Allgemein

4.1.1. CCT Fälle

Die Gesamtzahl der erfassten CCTs im Institut für Rechtsmedizin beläuft sich im Zeitraum von Januar 2010 bis Dezember 2019 auf n=4817. Hierbei wurde in n=327 Fällen ein dentales Implantat festgestellt (6,7%). Zu erwähnen ist dabei, dass die Anzahl der auswertbaren CT Falldaten pro Jahr relativ stark variiert. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass im Institut für Rechtsmedizin die jährlich erstellte Zahl der CCTs variiert und zum anderen wurden für diese Arbeit einige CCTs, welche aufgrund unzureichender Bildqualität nicht auswertbar waren, aussortiert. Durch die Variation der jährlichen CT Fallzahl unterscheidet sich die Aussagekraft der untersuchten Jahre hinsichtlich der Anzahl der Implantat-Fälle.

Ab dem Jahr 2015 lässt sich eine deutliche Zunahme der erstellten CTs im Institut der Rechtsmedizin feststellen – gleichzeitig lässt sich ab 2015 ebenfalls eine erhöhte Anzahl der Implantat-Fälle registrieren. Tabelle 1 zeigt die Zahl der untersuchten CTs pro Jahr sowie Anzahl der Implantat-Fälle pro Jahr und deren prozentualen Anteil. Grundsätzlich wird aus der Tabelle ersichtlich, dass im Laufe der letzten Dekade die Anzahl der Implantat-Fälle stetig zunimmt.

Tabelle 1 Anzahl der diagnostizierten CT-Fälle im Verhältnis zu den Implantat-Fällen

Jahr	Anzahl ohne Implantat	Anzahl mit Implantat	Prozentzahl mit Implantat	Gesamtzahl
2010	427	18	4,0	445
2011	265	12	4,3	277
2012	253	13	4,9	266
2013	275	17	5,8	292
2014	201	7	3,4	208
2015	502	34	6,3	536
2016	640	49	7,0	689
2017	494	33	6,3	527
2018	789	64	7,5	853
2019	644	80	10,9	724
Gesamt	4490	327	6,7	4817

Auffällig an den Ergebnissen aus Tabelle 1 ist, dass ab dem Jahr 2015 die Zahl der erstellten CTs sowie der Implantat-Fälle zunimmt. Im Jahr 2018 liegt ein Maximum von $n= 853$ CTs vor. Das Jahr 2019 sticht mit einem Maximum von $n= 80$ Implantat-Fällen, dies entspricht 10,9%, hervor.

4.1.2. Geschlechtsverteilung

Die Geschlechtsverteilung der $n=4817$ untersuchten CTs setzt sich (wie nachfolgend erläutert) zu 36,6 Prozent aus Frauen und zu 63,4 Prozent aus Männern zusammen (vgl. Abbildung 11).

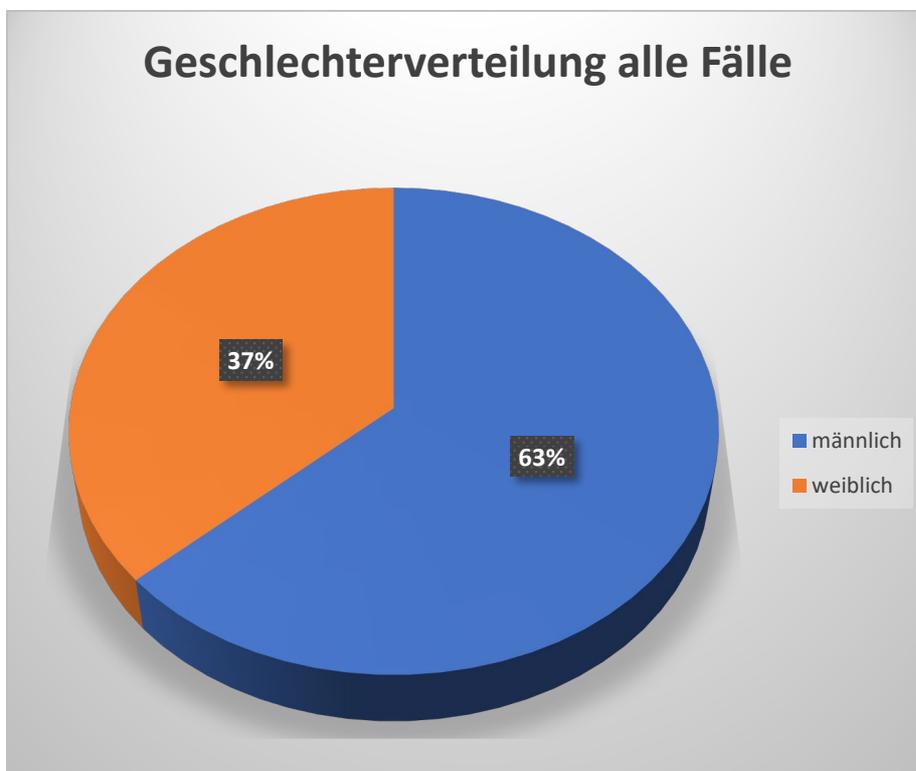


Abbildung 11 Geschlechterverteilung aller Fälle

Bei 20,4 Prozent der Fälle gibt es keine Angabe zum Geschlecht.

Bei den $n=4817$ untersuchten CTs wurde in $n=327$ Fällen ein Implantat gefunden (6,7 Prozent). Die Geschlechtsverteilung bei den Implantat-Fällen liegt bei 41,4 Prozent Frauen und 58,6 Prozent Männer (vgl. Abbildung 12).

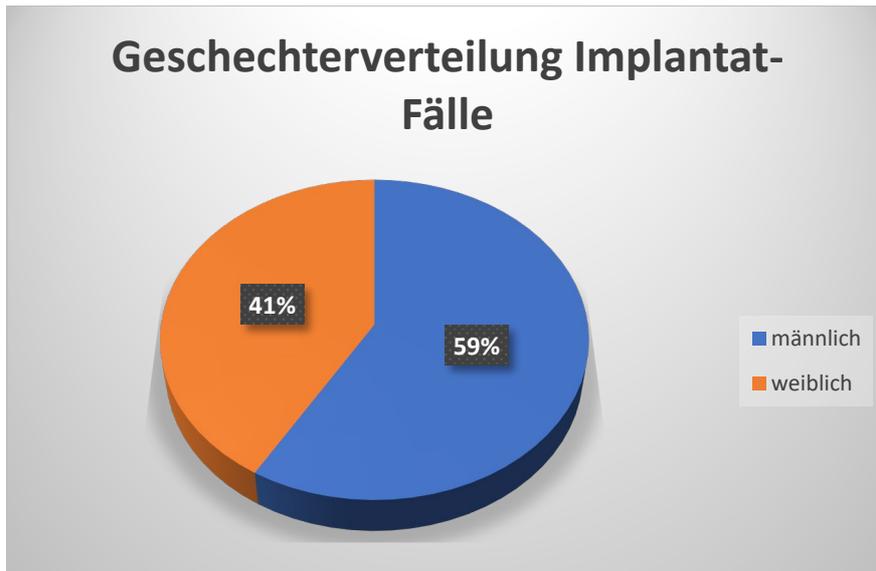


Abbildung 12 Geschlechterverteilung Implantat-Fälle

4.1.3. Altersverteilung

Im untersuchten Zeitraum liegt das Durchschnittsalter bei 64,27 Jahre mit einem Minimum von 17 Jahren und einem Maximum von 104 Jahren.

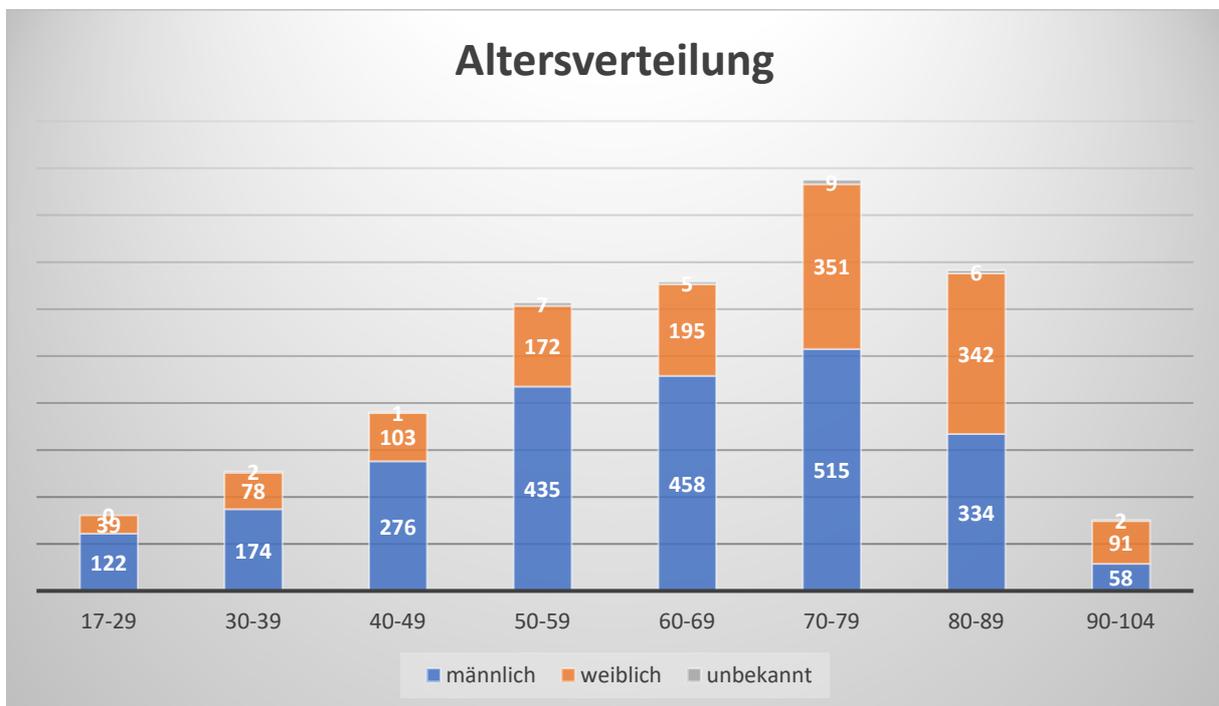


Abbildung 13 Geschlechterverteilung in den Altersgruppen

Betrachtet man die Altersverteilung bei den Verstorbenen Implantaten, beläuft sich hier das Durchschnittsalter bei 71,48 und ist damit höher als das Durchschnittsalter aller Verstorbenen mit CT.

Tabelle 2 Alters- und Geschlechtsverteilung bei den mit CT untersuchten Verstorbenen, bei denen ein Implantat auffindbar war

	17-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-104	Gesamt
Männlich (Anzahl)	122	174	276	435	458	515	334	58	2372
Weiblich (Anzahl)	39	78	103	172	195	351	342	91	1371
Unbekannt (Anzahl)	0	2	1	7	5	9	6	2	32
Gesamtzahl	161	254	380	614	658	875	682	151	3775
Männlich (Prozent)	75,8	68,5	72,6	70,8	69,6	58,9	49	38,4	62,8
Weiblich (Prozent)	24,2	30,7	27,1	28	29,6	40,1	50,1	60,3	36,3
Unbekannt (Prozent)	0	0,8	0,3	1,1	0,8	1	0,9	1,3	0,8

Zu berücksichtigen ist, dass eine Reihe von CTs vorlagen, bei welchen Alter und/oder das Geschlecht nicht angegeben waren. Dies lässt sich möglicherweise damit erklären, dass in solchen Fällen nicht alle Angaben vollständig im System erfasst wurden.

4.2. Implantat-Fälle

Bei der Analyse der Ergebnisse lag ein besonderer Fokus auf den CT-Fällen, welche eine Versorgung mit Zahnimplantaten aufwiesen. Folgende Daten wurden dabei aufgenommen:

- Anzahl der Implantate
- Prothetische Versorgung der Implantate
- Der prothetische Versorgungsgrad des gesamten Gebisses.

Diese Daten wurden innerhalb der Gruppe verglichen und im zeitlichen Kontext ausgewertet.

Auffällig ist hierbei, dass im untersuchten Zeitraum die Anzahl der CT-Fälle mit mindestens einem vorhandenen Implantat zunimmt.

Abbildung 14 stellt den Anstieg der Implantat-Fälle graphisch dar: Über eine binäre logistische Regression konnte eine große statistische Signifikanz bei einem P-Wert

von ($P=0,00000084442$) festgestellt werden. Es ist ein jährlicher Anstieg von durchschnittlich 11,6 % zu erkennen. Während im Jahr 2010 bei 4 Prozent der untersuchten CTs mindestens ein Zahn durch ein Implantat ersetzt wurde, liegt der prozentuale Anteil im Jahr 2019 bereits bei 10,9 Prozent.

Das Jahr 2014 unterbricht den festgestellten jährlichen Anstieg der Implantat-Fallzahlen und sticht durch den niedrigsten Wert der untersuchten Jahre mit nur 3,4 Prozent hervor. Im Vergleich zum Jahr 2010 ist das ein Rückgang von 0,6 Prozent. Diese Abweichung lässt sich mit der deutlich geringeren Zahl von vorhandenen CT Aufnahmen ($n=208$) erklären, wobei signifikant weniger CTs bei älteren Menschen angefertigt wurden.

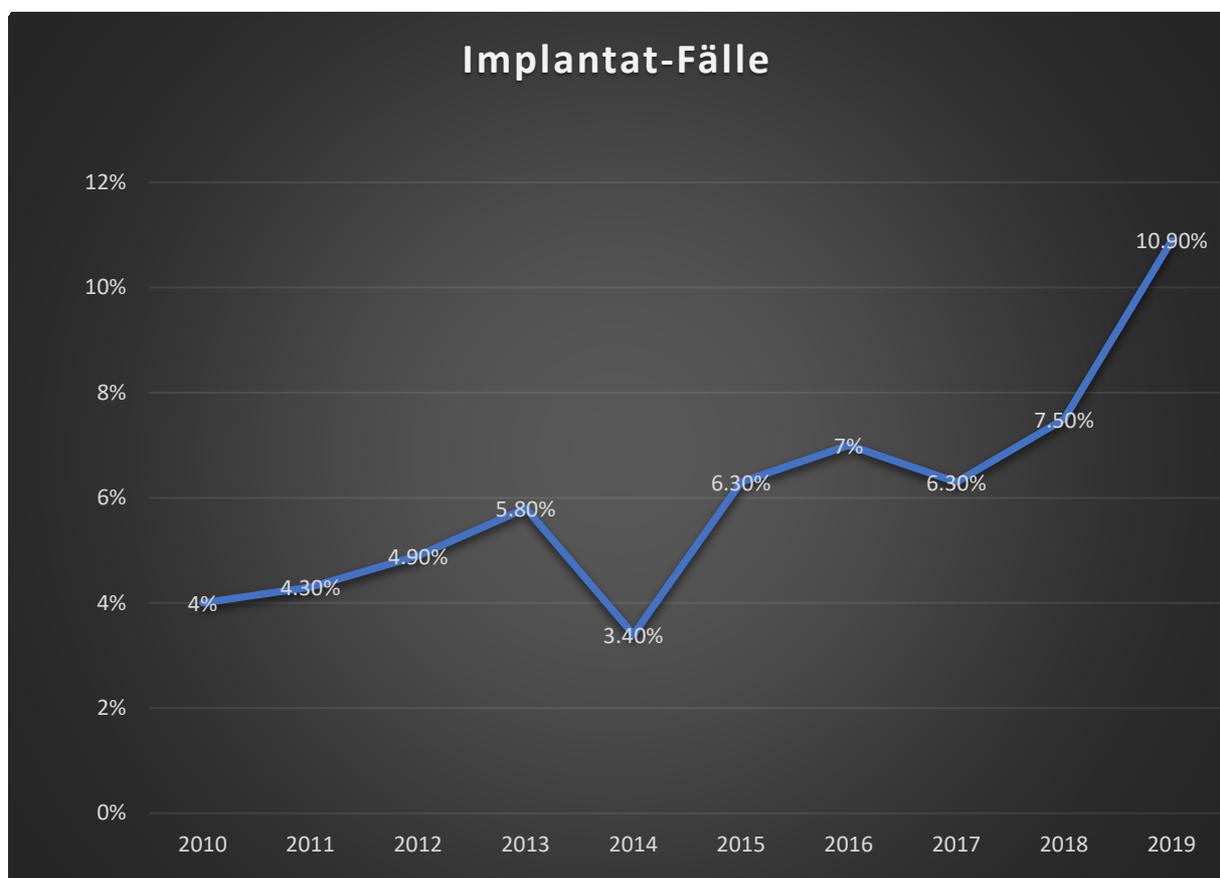


Abbildung 14 Implantat-Fälle in Prozent pro Jahr von 2010-2019

In Tabelle 3 werden für den Zeitraum von 2010 bis 2019 die Mittelwerte für die Zahl der Implantate pro Fall sowie die Anzahl der Implantate im Oberkiefer und im Unterkiefer aufgelistet. Dabei liegt die durchschnittliche Anzahl der Implantate pro Implantat-Fall im Mittel bei 3,16 Implantaten. Dabei befanden sich 1,64 Implantate im Unterkiefer und 1,54 Implantate im Oberkiefer.

Tabelle 3 Mittelwert der Implantat-Anzahl pro Implantat-Fall

Jahr	Anzahl pro Person mit mindestens einem Implantat (Mittelwert)	Anzahl OK (Mittelwert)	Anzahl UK (Mittelwert)
2010	3,5	1,44	2,11
2011	2,75	1,67	1,08
2012	2,69	1,23	1,46
2013	4,25	2,13	4,06
2014	3,57	1,14	2,43
2015	3,03	1,62	1,41
2016	3,19	1,52	1,58
2017	2,79	1,21	1,64
2018	3,38	1,61	1,75
2019	3,18	1,64	1,59
Gesamt	3,16	1,54	1,64

Bezüglich der Anzahl der Implantate pro Person ist es zu keinen statischen relevanten Veränderungen über den untersuchten Zeitraum von 2010 bis 2019 gekommen. Wie aus Abbildung 15 zu erkennen ist, bleibt die Anzahl der Implantate im oben genannten Zeitraum verhältnismäßig konstant.

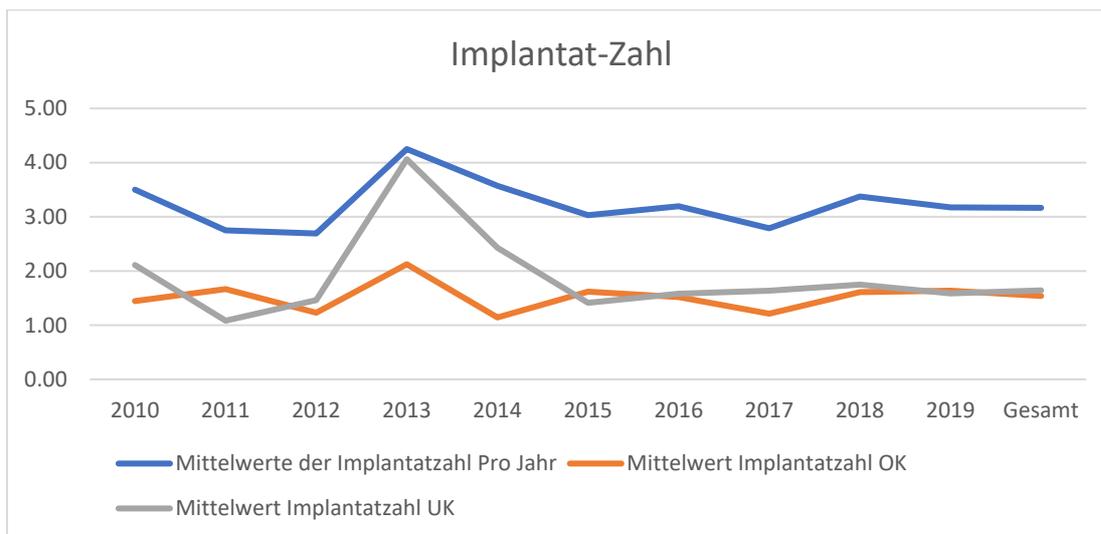


Abbildung 15 Implantat-Zahlen bei mit Implantaten versorgten Personen von 2010-2019

4.2.1. Periimplantitis

In Abbildung 16 wird die prozentuale Veränderung des periimplantären Knochenabbaus graphisch dargestellt. Wenn ein radiologisch diagnostizierbarer Knochenabbau von mindestens 3 mm bei mindestens einem Implantat festgestellt werden konnte, spricht man von der Periimplantitis. Wie aus Abbildung 16 ersichtlich wird, nimmt der Anteil der Fälle mit Knochenabbau im untersuchten Zeitraum ab. Auffällig ist, dass im Jahr 2011 kurzfristig eine stärkere Abweichung dieser Entwicklung vorliegt, hierbei sei jedoch zu erwähnen, dass im Jahr 2011 nur eine geringe Anzahl von n=12 Implantat-Fällen detektiert wurde. Somit kann die festgestellte Abweichung möglicherweise auf eine geringe absolute Fallzahl zurückgeführt werden.

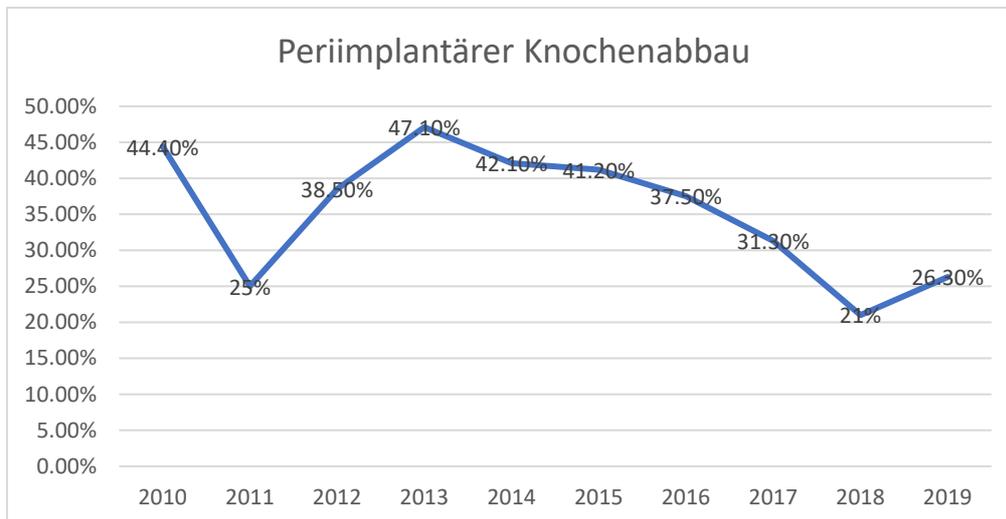


Abbildung 16 Prozentualer Anteil der Fälle mit einem radiologisch erkenntlichen Knochenabbau von 3mm und mehr

4.2.2. Prothetische Implantat-Versorgung

Bei der Art der prothetischen Versorgung der Implantate wird zwischen festsitzender Implantat-Versorgung, herausnehmbarer Implantat-Versorgung sowie mindestens einem prothetisch unversorgten Implantat differenziert. Graphisch wird die zeitliche Veränderung der Implantat-Versorgungsart in Abbildung 17 dargestellt.

Es ist keine statisch relevante Tendenz einer Veränderung zu erkennen.

Auffällig ist jedoch der Zeitraum von 2015 bis 2019, dieser zeigt einen Anstieg der festsitzenden Versorgungen in den Jahren 2017, 2018 und 2019. Hierbei ist jedoch

zu erwähnen, dass in dem oben genannten Zeitraum deutlich mehr CTs vorlagen und somit untersucht werden konnten.

Der Anteil des herausnehmbaren Zahnersatzes und der unversorgten Implantate zeigt jedoch keine derartigen Veränderungen auf.

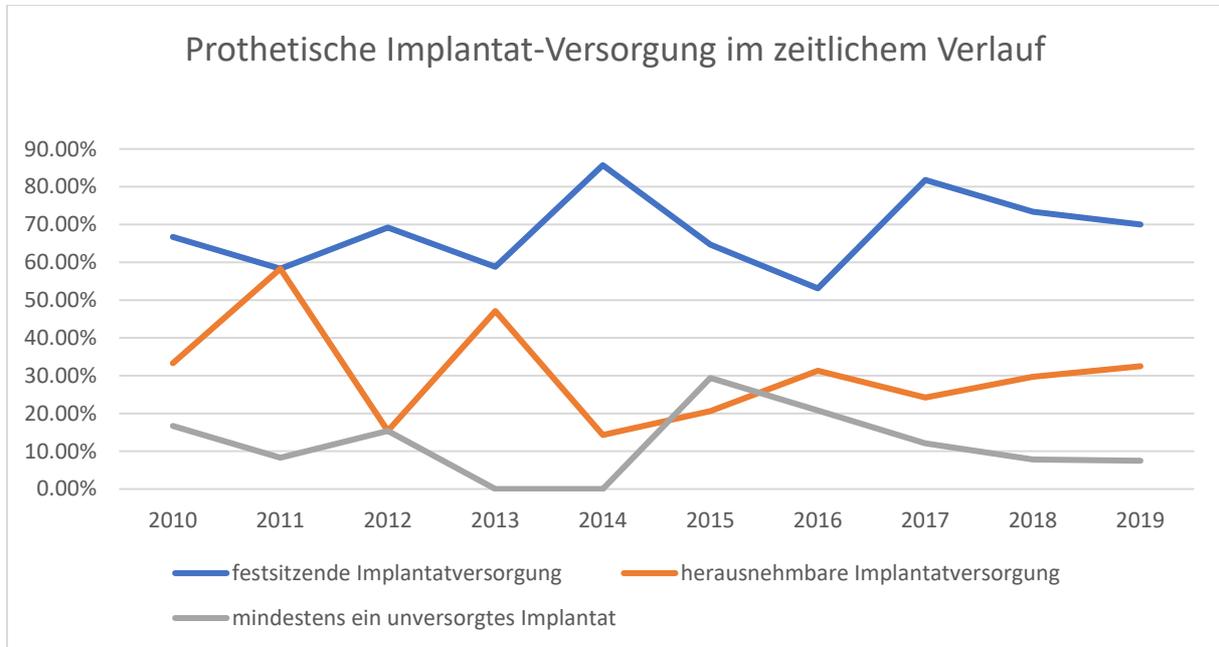


Abbildung 17 Prothetische Implantat-Versorgung von 2010-2019

Abbildung 18 gibt einen Überblick über die Implantat-Versorgungsart. Wie aus dem Diagramm ersichtlich wird, sind 57,1 Prozent mit feststehendem Zahnersatz, 24,5 Prozent mit herausnehmbarem Zahnersatz und 6,8 Prozent mit einer Kombination aus fest und herausnehmbaren Zahnersatz versorgt. Unversorgte Implantate wurden bei 8,3 Prozent entdeckt und bei 4,4 Prozent wurde mindestens ein unversorgtes Implantat neben versorgten Implantaten festgestellt.

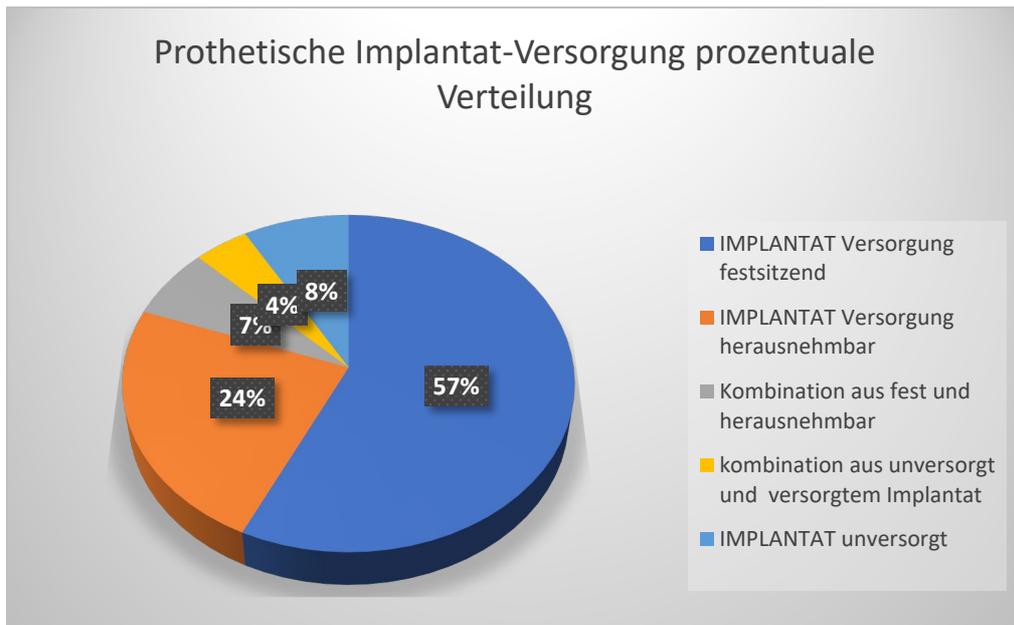


Abbildung 18 Implantat Versorgungen

Abbildung 19 fasst die prozentuale Verteilung der Implantat-Versorgungen aller CT-Fälle zusammen. Dabei wird folgende Unterteilung gewählt: festsitzend, herausnehmbar und unversorgte Implantate. Es gilt zu beachten, dass die Summe der Prozentzahlen mehr als 100 Prozent ergibt. Dies ist damit zu erklären, dass einige Fälle mehr als nur eine Art der Versorgung aufzeigen.

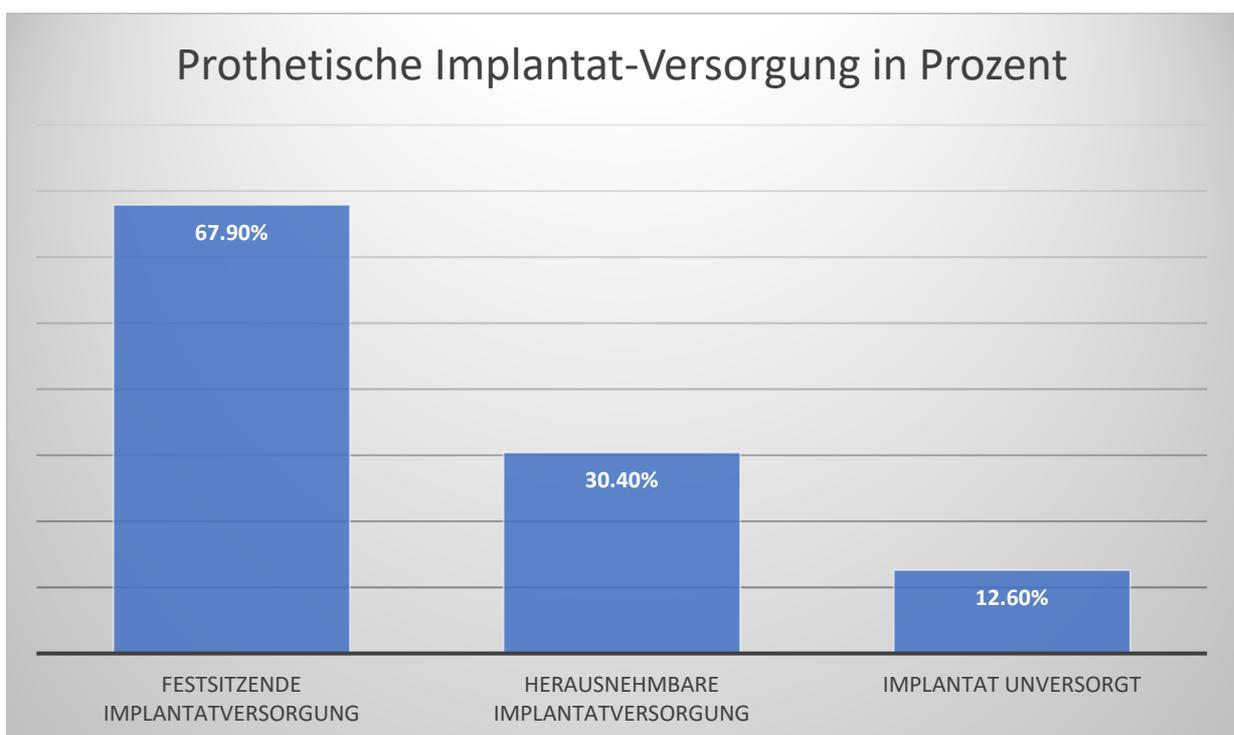


Abbildung 19 Prothetische Implantat-Versorgung in Prozent

4.2.3. Versorgung der Restbeziehung der Implantat-Fälle

Betrachtet man die Versorgung der nicht mit Implantaten versorgten Kieferabschnitte, der Restbeziehung, bei den Implantat-Fällen, so zeigt sich keine wesentliche Veränderung des Versorgungsgrades über den Zeitverlauf. Dies kann in Abbildung 20 und 21 optisch nachvollzogen werden. Abbildung 20 zeigt graphisch die Veränderung der Anzahl der unversorgten Lücken, der vollbezahlten Restbeziehung und der unbezahlten Restbeziehung im Zeitraum von 2010 bis 2019.

Die Ergebnisse aus Abbildung 20 zeigen eine statistische Signifikanz bei dem Vorhandensein von unversorgten Lücken auf.

Hierbei nimmt die Anzahl der Fälle mit unversorgten Lücken über den Zeitverlauf geringfügig ab. Jedoch zeigen sich große Schwankungen über die Jahre, sodass nicht von einer Tendenz gesprochen werden kann.

Ebenfalls mit einer statistischen Signifikanz, jedoch sehr großen Schwankungen verbunden ist die Entwicklung der Anzahl der Fälle mit vollbezahltem Restzahnbestand. Die Anzahl dieser Fälle nimmt über den Zeitverlauf etwas zu.

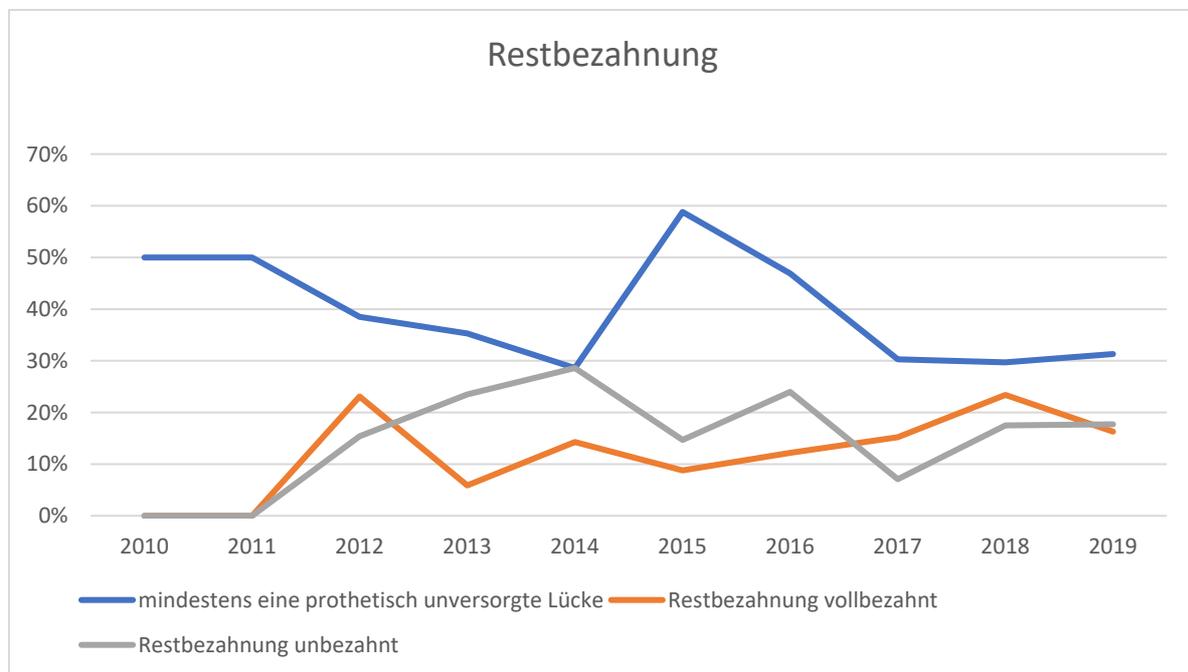


Abbildung 20 Bezahlung der nicht mit Implantaten versorgten Kieferabschnitte 2010-2019

Bei der zahnlosen Restbeziehung und der festen und herausnehmbaren Versorgung von Lücken der Restbeziehung ist keine Tendenz einer Änderung über den Zeitverlauf zu erkennen (vgl. Abbildung 20 und 21).

Abbildung 21 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Anzahl der herausnehmbaren und festsitzenden Versorgungen im Zeitraum von 2010 bis 2019.

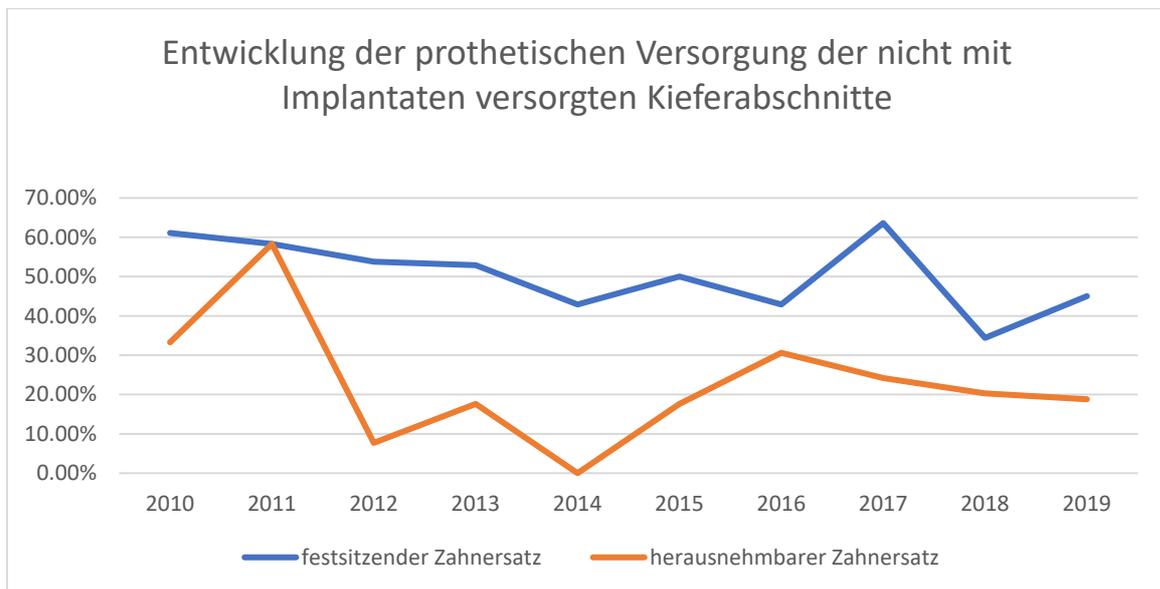


Abbildung 21 Versorgung der Kieferabschnitte ohne Implantat-Versorgungen 2010-2019

Abbildung 22 gibt einen Überblick über die prozentualen Verteilungen der Versorgungen von den nicht mit Implantaten versorgten Kieferabschnitten:

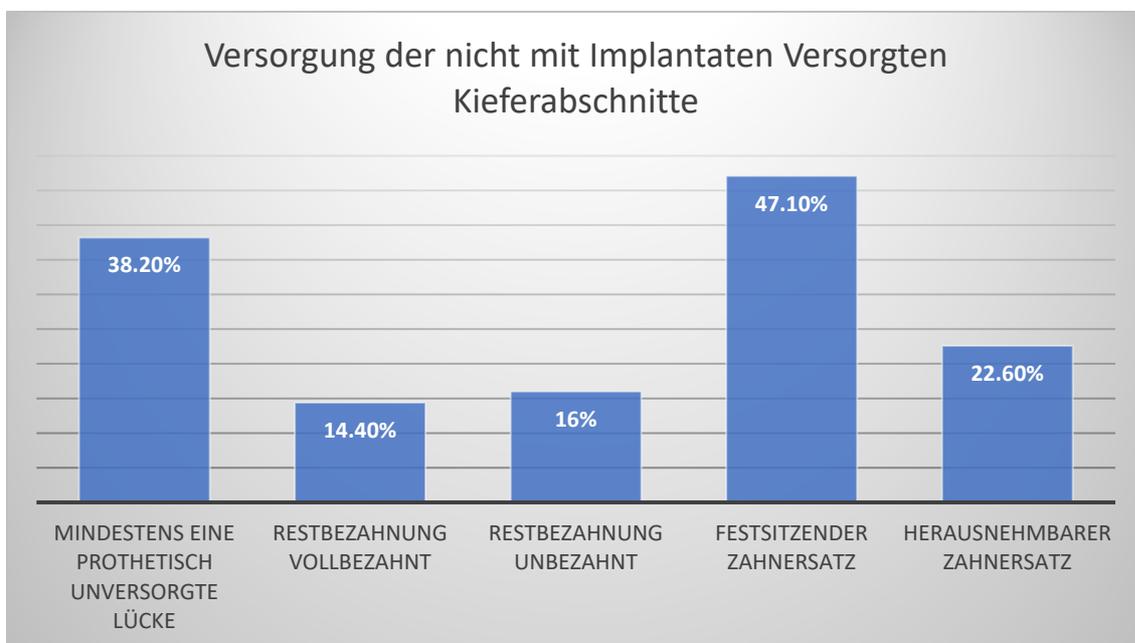


Abbildung 22 Analyse der nicht mit Implantaten versorgten Kieferabschnitte

Hierbei ist zu beachten, dass die Summe der Prozentzahlen mehr als 100 Prozent ergibt. Dies ist damit zu erklären, dass einige Fälle mehrere zutreffende Ergebnisse aufweisen.

Abbildung 23 zeigt die zeitliche Entwicklung der Karieshäufigkeit, der Häufigkeit von apikalen Parodontitiden sowie der Häufigkeit von röntgenologisch diagnostizierbarem durch Parodontitis bedingtem Knochenabbau. Bei der konservierenden Versorgung des Restzahnbestandes ist, über den betrachteten Zeitraum, keine Tendenz erkennlich.

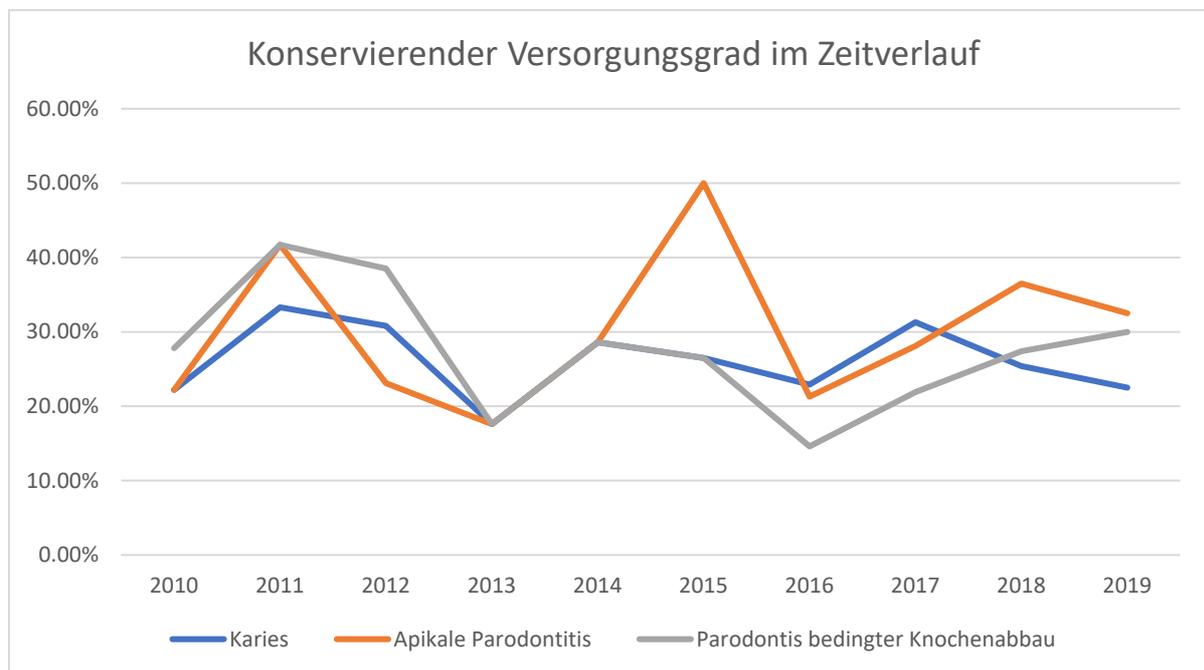


Abbildung 23 Konservierende Versorgung der Restbezaehnung im Zeitverlauf 2010-2019

Die prozentuale Verteilung der im CT diagnostizierten kariösen Läsionen, der apikalen Parodontitis sowie des durch Parodontitis bedingten Knochenabbaus wird in Abbildung 24 aufgezeigt:

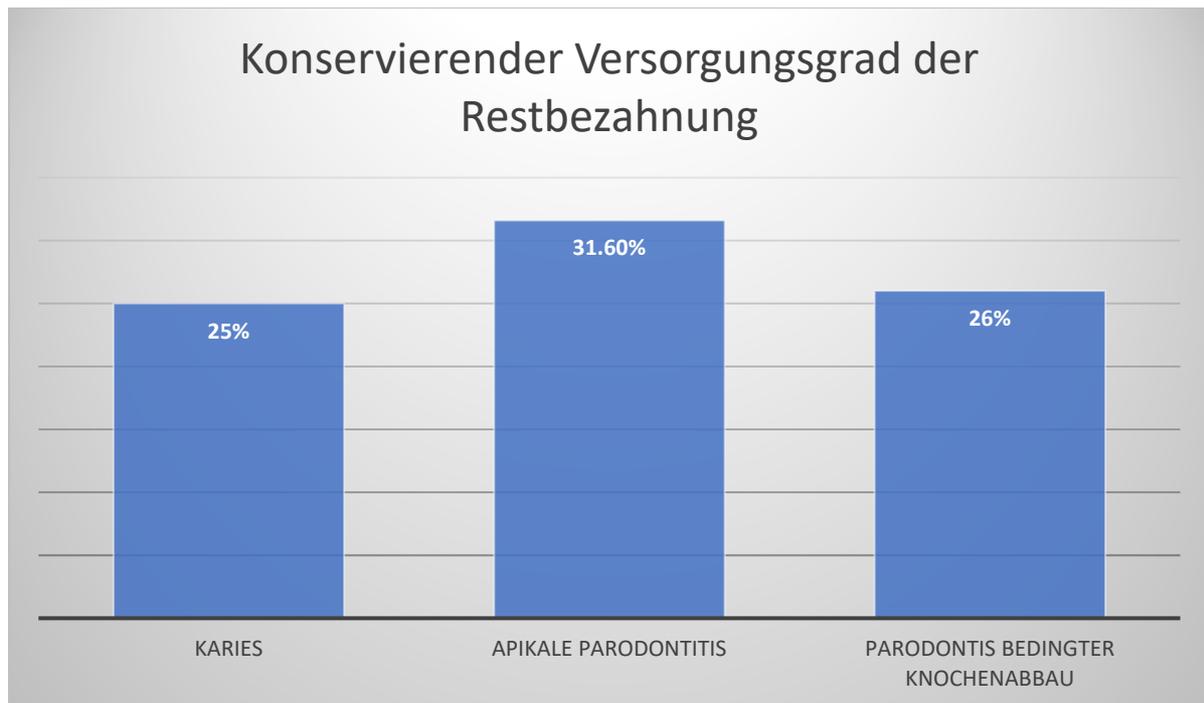


Abbildung 24 Konservierende Versorgung der Restbezaehnung aller Implantat-Fälle in Prozent

Die apikale Parodontitis ist mit 31,6 Prozent am häufigsten vertreten. Danach folgen ein durch Parodontitis bedingter Knochenabbau mit 26 Prozent und kariöse Läsionen mit 25 Prozent.

5. Diskussion

Dentale Implantate spielen eine herausragende Rolle in der prothetischen Versorgung zahnloser Kieferabschnitte. Dies gilt sowohl für festsitzende als auch herausnehmbare prothetische Restaurationen. Die vorliegende Arbeit analysiert die Entwicklung der Implantat-Versorgung der Bevölkerung in der letzten Dekade im norddeutschen Raum. Im Folgenden werden die erhobenen Ergebnisse im Kontext der aktuellen Literatur diskutiert.

In der vorliegenden Arbeit wird ein stetiger Anstieg von Patienten mit mindestens einem Implantat von durchschnittlich 11,6 Prozent jährlich beobachtet. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kamen Elani et al.. Diese untersuchten im Zeitraum von

1999 bis 2016 die Zunahme von Implantat-Versorgungen in Nord Amerika. So beschreiben Elani et al. in ihrer Studie einen durchschnittlichen Anstieg von Patienten mit einem Implantat von 14 Prozent pro Jahr (Elani, Starr et al. 2018).

Die Deutsche Mundgesundheitsstudie erhebt systematisch die Mundgesundheit in Deutschland. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen sich hierbei – aufgrund des Zeitraumes – besonders mit den Ergebnissen der fünften Mundgesundheitsstudie (DMS V) von 2016 vergleichen. Zur Auswertung von Veränderungen über den Zeitverlauf eignet sich das Heranziehen der vierten deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS IV) von 2006. Die Deutsche Mundgesundheitsstudie veröffentlichte Ergebnisse bezüglich der Versorgung mit Implantaten für die Altersgruppen von 35 bis 45, 65 bis 75 und 75 bis 100 Jahre. Dabei beobachtete die fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie im Vergleich zur DMS IV einen deutlichen Anstieg der Implant-Versorgungen in allen drei genannten Altersgruppen (Jordan und Micheelis 2016).

In der Altersgruppe von 35 bis 45 wurde bei 3,4 Prozent der untersuchten Patienten mindestens ein mit einem Implantat ersetzter Zahn festgestellt, während es in der vierten Deutschen Mundgesundheitsstudie im Jahr 2006 2 Prozent weniger Patienten mit einer Implantat-Versorgung waren (Jordan und Micheelis 2016).

Bei der DMS V wurde in der Altersgruppe von 65 bis 74 bei 8,1 Prozent der untersuchten Personen Implantate festgestellt. Im Jahr 2006 wurden nur 2,6 Prozent der untersuchten Patienten mit einem Implantat versorgt.

Die DMS V zeigte in der der Altersgruppe von 75-100 bei 8 Prozent der untersuchten Personen Implantate. In dieser Altersgruppe wurden 2006 noch keine Daten erhoben (Jordan und Micheelis 2016).

Damit untermauert die Mundgesundheitsstudie unsere Ergebnisse hinsichtlich des Anstiegs der mit Implantaten versorgten Patienten.

Diese Zunahme steht im Zusammenhang mit einer steigenden Zahl von Personen, welche über die Möglichkeit einer prothetischen Versorgung mittels dentalen Implantaten informiert sind (Narby, Kronström et al. 2008, Pommer, Zechner et al. 2011). Zudem ist auch der Wunsch nach hochwertigen Implantat-Versorgungen gestiegen (Narby, Kronström et al. 2008, Pommer, Zechner et al. 2011).

Schlussfolgernd führt eine bessere Information über Implantate sowie die steigende Akzeptanz für die prothetischen Versorgungen mit Hilfe von dentalen Implantaten zu steigenden Implantat-Zahlen.

Ein weiterer Grund für die Zunahme der dentalen Implantate über die Zeit könnte der Tatsache geschuldet sein, dass die Anzahl der implantologisch tätigen Zahnärzte gestiegen ist (Palti 2003). Denn so ist davon auszugehen, dass Zahnärzte, welche selber implantieren, eher Implantate zur Versorgung eines fehlenden Zahnes in Erwägung ziehen, als Zahnärzte die nicht selber implantologisch tätig sind.

Auch die Industrie beobachtet und fördert diesen stetig wachsenden Markt für Implantate und prognostiziert auch zukünftig einen weiteren Anstieg (Research 2021).

Die Überlebensraten der dentalen Implantate verbesserten sich über die Zeit deutlich (Knöfler 2019). Während Tetsch 1977 Misserfolgsraten von ca. 50 Prozent beschrieb (Tetsch 1977), liegt die 5 Jahres Überlebensrate von dentalen Implantaten heutzutage bei ca. 92 bis 96 Prozent (Charyeva, Altynbekov et al. 2012, Srinivasan, Meyer et al. 2017, Singh, Rao et al. 2019). Schlussfolgernd kann man daher davon ausgehen, dass durch die höhere Überlebensrate der neu gesetzten Implantate die Zahl der Implantate jährlich steigen wird.

Ein weiteres Ergebnis dieser Arbeit ist, dass es in der letzten Dekade bei der Anzahl der Implantate pro Implantat-Fall zu keiner statistisch relevanten Veränderung gekommen ist und die Zahl der Implantate pro Fall nahezu konstant blieb.

Diese Gegebenheit lässt sich damit erklären, dass heutzutage für die gleiche prothetische Restauration weniger Implantate verwendet werden. Nach aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen wird ab einer gewissen Zahl an dentalen Implantaten keine bessere Überlebensrate der prothetischen Versorgung erreicht, als bei einer Versorgung mit weniger Implantaten. Bestätigt wird dies durch eine Studie von Dautd Polido et al., welche zeigte, dass bei Implantat-Versorgungen von ganzen Kiefern keine bessere Überlebensrate von Implantaten und deren Versorgungen bei mehr als 5 Implantaten gegenüber weniger als 5 Implantaten erzielt werden konnte (Dautd Polido, Aghaloo et al. 2018). Grundsätzlich ist jedoch zu beachten, dass die genaue Anzahl der benötigten Implantate für eine prothetische Restauration sehr individuell und indikationsbezogen ist. Festzuhalten ist allerdings, dass heutzutage – im Gegensatz zu den frühen Jahren der Implantologie – nicht jeder fehlende Zahn

durch ein Implantat ersetzt wird, um eine Rehabilitation teilbezahnter oder zahnloser Patienten zu erreichen. Die Frage, ob es eine Indikation für mehr als 6 Implantate je Kiefer gibt, hält Heydecke für unbeantwortet (Heydecke, Zwahlen et al. 2012). Es wurden 14 Fälle mit mehr als 6 Implantaten je Kiefer gefunden. Diese Fälle würden heutzutage mit großer Wahrscheinlichkeit anders gelöst werden.

Die fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie beschreibt eine Abnahme der Anzahl der fehlenden Zähne (Jordan und Micheelis 2016). Setzt man dies in Kontext mit dem Ergebnis der vorliegenden Arbeit, wonach die Anzahl der Implantate in der letzten Dekade nahezu gleichblieb, so lässt sich daraus schlussfolgern, dass Implantate vermehrt zur Versorgung fehlender Zähne verwendet werden. Diese Annahme wird durch die Ergebnisse der Deutschen Mundgesundheitsstudie III, IV und V bestätigt. In allen drei Studien wird ein deutlicher Anstieg von Lückenversorgungen durch Implantate beschrieben (Jordan und Micheelis 2016).

Die Häufigkeit von Periimplantitis liegt in der vorliegenden Arbeit bei 31,9 Prozent. Dies stellt einen bedeutend höheren Anteil von Periimplantitis-Fällen dar, als in der hier nachfolgend aufgeführten und zum Vergleich herangezogenen Studie von Atieh et al. Atieh et al. beschreiben in ihrem Review eine durchschnittliche Häufigkeit von 18,8 Prozent von Periimplantitis-Fällen (Atieh, Alsabeeha et al. 2013). Dabei gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass die hier aufgeführte Vergleichsstudie bei der Definition der Periimplantitis ein anderes Kriterium aufweist als in der vorliegenden Arbeit. Während Atieh die Periimplantitis als radiologisch diagnostizierbaren Knochenabbau von 2mm beschreibt, wird in der vorliegenden Arbeit ein Knochenabbau von 3mm und größer als Periimplantitis bewertet. Das bedeutet schlussfolgernd, dass der prozentuale Anteil von Periimplantitis-Fällen in der vorliegenden Arbeit wesentlich höher wäre bei gleichgewählter Definition der Periimplantitis wie in der Vergleichsstudie von Atieh et al. Der höhere Anteil der Periimplantitis-Fälle in der vorliegenden Untersuchung im Vergleich zu Periimplantitis-Vergleichsstudien lässt sich damit begründen, dass die Untersuchungsgruppe für die vorliegende Arbeit zum Zeitpunkt des Todes untersucht wurde und daher im Durchschnitt älter ist als in den Periimplantitis-Vergleichsstudien. Grundsätzlich ist als Besonderheit der vorliegenden Arbeit zu erwähnen, dass die Untersuchungsgruppe zu einem erheblichen Anteil aus einer Patientengruppe besteht, welche in anderen Studien nicht vorkommen würden. Dies ist darauf zurückzuführen,

dass ein großer Teil der Probanden sich aufgrund hohen Alters und/oder schwerer Erkrankungen vor ihrem Tod nicht mehr in zahnärztlicher Betreuung befanden.

Risikofaktoren für eine Periimplantitis stellen dar: Hohes Alter, männliches Geschlecht, eine Vorgeschichte mit Parodontitis, fehlende Prophylaxe, eine schlechte Mundhygiene sowie Erkrankungen wie Diabetes und Osteoporose (Dreyer, Grischke et al. 2018). Die hier untersuchte Gruppe der Verstorbenen zeigt demnach unterschiedliche Risikofaktoren der Periimplantitis auf: Höheres Durchschnittsalter als in Vergleichsstudien, die Mehrheit der Untersuchten ist mit 63,8 Prozent männlichen Geschlechtes und zusätzlich ist anzunehmen, dass bei den Verstorbenen häufiger Erkrankungen wie Diabetes und Osteoporose anzutreffen sind. Diese Annahme kann damit erklärt werden, dass mit höherem Alter das Auftreten systemischer Erkrankungen steigt. Unabhängig von diesen speziellen Eigenschaften der untersuchten Gruppe kann die deutlich höhere Rate an Periimplantitis auf eine schlechtere orale Hygiene und Prophylaxe bei Menschen an ihrem Lebensabend schließen lassen. Studien zeigen, dass ältere und pflegebedürftige Menschen zahnärztlich schlechter versorgt und betreut werden (Schmitt 2015, Delwel, Binnekade et al. 2018, Lauritano, Moreo et al. 2019). Bereits 2011 kam Saal im Institut für Rechtsmedizin zu der Schlussfolgerung, dass der prothetische Versorgungszustand sich mit zunehmendem Alter deutlich verschlechtert (Saal 2010).

Auch wenn der Anteil der Periimplantitis-Fälle auf Grund der oben genannten Faktoren in der vorliegenden Arbeit deutlich höher als in den Vergleichsstudien ausfällt, so zeigt sich ein genereller Rückgang der Fälle mit periimplantären Knochenabbau in der letzten Dekade.

Ein möglicher Erklärungsansatz für dieses Phänomen ist ein größer werdendes Interesse an der Eindämmung der Periimplantitis von Implantat-Herstellern, der Wissenschaft und den behandelnden Zahnärzten. Die Kenntnis der Periimplantitis-Risikofaktoren führt zu einer Selektion der Patienten und beeinflusst damit die Indikationsstellung einer Implantat-Versorgung – folglich könnte auch dies eine Erklärung für den beobachteten Rückgang sein. Ein weiterer Grund für die Reduktion könnte eine verbesserte Aufklärung des Mundgesundheitsverhaltens sowie eine gestiegene Akzeptanz von Prophylaxe-Behandlungen in der Zahnarztpraxis darstellen. Außerdem könnten auch Modifikationen der Implantate eine Bedeutung hinsichtlich der Anfälligkeit von Periimplantitis aufweisen. Speziell verbesserte Implantat-Oberflächen, welche eine geringere Plaqueaffinität aufweisen, könnten

dies erklären. Für eine Bestätigung der letztgenannten Hypothese gibt es jedoch zu wenig Daten von Studien und keine welche den Einfluss der Implantat-Oberfläche belegen (Renvert, Polyzois et al. 2011). Diese Annahmen bezüglich eines Rückganges der Periimplantitis sollten wissenschaftlich weiter untersucht werden. Aus den Ergebnissen dieser Studie ist die Tendenz nicht eindeutig genug um hieraus weitere Erkenntnisse fundiert abzuleiten.

Die hier vorgelegten Auswertungen zeigen eine geringfügige Zunahme der festsitzenden Versorgungen im Zeitraum von 2015 bis 2019. Dieser Effekt ist jedoch so geringfügig, sodass dem keine statistische Relevanz zugeordnet werden kann. Ebenso lässt sich ein Anstieg der festsitzenden prothetischen Versorgungen auf Implantaten statistisch nicht bestätigen. Gleichzeitig bleibt die Zahl der Patienten, welche mit herausnehmbaren Zahnersatz versorgt sind, im untersuchten Zeitraum konstant.

Berücksichtigt man das Durchschnittsalter von 71,48 Jahren bei den Implantat-Trägern, ergibt sich eine vergleichbare Verteilung der prothetischen Versorgung der Implantate mit der fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie (57,1% festsitzender ZE, 23,5 herausnehmbarer ZE, 6,8 Prozent kombinierter ZE, 12,6 % unversorgte Implantate). Bei der fünften deutschen Mundgesundheitsstudie wurde die Versorgungsverteilung der Implantate ebenfalls dokumentiert, wobei indes keine unversorgten Implantate dokumentiert wurden. In der Gruppe von 35- bis 45-Jährigen wurde bei 91 Prozent ein festsitzender Zahnersatz und bei 9 Prozent herausnehmbarer Zahnersatz festgestellt. In der Gruppe von 65 bis 74 bei 82 Prozent festsitzend und bei 14,6 Prozent herausnehmbar und bei 2,4 Prozent kombiniert fest und herausnehmbar. In der Gruppe von 75 bis 100 sind 53,75 Prozent festsitzend versorgt, 42,5 Prozent herausnehmbar versorgt und 3,75 Prozent kombiniert versorgt.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit zeigen die Ergebnisse über den Zeitraum von 2010 bis 2019 hinsichtlich der Versorgung der nicht mit Implantaten versorgten Kieferabschnitte keine statistisch signifikante Veränderung.

Jedoch zeigt sich eine signifikante Abnahme der Anzahl der unversorgten Lücken. Die Fünfte deutsche Mundgesundheitsstudie beobachtete hingegen in ihren Untersuchungen einen Anstieg an unversorgten Lücken und begründet dies mit

einem Rückgang der herausnehmbaren Versorgungen (Jordan und Micheelis 2016). Konträr dazu zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit keinen Rückgang der herausnehmbaren prothetischen Versorgungen. Ein möglicher Erklärungsansatz hierfür könnte die in der vorliegenden Arbeit betrachtete Patientengruppe liefern. Für die vorliegende Untersuchung werden ausschließlich mit Implantaten versorgte Personen betrachtet, während in der DMS V die allgemeine Bevölkerung betrachtet wurde (Jordan und Micheelis 2016). Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass Patienten, welche mit Implantaten verankerte prothetische Restaurationen vorweisen, im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung einen besseren zahnmedizinischen/prothetischen Versorgungsgrad aufweisen. Es zeigte sich, dass der Sozialstatus eine große Rolle bei der Häufigkeit von dentalen Implantaten spielt (Jordan und Micheelis 2016). Die zahnärztliche Versorgung von sozial besser gestellten Schichten in Deutschland ist deutlich besser als bei sozial schwachen Bevölkerungsschichten (Konrad Alexander Leonhardt 2019).

Dies ermöglicht eine Erklärung der – im vorherigen Abschnitt thematisierten – abweichenden Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zu denen der DMS V.

Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung aufgezeigte Abnahme der unversorgten Lücken lässt sich nicht mit einem Anstieg der Implantat-Versorgungen begründen, da die Anzahl der Implantate pro Implantat-Versorgung in der letzten Dekade nahezu konstant geblieben ist.

Vielmehr ist davon auszugehen, dass weniger Zähne verloren gegangen sind.

Untermauert wird diese Annahme durch die Beobachtung der vorliegenden Studie: Im untersuchten Zeitraum ist ein Anstieg der vollbezahnten nicht mit Implantaten versorgten Kieferabschnitte feststellbar.

Diese Beobachtung wird von der DMS V bestätigt. So stellt die fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie fest, dass sich die Anzahl der verloren gegangenen Zähne im Vergleich zu den vorherigen Deutschen Mundgesundheitsstudien reduzierte (Jordan und Micheelis 2016). In der Altersgruppe von 65 bis 74 ging die Anzahl der extrahierten Zähne von 2005 bis 2016 von 17,6 Prozent auf 14,1 Prozent zurück (Jordan und Micheelis 2016).

Es lässt sich somit schlussfolgern, dass bei einer sinkenden Zahl extrahierter Zähne und einer gleichbleibenden Zahl von Implantaten der Anteil von Implantat-Versorgungen für fehlende Zähne zugenommen haben muss.

Diese Schlussfolgerung wird durch die DMS III, IV und V bestätigt. Alle drei Studien zeigen einen deutlichen Anstieg an (dem prozentualen Anteil von) Lückenversorgungen durch Implantate (Jordan und Micheelis 2016).

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit geht hervor, dass die Kariesprävalenz, die Häufigkeit einer apikalen Parodontitis und die Häufigkeit von parodontal bedingtem Knochenabbau keine signifikante Veränderung im Zeitraum von 2015 bis 2019 aufzeigen.

Die Ergebnisse der DMS V zeigen eine Zunahme der Anzahl der Zähne pro Patient (Jordan und Micheelis 2016). Setzt man nun das Ergebnis der vorliegenden Arbeit (gleichbleibende Kariesprävalenz) mit dem Ergebnis der DMS V (der Zunahme der Anzahl der Zähne) in Relation, würde dies einem Rückgang der Karies gleichzusetzen sein.

Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit hinsichtlich der Kariesprävalenz eingeschränkt aussagekräftig sind, da sich ein CT sehr bedingt zur Kariesdiagnostik eignet. Grund hierfür ist, dass sich mittels eines CCTs nur besonders große kariöse Läsionen detektieren lassen. Damit ist ein Vergleich der Ergebnisse hinsichtlich der Kariesprävalenz nur eingeschränkt mit anderen Studien möglich.

Eine Auswertung der Korrelation des Alters mit den erhobenen Variablen ergab vergleichbare Ergebnisse mit der fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie. Die Auswertung der CT Befunde zeigte ebenso wie die Ergebnisse der DMS V, dass mit zunehmendem Alter die Häufigkeit einer Implantat-Versorgung steigt und dass die Anzahl der herausnehmbaren Implantat-Versorgungen mit zunehmendem Alter zunimmt (Jordan und Micheelis 2016).

Im Jahre 2010 erfasste die Studie von Saal im Institut für Rechtsmedizin den zahnärztliche Versorgungsgrad von Verstorbenen. Im Rahmen der Studie wurde hierbei auch die Versorgung mittels Implantaten dokumentiert (Saal 2010).

Es wurden bei 1,31 Prozent der untersuchten Verstorbenen Implantate detektiert. Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem Ergebnis der CT Falldaten aus dem Jahr 2010, so konnten wir in 4 Prozent der Fälle mindestens ein Implantat feststellen. Die Diskrepanz der beiden Studienergebnisse lässt sich auf die deutlich verlässlichere

Methode im CT ein Implantat zu erkennen, zurückführen. Im Gegensatz hierzu ist die Detektion von Implantaten auf Grund der Sichtverhältnisse und Zersetzungszustände der Verstorbenen im Rahmen der Leichenschau deutlich erschwert. Somit ist ein Vergleich der Ergebnisse nur bedingt möglich.

Im Rahmen seiner Studie prognostizierte Saal eine steigende Anzahl von Implantaten in der Zukunft. Diese Prognose wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit bestätigt. Es zeigt sich im untersuchten Zeitraum (2010 bis 2019) ein statistisch signifikanter Anstieg der Implantat Fallzahlen.

Die Studie von Saal kam zu dem Ergebnis, dass sich der prothetische Versorgungszustand mit zunehmendem Alter deutlich verschlechtert (Saal 2010). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit lässt sich dieses Ergebnis jedoch nicht bestätigen. Ein Grund hierfür könnte in der Differenz der Untersuchungsgruppen liegen. Während in der in der vorliegenden Arbeit ausschließlich mit Implantat versorgte Verstorbene und CTs untersucht wurden, untersuchte Saal alle Verstorbenen, welche sich im Institut für Rechtsmedizin im Zeitraum von August bis Dezember 2008 zur Leichenschau befanden. Damit wurden für die vorliegende Arbeit - anders als in der Vergleichsstudie von Saal - eine privilegiertere Gruppe/soziale Schicht untersucht. Denn es wird angenommen, dass die Gruppe der Implantat-Träger einer privilegierteren Schicht angehört als der Durchschnittsverstorbene (Elani, Starr et al. 2018) und diese daher eine bessere Pflege und Betreuung in den letzten Lebensjahren erfuhren. Diese Gegebenheit könnte somit ein möglicher Erklärungsansatz für die voneinander abweichenden Ergebnisse sein.

Problematisch scheint weiterhin die schlechte zahnärztliche Versorgung älterer Menschen – besonders in Pflegeheimen (Schmitt 2015).

Die Studie von Becker konnte zeigen, dass Implantate eine äußerst gute Prognose bei älteren Menschen aufweisen und mit einem sehr hohen Grad an Lebensqualität verbunden sind (Becker, Hujoel et al. 2016).

Folglich könnten Implantate zu einem besseren zahnärztlichem Versorgungsgrad bei älteren Menschen beitragen.

5.1. Implantat vor Abschluss des Wachstums

Bei der Untersuchung der CTs ist ein Fall besonders hervorstechend: Dort zeigte sich im CT ein deutlich infrapositioniertes Implantat (vgl. Abbildung 25). Die Infraposition deutet auf eine Implantatinserterion im jugendlichen Alter hin, welche damit zu erklären ist, dass dentale Implantate ankylotisch in den Knochen einheilen. Ebenso wie ankylosierte Zähne folgen Zahnimplantate, welche im jugendlichen Alter und somit in der Wachstumsphase inseriert werden, nicht dem Alveolarfortsatzwachstum. Die daraus resultierende Infraposition hat einerseits eine zu kurze klinische Krone zur Folge, andererseits kann eine starke Infraposition auch zu Attachmentverlust und Knochenabbau am Nachbarzahn führen (Terheyden 2018). Diese genannten Gründe führten zu der Empfehlung, erst nach Abschluss des Wachstums zu implantieren (Schlegel, Schultze-Mosgau et al. 2002). Demgegenüber gibt es Einzelmeinungen, welche eine frühe Implantation nach traumatischem Zahnverlust oder bei Nichtanlagen befürworten. Die daraus resultierende Infraposition soll später prothetisch korrigiert werden. Laut Terheyden hängt der Umfang der Korrektur von der Implantat-Position und dem Alter ab (Terheyden 2018). Terheyden stellte in seiner Studie 2018 fest, dass die Implantat-Überlebensraten bei Kindern bei nur 74 Prozent liegen, bei 12 bis 18-jährigen bei 93 Prozent und bei 18 bis 31-jährigen bei 97,4 Prozent (Terheyden 2018).



Abbildung 25 CT der 17-Jährigen mit einem deutlich infrapositioniertem Implantat 36

5.2. Identifizierung unbekannter Toter

Zur Identifizierung unbekannter Toter können Implantate aufgrund der nachfolgend genannten Eigenschaften eine wichtige Rolle spielen. So weisen Implantate zum einen aufgrund unterschiedlicher Hersteller, Längen, Breiten und Formen einen sehr individuellen Charakter auf, zum anderen können dentale Implantate aus Titan bei verbrannten Leichen aufgrund des hohen Schmelzpunktes von ca. 1600° C die einzigen vollständig erhaltenen Überreste darstellen (Berketa, Hirsch et al. 2010). Sollten insbesondere mehrere Implantate im Kiefer eines Verstorbenen aufgefunden werden, ergibt sich ein äußerst individuelles Bild. Um aus dieser Information jedoch auch einen Mehrwert gewinnen zu können, ist weiterhin eine Identifikation der Implantat-Eigenschaften bei den Leichen erforderlich. Dies kann einerseits über Röntgenbilder sowie den Abgleich mit Implantat-Datenbanken erfolgen (Michelinakis, Sharrock et al. 2006, Berketa, Hirsch et al. 2010) oder andererseits über die Entnahme des Implantates (Berketa, Hirsch et al. 2010). Die Bestimmung der Implantate über ein Röntgenbild wurde in dieser Studie durchgeführt, wobei sich die Problematik aufzeigte, dass keine online Implantat-Datenbank Vollständigkeit erreicht und es somit nicht möglich ist, jedes Implantat-System zu bestimmen.

Dahingegen ist durch die Entnahme der Implantate eine genaue Bestimmung der Länge und Durchmesser möglich. Eine solche Bestimmung kann ebenfalls über CT-Aufnahmen erfolgen, da diese verhältnismäßig dimensionsgetreu sind (Kruse 2008). Da sowohl postmortale Röntgen- als auch CT-Aufnahmen in der Rechtsmedizin standartmäßig durchgeführt werden, wäre es denkbar, diese Daten vermehrt zu nutzen, um durch das Instrument der Implantate Leichen besser identifizieren zu können.

Im Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf wurde im Jahr 2019 anhand eines Falles erfolgreich die Identifikation eines Verstorbenen auf die oben genannte Weise durchgeführt und veröffentlicht (Mansour, Spherhake et al. 2019).

Berketa stellte allerdings fest, dass Implantate bisher bei der Feststellung der Identität nur eine untergeordnete Rolle spielen, da Informationen des Implantat-

Herstellers, des Implantat-Types, der Länge und Breite häufig nicht zur Verfügung stehen (Berketa, Hirsch et al. 2010).

6. Fazit

Es zeigt sich, dass mithilfe der retrospektiven Auswertung aller cranialen Computertomographien, welche im Institut für Rechtsmedizin im Zeitraum vom Januar 2010 bis zum Dezember 2019 erstellt wurden, und der zahnärztlichen Untersuchung von Verstorbenen im Zeitraum von April 2020 bis September 2020 im Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, ein stetiger Anstieg der Zahl der Menschen die mit Implantaten versorgt sind, festzustellen ist.

So zeigt sich, dass insbesondere eine Verbesserung und Weiterentwicklung der Implantologie es ermöglicht die Implantologie als vorhersagbare und hochwertige Methode zum Ersetzen fehlender Zähne zu etablieren. Dies kann in Zukunft dazu beitragen den zahnärztlichen Versorgungsgrad der Gesellschaft zu erhöhen. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine gute zahnärztliche Vorsorge und ein regelmäßiger Recall. Insbesondere bei Implantat-Patienten ist dies zwingend erforderlich.

Auch wenn durch die vorliegende Arbeit ein genereller Rückgang der Periimplantitis festgestellt werden konnte, zeigte sich bei der untersuchten Patientengruppe im Vergleich zu anderen Studien ein deutlich höherer Anteil von Periimplantitis-Fällen. Es ist daher davon auszugehen, dass eine deutlich schlechtere Unterstützung bezüglich der Mundhygiene und der zahnärztlichen Versorgung vorgelegen haben muss. Aus diesem Grund ist es von Bedeutung, dass Maßnahmen ergriffen werden, um insbesondere älteren und morbidem Menschen Unterstützung hinsichtlich der Mundhygiene zu geben. Somit wird deutlich, dass die Untersuchung des zahnmedizinischen Versorgungsstandes von Verstorbenen nicht nur statistisch relevante Tendenzen und Veränderung bezüglich der prothetischen Versorgungen aufzeigt, sondern auch Verbesserungsmöglichkeiten für die Zukunft darlegt. Zudem zeigt die vorliegende Arbeit, dass Implantate in Zukunft als ein zusätzliches Instrument zur Identifizierung unbekannter Toter genutzt werden können.

7. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde retrospektiv auf der Grundlage aller CT Aufnahmen, welche im Institut für Rechtsmedizin im Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf im Zeitraum von 2010 bis 2019 erstellt wurden, untersucht, wie sich die Anzahl sowie der Versorgungsgrad von Menschen mit dentalen Implantaten veränderte. Hierfür wurden für den oben genannten Zeitraum n= 4817 CT Daten begutachtet, welche auch die Grundlage dieser Arbeit bilden. Es wurden 327 mit Implantaten versorgte Personen detektiert. Bei den Implantat-Fällen wurde die Zahl und Position der Implantate, die prothetische Versorgung der Implantate, die prothetische Versorgung der nicht mit Implantaten versorgten Kieferabschnitte sowie röntgenologisch diagnostizierbare pathologische Zustände wie Karies, Parodontitis, apikale Ostitis und Periimplantitis erfasst.

Daneben wurden im Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf im Zeitrahmen von April 2020 bis September 2020 1206 Verstorbene nach dem Vorhandensein von dentalen Implantaten untersucht. Einigen Verstorbenen wurden Kiefersegmente mit enthaltenen Zahnimplantaten herausgetrennt und im Institut für Osteologie und Biomechanik zu Schliffpräparaten aufbereitet. Anhand von online Implantat-Datenbanken wurden die Implantat-Hersteller und der Implantat-Typ ermittelt. Mit diesen Daten soll in einer Folgestudie die Osseointegration der Implantate untersucht werden.

Das Durchschnittsalter der Implantat-Fälle liegt bei 71,48 Jahren. Die Geschlechtsverteilung bei den Implantat-Fällen liegt bei 41,1 Prozent Frauen und 58,6 Prozent Männer. Im untersuchten Zeitraum nimmt die Anzahl der CT-Fälle mit mindestens einem vorhandenen Implantat zu, es ist ein jährlicher Anstieg von 11,6 Prozent zu erkennen. Während im Jahr 2010 bei 4 Prozent der untersuchten CTs mindestens ein Zahn durch ein Implantat ersetzt wurde, liegt der prozentuale Anteil 2019 bereits bei 10,9 Prozent. Im Hinblick auf die Anzahl der Implantate pro Person ist es zu keinen statistisch relevanten Veränderungen im betrachteten Zeitrahmen von 2010 bis 2019 gekommen

Im Hinblick auf die Häufigkeit der Periimplantitis zeigt sich eine Abnahme der Fälle mit Periimplantitis im untersuchten Zeitraum. Auch wenn durch die vorliegende Arbeit ein genereller Rückgang der Periimplantitis festgestellt werden konnte, zeigte sich bei der untersuchten Patientengruppe im Vergleich zu anderen Studien ein deutlich höherer Anteil von Periimplantitis-Fällen.

Hinsichtlich der Form der prothetischen Versorgung der Implantate konnte über den Zeitverlauf keine statistisch relevante Veränderung festgestellt werden.

Betrachtet man die Versorgung der nicht mit Implantaten versorgten Kieferabschnitte bei den Implantat-Fällen, so zeigt sich ebenfalls keine wesentliche Veränderung des Versorgungsgrades über den Zeitverlauf. Allerdings nimmt Anzahl der Fälle mit unversorgten Lücken über den betrachteten Zeitverlauf geringfügig ab, während die Anzahl der Fälle mit vollbezahntem Restzahnbestand eine Zunahme aufweist. Bei der Betrachtung der zahnlosen Restbezaehlung und der festen und herausnehmbaren Versorgung von Lücken der Restbezaehlung lässt sich hingegen keine Änderung über den Zeitverlauf feststellen.

Zusammenfassend zeugen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit von einem stetigen Anstieg solcher Patienten, welche mit dentalen Implantaten prothetisch versorgt worden sind - eine Erkenntnis, welche mit anderen wissenschaftlichen Arbeiten zu dieser oder einer ähnlichen Thematik übereinstimmt.

8. Summary

The present dissertation examined the state of prosthetic restoration with implants based on CT images of the Institute for Forensic Medicine at the University Clinic Hamburg Eppendorf. For this purpose, n = 4817 CT data were assessed during the period of 2010 to 2019 forming the basis of this work. 327 people provided with implants were detected. It was examined how the number of people fitted with dental implants has changed. For all implant cases the following aspects were recorded: the number and position of the implants, the prosthetic restoration of the implants, the prosthetic restoration of the jaw sections not provided with implants as well as the

pathological conditions being able to be diagnosed radiologically, such as caries, periodontitis, apical osteitis and peri-implantitis.

At the Institute for Forensic Medicine at the University Medical Center Hamburg-Eppendorf 1206 deceased were examined for the presence of dental implants between April 2020 and September 2020. Jaw segments containing dental implants were removed from some of the deceased and prepared for microsection at the Institute for Osteology and Biomechanics. The implant manufacturer and the implant type were determined using online implant databases. In a follow-up study the osseointegration of the implants will be examined.

For the implant cases the average age is 71.48 years. The gender distribution in implant cases is 41.1 percent female and 58.6 percent male. In the period examined the number of CT cases with at least one existing implant increased. An annual increase of 11.6 percent can be recognized. In four percent of the CTs examined in 2010 at least one tooth was replaced by an implant.

The number of CTs with at least one tooth being replaced by an implant increased up to 10,9 percent in 2019.

Regarding the number of implants per implant case no statistically relevant changes were seen in the reviewed period of 2010 to 2019.

A decrease in the number of cases with peri-implantitis in the investigated period was detected. Even if the present work showed a general decrease in peri-implantitis a significantly higher proportion of peri-implantitis cases was found in the group of patients being examined in comparison to other studies.

A significant change in the type of dental restoration of the implants over time was not detected.

For the jaw sections not provided with implants no significant change in the degree of dental prosthetic restoration was analyzed. However, the number of cases with dental gaps without prosthetic restoration decreased slightly over the course of time.

The number of cases with fully dentate remaining teeth increased. There were no changes recorded for the number of edentulous jaws, fixed denture, and removable denture.

In summary, the results of the present work show a steady increase in patients who are prosthetically restored with dental implants – this result matches with other scientific papers having dealt with a similar topic.

9. Literaturverzeichnis

Alghamdi, H. S. und J. A. Jansen (2020). "The development and future of dental implants." *Dent. Mater.* 39(2): 167-172.

Atieh, M. A., N. H. Alsabeeha, C. M. Faggion Jr und W. J. Duncan (2013). "The frequency of peri-implant diseases: a systematic review and meta-analysis." *J. Periodontol* 84(11): 1586-1598.

Becker, W., P. Hujoel, B. E. Becker und P. Wohrle (2016). "Dental implants in an aged population: Evaluation of periodontal health, bone loss, implant survival, and quality of life." *Clin. Implant Dent. Relat. Res.* 18(3): 473-479.

Berglundh, T., G. Armitage, M. G. Araujo, G. Avila-Ortiz, J. Blanco, P. M. Camargo, S. Chen, D. Cochran, J. Derks, E. Figuero, C. H. F. Hämmerle, L. J. A. Heitz-Mayfield, G. Huynh-Ba, V. Iacono, K. T. Koo, F. Lambert, L. McCauley, M. Quirynen, S. Renvert, G. E. Salvi, F. Schwarz, D. Tarnow, C. Tomasi, H. L. Wang und N. Zitzmann (2018). "Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions." *J. Periodontol* 89 Suppl 1: S313-s318.

Berketa, J. W., R. S. Hirsch, D. Higgins und H. James (2010). "Radiographic recognition of dental implants as an aid to identifying the deceased." *J Forensic Sci* 55(1): 66-70.

Brånemark, P. I., U. Breine, R. Adell, B. O. Hansson, J. Lindström und Å. Ohlsson (1969). "Intra-osseous anchorage of dental prostheses:I. Experimental studies." *Scand J of Plast Reconstr Surg* 3(2): 81-100.

Buser, D., L. Sennerby und H. De Bruyn (2017). "Modern implant dentistry based on osseointegration: 50 years of progress, current trends and open questions." *Periodontol* 2000 73(1): 7-21.

Charyeva, O., K. Altynbekov, R. Zhartybaev und A. Sabdanaliev (2012). "Long-term dental implant success and survival--a clinical study after an observation period up to 6 years." *Swed Dent J* 36(1): 1-6.

Daudt Polido, W., T. Aghaloo, T. W. Emmett, T. D. Taylor und D. Morton (2018). "Number of implants placed for complete-arch fixed prostheses: A systematic review and meta-analysis." *Clin. Oral Implants Res.* 29: 154-183.

Delwel, S., T. T. Binnekade, R. Perez, C. Hertogh, E. J. A. Scherder und F. Lobbezoo (2018). "Oral hygiene and oral health in older people with dementia: a comprehensive review with focus on oral soft tissues." *Clin Oral Investig* 22(1): 93-108.

DGI - Deutsche Gesellschaft für Implantologie im Zahn-, M.-u. K. e. V. (2021). "Enossale klinische Implantologie." from https://www.dginet.de/web/dgi/lvmvzi_geschichte?p_p_id=dgitabbedarticles_WAR_dgitabbedarticlesportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_dgitabbedarticles_WAR_dgitabbedarticlesportlet__tab=193017.

Dreyer, H., J. Grischke, C. Tiede, J. Eberhard, A. Schweitzer, S. Toikkanen, S. Glöckner, G. Krause und M. Stiesch (2018). "Epidemiology and risk factors of peri-implantitis: A systematic review." *J. Periodontal Res.* 53(5): 657-681.

Elani, H. W., J. R. Starr, J. D. Da Silva und G. O. Gallucci (2018). "Trends in Dental Implant Use in the U.S., 1999-2016, and Projections to 2026." *J Dent Res* 97(13): 1424-1430.

European Federation of Periodontology. (2019). "new classification of periodontal and peri-implant diseases." from <https://www.dgparo.de/media/download-5dc94957537ad>.

Gutwald, R., N.-C. Gellrich und R. Schmelzeisen (2018). *Zahnärztliche Chirurgie und Implantologie 3. A.: Für Studium, Examen und Beruf.* Köln, Deutscher Zahnärzte Verlag.

Hellwig, E. (2009). *Einführung in die Zahnerhaltung : Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie ; mit 60 Tabellen.* Köln, DZV, Dt. Zahnärzte-Verl.

Heydecke, G., M. Zwahlen, A. Nicol, D. Nisand, M. Payer, F. Renouard, P. Grohmann, S. Mühlemann und T. Joda (2012). "What is the optimal number of implants for fixed reconstructions: a systematic review." *Clin. Oral Implants Res.* 23: 217-228.

Jackowski, J., H. Peters und F. Hölzle (2017). *Zahnärztliche Chirurgie,* Springer.

Jordan, A. R. und W. Micheelis, Eds. (2016). *Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V). IDZ-Materialienreihe, Bd. 35.* Köln, Deutscher Zahnärzte Verlag DfV.

Knöfler, B., Graul, Krampe, Schmenger. (2019). "Über 20 Jahre Beobachtungen an 10.000 Implantaten." from <https://www.zwp-online.info/fachgebiete/implantologie/grundlagen/ueber-20-jahre-beobachtungen-an-10000-implantaten>.

Konrad Alexander Leonhardt, C. H. (2019). "Sozioökonomische Gradienten bei der Inanspruchnahme zahnärztlicher Leistungen in Deutschland." *Gesundheitswesen* 2019; 81(04): 347-350
DOI: 10.1055/s-0042-120268.

Kruse, B. A. (2008). "Digitale Volumetomographie in der Diagnostik von periimplantären Knochendefekten."

Lauritano, D., G. Moreo, F. Della Vella, D. Di Stasio, F. Carinci, A. Lucchese und M. Petruzzi (2019). "Oral Health Status and Need for Oral Care in an Aging Population: A Systematic Review." *Int J Environ Res Public Health* 16(22).

Mansour, H., J. P. Sperhake, B. Bekaert, O. Krebs, P. Friedrich, A. Fuhrmann und K. Püschel (2019). "New aspects of dental implants and DNA technology in human identification." *Forensic Sci Int* 302: 109926.

Mavrogenis, A. F., R. Dimitriou, J. Parvizi und G. C. Babis (2009). "Biology of implant osseointegration." *J Musculoskelet Neuronal Interact* 9(2): 61-71.

Michelinakis, G., A. Sharrock und C. W. Barclay (2006). "Identification of dental implants through the use of Implant Recognition Software (IRS)." *Int Dent J* 56(4): 203-208.

Mueller, C., P. Solcher, A. Peisker, M. Mtsariashvili, K. Schlegel, G. Hildebrand, J. Rost, K. Liefeth, J. Chen und S. Schultze-Mosgau (2011). "Vergleich der osseointegration dentaler Zirkonoxidimplantate mit verschiedenen gewindeparametern und oberflächentopographien." *ZZI* 27: 1-8.

Narby, B., M. Kronström, B. Söderfeldt und S. Palmqvist (2008). "Changes in attitudes toward desire for implant treatment: a longitudinal study of a middle-aged and older Swedish population." *Int J Prosthodont* 21(6).

Obreja, K., A. Begic, A. Ramanauskaite und F. Schwarz (2020). "Periimplantitis Definition, Symptome und leitliniengerechte Empfehlungen." *Der Freie Zahnarzt* 64(2): 86-90.

Palti, A. (2003). "Back to the roots: Die 2000-jährige Geschichte der Implantation." *Implantologie Journal* 1: 6-8.

Payer, M., A. Heschl, M. Koller, G. Arnetzl, M. Lorenzoni und N. Jakse (2015). "All-ceramic restoration of zirconia two-piece implants--a randomized controlled clinical trial." *Clin Oral Implants Res* 26(4): 371-376.

Payer, M., A. Heschl, M. Koller, G. Arnetzl, M. Lorenzoni und N. Jakse (2015). "All-ceramic restoration of zirconia two-piece implants—a randomized controlled clinical trial." *Clin Oral Implants Res* 26(4): 371-376.

Pommer, B., W. Zechner, G. Watzak, C. Ulm, G. Watzek und G. Tepper (2011). "Progress and trends in patients' mindset on dental implants. I: level of information, sources of information and need for patient information." *Clin Oral Implants Res* 22(2): 223-229.

Renvert, S., I. Polyzois und N. Claffey (2011). "How do implant surface characteristics influence peri-implant disease?" *J. Clin Periodontol.* 38: 214-222.

Research, G. V. (2021). "Dental Implant Market Size & Share Report, 2021-2028." 2021, from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/dental-implants-market>.

Saal, A. (2010). "Zahnmedizinische Versorgung bei Senioren (> 60 Jahre) dokumentiert anlässlich der Krematoriums-Leichenschau."

Schlegel, K. A., S. Schultze-Mosgau und J. Wiltfang (2002). "Implantologie in der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie." HNO 50(8): 699-718.

Schmitt, S. (2015). "Pflegebedürftige in Heimen sind zahnärztlich unterversorgt." Der Freie Zahnarzt 59(1): 25-25.

Singh, K., J. Rao, T. Afsheen und B. Tiwari (2019). "Survival rate of dental implant placement by conventional or flapless surgery in controlled type 2 diabetes mellitus patients: A systematic review." Indian J Dent Res 30(4): 600-611.

Srinivasan, M., S. Meyer, A. Mombelli und F. Müller (2017). "Dental implants in the elderly population: a systematic review and meta-analysis." Clin Oral Implants Res 28(8): 920-930.

Strub, J. R. (2013). Curriculum Prothetik Band 3. Berlin, Quintessenz Verlag.

Terheyden. (2018). "Implantate: Altersgrenze 18 differenzierter betrachten." from <https://www.quintessence-publishing.com/deu/de/news/zahnmedizin/implantologie/implantate-altersgrenze-18-differenzierter-betrachten>.

Tetsch, P. (1977). "Misserfolge bei enossal verankerten Implantaten." Dtsch. Zahnaerztl. Z. VOL. 32(NO 4): 302-304.

Wehner, D. (2018). "Periimplantäre Mukositis und Periimplantitis." from <https://www.zwp-online.info/fachgebiete/prophylaxe/parodontologie/periimplantaere-mukositis-und-periimplantitis>.

10. Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1 GUT OSSEOINTEGRIERTES IMPLANTAT IM OBERKIEFER MIT ERFOLGTEM SINUSBODENLIFT UND EINER FESTSITZENDEN KRONENVERSORGUNG	18
ABBILDUNG 2 MIT HERAUSNEHMBAREM ZAHNERSATZ VERSORGTE IMPLANTATE	19
ABBILDUNG 3 UNTERKIEFERIMPLANTATE MIT KUGELKOPFANKERN FÜR EINEN FEHLENDEN HERAUSNEHMBAREN ZAHNERSATZ	21
ABBILDUNG 4 IM CT ERKENNTLICHE KARIÖSE LÄSION EINES UNTERKIEFERMOLAREN	21
ABBILDUNG 5 IM CT DIAGNOSTIZIERBARE APIKALE PARODONTITIS EINES OBERKIEFERPRÄMOLAREN	22
ABBILDUNG 6 IM CT DEUTLICH ERKENNTLICHER KNOCHENABBAU AUFGRUND EINER PARODONTITIS	22
ABBILDUNG 7 RÖNTGENOLOGISCH DIAGNOSTIZIERBARER PERIIMPLANTITIS-BEDINGTER KNOCHENABBAU VON ÜBER 3MM	22
ABBILDUNG 8 KONTAKTRÖNTGENAUFNAHME ZUR IMPLANTATHERSTELLERBESTIMMUNG (STRAUMANN IMPLANTATE)	25
ABBILDUNG 9 SCHLIFFPRÄPARAT MIT TOLUIDINBLAU GEFÄRBT.....	26
ABBILDUNG 10 SCHLIFFPRÄPARAT (STRAUMANN IMPLANTAT).....	27
ABBILDUNG 11 GESCHLECHTERVERTEILUNG ALLER FÄLLE	29
ABBILDUNG 12 GESCHLECHTERVERTEILUNG IMPLANTAT-FÄLLE.....	30
ABBILDUNG 13 GESCHLECHTERVERTEILUNG IN DEN ALTERSGRUPPEN	30
ABBILDUNG 14 IMPLANTAT-FÄLLE IN PROZENT PRO JAHR VON 2010-2019 ..	32
ABBILDUNG 15 IMPLANTAT-ZAHLEN BEI MIT IMPLANTATEN VERSORGTE PERSONEN VON 2010-2019	33
ABBILDUNG 16 PROZENTUALER ANTEIL DER FÄLLE MIT EINEM RADIOLOGISCH ERKENNTLICHEN KNOCHENABBAU VON 3MM UND MEHR	34
ABBILDUNG 17 PROTHETISCHE IMPLANTAT-VERSORGUNG VON 2010-2019	35
ABBILDUNG 18 IMPLANTAT VERSORGUNGEN	36

ABBILDUNG 19 PROTHETISCHE IMPLANTAT-VERSORGUNG IN PROZENT	36
ABBILDUNG 20 BEZAHNUNG DER NICHT MIT IMPLANTATEN VERSORGTEN KIEFERABSCHNITTE 2010-2019.....	37
ABBILDUNG 21 VERSORGUNG DER KIEFERABSCHNITTE OHNE IMPLANTAT- VERSORGUNGEN 2010-2019	38
ABBILDUNG 22 ANALYSE DER NICHT MIT IMPLANTATEN VERSORGTEN KIEFERABSCHNITTE.....	38
ABBILDUNG 23 KONSERVIERENDE VERSORGUNG DER RESTBEZAHNUNG IM ZEITVERLAUF 2010-2019.....	39
ABBILDUNG 24 KONSERVIERENDE VERSORGUNG DER RESTBEZAHNUNG ALLER IMPLANTAT-FÄLLE IN PROZENT	40
ABBILDUNG 25 CT DER 17-JÄHRIGEN MIT EINEM DEUTLICH INFRAPOSITIONIERTEM IMPLANTAT 36.....	49

11. Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 ANZAHL DER DIAGNOSTIZIERTEN CT-FÄLLE IM VERHÄLTNIS ZU DEN IMPLANTAT-FÄLLEN	28
TABELLE 2 ALTERS- UND GESCHLECHTSVERTEILUNG BEI DEN MIT CT UNTERSUCHTEN VERSTORBENEN, BEI DENEN EIN IMPLANTAT AUFFINDBAR WAR	31
TABELLE 3 MITTELWERT DER IMPLANTAT-ANZAHL PRO IMPLANTAT-FALL ..	33

12. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, welche mich während der verschiedenen Stadien dieser Dissertation unterstützten und ohne deren Hilfe diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

So gilt mein Dank zunächst Herrn Prof. Dr. med. Benjamin Ondruschka für die von ihm gewährte Möglichkeit der Promotion am Institut der Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf.

Mein ganz besonderer Dank gilt weiterhin meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Klaus Püschel für die Überlassung des Dissertation-Themas, seiner stetigen, von Tatkraft zeugenden Unterstützung sowie seiner hervorragenden Betreuung.

Des Weiteren möchte ich meinen herzlichen Dank Herrn. Dr. Hans O. Pinnschmidt für seine Beratung bei der statistischen Auswertung aussprechen.

Letztlich gilt jedoch mein größter Dank der wichtigsten Stütze meinem Leben: meiner Ehefrau Dunia Jami-Lüth. Denn so wäre ohne ihre unermüdliche Unterstützung, ihre kontinuierliche Motivation und unerschöpfliche Geduld diese Arbeit niemals zustande gekommen – so gilt mein größter Dank ihrem Beistand.

13. Lebenslauf

Lebenslauf wurde aus datenschutzrechtlichen Gründen entfernt.

14. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: