

Aus dem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität zu Köln
Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie

Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. Dr. med. dent. J.E.Zöller

**Analyse der Angulation von Implantaten auf der Basis
von dreidimensionaler Implantatplanung**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
Veronika Theresa Kurka
aus Bergisch Gladbach

Promoviert am 15. August 2012

Gedruckt im Jahr 2012 mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln.

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. Dr. h.c. Thomas Krieg

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. med. dent. J. Neugebauer

2. Berichterstatter: Universitätsprofessor Dr. med. P. Eysel

Erklärung:

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

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von Herrn Privatdozent Dr. J. Neugebauer und Herrn Dr. G. Zündorf erhalten.

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

Die Arbeit wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht.

Köln, der 23.01.2012

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Messungen sind von mir mit Unterstützung von Herrn Dr. Gerhard Zündorf unter Anleitung von Privatdozenten Dr. med. dent. J. Neugebauer durchgeführt worden.

Danksagung:

Für die freundliche Überlassung des Themas sowie für die Möglichkeit der Durchführung dieser Arbeit in seiner Klinik möchte ich mich bei Herrn Universitätsprofessor Dr. Dr. J. E. Zöller bedanken.

Ganz besonderen Dank richte ich an Herrn Privatdozenten Dr. J. Neugebauer, der mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand und mich bei der umfangreichen Auswertungsarbeit betreute.

Dr. G. Zündorf bin ich für seine Unterstützung und Hilfestellung bei allen Software- und Computerproblemen zu großem Dank verpflichtet.

Diese Arbeit ist meiner Familie gewidmet.

Abkürzungsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Präimplantologische Diagnostik	1
1.2	Klinische Untersuchung.....	1
1.2.1	Schleimhautdickenmessung.....	2
1.2.2	Modellanalyse	3
1.3	Röntgenologische Untersuchungen	3
1.3.1	Die Panoramaschichtaufnahme (Orthopantomogramm, OPG).....	3
1.3.2	Die Computertomographie	4
1.3.3	Die digitale Volumentomographie (DVT).....	5
1.4	Indikationsklassen für Implantatversorgung zur Regelversorgung	6
	Klasse I: Einzelzahnersatz und Schallücke	7
	Klasse II: Reduzierter Restzahnbestand und Frendlücke	7
	Klasse III: Zahnloser Kiefer	7
1.5	Computergestützte Implantatplanung.....	8
1.5.1	Galileos- System (Sirona, Bensheim, Deutschland).....	11
1.5.2	Galaxis	12
1.5.3	Simulations- und Planungssoftware	13
1.6	Augmentationstechniken	15
1.6.1	Beckenkammaugmentation.....	15
1.6.2	Distractionsosteogenese	16
1.6.3	Sinuslift.....	17
1.6.4	Sinusbodenelevation	17
1.7	Prothetische Implantatversorgung.....	18
1.7.1	Konfektionierte Aufbauten	18
1.7.2	Individuelle Aufbauten.....	18
1.7.3	Suprastruktur.....	19
1.8	Implantatplanung bei reduziertem Knochenangebot	20
1.8.1	Angulierte Implantate	20
1.8.2	Segmentosteotomie	21
1.8.3	Das Malo-Konzept.....	22
1.9	Fragestellung.....	23
2	Material und Methode.....	24
2.1	Ausmessung der Interimplantatwinkel mit Hilfe des Galileos Implant Systems..	24
2.2	Patientenfälle.....	24
2.3	Ausmessung der Interimplantatwinkel an Patientenmodellen	24
2.4	Auswertung	25
2.5	Statistik.....	26
3	Ergebnis	27
3.1	Beschreibung der dreidimensionalen Planungen	27
3.1.1	Häufigkeit der Indikation (Fälle).....	27
3.1.2	Häufigkeit der Indikation (Implantate).....	27
3.1.3	Häufigkeit der Art der Versorgung (Implantate).....	28
3.1.4	Häufigkeit der Art der Versorgung (Fälle).....	29
3.1.5	Häufigkeit der Implantatposition	30
3.2	Kombinationen der Häufigkeiten in den dreidimensionalen Planungen.....	31

3.2.1	Häufigkeit der Art der Versorgung und der Indikation	31
3.2.2	Häufigkeit der Art der Versorgung und der Augmentation.....	32
3.3	Analyse der geplanten Implantate	33
3.3.1	Geplante Angulation der Implantate bei den verschiedenen Indikationen	33
3.3.2	Geplante Angulation der Implantate bei Art der Versorgung	34
3.3.3	Geplante Angulationen der Implantate bei den verschiedenen Augmentationsmaßnahmen	36
3.3.4	Geplante Angulation zwischen den Implantaten nach Anzahl der Implantate pro Kiefer	37
4	Diskussion	39
4.1	Methode	39
4.2	Ergebnisse	39
4.3	Schlussfolgerung	47
5	Zusammenfassung	48
6	Literaturverzeichnis	50
7	Lebenslauf.....	63

Abkürzungsverzeichnis

ca.	zirka
CAD- CAM	computer aided design- computer aided manufacturing
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
3D	dreidimensional
DVT	Digitale Volumetomographie
Fa	Firma
mm	Millimeter
OK	Oberkiefer
UK	Unterkiefer
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Zahnärztliche Implantate ergänzen seit Jahren die konventionellen Versorgungen für die Wiederherstellung von Kaufunktion, Phonetik und Ästhetik. Sie werden in allen Indikationsbereichen als Pfeiler für Kronen, Brücken und herausnehmbaren Zahnersatz eingesetzt [67].

1.1 Präimplantologische Diagnostik

Eine umfassende präimplantologische Diagnostik ist erforderlich, um Komplikationen in der chirurgischen und prothetischen Behandlungsphase zu vermeiden und um ein gutes ästhetisches Ergebnis zu erzielen [7, 94].

Es kann ein direkter Zusammenhang zwischen der Implantatprognose und der Ursache des Zahnverlustes hergestellt werden. Bei Nichtanlagen und Verlust durch Karies, endodontische Probleme oder Traumata ist die Prognose günstig, bei Verlust durch Parodontopathien oder Okklusionsstörungen ungünstig [101].

Zu Anfang werden die notwendigen Vorbehandlungen sowie eine vorläufige prothetische Planung festgelegt. Es erfolgt die Extraktion nicht erhaltungswürdiger Zähne und die chirurgische, konservierende, kieferorthopädische und funktionelle Vorbehandlung erhaltungswürdiger Zähne [99]. Eine wichtige Voraussetzung vor Implantation ist der erfolgreiche Abschluss einer Parodontitistherapie, da die Periimplantitis assoziierte Flora der einer normalen Parodontitis entspricht [64].

1.2 Klinische Untersuchung

Die Befundaufnahme beinhaltet die extra- und intraorale Inspektion, Palpation, sowie die Beurteilung des Funktionsstatus. Zuerst wird der Zustand der Restbezaugung und der vorhandenen Restaurationen im Hinblick auf ihre Erhaltungswürdigkeit erfasst [7, 94]. Danach wird der parodontale Status erhoben, der besonders wichtig ist, da das periimplantäre Stützgewebe ähnliche Pathomechanismen, wie das natürliche Parodont aufweist [2, 21, 94]. Die Beschaffenheit und Resilienz der Schleimhaut, der Ansatz von Bändern und Muskeln, sowie pathologische Schleimhautveränderungen werden bei der Inspektion und Palpation der zahnlosen Kieferabschnitte beurteilt. Die

bidigitale Palpation gibt erste Hinweise auf die knöchernen Morphologie, nach der sich Position [94] und die Angulation der Implantate richtet.

Die klinische Funktionsanalyse erlaubt die Beurteilung des funktionellen Zustandes des orofazialen Systems. Dazu gehören die Palpation der Kiefergelenke, die Untersuchung der Muskulatur und der Unterkieferbewegungen, die Kieferrelation, die Kontrolle der Okklusion in Statik und Dynamik, sowie die Überprüfung auf Anzeichen von parafunktioneller Aktivität. Ergeben sich Anzeichen einer kranio-mandibulären Dysfunktion, sollte diese zuerst therapiert werden, da es dadurch sonst zur Fehlbelastung und schließlich zum Verlust der Implantate oder einer unzureichenden Akzeptanz der implantatprothetischen Versorgung kommen kann. Die Behandlung der Dysfunktion ist durch funktionstherapeutische Vorbehandlungen, Okklusionsschienen und definitive okklusale Korrekturen möglich [7, 94]. Die Belastung der Implantate und des umgebenden Knochens ist dabei weniger von der Implantatangulation abhängig, als vielmehr von der Anzahl und Verteilung der Implantate, sowie dem Material und der Form der Suprakonstruktion [8, 10].

1.2.1 Schleimhautdickenmessung

Die Schleimhautdickenmessung kann mit oder ohne perforierter Messschablone erfolgen. Die Position der zukünftigen Implantate ist markiert und die Schleimhaut wird an diesen Stellen entweder invasiv mittels Injektionskanüle und aufgesetztem Gummistopper oder noninvasiv mit einem Ultraschallverfahren (SDA, Firma Krupp) gemessen. Die Messungen werden auf das Sägeschnittmodell an den Schnittstellen übertragen. Dadurch lässt sich sowohl das Angebot an Hart- als auch an Weichgewebe beurteilen. Man kann transversale und vertikale Alveolarfortsatzdefekte und die Achsneigung des Kieferkammes erkennen [7, 94]. Voraussetzung für eine zuverlässige Beurteilung ist, dass die Messung in Bereichen angewachsener Schleimhaut erfolgt. Vor allem bei starker Alveolarkammatrophie im Unterkiefer mit hoch stehendem Mundboden ist dieses Verfahren nicht anwendbar [46]. Sind die Voraussetzungen erfüllt, sind erste Planungen für die Position der Implantate oder Aussagen über die Notwendigkeit eines Augmentationsverfahrens möglich [7], sowie über die nötige Angulation.

1.2.2 Modellanalyse

Für die Modellanalyse werden Situationsmodelle angefertigt. Der Oberkiefer wird schädel- und gelenkbezüglich in einen Artikulator montiert und der Unterkiefer mittels enoralem Registrat in Relation dazu gesetzt.

Die Okklusion kann in Statik und Dynamik überprüft und die therapeutische Kieferrelation bestimmt werden. Notwendige okklusale Korrekturen können simuliert werden. Da heute die Implantatinsertion in erster Linie von der geplanten prothetischen Konstruktion abhängt, wird ein diagnostisches Wax-Up auf den Modellen hergestellt, um in einer Rückwärtsplanung Implantatanzahl und -position zu bestimmen [7, 94, 101]. Daraus lässt sich ableiten, dass auch die Angulation der Implantate dabei abgeschätzt werden kann. Die Probeaufstellung wird nach Abschluss der Analyse in klaren Kunststoff umgesetzt, mit metallischen Referenzkugeln für die konventionelle Röntgenanalyse oder durch eine Umstellung in Barium-Sulfat-dotierten Kunststoff für die 3D-Bohrschablone versehen und je nach System später zur Bohrschablone umgewandelt [7, 94].

1.3 Röntgenologische Untersuchungen

1.3.1 Die Panoramaschichtaufnahme (Orthopantomogramm, OPG)

Die Panoramaschichtaufnahme gilt als zahnärztliche Standardaufnahme, da sie die vollständige Darstellung der Kiefer, der Zähne, der Kiefergelenke und der Kieferhöhlen auf einem Bild für eine umfassende Untersuchungsstrategie bietet [71]. Sie dient in einfachen Fällen sowohl zur präoperativen Planung von Implantatpositionen als auch zur postoperativen Kontrolle.

Der Patient wird mit verschiedenen Einstellhilfen und Haltevorrichtungen nach der Mediansagittalebene des Schädels in der Mittelachse des Gerätes und nach der Frankfurter Horizontalen ausgerichtet. Die Frontzähne werden durch Einbiss in eine vorgefertigte Kunststoffhalterung in die Zone der Schärfenschicht gebracht. Nur hier werden die Zähne scharf abgebildet. Alle Objekte außerhalb der Schicht werden verzerrt und vergrößert oder verkleinert wiedergegeben. Während der Aufnahme rotieren Röhre und Kassetten- bzw. Sensorträger gleichsinnig um den Kopf des Patienten. Aus der fokusnahen Schlitzblende fallen die gebündelten Röntgenstrahlen auf eine zweite an der Kassette befindliche Schlitzblende. Die Kassette bewegt sich sel-

ber gegensinnig, so dass die Schlitzblende den Film entlangfährt und dieser einmal komplett belichtet wird.

Die Nachteile dieser Aufnahmeart sind die Verzerrung der außerhalb der Schicht liegenden Objekte, sowie die gerätetypische Vergrößerung des Bildes. Deshalb wird das Röntgenbild zur implantologischen Planung mit eingesetzter Schiene und Referenzkugeln erstellt. Dadurch ist es später möglich, die Verzerrungen im Röntgenbild zu errechnen und somit das Ausmaß des vertikalen Knochenangebots zu beurteilen [70, 71, 94, 101]. Die Panoramaschichtaufnahme ist zweidimensional und dient daher nur in eingeschränktem Maße der Beurteilung des vorhandenen Knochenangebots. Es ist nicht erkennbar, inwieweit das vertikale Knochenangebot auch durch ausreichende Breite für eine Implantatinsertion geeignet ist. Dadurch können Implantatpositionen falsch geplant werden. Problematisch sind zweidimensionale Aufnahmen auch bei der Planung anguliert stehender Implantate durch unter sich gehende Areale des Kieferkamms oder durch eine reduzierte apikale Basis. Benachbarte anatomischen Strukturen, wie die Kieferhöhle oder der Nervus mandibularis können nur unzureichend beurteilt werden. Die Gefahr einer Fehlpositionierung ist hierbei besonders groß. Für solche Planungen sind dreidimensionale Aufnahmen erforderlich [30, 75]. Die Bildqualität einer Panoramaschichtaufnahme für einen generellen Überblick ist jedoch anderen Aufnahmen gegenüber überlegen [61].

1.3.2 Die Computertomographie

Die Computertomographie kann jedes Körpervolumen dreidimensional und überlagerungsfrei darstellen. Der Implantologe kann Läsionen und benachbarte Strukturen wesentlich besser als bei der Panoramaschichtaufnahme beurteilen und seine Planung danach richten [71]. Beim Aufnahmevorgang wird durch die Röntgenröhre ein fächerförmiger Strahl erzeugt, dessen Breite der gewünschten Schichtdicke entspricht. Die Röntgenröhre rotiert um die Längsachse des liegenden Patienten. Die Strahlung wird von Detektoren gemessen und in elektrische Signale transformiert, die an einen Rechner geleitet werden, der daraus einen Volumendatensatz generiert. Damit werden Rekonstruktion von Schnittbildern in allen Ebenen sowie dreidimensionale Ansichten ermöglicht. Der Aufnahmemodus verläuft entweder schichtweise oder spiralförmig. Durch den Spiralmodus ist die Untersuchungszeit und Strahlenbelastung für den Patienten geringer und es besteht eine lückenlose Datenerfassung [39, 85].

Beim Dental-CT werden Schichtdicken von einem mm gewählt und ein dreidimensionales Bild des Schädels rekonstruiert, so dass koronale, axiale und sagittale Ansichten möglich sind. Dies ermöglicht eine gute Beurteilung der Anatomie und Pathologie der Kiefer und weiterer relevanter Strukturen. Grundsätzlich ist diese Untersuchung zur Planung implantologischer Versorgungen geeignet. So können z.B. Implantatinsertionen schräg entlang der Kortikalis der Kieferhöhle geplant werden, ohne dass augmentative Maßnahmen nötig werden. Allerdings gilt es, die hohe Strahlenbelastung im Vergleich zu anderen Untersuchungsmethoden zu beachten [30, 39, 54].

1.3.3 Die digitale Volumentomographie (DVT)

Die Bildkette eines modernen DVTs besteht aus der Röntgenröhre, dem Generator und dem Detektor. Die digitale Volumentomographie nutzt Röntgenstrahlung in Form eines Kegelstrahls (cone-beam Verfahren). Der Patient wird im Zentrum zwischen Röntgenstrahler und Detektor positioniert und in der Regel hälftig umfahren. Der Patient sollte fixiert sein, da durch Bewegung Unschärfen entstehen und die Bildqualität leidet [43]. Je nach Anbieter kann der Patient in sitzender oder stehender Position im DVT- Gerät positioniert werden [80]. Die Aufnahmezeit beträgt zwischen 9 und über 40 Sekunden [43]. Aus der Summe der Einzelbilder lässt sich ein dreidimensionaler „echter“ Volumendatensatz erzeugen. Das liegt daran, dass der Detektor zwar zweidimensional abbildet, der Kegelstrahl aber aus verschiedenen Blickrichtungen die Information liefert. Die Volumenbilddaten sind im Gegensatz zu zweidimensionalen Aufnahmen geometrietreu, also unverzerrt, da diese nach einer Kalibration des Gerätes metrisch genau rekonstruiert werden. Aus dem Bildvolumen können jederzeit zwei- oder dreidimensionale Ansichten gewonnen werden. Bei den meisten Geräten werden zunächst die drei orthogonalen Hauptebenen als Übersicht dargestellt (Axial-, Sagittal- und Koronalebene) [43].

Ein großer Vorteil der DVT ist die im Verhältnis zum CT wesentlich geringere Strahlenbelastung [43] bei fast gleicher diagnostischer Qualität der Aufnahmen [62]. Die Belastungswerte für eine Aufnahme liegen 50- 100fach unter der jährlichen natürlichen und zivilisatorischen Strahlenbelastung (effektive Dosis zwischen 15- 100 μ Sv). Die Röntgenbelastung liegt damit zwischen der einer konventionellen Film-Panoramaaufnahme und der eines Spiral- CTs. Die Dosisleistung des Systems kann je nach Indikation und Patientengröße angepasst und die individuell nötige Dosis so gering wie möglich gehalten werden [39, 43]. Bei komplexen präimplantologischen

Planungen kann vor der Röntgenaufnahme eine Scan- Schablone vom Techniker angefertigt werden. Dies ist eine Kunststoffschiene, der röntgenopakes Bariumsulfat zugesetzt ist, welches die Form der geplanten prothetischen Planung wiedergibt. Dadurch kann im angefertigten DVT die optimale Ausrichtung der zu setzenden Implantate im Verhältnis zur Restauration geplant werden [75].

Idealerweise sollten die Implantate wie die ehemaligen Zähne stehen. Ein Mindestabstand zwischen zwei Implantaten von drei Millimetern ist erforderlich, um interimplantäre Knochenresorptionen zu vermeiden. Ist es nicht möglich, aufgrund mangelnden Knochenangebotes die Implantate achsenanalog zu den vorher vorhandenen Zähnen zu setzen, widersteht der Knochen bei einem Implantat mit einer Mindestlänge von elf mm den funktionellen Belastungen; ein Neigungswinkel bis maximal 20° sollte umgesetzt werden, wenn die rekonstruktive Maßnahme nicht erheblich erschwert werden soll [74]. Aus funktioneller Sicht können auch größere Winkel problemlos mit abgewinkelten Abutments versorgt werden, die Ästhetik aber kann dadurch beeinträchtigt werden [73]. Durch die dreidimensionale DVT- Aufnahme können komplizierte anatomische Gegebenheiten, wie zum Beispiel Knochensepten in der Kieferhöhle und Defekte des Alveolarfortsatzes lokalisiert werden. Dadurch ist es möglich augmentative Maßnahmen oder angulierte Implantate ohne Gefährdung der wichtigen anatomischen Strukturen zu planen. Auch die Patientenaufklärung über dennoch bestehende mögliche Risiken kann wesentlich genauer erfolgen [75].

1.4 Indikationsklassen für Implantatversorgung zur Regelversorgung

„Der BDIZ EDI (Bundesverband der implantologisch tätigen Zahnärzte in Europa/European Association of Dental Implantologists) hat am 17.09.2008 die Indikationsklassen für die Konsensuskonferenz Implantologie neu beschrieben und wie folgt formuliert:

Die optimale Therapie des Zahnverlustes ist der Ersatz jedes einzelnen Zahnes durch ein Implantat. Dabei ist der Zahn 8 eines Quadranten in der Regel nicht zu ersetzen.

Da die optimale Therapie aus verschiedensten Gründen (insbesondere aus anatomischen, aber auch aus finanziellen) nicht immer durchgeführt werden kann, wurden die nachfolgenden Empfehlungen für Regelfallversorgungen aufgestellt.

Klasse I: Einzelzahnersatz und Schallücke

Klasse Ia „Frontzahnersatz“

Wenn Zähne der Oberkiefer-Front fehlen, die Nachbarzähne nicht behandlungsbedürftig sind: → 1 Implantat je fehlendem Zahn

Wenn Zähne der Unterkiefer-Front fehlen, die Nachbarzähne nicht behandlungsbedürftig sind: → 1 Implantat je fehlendem Zahn unter Berücksichtigung der speziellen anatomischen Verhältnisse

Klasse Ib „Seitenzahnersatz“

Fehlen im Seitenzahnbereich Zähne aus der geschlossenen Zahnreihe, so soll bei nicht behandlungsbedürftigen Nachbarzähnen jeder fehlende Zahn durch ein Implantat ersetzt werden

Klasse II: Reduzierter Restzahnbestand und Freiendlücke

Grundsatz: Bei der implantologischen Versorgung des reduzierten Restgebisses ist die Bezahlung des Gegenkiefers bei der Planung zu berücksichtigen. Darüber hinaus gelten die Regeln der konventionellen Prothetik.

Für eine festsitzende Versorgung im Oberkiefer werden 8 Pfeiler benötigt, im Unterkiefer 6 Pfeiler. Natürliche Pfeilerzähne können angerechnet werden, wenn diese an statisch günstiger Position stehen und eine gute Prognose aufweisen. Für eine herausnehmbare Versorgung im Oberkiefer werden 6 Pfeiler benötigt, im Unterkiefer 4 Pfeiler. Natürliche Pfeilerzähne können angerechnet werden, wenn diese an statisch günstiger Position stehen und eine gute Prognose aufweisen.

Klasse IIa „Freiendlücke“

Zahn 8 fehlt: → keine Indikation zur Implantation

Zähne 7 und 8 fehlen: → Indikation für 1 Implantat

Zähne 6 bis 8 fehlen: → Indikation für 1 – 2 Implantate

Zähne 5 bis 8 fehlen: → Indikation für 2 – 3 Implantate

Zähne 4 bis 8 fehlen: → Indikation für 3 Implantate

Klasse III: Zahnloser Kiefer

Für die Verankerung eines festsitzenden Zahnersatzes

im zahnlosen Oberkiefer: → 8 Implantate

im zahnlosen Unterkiefer: → 6 Implantate

Für die Verankerung eines herausnehmbaren Zahnersatzes

im zahnlosen Oberkiefer: → 6 Implantate

im zahnlosen Unterkiefer: → 4 Implantate

Die definitive Anzahl der Implantate richtet sich stets nach der jeweiligen Situation und Position der natürlichen Zähne, so dass die endgültige Entscheidung dem Behandler in Absprache mit seinem Patienten obliegt“ [9].

1.5 Computergestützte Implantatplanung

1993 sind erste Programme für die computergestützte Implantatplanung auf dem Markt erschienen [65]. Bis heute wurden einige verschiedene Systeme entwickelt. Computergestützte Implantatplanung erfolgt anhand dreidimensionaler Röntgenbilder. Abhängig ist die Planung vor allem von dem Knochenangebot, der Knochenqualität und der geplanten prothetischen Versorgung [67, 75].

Für die computergestützte Implantatplanung stehen statische und dynamische Verfahren zur Verfügung. Sie dienen der Verbesserung der präimplantologischen Planung [41]. Es kann eine dreidimensionale Orientierung über die Positionierung der Implantate, über notwendige augmentative Maßnahmen und über ästhetische und funktionelle Aspekte der späteren prothetischen Versorgung erreicht werden. Komplikationen können vermieden und der Patient besser aufgeklärt werden [63]. Bei statischen Verfahren werden die Bohrschablonen computerunterstützt hergestellt, bei den dynamischen erfolgt eine computergestützte intraoperative Navigation [63]. Bei beiden Verfahren wird zunächst die Prothetik geplant. Dazu werden vom Patienten Abdrücke genommen und Modelle hergestellt. Auf diesen erfolgt die prothetische Planung mittels Wax- Up unter funktionellen und ästhetischen Gesichtspunkten.



Abbildung 1: Wax- Up zur Simulation der prothetischen Versorgung

Es folgt die Herstellung einer PMMA- Schiene, die schaukelfrei im Mund des Patienten sitzen muss [55]. Inzwischen gibt es drei Varianten von Scan- Schablonen. Bei

der ersten Variante wird eine bariumbeschichtete Silhouette der geplanten Versorgung hergestellt; bei der zweiten Variante wird diese Silhouette komplett mit röntgenopakem Bariumsulfat aufgefüllt und in eine durchsichtige PMMA- Schiene einpolymert; bei der dritten Variante werden verschiedene Barium-Dichtegradienten verwendet, um auch Weichgewebsabgrenzungen zu bestimmen. Der Patient trägt die Schiene während der Röntgenaufnahme [77, 79].



Abbildung 2: Umsetzung des Wax- Up in Bariumsulfat dotierten Kunststoff

Statische und Dynamische Verfahren arbeiten mit dreidimensionalen Bilddaten, die aus CTs oder DVTs gewonnen werden. Die gescannten Daten müssen der realen Situation zugeordnet werden. Deshalb arbeiten einige Systeme mit systemspezifischen Referenzvorrichtungen (z.B. Med3D, coDiagnostiX, RoboDent). Eine weitere Möglichkeit ist die Herstellung der Schablonen mittels Stereolithographie (z.B.: SimPlant, NobelGuide) [63]. Dabei wird ein Modell schichtweise aus Photopolymerharz hergestellt. Anhand der Röntgendaten wird ein Laserstrahl gesteuert, der auf visköses Polymerharz gelenkt wird und dieses bei Belichtung aushärten lässt. Am Ende entsteht eine genaue anatomische Rekonstruktion der vorgegeben Bilddaten [78].

Die Bilddaten werden nach erfolgter Aufnahme in die Software der entsprechenden Systeme eingefügt. In den Programmen gibt es eine Datenbank mit geläufigen Implantattypen. Diese werden in Größe und Form realistisch dargestellt und können für die Planung virtuell ins Röntgenbild inseriert werden [41, 63].

Ab hier trennen sich die Wege der statischen und dynamischen Systeme. Bei den dynamischen Verfahren schließt sich die Implantatinserierung an. Zunächst wird der Patient nach ergonomischen Gesichtspunkten gelagert. Danach werden an der patientengetragenen Schiene und am Handstück ein „Tracker“ angebracht. Dadurch wird die Lage des Bohrers zum Patienten auf dem Bildschirm dargestellt. Der Bohrer kann

vom Behandler frei geführt werden. Auf dem Bildschirm wird der Bohrer im Handstück relativ zur geplanten Implantatposition angezeigt. Ein Fadenkreuz kennzeichnet die Stelle der geplanten Bohrung. Der Behandler muss nun die beiden Punkte deckungsgleich auf das Fadenkreuz projizieren, um die Planung exakt umzusetzen. Dieses Verfahren ist sehr präzise und erreicht Lageabweichungen unter 0,5 mm und Winkelabweichungen um zwei Grad. Deshalb wird es gerne in schwierigen Situationen wie beispielsweise nach Tumorresektionen oder bei mangelnder Abstützbarkeit von Schablonen bei zahnlosen Patienten verwendet [41, 55, 63]. Daher bietet sich diese Methode bei der Planung anguliert stehender Implantate, die aufgrund geringen Knochenangebotes geplant werden, an.

Bei den statischen Verfahren geht es nach der Planung mit der Herstellung der Bohrschablonen weiter. Dazu wird entweder die Röntgenschablone umgewandelt (z.B.: Med3D, coDiagnostiX) oder eine neue mittels Stereolithographie hergestellt (z.B.: SimPlant, Nobelguide). Wird keine neue Schiene hergestellt, muss die alte auf einem Koordinatentisch anhand der Röntgendaten bzw. nach der virtuellen Planung ausgerichtet werden. Es werden dann Titanhülsen als Bohrvorrichtung eingefügt, die kaum eine Abweichung der Bohrrichtung zulassen. Die Schiene wird am Patienten wieder eingesetzt, die Bohrung durchgeführt und die Implantate werden inseriert. Dieses Verfahren empfiehlt sich bei schwierigeren anatomischen Situationen, die durch Knochenatrophie oder durch räumliche Nähe zu erhaltender Strukturen gekennzeichnet sind [63]. Oftmals werden die Implantate in solchen Situationen anguliert gesetzt, um die anatomischen Gegebenheiten auszunutzen [45].



Abbildung 3: Fixierung der Referenzplatte zur Herstellung einer Bohrschablone



Abbildung 4: Überprüfung der Position der Bohrschablone und Markierung der Implantatposition für die Inzision

1.5.1 Galileos- System (Sirona, Bensheim, Deutschland)

Seit einigen Jahren ist das Galileos- Implant- System auf dem Markt, mit dessen Hilfe in dieser Studie gearbeitet wurde. Der Weg von den ersten vorbereitenden Maßnahmen bis zur Implantatinsertion ist hier exemplarisch dargestellt:

Zur Benutzung des Galileos- Systems müssen zuerst vom Patienten Abdrücke für die Modellherstellung und ein Bissregisrat genommen werden. Die Modelle werden schädelbezüglich einartikuliert und ein Wax- Up der prothetischen Planung erstellt. Dieses kann bei komplexen Arbeiten am Patienten einprobiert werden. Danach wird das Wax- Up in einer Kunststoffschiene umgesetzt. Dazu wird röntgenopakes Bariumsulfat benutzt. Der Patient trägt die Schiene beim Röntgen, so dass die prothetische Planung im Röntgenbild sichtbar wird. Dadurch kann die Implantatposition und Angulation in Abhängigkeit der geplanten Versorgung bestimmt werden [66, 67]. Das Galileos- System besteht aus folgenden Hard- und Software-Komponenten: dem Röntgengerät, der Reconstruction Control Unit (RCU), der Sidexis XG Arbeitsstation, der Sidexis Datenbank und der Galaxis Software. Das Röntgengerät erstellt mit Hilfe eines Kegelstrahls mit einer Rotationsfolge zweidimensionale Bilder des Kopfbereiches. Das Aufnahmevolumen beträgt 15 x 15 x 15 cm und stellt damit alle für die Implantation wichtigen anatomischen Strukturen dar. Der Scan dauert 14 Sekunden. Die Rekonstruktionssoftware rechnet die zweidimensionalen Bilder in eine dreidimensionale Volumenrekonstruktion um.

Die Sidexis XG Arbeitsstation fordert das Röntgengerät auf, eine neue Aufnahme zu erstellen und die RCU, diese Aufnahme in eine dreidimensionale Volumenrekonstruktion umzurechnen. Über die Galaxis Software können die dreidimensionalen Volumenrekonstruktionen angezeigt und verarbeitet werden [93].

1.5.2 Galaxis

Nach Erstellung des Röntgenbildes eröffnet Galaxis dem Behandler die Möglichkeit, in verschiedenen Arbeitsbereichen tätig zu werden. Ein Arbeitsbereich enthält mehrere unterschiedliche Ansichten in den verschiedenen Ebenen. Beim Starten von Galaxis wird die Panoramaansicht angezeigt. Man kann aber auch jede andere Ansicht im dreidimensionalen Volumen darstellen und bearbeiten. Die verschiedenen Ansichten sind über ein Untersuchungsfenster untereinander verbunden. Der Behandler muss eine Schicht auswählen und aktivieren. Dabei wird ein einzelner dreidimensionaler Vektorpunkt im Volumen errechnet, von dem aus Schichten in allen Ebenen angezeigt werden. Diese Schicht wird dann in allen anderen Ansichten mit einem Fadenzug markiert. Navigiert der Behandler durch das Volumen, werden die Schichten in den anderen Ansichten automatisch angepasst [93].

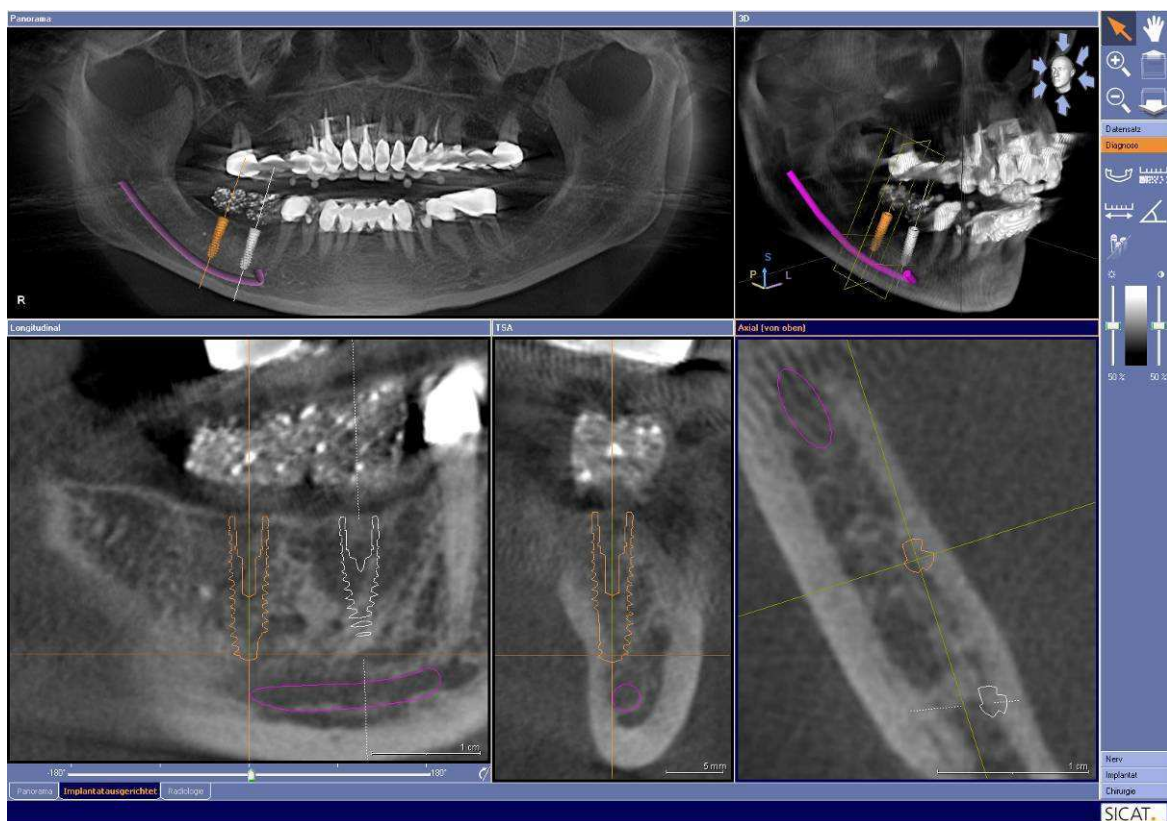


Abbildung 5: Arbeitsbereich mit Panoramaansicht und weiteren Ansichten in den verschiedenen Ebenen

Für die Evaluation des Knochenangebotes steht eine Vermessungsoption in horizontaler und vertikaler Richtung zur Verfügung. Die Knochenqualität kann visuell erfasst werden. Dies ist gerade für die Pilotbohrung wichtig, da bei Fehleinschätzung leicht

zu tief gebohrt und wichtige Strukturen verletzt werden können. Bei stark ausgebildeter Kortikalis kann z.B. die Operation mit Zwischenbohrern für eine schonende Aufbereitung geplant werden [66, 67]. In allen Schichten besteht die Möglichkeit der Kontrast- und Helligkeitseinstellung, der Vergrößerung und Verkleinerung, der Navigation in das Volumen hinein und heraus, der Längen- und Winkelmessung, sowie der Herstellung eines Detailvolumens [93].

1.5.3 Simulations- und Planungssoftware

Die Simulations- und Planungssoftware Galileos- Implant (siCAT GmbH & Co. KG, Bonn, Deutschland) dient der Unterstützung der Planung von Implantatpositionen und kieferchirurgischen Eingriffen. Die Software arbeitet mit den Bilddaten, die vom Sirona 3D Cone Beam Scanner Galileos erzeugt und vom Sirona 3D Viewer Galaxis visualisiert werden.

Galileos- Implant ist die Implantatplanungs-Erweiterung für Galaxis. Deshalb hat Galileos die gleichen Funktionen wie Galaxis und einen zusätzlichen Arbeitsbereich, der speziell für das Planen von Implantaten optimiert ist. Dort kann man zum Beispiel die Mandibularkanäle hervorheben sowie die geplanten Implantatmodelle auswählen. Dafür gibt es eine Datenbank, die Implantatmodelle von geläufigen verschiedenen Implantatherstellern führt. Der Behandler kann die gewünschten Implantate aus der Bank auswählen und virtuell in den verschiedenen Ansichten des 3D-Patientenvolumens positionieren. Alle Schichtansichten sind stets nach dem aktuellen Implantat ausgerichtet. Bei Korrektur der Position oder der Ausrichtung des Implantates werden die Schichtansichten entsprechend angepasst. Man hat die Option, die Schichtansichten um das aktuelle Implantat zu rotieren. So kann die Anatomie des Patienten in allen Ebenen befundet werden und eine optimale Implantatpositionierung wird möglich.

Mit Galileos Implant kann man einen Planungs-Report als Übersicht und zur Dokumentation erstellen. Er besteht aus einer Übersichtsseite und pro Implantat aus einer Detailseite. Die Übersichtsseite des Planungs-Reports besteht aus einer Panorama-Ansicht und aus implantatausgerichteten transversalen Ansichten. Position, Abmessungen und die Modellinformationen sind bei jedem Implantat aufgeführt. Die Detailseite für ein Implantat zeigt ebenfalls die implantatausgerichtete transversale Ansicht sowie eine implantatausgerichtete longitudinale Ansicht und sechs Ansichten, die

parallel zur transversalen Ansicht verlaufen. Anhand des Planungsreportes kann dann die Bohrschablone bestellt und gefertigt werden.

Gespeichert werden die Daten auf der Sidexis Datenbank, von wo sie jederzeit abgerufen werden können [66, 92].

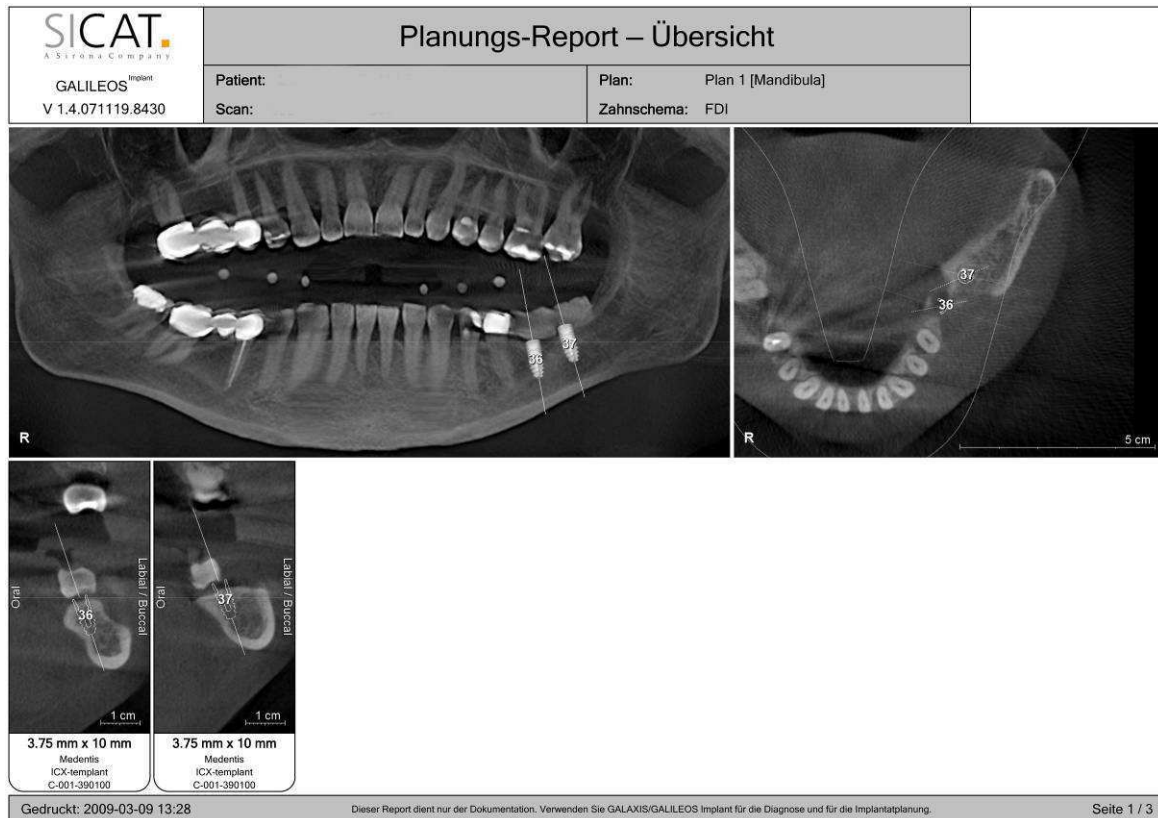


Abbildung 6: Planungs-Report-Übersicht

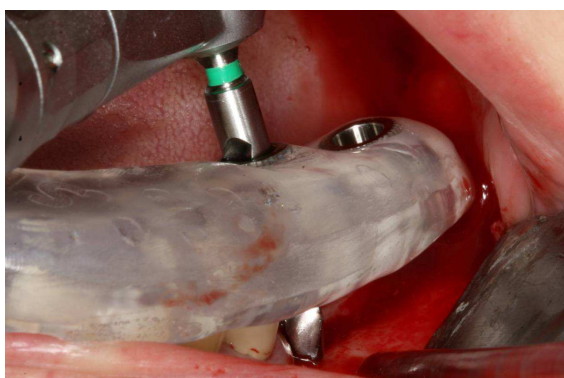


Abbildung 7: Implantatbohrung mittels Bohrschablone

1.6 Augmentationstechniken

Die wichtigste Voraussetzung für die Langlebigkeit eines Implantates ist dessen Primärstabilität. Um diese zu gewährleisten, sind 0,5-1,0 mm Knochen um das Implantat notwendig. Durch Auffüllen vorhandener Defekte vor oder simultan bei Implantation können die nötigen Voraussetzungen geschaffen werden [101]. Alternativ können Implantate abhängig von Knochenangebot auch schräg inseriert werden.

Für die horizontale und die vertikale Augmentation stehen autogener und xenogener Knochen sowie künstliche Knochenersatzmaterialien zur Verfügung. Der autogene Knochen kann lokoregional (Kinn, retromolarer Ober- und Unterkiefer) oder von entfernten Spenderregionen (Becken, Rippen, Schädelkalotte) am Stück oder als Knochenspäne entnommen werden.

Autogener Knochen hat den großen Vorteil, dass er weder die Gefahr von immunologischen Abstoßungsreaktionen, noch die der Übertragung von Viren oder Prionen birgt, wie es bei der Verwendung von xenogenem Knochen der Fall ist [89, 103].

Xenogener Knochen hat den Vorteil, in großen Mengen zur Verfügung zu stehen und keinen zweiten Eingriff am Patienten zu fordern. Als künstliche Knochenersatzmaterialien stehen unter anderem Tricalciumphosphatkeramiken und Hydroxylapatit zur Verfügung. Diese bieten wiederum stete Verfügbarkeit und uneingeschränkte Haltbarkeit. Allerdings sind die Ein- und Umbauvorgänge nicht zeitlich sicher und sie weisen eine andere mechanische Belastbarkeit als Knochen auf [60, 86]. Für die periimplantäre Augmentation werden standardmäßig lokoregional gewonnene Knochenspäne benutzt [89]. Bei ausgedehnten Defekten des Kieferkamms bietet sich horizontal eine laterale Augmentation und vertikal eine Auflagerungsteoplastik mittels eines freien Beckenkammtransplantates oder die vertikale Distraktionsosteogenese für den Knochenaufbau an [108].

1.6.1 Beckenkammaugmentation

Im Ersten Weltkrieg wurden das erste Mal freie Beckenkammtransplantate zur Versorgung von Gesichtsschädeldefekten beschrieben [52]. Damals wurden bikortikale Blöcke entnommen. Da die bikortikale Entnahme mit einer höheren Morbidität einhergeht [68], erfolgt der Eingriff heute, wann immer möglich, minimalinvasiv und monokortikal. Bikortikale Transplantate finden heute hauptsächlich noch Einsatz für die Rekonstruktion nach Unterkieferresection bei Tumorpatienten [82, 108].

Die Beckenkamm-entnahme erfolgt meist von der inneren Seite des anterioren Beckens. Die Schnitfführung ist ca. vier cm lang und beginnt einen cm seitlich des Beckenkamms und reicht bis zum Periost. Dieses wird ungefähr acht cm tief präpariert, bevor ein OP-Haken eingesetzt und dann das Periost anterior abgelöst wird. Die Schnitfführung mittels oszillierender Säge erfolgt in 1,5 cm großem Abstand vom ventralen Rand des Beckenkamms nach kaudal und ist ca. fünf mm tief, 1,5 cm breit und fünf Zentimeter lang. Die Größe der Streifen kann aber je nach Defektgeometrie variieren. Die Präparation des Knochens und die Entnahme der monokortikalen Stücke erfolgt mittels Meißel [108].

Die ursprüngliche physiologische Alveolarfortsatzform kann mit den Beckenkammstreifen gut nachgeahmt werden. Wenn genügend primäres Knochenlager vorhanden ist, wird das Augmentat simultan mit den Implantaten an den Kiefer geschraubt. Ist das nicht der Fall, muss zweizeitig vorgegangen werden, wobei zuerst der Knochen mittels Osteosyntheseplatten oder Schrauben fixiert und später mit Implantaten versorgt wird. Die Implantatpositionierung ist hierbei präziser [86, 101]. Abhängig von der erreichten Knochenhöhe erfolgt die Implantatinserion axial oder anguliert.

1.6.2 Distraktionsosteogenese

Die Kallusdistraktion wurde in den 50er Jahren vom russischen Orthopäden Ilizarov zum ersten Mal erfolgreich durchgeführt [38]. Das Prinzip ist bis heute das Gleiche. Ein Knochen wird durchtrennt und mit einem Distraktor einen mm pro Tag weiter auseinander bewegt. Zwischen den Knochenenden bildet sich eine Knochenvorstufe, Kallus genannt, die innerhalb von ca. drei Monaten vollkommen verknöchert. Das Weichgewebe kann sich bei einer Dehnung um einen mm pro Tag problemlos anpassen.

Die vertikale Alveolarfortsatzdistraktion ist in der Mund- Kiefer und Gesichtschirurgie ein seit den 90er Jahren anerkanntes Verfahren zur präimplantologischen Augmentation. Dazu wird bei der heute üblichen intraossären Distraktionsosteogenese ein Kiefersegment osteotomiert und ein Distraktor unter die Schleimhaut gesetzt. Der Distraktor besitzt zwei Osteosyntheseplatten; eine wird am basalen Kieferanteil, die andere am osteotomierten Segment befestigt. Die beiden Platten sind über eine zentrale Antriebsmechanik verbunden. Mit einem Schraubendreher kann das Segment bis zur gewünschten Höhe distrahert werden [108]. Für die knöchernen Konsoli-

dierung bleibt der Distraktor sechs bis acht Wochen in situ und wird dann operativ entfernt [86].

1.6.3 Sinuslift

Der Sinuslift wird im Oberkiefer durchgeführt, wenn das Knochenangebot für die Insertion eines Implantates im Seitenzahnbereich nicht ausreicht. Das kann durch Alveolarkammatrophy nach Zahnverlust oder durch die mit dem Alter fortschreitende Vergrößerung der Kieferhöhle bedingt sein. Geeignet ist der Sinuslift für Einzel- oder multiple Implantate, wobei je nach Implantatdesign und geplanter Größe zwischen drei und acht Millimeter Restknochen für die Primärstabilität des Implantates gewährleistet sein müssen. Nach Darstellung des Alveolarkammes wird zunächst ein Bohrloch an der Stelle der Implantation angelegt. Der Knochen wird mittels Osteotomen mit steigendem Durchmesser kompaktiert und Richtung Kieferhöhle vorgeschoben. Bei Durchbrechen des Kieferhöhlenbodens wird der ortständige Knochen und die Kieferhöhlenschleimhaut nach kranial bewegt. Der entstehende Hohlraum kann mit Knochenspänen oder künstlichen Knochenersatzmaterialien aufgefüllt werden. Danach kann das Implantat inseriert werden [27, 101].

1.6.4 Sinusbodenelevation

Die Sinusbodenelevation dient genau wie der Sinuslift der Vermehrung des Knochenlagers im Oberkieferseitenzahnbereich vor Implantation. Hierbei wird das vertikale Knochenangebot gleich für mehrere Implantate erhöht [105]. Der Zugang zur Kieferhöhle wird über eine vestibuläre Inzision und Anlegen eines Knochenfensters in der fazialen Kieferhöhlenwand geschaffen. Die Kieferhöhlenschleimhaut wird mit stumpfen Instrumenten abgelöst und nach kranial verlagert. Der entstehende Hohlraum wird mit Knochenspänen oder künstlichen Ersatzmaterialien aufgefüllt und die Kieferhöhle mit dem Knochendeckel und einem Mukoperiostlappen verschlossen [86].

Ist noch ein Knochenangebot von vier bis sechs mm für die Primärstabilität des Implantates vorhanden, kann einzeitig vorgegangen werden. Sonst muss die Implantation in Abhängigkeit vom Ersatzmaterial in einem zweiten Eingriff nach zwei bis vier Monaten erfolgen [101].

Alternativ zu Sinuslift und Sinuselevation können Implantate schräg entlang der Kortikalis der Kieferhöhle inseriert werden [48].

1.7 Prothetische Implantatversorgung

Die eingesetzten Implantate übernehmen die Funktion der ursprünglichen Zahnwurzel und sorgen für einen festen Verbund mit dem Kieferknochen sowie für dessen Erhalt [24]. Um die Zahnkronen zu ersetzen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Zuerst muss eine Verbindung zwischen dem Implantat und der Suprakonstruktion hergestellt werden. Entweder wird die Suprastruktur direkt auf dem Implantat befestigt (z.B. UCLA-Abutment) [50], oder es wird ein Kopplungsstück eingesetzt. Diese können ein- oder zweiteilig sein. Einteilig sind konische oder zylindrische Aufbauten, die zentral über das Gewinde verschraubt werden. Zweiteilige besitzen zusätzlich ein Distanzstück, das über einen eigenen inneren oder äußeren Mehrkant gegen Verdrehung gesichert ist. Der Vorteil hierbei ist, dass der Aufbau gekippt gestaltet werden kann und so Achsdivergenzen der Implantate zueinander ausgeglichen werden können [7].

1.7.1 Konfektionierte Aufbauten

Konfektionierte Aufbauten können aus allen zahnärztlichen Legierungen, aus Titan, sowie aus Zirkon- und Aluminiumoxid bestehen [11, 69, 84]. Die Winkel sind hierbei in Anbieter abhängigen unterschiedlichen Gradzahlen und -schritten einstellbar (z.B. Implant Innovations Inc.: 0°, 15°, 25°, 30° oder Camlog: 0°, 15° oder 20°). Die Anzahl von Positionen, die der Aufbau zum Implantat einnehmen kann, ist ebenfalls vom System abhängig (z.B. zwölf Positionen bei Implant Innovations Inc. oder drei bei Camlog) [17, 91].

Bei einer Implantatinsertion mit exakt paralleler Ausrichtung können auch Kugelkopfanker zum Einsatz kommen. Dafür werden entsprechende Matrizen in die Prothese integriert. Das Problem hierbei ist oftmals die Realisierung der Parallelität aufgrund mangelnden Knochenangebotes [40]. Alternativ werden seit einigen Jahren Locator-Aufbauten für alle gängigen Implantatsysteme angeboten. Durch spezielle Matrizen-einsätze können damit Winkel bis 40° ausgeglichen werden [96].

1.7.2 Individuelle Aufbauten

Individuelle Aufbauten werden nach Abformung mit konfektionierten oder individuellen Hilfsteilen im Labor für die jeweiligen Bedürfnisse hergestellt. Sie können ebenfalls aus allen verschiedenen Legierungen gegossen oder mittels CAD/CAM aus Ke-

ramik gefräst werden. Die Form und der Winkel des Aufbaus können individuell angepasst werden [11, 84].

Eine Besonderheit unter den Versorgungsmöglichkeiten von Implantaten stellt der halbindividuelle angießbare Aufbau, auch UCLA- Aufbau genannt, dar. Er besteht aus einem formschlüssigen, maschinell gefertigten Anschlußteil mit einem montierten Kunststoffoberteil. Das Metall ist angussfähig und der Kunststoff kann individuell beschliffen oder mit Wachs ummodelliert werden. Der Abdruck zur Erstellung des Meistermodells erfolgt mit konventionellen Materialien und Copings. Im Labor wird die Versorgung auf dem Modell um das montierte Kunststoffoberteil herum aufgewachst. Die Angulation des Aufbauteils kann individuell eingestellt werden. Durch Ausrichtung des Kunststoffzylinders wird ein unterschiedlich langer Schraubeneingang gebildet. Dadurch kann ein Aufbau erstellt werden, der der individuellen Gegebenheit Rechnung trägt und dann eine Suprastruktur aufnehmen kann. Ebenfalls kann ein solcher Aufbau als Suprakonstruktion in einer Einheit hergestellt werden. Über den Schraubengang werden dabei Implantat und Suprakonstruktion durch Schrauben verbunden. Dieses Vorgehen ermöglicht eine ästhetische Versorgung, auch bei geringem vertikalem und horizontalem Platzangebot. Daher ist er in schwierigen anatomischen Situationen gut einzusetzen [50, 51, 72].

1.7.3 Suprastruktur

Als Suprastruktur dienen Kronen und Brücken als festsitzende Versorgungen sowie herausnehmbare Konstruktionen. Aus allen gängigen dentalen Legierungen können Kronen und Brücken als Vollguss oder als Gerüst für eine keramisch verblendete Konstruktion verwendet werden. Alternativ können gebrannte, CAD CAM- oder kopiergefräste vollkeramische Versorgungen sowie Kunststoffkronen als Langzeitprovisorien zum Einsatz kommen [11, 69, 73].

Alle Kronenarten können mit dem Aufbau über eine Schraube verbunden oder darauf fest zementiert werden. Soll die geplante Suprastruktur einzementiert werden, besteht die Möglichkeit die Pfosten durch Präparation zu individualisieren und mit einer konventionellen Abdruckmethode abzuformen. Diese Methode ist bei kurzspannigen Konstruktionen und Einzelzahnersatz anwendbar [23].

Der Vorteil bei der Nutzung von Zement ist der reduzierte Platzbedarf der Suprakonstruktion, da keine Schrauben eingefügt werden müssen. Die Ästhetik kann so unter Umständen besser sein als bei bedingt abnehmbaren Konstruktionen. Auch unter

ökonomischer Sichtweise ist dieses Vorgehen empfehlenswert [7]. Der Nachteil zeigt sich bei entzündlichen Prozessen im Bereich des Implantates, wie Periimplantitis oder Mukositis. Dabei muss die Konstruktion aus Behandlungsgründen entfernt werden, wobei sie häufig zerstört wird [7, 12].

Bedingt abnehmbare Suprakonstruktionen werden an das Implantat geschraubt und können bei Notwendigkeit vom Behandler entfernt werden. Die Schrauben können okklusal, an der vestibulären oder an der oralen Fläche eingesetzt werden. Eingesetzt werden Schraubensysteme ebenfalls bei Kronen und Brücken, sowie Zahnersatz bei zahnlosen Kiefern [73]. Nachteilig bei den bedingt abnehmbaren Konstruktionen ist die durch die Schrauben womöglich eingeschränkte Ästhetik und der erhöhte Platzbedarf sowie ökonomische Gründe [105]. Im Fall von entzündlichen Reaktionen sowie für die Reinigung bei motorisch eingeschränkten Personen ist die abnehmbare Variante von Vorteil.

Die Abformung erfolgt hierbei mit konfektionierten Hilfsteilen, so genannten Abdruckpfeifen, die in das Implantat geschraubt und mit abgeformt werden. Anschließend werden sie wieder aus dem Patientenmund entfernt, in den Abdruck eingesetzt und mit einer Modellreplika versehen. So kann das Modell mit Implantaten hergestellt und für die Fertigung der Suprastruktur verwendet werden [7, 15].

1.8 Implantatplanung bei reduziertem Knochenangebot

Die Versorgung mit Implantaten ist häufig durch die Anatomie des Patienten eingeschränkt [105]. Bei geringem Knochenangebot kann die Nähe der Implantate zu wichtigen Strukturen wie zur Kieferhöhle oder zum Nervus alveolaris inferior Probleme verursachen [5, 33]. Zur Umgehung der Problematik gibt es verschiedene Lösungsansätze. Die am wenigsten invasive Lösung ist die Insertion von Miniimplantaten [32]. Sollte auch dafür nicht genügend Knochen vorhanden sein, müssen augmentative Maßnahmen ergriffen werden [105]. Die Versorgung mit langen Implantaten im Processus zygomaticus ist ebenfalls möglich [102]. Weitere Optionen sind die Segmentosteotomie [42] oder die Insertion angulierter Implantate [1, 16, 48, 57].

1.8.1 Angulierte Implantate

Die Anatomie der Kiefer und die Morphologie der Alveolarfortsätze bestimmt die Lage der Implantate [90]. Im Oberkiefer können Implantate bei starker Atrophie parallel zur vorderen oder hinteren Begrenzung des Sinus maxillaris, in den Processus pte-

rygoideus oder tangential zur palatinalen Krümmung auf Höhe des ersten Molaren gesetzt werden [48]. Im Unterkiefer kann die schräge bikortikale Insertion der Implantate, auch unter Einbeziehung der Linea mylohyoidea, zur Stabilisierung genutzt werden. Dafür ist eine Neigung nach bukkal erforderlich. Durch die Ausnutzung der anatomischen Gegebenheiten kann der operative Eingriff auch bei starker Atrophie der Kiefer ohne zusätzliche Augmentationsmaßnahmen durchgeführt werden. Zudem können lange Implantate inseriert werden, die eine hohe Stabilität aufweisen und einer besseren prothetischen Abstützung dienen [10, 44, 47, 48, 107].

Um angulierte Implantate funktionell und ästhetisch gut versorgen zu können, muss mit angulierten Abutments eine einheitliche Einschubrichtung für die Versorgung geschaffen werden. Die Abutments sind je nach Anbieter in unterschiedlichen Gradzahlen und -schritten erhältlich (z.B. Implant Innovations Inc.: 0, 15, 25, 30 Grad). Im Durchschnitt werden die Abutments von 5- 30° am häufigsten benutzt. Sie besitzen ein äußeres Gewinde, um seitlich über eine Schraube mit dem Implantat befestigt zu werden. Die Anzahl von Positionen, die das Abutment zum Implantat einnehmen kann, ist wieder vom Hersteller abhängig (z.B. 12 Positionen bei Implant Innovations Inc.). Die Überlebensraten von angulierten und nicht-angulierten Abutments sind gleich [4, 90, 91].

1.8.2 Segmentosteotomie

Die Segmentosteotomie stellt eine wichtige operative Korrekturmöglichkeit skelettaler oder dentaler Malokklusionen dar. In Kombination mit kieferorthopädischen Behandlungsmaßnahmen wird sie bei entwicklungsbedingten oder traumatisch erworbenen Deformitäten durchgeführt. Auch bei falsch gesetzten Implantaten, die für die prothetische Versorgung nicht geeignet sind, kann die Segmentosteotomie angewandt werden. Das Implantat muss dadurch nicht mehr entfernt und neu inseriert werden, was den damit sonst häufig einhergehenden Knochensubstanzverlust vermeidet [37, 42].

Prinzipiell kann die Operation in Ober- und Unterkiefer erfolgen und reicht von der Verlagerung einzelner Zähne mitsamt Alveolenfach [14] bis zur totalen Osteotomie des gesamten zahntragenden Alveolarfortsatzes.

Vor dem Eingriff wird eine Modelloperation durchgeführt und ein Splint für die korrekte Positionierung hergestellt. Befinden sich Zähne an der geplanten Schnittstelle, werden sie vorher zur Schonung kieferorthopädisch auseinandergedrängt [37]. Bei

der Schnittführung sollte von den Wurzeln ein Abstand von zwei mm eingehalten werden. Zusätzlich muss auf ausreichende Vaskularisation des Segmentes geachtet werden. Die Osteotomie erfolgt mittels Fräse und Spatel. Das mobile Segment kann mit Hilfe des Splintes in die gewünschte Position gebracht und mit Osteosyntheseplatten fixiert werden [95].

1.8.3 Das Malo-Konzept

Das „All-on-4“ Immediate-Funktion Concept von Paulo Malo umfasst die festsitzende Versorgung eines zahnlosen Ober- oder Unterkiefers mittels vier anguliert stehender Implantate: Durch Kippung der Implantate kann ein größerer Abstand zwischen ihnen gewählt und somit eine weitere anteriore-posteriore Verteilung erreicht werden. Dadurch wird die notwendige Anzahl reduziert. Außerdem können durch die schräge Inserierung längere Implantate eingesetzt werden. Dies und die Möglichkeit einer kortikalen Verankerung erhöhen die Stabilität der Pfeiler. Für die prothetische Abstützung können die Implantate optimal geplant werden [57, 83, 100].

Für den Eingriff im Oberkiefer wird zunächst eine Inzision von Höhe des ersten Molaren bis zur Gegenseite mittig auf dem Kieferkamm durchgeführt. Es wird ein Mucoperiostlappen mit vestibulären Entlastungsschnitten präpariert. Die anterioren Implantate werden auf Höhe der Inzisiven vertikal inseriert. Die distalen Implantate folgen dem anatomischen Verlauf der anterioren Wand des Sinus maxillaris. Die Implantate können so unter Einbeziehung der Kortikalis besser verankert werden. Das Durchtrittsprofil der Implantataufbauten kommt auf Höhe des zweiten Prämolaren oder des ersten Molaren zu liegen [58].

Im Unterkiefer werden zusätzlich die Foramina mentalia lokalisiert, sie dienen als Orientierungspunkte. Die beiden anterioren Implantate werden so inseriert, dass sie den anatomischen Gegebenheiten im anterioren Bereich folgen; die distalen Implantate werden mesial vom Foramen mentale in einem 30°-Winkel zur Okklusalfäche gesetzt [57]. Die Planung der Implantatpositionen und –angulationen wird durch eine von Paulo Malo erfundene Führungsapparatur unterstützt. Diese Planungsschiene ist aus Titan, sie besteht aus einem Band und einer Fixationsvorrichtung. Es wird ein zirka zwei mm großes Loch mittig in den zu behandelnden Kiefer gefräst, wo die Apparatur befestigt wird. Das Band wird so gebogen, dass es der Zentralfissur des gegenüberliegenden Kiefers folgt. Dadurch ist es möglich, die Implantate in Relation zur Gegenbezahnung zu setzen [44, 56-58]. Nach Insertion der Implantate kann der Pa-

tient mit einem Interimsersatz sofort versorgt werden. Nach Abheilen des Operationsgebietes und Erreichen der Osseointegration kann ein Abdruck für die Herstellung der definitiven Versorgung genommen werden [13, 44].

1.9 Fragestellung

Ziel der Studie ist die Analyse der geplanten Angulationen von Implantaten bei der Herstellung von 3D-Bohrschablonen, die für verschiedene Indikationen hergestellt wurden. Dabei sollen die durchgeführten oder geplanten augmentativen Maßnahmen und die Art der vorgesehenen Suprakonstruktion sowie auch die Anzahl der Implantate pro Kiefer berücksichtigt werden.

Dazu sind anhand präoperativer dreidimensionaler Aufnahmen computerunterstützte Implantatplanungen von mindestens 500 Patienten auszuwerten, die in der Planungssoftware Galileos geplant und entsprechend umgesetzt wurden.

2 Material und Methode

2.1 Ausmessung der Interimplantatwinkel mit Hilfe des Galileos Implant Systems

Für diese Studie wurden 563 konsekutive Planungen mittels digitaler Volumentomogramme herangezogen, die mithilfe des Cone Beam Scanners Galileos (Firma Sirona Dental System GmbH, Bensheim, Deutschland) in der Zeit Juni 2007 bis Dezember 2008 von verschiedenen Zahnärzten und Kliniken an die Fa. Sicat, Bonn zur Weiterverarbeitung gesandt wurden. Galaxis ist die entsprechende Software für die dreidimensionalen Volumenrekonstruktionen des maxillofazialen Bereiches und Bestandteil des Galileos- Systems. Ausgewertet wurden die Bilder in der zentralen Stelle der siCAT GmbH & Co für die Herstellung der Implantatbohrschablonen.

2.2 Patientenfälle

Die zur Befunderhebung herangezogenen Röntgenbilder für diese Studie rekrutieren sich aus CB 3D Datensätzen, die zwischen Juni 2007 und Dezember 2008 im Routinebetrieb verschiedener Zahnarztpraxen und Kliniken im Köln-Bonner Raum angefertigt wurden. Eine rechtfertigende Indikation war bei allen geröntgten Patienten aufgrund implantologischer Planung mit oder ohne augmentativer Maßnahme gegeben. Das Alter der Patienten betrug im Mittelwert 55,4 Jahre mit einer Standardabweichung von 14,7 Jahren. Der Indikationsbereich der untersuchten Patienten lag in der implantologischen Versorgung mit Einzelzahnersatz bis zum kompletten Ersatz des Zahnsystems mit festsitzenden oder herausnehmbaren Konstruktionen sowie zur Planung von horizontalen Augmentationen und auffüllenden Maßnahmen der Kieferhöhle. Die Messung der Winkel zwischen den Implantaten konnte mit Hilfe der Galileos Implant Software errechnet werden. Dabei wird die Neigung jedes einzelnen Implantates als Vektor dargestellt. Die Vektoren werden im dreidimensionalen Raum virtuell einander angelagert und der Winkel zwischen ihnen automatisch ausgemessen.

2.3 Ausmessung der Interimplantatwinkel an Patientenmodellen

Zusätzlich wurden die Interimplantatwinkel von 12 Patientenmodellen aus der Klinik- und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie und der Interdis-

ziplinären Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie an der Universität zu Köln vermessen. Darunter befanden sich vier Modelle ohne Bezahnung und sieben mit Freundsituationen sowie ein Fall mit Schalllücke. Insgesamt wurden zwischen 41 Implantaten 119 Winkel gemessen.

Die Modelle wurden mit Hilfe eines zahntechnischen Vermessungsgerätes ausgemessen. Dieses besteht aus einer horizontalen Gerätebasis, einer senkrechten Säule, einem beweglichen, horizontalen Kreuzarm, einem Parallelometer mit Spannvorrichtung für die Aufnahme von Grafitminen, Analysierstiften oder Messtellern sowie einem Modelltisch mit Spannvorrichtung und Kugelgelenk. Die Modelle wurden auf dem Modelltisch eingespannt, auf dem sie in allen Ebenen bewegt und gekippt werden können. Um die Position der Implantate besser bestimmen zu können, wurden die auf den Modellen befindlichen Gingivaformer gegen lange Abformpfosten ausgetauscht. So konnte dann das erste Implantat parallel zum Parallelometerstift ausgerichtet werden. Danach wurde der Parallelometerstift an jedes andere im Kiefer befindliche Implantat (Pfosten) so basisnah wie möglich angehalten. Die Berührungsstelle von Parallelometerstift und Pfosten wurde am Pfosten markiert und abgemessen. Im rechten Winkel wurde mittels Geodreieck und Stechzirkel die Distanz zwischen dem Pfosten und Stift gemessen. Da so ein rechtwinkliges Dreieck geschaffen wurde, konnte die Winkelfunktion zur Errechnung der Interimplantatwinkel angewendet werden.

Die Seite, die dem rechten Winkel gegenüberliegt, ist die Hypotenuse, die beiden anderen Seiten sind die Katheten. Liegt die Kathete an dem zu berechnenden Winkel, wird sie Ankathete genannt, liegt sie gegenüber, heißt sie Gegenkathete.

Unsere Messungen liefern die Werte der Ankathete (Pfostenhöhe) und der Gegenkathete (Distanz zwischen Stift und Pfosten). Das Verhältnis von Gegenkathete zu Ankathete ist der Tangens des zu bestimmenden Winkels. Mittels Arcustangens kann dieser Winkel dann errechnet werden.

Die Messungen wurden zusammen mit denen aus den Digitalen Volumentomogrammen ausgewertet.

2.4 Auswertung

Für die Auswertung wurden die Daten der 563 digitalen Volumentomogramme in eine Tabelle aufgenommen. Diese zeigt die Bohrschablonennummer, das Kürzel des anonymisierten Patientennamen, die Indikation, den Kiefer, die Anzahl der Implan-

te, die Implantatposition von Implantat 1 und Implantat 2, zwischen denen der Winkel gemessen wird, den Winkelwert und die vorgesehene Augmentationstechnik.

Die Indikation richtet sich nach den Indikationsklassen 1-3 zur Regelversorgung vom Bundesverband der implantologisch tätigen Zahnärzte in Europa/European Association of Dental Implantologists: Wird ein Implantat je fehlendem Zahn innerhalb einer zahnbegrenzten Lücke gesetzt, spricht man von Klasse 1. Im Unterkiefer werden die vier Frontzähne aufgrund anatomischer Gegebenheiten durch nur zwei Implantate ersetzt. Diese Situation zählt ebenfalls zur Klasse 1. Die Klasse 2 umfasst den reduzierten Restzahnbestand und alle Fälle mit Frendlücke. Als Versorgung kommen hierbei herausnehmbare Apparaturen, Brückenersatz und am Freieinde auch Einzelzahnersatz in Frage. Zahnlose Kiefer können sowohl festsitzend als auch herausnehmbar versorgt werden und bilden die Klasse 3.

Die Versorgung erfolgt festsitzend mittels Einzelkrone („Einzel“) oder Brücke („Brücke“). Alle herausnehmbaren Konstruktionen werden unter einer Kategorie zusammengefasst und als „Steg“ bezeichnet. Weitere Fälle werden festsitzend nach dem Malo-Konzept behandelt und auch so benannt („Malo“). Weitere Ausnahmen sind temporär gesetzte Implantate („Temporär“) oder Kfo-Schrauben („Kfo“) zur Befestigung der Bohrschablone.

Augmentative Maßnahmen werden in beiden Kiefern nach „nicht geplant, geplant oder durchgeführt“ sowie im Oberkiefer zusätzlich nach „Sinuslift durchgeführt oder geplant“ eingeteilt.

2.5 Statistik

Nach der Erfassung der Daten wurden mit Hilfe des SPSS-Programms (SPSS Inc., Chicago, USA) deskriptive Statistiken (Oneway), Mehrfachvergleiche (Post-Hoc-Test; Bonferroni) und T-Tests (Anova) durchgeführt. Die Ergebnisse wurden zur Veranschaulichung in Häufigkeitsdiagrammen, Boxplotstatistiken und Mittelwertdiagrammen dargestellt.

3 Ergebnis

3.1 Beschreibung der dreidimensionalen Planungen

In dieser Studie wurden 563 Planungen für die Herstellung von Bohrschablonen untersucht, davon 304 (54%) im Oberkiefer und 259 (46%) im Unterkiefer.

3.1.1 Häufigkeit der Indikation (Fälle)

Die Auswertung der Häufigkeit nach Indikation ergibt, dass von den 563 Planungen der größte Anteil auf teilbezahnte Patienten mit 45,3% (255 Planungen) fällt. Dies entspricht der Einteilung nach der Indikationsklasse 2. Danach folgen die Einzelzahnversorgungen als Indikationsklasse 1 mit 32,3% (182 Planungen) und die Versorgung zahnloser Kiefer als Klasse 3 schließlich mit 22,4% (126 Planungen).

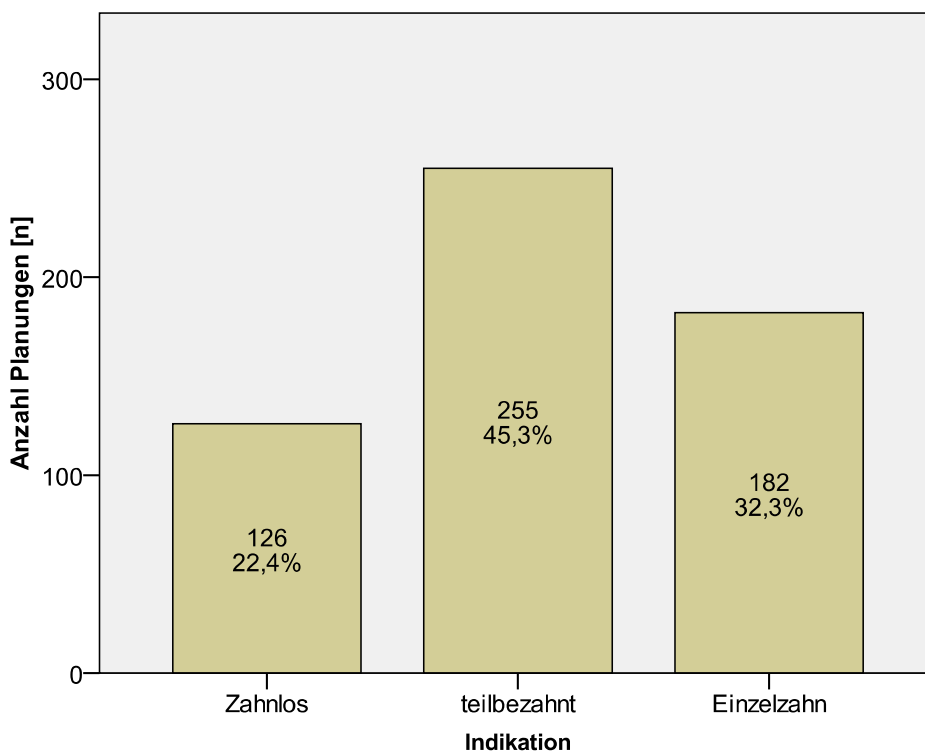


Abbildung 8: Häufigkeit der Planungen der Indikation

3.1.2 Häufigkeit der Indikation (Implantate)

Bei den 563 untersuchten Planungen wurden 2041 Implantate virtuell inseriert; davon 1213 Implantate (59,4%) im Oberkiefer und 828 Implantate (40,6%) im Unterkiefer. 691 Implantate (33,9%) wurden für den zahnlosen Kiefer und 885 (43,4%) für teilbe-

zahnte Kiefer vorgesehen; für Einzelzahnücken oder Schaltücken waren es weitere 465 Implantate (22,8 %), wobei jeweils ein Zahn durch ein Implantat ersetzt wurde.

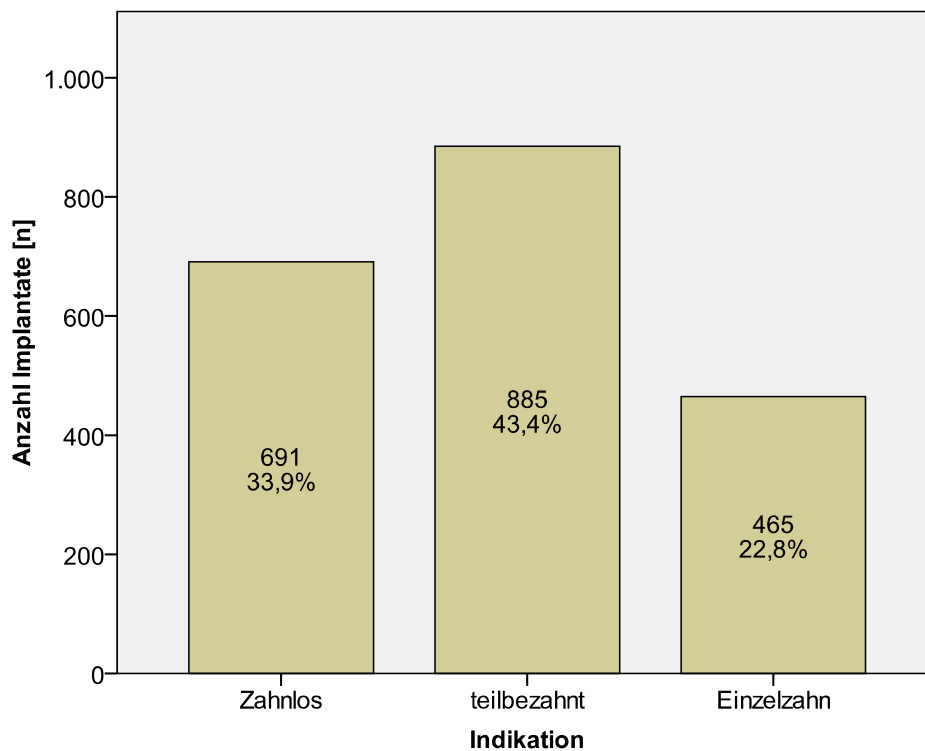


Abbildung 9: Häufigkeit der geplanten Implantate der Indikation

3.1.3 Häufigkeit der Art der Versorgung (Implantate)

Bei der Betrachtung der Häufigkeit nach der Art der Versorgung der Implantate ergibt sich absteigend folgende Reihenfolge: 42,7% (872 Implantate) für Einzelzahnersatz, 38,4% (784 Implantate) für Brücken, 15,7% (321 Implantate) für herausnehmbaren Zahnersatz, 1,2% (24 Implantate) für Malo, 1,2% (24 Implantate) für Anchorpins, 0,6% (12 Implantate) für temporäre Implantate und 0,2% (vier Implantate) für KFO-Schrauben.

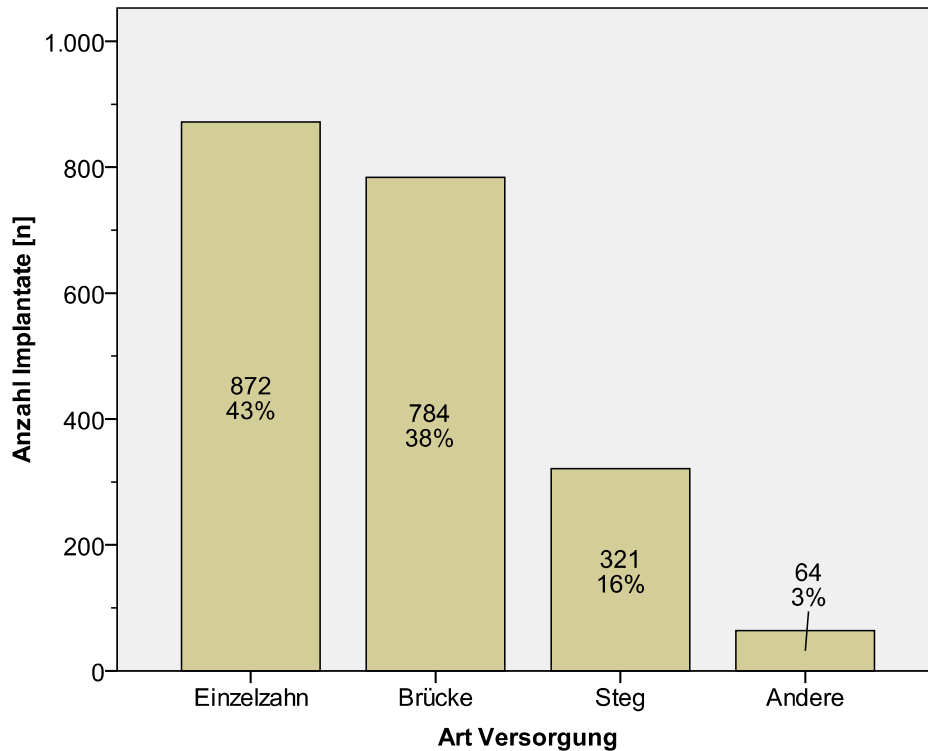


Abbildung 10: Häufigkeit der Art der Versorgung (Implantate)

3.1.4 Häufigkeit der Art der Versorgung (Fälle)

Die meisten Planungen wurden mit 53,3% (300 Planungen) für Einzelzahnversorgungen gemacht. Danach folgen die Brücken mit 30,2% (170 Planungen) und die herausnehmbaren Konstruktionen (Stege) mit 14,0% (79 Planungen). Die übrigen 2,5% (14 Planungen) entfallen auf andere.

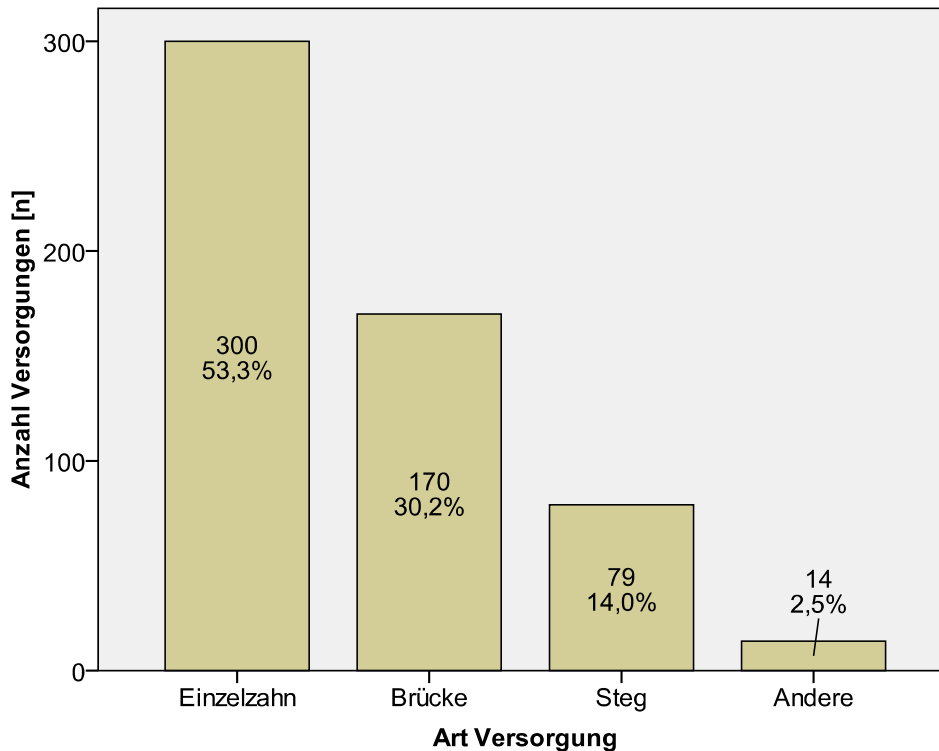


Abbildung 11: Häufigkeit der Art der Versorgung (Fälle)

3.1.5 Häufigkeit der Implantatposition

Der erste Molar wird am häufigsten in 456 Planungen ersetzt, das entspricht 22,3%. Nach Ober- und Unterkiefer aufgeteilt ergibt das 50,7% und 49,3%. Am zweithäufigsten wird an Stelle des ersten Prämolaren in 353 Planungen (17,3%) ein Implantat geplant, im Oberkiefer entsprechend in 63,5% und im Unterkiefer in 36,5% der Fälle. Es folgt der zweite Prämolare in 350 Fällen (17,1%; OK 58,9%, UK 41,1%), der Eckzahn in 245 Fällen (12,0%; OK 68,2%, UK 31,8%), der seitliche Schneidezahn in 238 Fällen (11,7%; OK 58,4%, UK 41,6%), der zweite Molar in 207 Fällen (10,1%; OK 43,0%, UK 57,0%), der mittlere Schneidezahn in 183 Fällen (9,0%; OK 82,5%, UK 17,5%) und zuletzt der Weisheitszahn in neun Fällen (0,4%; OK 66,7%, UK 33,3%). Abbildung 12 zeigt die Häufigkeit der geplanten Implantatpositionen, aufgeteilt nach Ober und Unterkiefer.

Abgesehen von dem zweiten Molaren werden im Oberkiefer immer mehr Implantate geplant als im Unterkiefer.

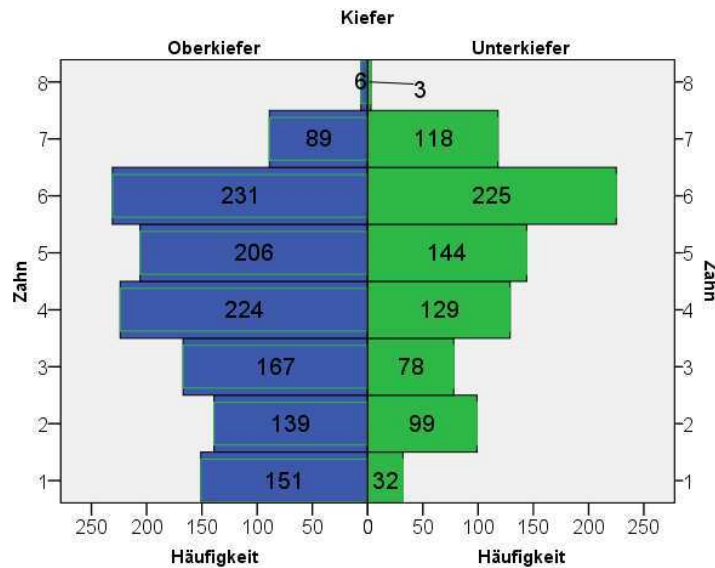


Abbildung 12: Häufigkeit der Implantatposition in Ober- und Unterkiefer

3.2 Kombinationen der Häufigkeiten in den dreidimensionalen Planungen

3.2.1 Häufigkeit der Art der Versorgung und der Indikation

Bei der Kombination von der Art der Versorgung mit der Indikation lässt sich erkennen, dass für den Ersatz mit Einzelkronen beim teilbezahnten Patienten die meisten Implantate (473) geplant werden. Das bedeutet, dass diese Implantate der Indikationsklasse 2 zuzuordnen sind und die Patienten eine Freundsituation aufweisen. 398 Implantate sind in Schallücken für eine Versorgung mit Einzelkronen vorgesehen. Dies entspricht der Indikationsklasse 1.

Brückenersatz kommt häufig bei teilbezahnten (360 Implantate) und zahnlosen (359 Implantate) Patienten zum Einsatz, also bei der Indikationsklasse 2 und 3. Aber auch bei der Indikationsklasse 1 sind sie vertreten. Dies sind Fälle, wobei meistens die vier Unterkiefer- Inzisiven durch zwei Implantate in einer Schallücke ersetzt werden, oder wenn in einer zahnbegrenzten Lücke im Seitenzahnbereich ein Implantat zwei Zähne (zwei Prämolaren) zu tragen hat.

Herausnehmbare Konstruktionen werden vorwiegend bei der Indikationsklasse 3 (zahnlose Patienten, 273 Implantate) geplant, oftmals erfolgt die Planung mit einer Stegversorgung. Für teilbezahnte Patienten gibt es 46 Planungen, wobei die Pfeileranzahl je nach vorhandenen Pfeilerzähnen durch Implantate im Unterkiefer auf mindestens vier und im Oberkiefer auf mindestens sechs erhöht wird, was der Regelversorgung vom Bundesverband der implantologisch tätigen Zahnärzte in Europa/European Association of Dental Implantologists entspricht. 24 Implantate werden

bei zahnlosen Patienten für eine festsitzende Versorgung nach dem Malo- Konzept geplant.

Anchor-Pins dienen der Befestigung der Bohrschablone bei zahnlosen Patienten (24 Stück); KFO - Schrauben erfüllen die gleiche Aufgabe in teilbezahnten Gebissen (vier Implantate). Temporäre Implantate gibt es bei der Indikationsklasse 2 (zwei Implantate) und bei der Indikationsklasse 3 (zehn Implantate).

Unterteilt man die Ergebnisse nochmals nach Ober- und Unterkiefer, fällt auf, dass Implantate für Brückenersatz bei allen Indikationen fast doppelt so häufig im Oberkiefer, wie im Unterkiefer geplant werden (Zahnlos: 243 OK/116 UK; Teilbezahnt: 217 OK/143 UK; Einzel: 41 OK:/24 UK). Das ergibt sich aus der im Oberkiefer benötigten größeren Pfeileranzahl gegenüber der im Unterkiefer.

Für herausnehmbare Konstruktionen werden ebenfalls im Oberkiefer bei allen Indikationen mehr Implantate platziert als im Unterkiefer (Zahnlos: 157 OK/116 UK; Teilbezahnt: 29 OK/17 UK).

Für Einzelzahnersatz ergeben sich bei teilbezahnten Patienten für Ober- und Unterkiefer keine eindeutigen Unterschiede (230 OK/244 UK), wohl aber für Schaltlückensituationen zugunsten des Oberkiefers (251 OK/150 UK).

Eine Versorgung nach dem Malokonzept ist in dieser Studie doppelt so oft im OK wie im UK (16:8) geplant worden. Anchorpins sind im OK 14 und im UK zehn Mal aufzufinden. Kfo-Schrauben wurden ausschließlich im UK platziert (vier Stück) und temporäre Implantate nur im OK (12 Implantate).

3.2.2 Häufigkeit der Art der Versorgung und der Augmentation

Im Folgenden wird die Häufigkeit für die Art der Versorgung mit der augmentativen Maßnahme kombiniert. Letztere kann eine Augmentation im Sinne einer Auflagerungsosteoplastik als geplant oder durchgeführt in OK und UK sein oder eine Sinuselevation als geplant oder durchgeführt im OK. In den meisten Fällen ist keine Augmentation notwendig.

Am häufigsten wird im Oberkiefer implantatgetragener Brückenersatz geplant (41,3%, 501 Implantate von 1213 im OK); 14,1% benötigen keine vorherige Augmentation, in 13,4% ist eine Augmentation geplant, in 8,0% ist eine Sinuselevation geplant, in 3,4% ist diese bereits erfolgt und in 2,4% wurde zuvor eine Osteoplastik durchgeführt. Im Unterkiefer dagegen ist in 34,3% (283 Implantate) Brückenersatz

geplant; bei 24,4% ist keine Augmentation erforderlich, in 8,4% ist sie geplant und in 1,5% durchgeführt.

Im Oberkiefer folgen mit 39,7% (481 Implantate) die Einzelzahnversorgungen, davon 15,2% ohne Augmentation, 10,1% mit geplanter Sinuselevation, 8,0% mit geplanter Augmentation, 3,7% nach Sinuselevation und 2,6% nach Osteoplastik. Im UK stehen Planungen für Einzelzahnersatz mit 47,2% (391 Implantate) an der Spitze; diese verteilen sich mit 31,6% auf keine Augmentation, 13,7% mit geplanter Augmentation und 2,2% nach Augmentation.

Herausnehmbare Konstruktionen werden im Oberkiefer in 15,5% (188 Implantate) geplant, die meisten entfallen auf keine notwendige Augmentation (6,3%) und auf eine geplante Augmentation (5,7%). Eine Sinuselevation ist in 2,1% geplant bzw. in 1,3% bereits durchgeführt. Im UK verteilen sich 16,1% (133 Implantate) für die Augmentationsplanung für herausnehmbare Konstruktionen auf keine Augmentation (13,8%) und Augmentation geplant (2,3%). Der Rest entfällt in beiden Kiefern auf andere.

Ferner zeigt sich, dass in den meisten Fällen keine Augmentation notwendig ist (OK 38,1%, UK 71,8%). Danach folgt die geplante Augmentation (OK 28,2%, UK 24,4%), die geplante Sinuselevation (OK 20,3%), die erfolgte Augmentation (OK 5,0%, UK 3,6%) und zuletzt die erfolgte Sinuselevation (OK 8,4%). Bei den Augmentationen sind keine eindeutigen Unterschiede zwischen OK und UK erkennbar. Die Augmentation wird öfter in einem Schritt mit der Implantation als in zwei separaten Eingriffen geplant.

3.3 Analyse der geplanten Implantate

3.3.1 Geplante Angulation der Implantate bei den verschiedenen Indikationen

Der mit einem 95%- Konfidenzintervall berechnete Mittelwert der Angulationen zwischen den Implantaten beträgt im Oberkiefer $17,7^\circ \pm 14,00^\circ$ und im Unterkiefer $11,9^\circ \pm 12,44^\circ$. Die Intervallgrenzen im OK betragen $17,16^\circ$ und $18,29^\circ$, im UK $11,22^\circ$ und $12,64^\circ$. In beiden Kiefern wird ein Minimum von $0,00^\circ$ erreicht, die Maxima liegen bei $117,95^\circ$ im OK und $103,33^\circ$ im UK.

Der Vergleich der Winkel zwischen den geplanten Implantaten bei den verschiedenen Indikationsklassen führt zu folgenden Ergebnissen: Die mittlere Größe der Winkel nimmt im Oberkiefer von zahnlosen Patienten ($19,2^\circ \pm 15,78^\circ$) über Einzelzahn-

versorgungen ($16,9^\circ \pm 10,81^\circ$) zu teilbezahnten Patienten ($15,9^\circ \pm 12,23^\circ$) ab. Im UK sind die größten Winkel ebenfalls bei zahnlosen Patienten ($12,7^\circ \pm 15,79^\circ$) zu messen, gefolgt von Einzelzahnersatz ($12,0^\circ \pm 8,59^\circ$) und schließlich bei teilbezahnten Patienten ($11,2^\circ \pm 9,73^\circ$).

Die univariante Mehrvergleichsanalyse Anova mit Bonferroni Post- Hoc- Test ergibt nur beim Vergleich der Oberkieferwinkel signifikante Unterschiede: zwischen zahnlosen und teilbezahnten Fällen ($p=0,000$), sowie zwischen zahnlosen Fällen und Einzelzahnersatz ($p=0,010$).

Mit dem T- Test für die Mittelwertgleichheit werden die Angulationen bei den gleichen Indikationen zwischen Ober- und Unterkiefer auf signifikante Unterschiede untersucht. Diese liegen bei allen Indikationen vor (alle $p=0,000$), (Abbildung 13).

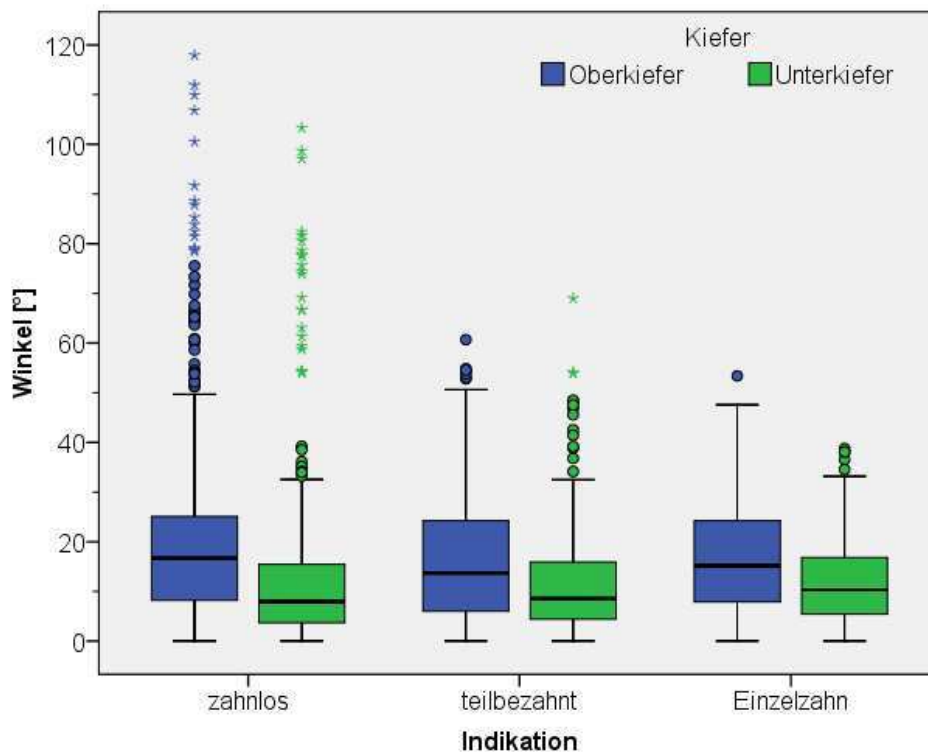


Abbildung 13: Boxplotstatistik der Implantatwinkel bei den Indikationsklassen

3.3.2 Geplante Angulation der Implantate bei Art der Versorgung

Hierbei werden die klinisch relevanten Winkel zwischen den geplanten Implantaten für Einzelzahnersatz, Brücken, herausnehmbaren Zahnersatz und dem Malo-Konzept ausgewertet; die übrigen werden vernachlässigt. Die Ergebnisse sind in einem Mittelwert-Diagramm und in einer Boxplotstatistik in Abbildung 15 und 16 abgebildet.

Besonders auffällig sind hier die großen Winkel zwischen den Implantaten für das Malo- Konzept. Die bekannten Maxima (OK 117,95°, UK 103,33°) liegen bei dieser Versorgungsart. Der Mittelwert für den Oberkiefer liegt bei $54,9^\circ \pm 30,35^\circ$ und im Unterkiefer bei $44,4^\circ \pm 31,92^\circ$.

Der Vergleich von Malo mit den anderen Versorgungsarten mit Hilfe der univariaten Mehrvergleichsanalyse Anova mit Bonferroni Post- Hoc- Test ergibt, dass im Ober- und Unterkiefer signifikante Unterschiede zu allen anderen Versorgungsarten ($p=0,00$) bestehen.

Des Weiteren fällt auf, dass bei der Versorgung der Implantate mit Brückenersatz im Oberkiefer größere Winkel ($18,6^\circ \pm 13,28^\circ$) gemessen werden, als bei der Versorgung mit Einzelkronen ($14,9^\circ \pm 11,58^\circ$) und herausnehmbaren Konstruktionen ($15,7^\circ \pm 10,94^\circ$). Die Mehrvergleichsanalyse zeigt hierbei signifikante Unterschiede zwischen Brückenersatz und Stegversorgung ($p=0,002$) und zwischen Brückenversorgung und Einzelzahnersatz ($p=0,000$). Im Unterkiefer dagegen gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versorgungsarten.

Der T- Test der Mittelwertgleichheit ergibt signifikante Unterschiede der Angulationen beim Vergleich von Ober- und Unterkiefer bei Einzelzahn-, Brücken- und herausnehmbaren Ersatz (alle $p=0,000$), (Abb14).

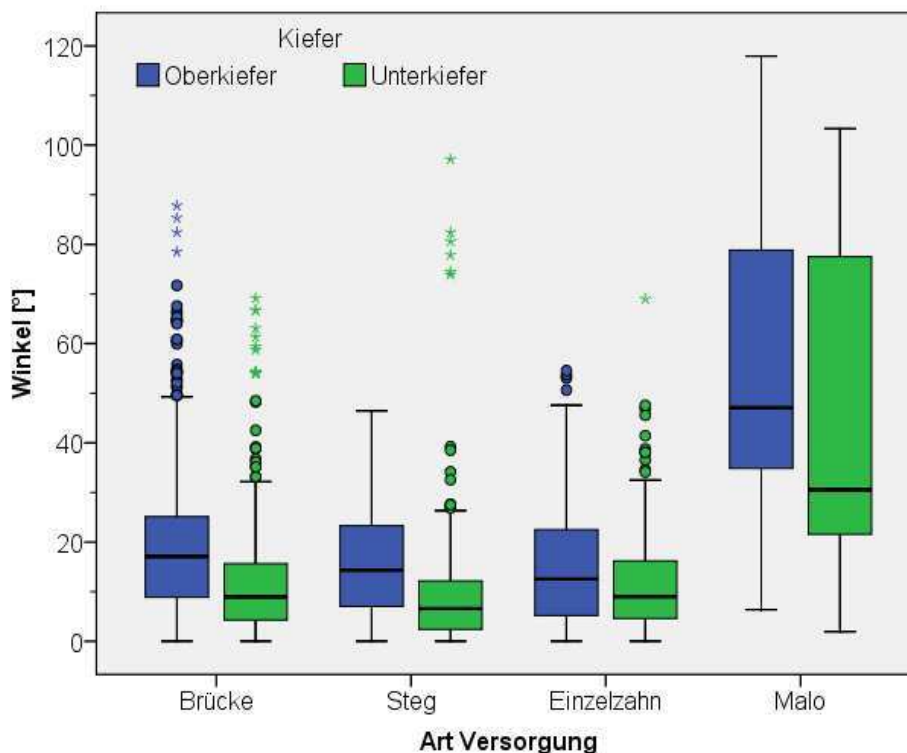


Abbildung 14: Boxplot-Statistik der Winkel bei Art der Versorgung

3.3.3 Geplante Angulationen der Implantate bei den verschiedenen Augmentationsmaßnahmen

Beim Vergleich der verschiedenen augmentativen Maßnahmen liegt der größte Mittelwert im OK bei „Augmentation geplant“ mit einem Winkel von $20,4^\circ$. In absteigender Reihenfolge schließen sich die folgenden Mittelwerte an: „ohne“ ($17,8^\circ \pm 14,51^\circ$), „Sinuselev. geplant“ ($15,2^\circ \pm 11,52^\circ$), „nach Osteoplastik“ ($13,5^\circ \pm 8,13^\circ$) und „nach Sinuselev.“ ($12,9^\circ \pm 10,30^\circ$).

Im UK sieht die Reihenfolge mit den dazugehörigen Mittelwerten wie folgt aus: „ohne Augmentation“ ($12,1^\circ \pm 13,68^\circ$), „Augmentation geplant“ ($11,8^\circ \pm 8,84^\circ$) und „nach Osteoplastik“ ($10,0^\circ \pm 6,17^\circ$).

Die univariante Mehrvergleichsanalyse Anova mit Bonferroni Post- Hoc- Test ergibt für die Winkel bei den augmentativen Maßnahmen im Oberkiefer signifikante Unterschiede zwischen fast allen Gruppen: „ohne Augmentation“ im Vergleich mit „nach Osteoplastik“ ($p=0,007$), mit „nach Sinuselevation“ ($p=0,000$), mit „Augmentation geplant“ ($p=0,001$) und mit „Sinuselevation geplant“ ($p=0,025$); des Weiteren beim Vergleich von „nach Osteoplastik“ mit „Augmentation geplant“ ($p=0,000$); beim Vergleich von „nach Sinuselevation“ mit „Augmentation geplant“ ($p=0,000$) und beim Vergleich von „Augmentation geplant“ mit „Sinuselevation geplant“ ($p=0,000$). Im Unterkiefer dagegen können keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden.

Innerhalb derselben Gruppe zwischen Ober- und Unterkiefer ergibt der T-Test bei allen vergleichbaren Augmentationen signifikante Unterschiede: „ohne“ ($p=0,000$), „nach Osteoplastik“ ($p=0,011$) und „Augmentation geplant“ ($p=0,000$), (Abb. 15).

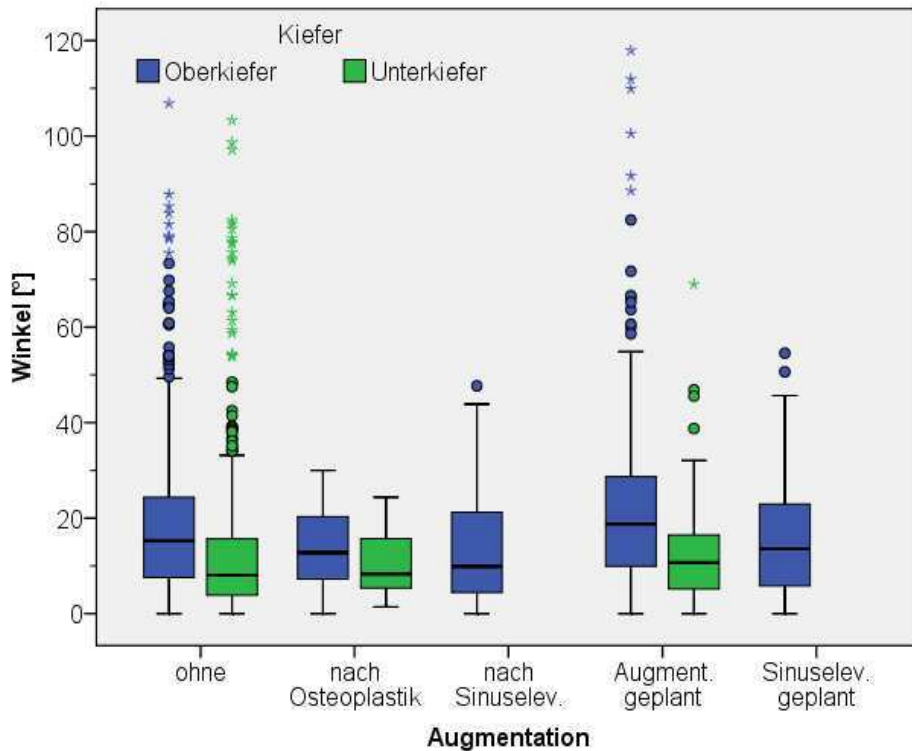


Abbildung 15: Boxplotstatistik der Winkel bei den verschiedenen Augmentationen

3.3.4 Geplante Angulation zwischen den Implantaten nach Anzahl der Implantate pro Kiefer

Zur Analyse der Angulation in Bezug auf die Anzahl der Implantate pro Kiefer wurden die Patientenfälle mit mehr als sieben Implantaten in zwei Gruppen mit sieben und acht sowie neun und zehn Implantaten zusammengefasst, um eine im Vergleich zu den geringeren Implantatanzahlen relevante Gruppengröße zu erreichen.

Der höchste Mittelwert liegt hierbei in der Gruppe mit der höchsten Implantatanzahl: bei neun/zehn Implantaten beträgt der Durchschnittswinkel im Oberkiefer $22,2^\circ$ mit einer Standardabweichung von $14,98^\circ$. Es schließen sich an: sechs Implantate ($19,1^\circ \pm 13,94^\circ$), sieben/acht Implantate ($18,4^\circ \pm 15,50^\circ$), fünf Implantate ($17,6^\circ \pm 11,27^\circ$), vier Implantate ($14,3^\circ \pm 10,86^\circ$), drei Implantate ($11,9^\circ \pm 11,62^\circ$) und zwei Implantate ($11,0^\circ \pm 11,21^\circ$).

Der Unterkiefer bietet ein ähnliches Bild: bei neun/zehn Implantaten ergibt sich ein Mittelwert von $28,6^\circ$ mit einer Standardabweichung von $26,46^\circ$. Absteigend folgen: sieben/acht Implantate ($18,0^\circ \pm 21,01^\circ$), sechs Implantate ($12,3^\circ \pm 8,87^\circ$), drei Implantate ($10,1^\circ \pm 9,12^\circ$), vier Implantate ($9,7^\circ \pm 8,62^\circ$), fünf Implantate ($9,4^\circ \pm 7,58^\circ$) und zuletzt zwei Implantate ($8,0^\circ \pm 8,65^\circ$).

Der Vergleich der Mittelwerte in den Gruppen zeigt, dass mit der Implantatanzahl die Größe der Winkel zunimmt (Abb.19). Dies verdeutlicht, dass bei der Versorgung grö-

ßerer Kieferanteile die anatomischen Gegebenheiten stärker variieren und für die Planung berücksichtigt werden müssen, als wenn weniger Implantate, meist auch in unmittelbarer Nähe, geplant werden. Die Analyse zeigt, dass die Winkel in den einzelnen Gruppen im Oberkiefer immer größer als im Unterkiefer sind, außer in der Gruppe mit der höchsten Implantatanzahl (Abb.18).

Die univariante Mehrvergleichsanalyse Anova mit Bonferroni Post- Hoc- Test bestätigt, dass mit der Implantatanzahl die Größe der Winkel zunimmt: signifikante Unterschiede liegen bei allen Gruppen immer dann vor, wenn der Unterschied der geplanten Anzahl der Implantate vier oder mehr beträgt. In 31% der untersuchten Kombinationen der Implantatanzahl lag ein signifikanter Unterschied schon bei einer Differenz von zwei oder drei Implantaten vor.

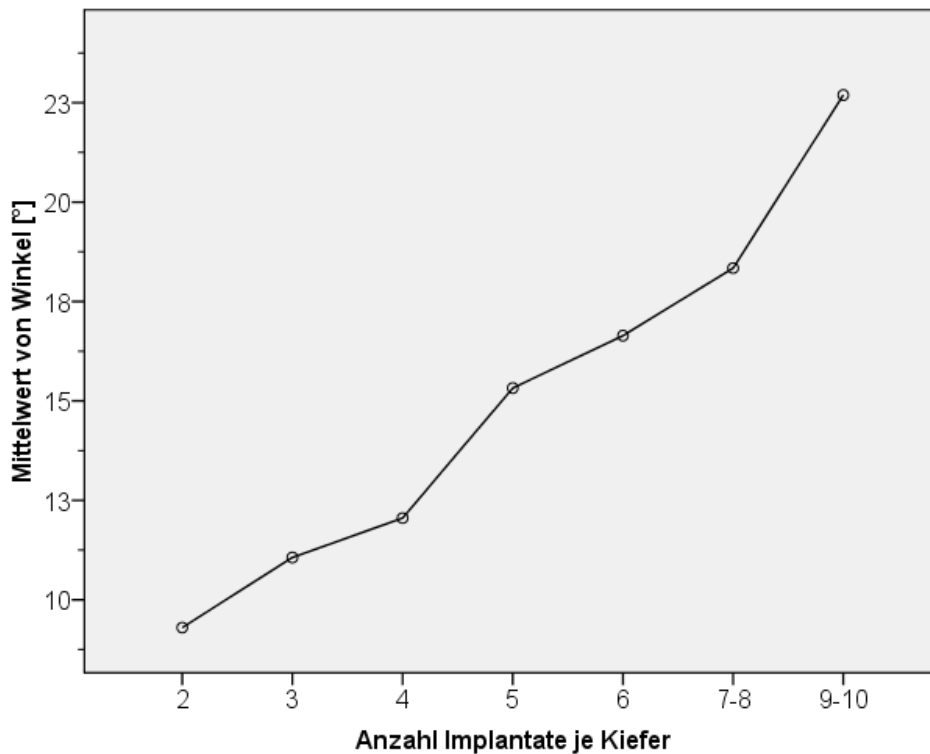


Abbildung16 : Mittelwertdiagramm der Winkel nach Anzahl der Implantate

4 Diskussion

4.1 Methode

In dieser Studie wurden 563 Planungen für Implantatpositionen untersucht. Diese wurden mit dem Galileos- System in der Zeit von Juni 2007 bis Dezember 2008 von verschiedenen Zahnärzten und Kliniken an die Firma Sicat in Bonn zur Weiterverarbeitung geschickt. Die erweiternde Software „Galileos Implant“ erlaubt computerunterstützte Implantatplanungen, die anschließend in einem CAD-CAM-Verfahren für die Herstellung von Bohrschablonen umgesetzt werden [92, 93]. Diese Technologie wird heute weltweit von verschiedenen Anbietern genutzt und ist als klinisch relevant für den routinemäßigen Einsatz einzustufen.

Bei der Implantation mittels Bohrschablone (statischen Verfahren) erfolgt zuerst eine präzise Übertragung der computerunterstützten Implantatplanung auf die Schablone [63] und von der Schablone auf den Patienten [41]. Dabei können Übertragungen im Bereich von 1/10 mm erreicht werden. Im Schnitt liegen die Abweichungen laut einer Studie für einfach geführte Implantate vertikal bei 0,35 mm und bei den Angulationen bei 8,44°; und für Doppelhülsen - geführte Implantate vertikal bei 0,52 mm und bei den Angulationen bei 3,37° [41]. Diese Ergebnisse für die Übertragungsgenauigkeit ähneln denen anderer Studien, die Abweichungen werden mit 0,5- 1,0 mm angegeben [59, 63, 81].

Da die Übertragung von computerunterstützter Implantatplanung auf den Patienten mit einer hohen Genauigkeit erfolgt, ist davon auszugehen, dass die Winkelmessungen in den Planungen für diese Studie aussagekräftig sind und dass nicht mit relevanten Abweichungen von der klinischen Praxis zu rechnen ist.

4.2 Ergebnisse

Zu Anfangs wurde in der Implantologie eine axiale Ausrichtung der Implantate gefordert [101]. Bei geringem Knochenangebot ist diese klassische Versorgung mit parallel zueinander ausgerichteten Implantaten häufig nicht möglich. Deshalb werden sie heute - alternativ zu augmentativen Maßnahmen - unter Ausnutzung der Anatomie anguliert inseriert [1, 16, 48, 57, 90]. Bei den Patienten erhöht der reduzierte Aufwand dieser Technik die Bereitschaft für einen operativen Eingriff [22].

Entgegen aller anfänglichen Skepsis haben Studien ergeben, dass für die Osseointegration der Implantate keine axiale Belastung notwendig ist [49], und dass der Knochenabbau nach einem Jahr bei angulierten Implantaten sogar geringer als bei axial platzierten fortschreitet [16]. Zusätzlich ist bei der schrägen Insertion der Vorteil, dass eine größere Implantatlänge benutzt, sowie eine Verankerung in der Kortikalis erreicht werden kann. Beides erhöht die Stabilität des Implantates [48].

Bei jeder Implantation, gerade aber bei reduziertem Knochenangebot, kann die Nähe der Implantate zu wichtigen Strukturen, wie zur Kieferhöhle oder zum Nervus alveolaris inferior, Probleme verursachen [5, 33]. Deshalb sind - unter Berücksichtigung der prothetischen Planung, sowie des medizinischen Allgemeinzustandes des Patienten - vor Implantation genaueste Kenntnisse des Knochenangebotes und der wichtigen anatomischen Strukturen notwendig [25, 34]. Diese erlangt man am besten mittels dreidimensionaler radiologischer Diagnostik, wie sie bereits seit einigen Jahren zur Planung von dentalen Implantatpositionen zur genaueren Darstellung des Knochenangebotes empfohlen wird [26, 98]. Die Implantate können anguliert unter Ausnutzung des vorhandenen Knochenangebotes geplant oder die Notwendigkeit und das Ausmaß einer augmentativen Maßnahme abgeschätzt werden. Das Risiko anatomische Strukturen zu beschädigen kann minimiert und der Patient genau aufgeklärt werden [66]. Zur Verfügung stehen dafür die Computertomographie (CT) und die digitale Volumetomographie (DVT) [62, 98]. Die CT ist der DVT in zwei Aspekten überlegen; zum Einen kann der Radiologe den zu untersuchenden Körperausschnitt frei wählen, zum Anderen erfolgt die Darstellung von Weichteilen und möglichen pathologischen Veränderungen wesentlich präziser [104]. Beides ist für die Planung dentaler Implantate jedoch nicht ausschlaggebend, so dass dafür anhand beider Aufnahmetechniken gleichwertige diagnostische Aussagen getroffen werden können [62]. Nachteile der CT sind die strenge Indikationsbegrenzung aufgrund der hohen Strahlenbelastung, sowie hohe Kosten der Gerätschaften und deren Benutzung. Da durch Einsatz von DVT beide Faktoren reduziert werden, entwickelt sie sich in der Zahnmedizin zur dreidimensionalen Routineaufnahme [28]. Weitere Vorteile dieser Aufnahmeart sind die Reduktion von Metallartefakten bei vorhandenen Metallrestaurationen [106], sowie die Ausgliederung des Radiologen aus dem Arbeitsablauf. Der implantierende Zahnarzt kann selber die Aufnahmen anfertigen und auswerten, da die DVT seit der Neufassung der Röntgenverordnung von 2002 dem zahnärztlichen Röntgen zugeordnet ist [19].

Prinzipiell werden die Röntgenaufnahmen mit röntgenopaken Schienen, die die vorläufige prothetische Planung darstellen, hergestellt [63]. Anhand dessen können die definitive bestmögliche prothetische Versorgung geplant und präoperative Prognosen zum Ergebnis gestellt werden [87, 88]. Die erhaltenen Bilddaten werden anschließend mit einem Programm für Implantatplanung gekoppelt. Das Programm enthält eine Datenbank mit geläufigen Implantattypen, aus der der Behandler das gewünschte Implantatsystem wählen kann. Die ausgewählten Implantate können dann virtuell in den Knochen inseriert und eine realitätsgetreue Simulation erstellt werden [63]. Anhand dieser Daten kann dann die Bohrschablone hergestellt werden. Das Arbeiten mit Scan- und Bohrschablone ermöglicht eine einfache Handhabung und vermeidet die Anschaffung teurerer Zusatzgeräte [63]. Ein weiterer Vorteil bei diesem Verfahren ist, dass der Eingriff minimalinvasiv erfolgen kann, da die Möglichkeit besteht, transmukosal zu implantieren [18]. Durch den Verzicht auf großflächiges Aufklappen entstehen weniger Risiken und postoperative Schmerzen für den Patienten [20, 29]. Problematisch ist bei den verschiedenen Systemen bisher noch, dass unterschiedliche Einzelkomponenten aus Bildgebung, Hard- und Software kombiniert werden müssen [63]. Das erfordert eine genaue Abstimmung der Komponenten aufeinander sowie die Beherrschung aller Bereiche durch den anwendenden Zahnarzt [66]. Das Galileos- System dagegen, mit dem in unserer Studie gearbeitet wurde, besteht bereits aus allen nötigen Komponenten: dem Röntgengerät, der Arbeitsstation, der Datenbank und der Diagnose - und Planungssoftware [53, 66, 93], so dass die o. g. Probleme entfallen. Die Aufnahmen sind sofort verfügbar, so dass unmittelbar nach der Befundung das Beratungsgespräch für die prothetische Versorgung abgeschlossen werden kann. Die Planung wird gespeichert und an den Hersteller in Bonn gesandt, der dann die Röntgenschablone in eine Bohrschablone umarbeitet [66, 93]. In der vorliegenden Studie zeigt sich, dass die Planung von dentalen Implantatpositionen mit Hilfe von dreidimensionalen DVT- Aufnahmen und computerunterstützter Planung mittels Galileos- Implant vielfältig genutzt werden. Eingesetzt wurde das Galileos- System z.B. zur Planung von ein- und zweizeitigen augmentativen Maßnahmen, zur Planung angulierter Implantatpositionen und zur Versorgung mit dem Malo-Konzept. Aber auch bei unkomplizierten Planungen findet es vermehrt Einsatz. Bei Einzelzahnersatz erfolgten die Planungen für diese Indikation sogar in 32,3% der Fälle und in 22,8% der geplanten Implantate. Bei vielen Patienten wurden mehrere Implantate nebeneinander bei Freundsituationen (473 Implantate) und Schalllücken

(398 Implantate) geplant, was summiert eine Versorgung mit Einzelzahnersatz von 53,3% der Fälle und 42,7% der Implantate ergibt. Das zeigt, dass die Zahnärzte vermehrt mit dreidimensionaler Bildgebung und computerunterstützter Planung arbeiten. In dieser Studie kommt es dabei auf die Untersuchung der Vektoren der geplanten Implantate an, nicht auf das spezielle System, mit dem hier gearbeitet wurde. Es zeigt sich, dass der Einsatzbereich den Rahmen der empfohlen Indikationen, computerunterstützte Implantatplanung bei schwierigen anatomischen Verhältnissen einzusetzen, übersteigt [63].

Die Analyse der Angulation der 2041 Implantate mittels dreidimensionaler Implantatplanung liefert ein breites Spektrum an Winkeln von 0- 117,95°, die nach Indikationsklassen, für verschiedene Versorgungen, für Augmentationsmaßnahmen und nach Anzahl der Implantate pro Kiefer verglichen wurden. Prinzipiell lässt sich erkennen, dass die Winkel im Oberkiefer größer sind als im Unterkiefer. Da im Oberkiefer die Inaktivitätsatrophie zentripetal fortschreitet und der Knochen eine spongiöse Konsistenz besitzt [36], wird oftmals die Kortikalis zur Stabilisierung mit in die Implantatverankerung einbezogen. Das hat erhöhte Angulationen zur Folge. Implantate können parallel zur vorderen oder hinteren Begrenzung des Sinus maxillaris, in den Processus pterygoideus oder tangential zur palatinalen Krümmung auf Höhe des ersten Molaren gesetzt werden [48]. Die spongiöse Knochenkonsistenz bedingt auch eine größere Implantatanzahl im Oberkiefer als im Unterkiefer. Am häufigsten wird dabei an Stelle des ersten Molaren ein Implantat gesetzt, da dieser Zahn der bleibenden Dentition als erstes durchbricht und deswegen auch zuerst durch Karies oder andere Ursachen verloren geht [97].

Um erste Prognosen für die Überlebenswahrscheinlichkeiten der angulierten Implantate aus dieser Analyse stellen zu können, werden Berichte über angulierte Implantate zum Vergleich herangezogen. Die ersten sind vor über zehn Jahren erschienen und weisen hohe Überlebensraten nach fünf Jahren auf: Leonard Kremanov untersuchte bei 47 Patienten die Überlebensraten von angulierten und nicht angulierten Implantaten. Dabei wurden bei 25 Patienten 36 Implantate in die Mandibula und bei 22 Patienten 30 Implantate in die Maxilla inseriert. Die Winkel bei den angulierten Implantaten variierten zwischen 25° und 35°. Nach fünf Jahren betrug die kumulative Überlebensrate 98% bei den angulierten und 93% bei den nicht angulierten Implantaten [48]. Aparicio veröffentlichte ein Jahr danach ähnliche Ergebnisse. In dieser Studie wurden 25 Patienten mit 101 Implantaten versorgt, 59 davon wurden axial und 42

anguliert inseriert. Nach fünf Jahren betrug die kummulative Überlebensrate für die angulierten Implantate 95,2% und für die axialen 91,3% [1]. Vergleicht man die Winkel mit denen unserer Analyse, können folgende Übereinstimmungen gefunden werden: Betrachtet man zuerst einmal die unteren drei Quartile (75% der Werte) der Boxplotstatistiken für die Indikationsklassen, Versorgungen und Augmentationen (Abbildungen 13, 14 und 16), so erkennt man, nach Oberkiefer und Unterkiefer getrennt, homogene Werte. Bei den Indikationsklassen und bei den Versorgungen - mit Ausnahme der Malo-Werte - liegt die 75% Grenze für den Oberkiefer bei ca. 25° und für den Unterkiefer bei ca. 15°; für die augmentativen Maßnahmen liegen die UK-Werte auch bei ca. 15°, die OK-Werte schwanken zwischen 20° und 30°. Die Winkel aufgeteilt nach Anzahl der Implantate pro Kiefer werden größer, je mehr Implantate geplant werden; im OK liegt die 75%-Grenze zwischen 15° und 30°, im UK zwischen 10° und 20°. Eine Ausnahme bilden die Werte der Gruppe mit 9/10 Implantaten mit Winkeln bis 60°. Vergleicht man unsere Winkel mit denen aus Krekmanovs Studie, fällt auf, dass ca. 75% unserer Werte kleiner oder gleich sind. Überträgt man die Ergebnisse der Studie, die nach fünf Jahren hohe Überlebensraten für angulierte Implantate bis 35° aufzeigen, auf diese Studie, kann man für ca. 75% unserer Implantate ähnliche Ergebnisse erwarten. Weitere Studien haben im Laufe der letzten Jahre den Erfolg der Versorgung mit angulierten Implantaten bestätigt. Forthin untersuchte 15 Patienten mit Restzahnbestand und stark resorbierten Oberkiefer, bei denen mittels CT eine dreidimensionale Implantatplanung für eine festsitzende Restauration durchgeführt wurde [31]. Insgesamt wurden dafür 42 Implantate mit Hilfe einer Bohrschablone inseriert, davon 17 anguliert mit Winkeln zwischen 20°-35°. Nach vier Jahren Beobachtungszeitraum gingen weder Implantate verloren noch traten Komplikationen anderer Art auf [31]. Rosen beobachtete 19 Patienten, bei denen 103 angulierte Implantate (vier bis sechs Implantate pro Patient) im Oberkiefer mit Hilfe einer Fenestrierung des Sinus maxillaris zur Visualisierung des Knochenangebotes implantiert wurden. Nach zehn Jahren betrug die Erfolgsrate 97% [76]. Forthins Studie liefert als erste dreidimensionale Winkelmessungen, die mit unserer ebenfalls dreidimensionalen Analyse der Winkelgrößen am besten zu vergleichen ist. Da die größten Winkel denen der Studie von Krekmanov entsprechen, kann auch aus diesen Ergebnissen der Schluss gezogen werden, dass ca. 75% unserer Winkel in gut erprobtem Größenbereich liegen. Dreidimensionale Messungen liefern aber generell größere Winkel als zweidimensionale, so dass sich anhand der alten Studien vermu-

ten lässt, dass auch größere Winkel zwischen den Implantaten die Prognose für die Überlebensdauer nicht reduzieren. Beschaut man die Grenze der oberen Whisker (95%), ergeben sich für die Indikationen und die Versorgungen (ohne Malo) wieder ähnliche Werte: OK bis ca. 50° und UK bis ca. 30°. Bei den Augmentationen reichen die oberen 95%-Grenzen im Oberkiefer von 30° bis 55° und im Unterkiefer von 25° bis 35°. Bei den augmentativen Maßnahmen liegen die höchsten Winkel bei „Augmentation geplant“ (ca. OK 55°, UK 30°) und „ohne Augmentation“ (ca. OK 49° und UK 34°). Die eher großen Winkel können dadurch zu Stande kommen, dass sich der Behandler nach dem gegebenen Knochenangebot richten muss bzw. derart wenig Knochen vorhanden ist, dass trotz Augmentation nur mit angulierter Positionierung eine Verankerung der Implantate erreicht werden kann. Bei „nach Sinuselevation“ und „geplanter Sinuselevation“ liegen die Winkel bei ca. 43°. Ein- und zweizeitiges Vorgehen scheint hier die Planungen der Angulationen nicht zu beeinflussen. Steigend mit der Anzahl der Implantate pro Kiefer ergeben sich 95%-Grenzen im OK zwischen 35° - 55° und im UK zwischen 20° - 35° (Ausnahme Gruppe 9/10: bis 70°). Unter Vernachlässigung der Ausreißer und der Versorgung mit dem Malo-Konzept, liegen fast alle Unterkieferwinkel und auch über 75% der Oberkieferwinkel in einer Größenordnung, die denen der oben genannten Studien entsprechen. Des Weiteren zeigen unsere Ergebnisse, dass in den meisten Fällen keine Augmentation nötig ist (OK 38,1% und UK 71,8% der Implantate). Das könnte damit zu tun haben, dass die Zahnärzte sich zunehmend mehr trauen, die Implantate anguliert unter Ausnutzung des vorhandenen Knochenangebotes zu planen. Auch wenn die Winkelgrößen innerhalb der einzelnen Gruppen aller Indikationen, Versorgungen und Augmentationen stark variieren, zeigt sich doch, dass eine axiale Positionierung und Belastung der Implantate nicht mehr primär angestrebt wird.

Die Arbeitsgruppe von Paulo Malo und dem Biomechaniker Bob Rangert entwickelte in den letzten Jahren ein Konzept zur festsitzenden Versorgung in Ober- und Unterkiefer mittels vier anguliert inserierter Implantate unter Vermeidung weiterer chirurgischer Eingriffe [57, 58]. An einer Studie von Februar 2001 bis November 2003 nahmen 32 Patienten - 17 Männer und 15 Frauen mit einem Durchschnittsalter von 55,1 Jahren - teil. Voraussetzung war die Indikation der kompletten Versorgung des Oberkiefers, und die Möglichkeit, mindestens vier Implantate von zehn mm Länge inserieren zu können. Insgesamt wurden 128 Implantate eingesetzt. Sie zeigen eine kumulative Überlebensrate der Implantate von 97,6% bei 100% prothetischer Überlebens-

rate [58]. Eine ähnliche klinische Studie zur Versorgung des zahnlosen Unterkiefers wurde zuvor vom April 1998 bis zum Juni 2002 mit 44 Patienten durchgeführt. Voraussetzung war die Indikation zur kompletten Versorgung des Unterkiefers. Die Patienten wurden in zwei Gruppen eingeteilt: in einer Gruppe wurden jeweils vier Implantate eingebracht, in einer zweiten Gruppe mehr als vier. Diese „überschüssigen Implantate“ wurden allerdings nicht in die prothetische Sofortversorgung einbezogen, mit der alle Patienten versorgt wurden, sondern erst später. Von den 176 eingesetzten Implantaten gingen fünf innerhalb von sechs Monaten verloren, was eine kumulative Überlebensrate von 96,7% für die Gruppe mit mehr als vier Implantaten und 98,2% für die Gruppe mit vier Implantaten ergibt. 100% der Prothetik konnten eingegliedert bleiben [57]. Bei Versorgungs nach dem Malo-Konzept ergeben sich bei dieser Analyse Winkel bis ca. 117° im Oberkiefer und bis 103° im Unterkiefer. Das Malo-Konzept hat sich in den letzten Jahren unter Einsatz einer für die Implantatpositionierung speziell entwickelten Führungsschiene bewährt [57]. In der Literatur finden wir Angaben über die Winkelgrößen bei dem Malo-Konzept in Form von angulierten Aufbauten. Im Ober- und im Unterkiefer wurden bei den anterioren Implantaten Aufbauten von 17° oder 30° und bei den posterioren Implantaten Aufbauten von 30° eingesetzt, um eine prothetische Versorgung zu ermöglichen [57, 58]. Eine Auswertung von Angulationen im dreidimensionalen Raum konnte in der referenzierten Literatur nicht recherchiert werden.

Weitere Studien über die Versorgung mit angulierten Aufbauten lassen indirekte Aussagen über die Winkel der Implantate zu. A. Sethi untersuchte mittels CT 2261 Implantate bei 467 Patienten, die mit angulierten Aufbauten von 0° - 45° versorgt wurden. Nach fünf Jahren ergab sich eine Überlebensrate von 98,6%. Der Vergleich von zwei Gruppen mit abgewinkelten Aufbauten zwischen 0° - 15° und 20° - 45° zeigte keine Unterschiede in der Überlebensrate [90]. Die fortführende Studie von Sethi nach 10 Jahren Beobachtungszeitraum bringt die gleichen Ergebnisse. Dabei wurden 3101 Implantate ebenfalls mit angulierten Aufbauten von 0° - 45° versorgt. Nach zehn Jahren standen unabhängig vom Winkel der Aufbauten noch 98,2% der Implantate in Funktion [91]. Diese Ergebnisse bestätigen die oben genannte Annahme, dass auch bei größeren Winkeln mit keiner Verschlechterung bezüglich der Überlebensdauer der Implantate zu rechnen ist.

Insgesamt ergeben die aufgeführten Studien über einen langen Beobachtungszeitraum von bis zu zehn Jahren einheitliche, gute Ergebnisse für die angulierte Implan-

tatsetzung bis 35° und 45°. Die Überlebensraten bewegen sich einheitlich zwischen 95,2% und 98%, was mit axial belasteten Implantaten zu vergleichen ist [3, 35]. Um die angulierten Implantate funktionell und ästhetisch versorgen zu können, bieten verschiedene Hersteller konfektionierte Aufbauten bis 60° an. Am häufigsten werden davon die Abutments von 5°-30° benutzt [90, 91], was sich auch in den Winkeln unserer Studie widerspiegelt. Bei größeren Winkeln oder bei Problemen, die Implantate mit vorgefertigten Aufbauten zu versehen, kann man diese auch individuell fräsen lassen [90]. Verschiedene Systeme bieten inzwischen standardisierte Vorgehensweisen für die angulierte Implantatsetzung und deren Versorgung an. Das vereinfacht und beschleunigt den Versorgungsvorgang.

Mit z.B. dem SKY fast & fixed System werden im OK sechs Implantate und im Unterkiefer vier Implantate gesetzt. Im OK werden die mittleren vier parallel unter dem Nasenboden eingebracht, die äußeren zwei werden im 30°- Winkel parallel zur Sinuswand gesetzt. Im Unterkiefer erfolgt die Positionierung der Implantate interforaminär, wobei ebenfalls die mittleren Implantate axial und die äußeren im 30°- Winkel gesetzt werden. Nach Implantation werden sofort die Abutments aufgeschraubt und ein einphasiger Abdruck sowie ein Quetschbiss genommen. Der Techniker erstellt dann eine temporäre Brückenversorgung mittels Verblendschalen, mit der der Patient sofort ästhetisch und funktionell ausreichend versorgt wird. Die definitive feste Versorgung erfolgt nach Erreichen der Osseointegration später [6].

Dagegen werden bei Versorgung mit dem Malo-System in beiden Kiefern jeweils nur vier Implantate für festsitzenden Zahnersatz angewendet. Im Oberkiefer werden die anterioren Implantate auf Höhe der Inzisiven vertikal und die distalen Implantate entlang der anterioren Wand des Sinus maxillaris inseriert. Die Implantatköpfe kommen dadurch auf Höhe des zweiten Prämolaren oder des ersten Molaren zum Stehen [58].

Nach Einheilen der Implantate wird auf den 17° und 30° abgewinkelten Aufbauten des Branemark Multi-Unit-System ein definitiver Zahnersatz eingegliedert [44].

Eine weitere Alternative zur Versorgung von Implantaten stellt der halbindividuelle UCLA- Aufbau dar. Dieser besteht aus einem Kunststoffzylinder mit präfabrizierten Metallunterteil, was auf die Implantate gesetzt wird. Für die Herstellung wird eine Art Wachsenprobe hergestellt, in dem die UCLA- Abutments integriert werden. Anschließend wird die Prothetik in einem Stück gegossen und direkt mit den Implantaten über Schrauben verbunden. Sind mehrere Implantate in die Arbeit integriert, wird

eine runde Implantatbasis mit dazu passendem präfabrizierten runden Metallunterteil verwendet. Bei Einzelzahnersatz muss eine hexagonale Basis benutzt werden, damit die Krone rotationsgeschützt ist. Diese Versorgungsart ermöglicht die Herstellung von Zahnersatz bei reduziertem interokklusalem Platzbedarf, den problemlosen Ausgleich von Implantatangulationen bei guter Ästhetik, sowie die Möglichkeit, die Prothetik bei Komplikationen abnehmen zu können. Nachteile sind darin zu sehen, dass die Mundhygiene für den Patienten erschwert ist, weshalb intensive Instruktionen zur Reinigung, sowie regelmäßige Kontrollen nötig sind. Nach definitivem Einsetzen der Arbeit ist eine Röntgenaufnahme zur Kontrolle des perfekten Sitzes unabdingbar, da falsches Einsetzen zu torquierenden Kräften und in der Folge zu Knochenabbau führt [50, 51].

4.3 Schlussfolgerung

Aus der Analyse der Angulationen hebt sich deutlich hervor, dass eine axiale Implantatpositionierung in den verschiedenen Kliniken und Praxen nicht mehr primär angestrebt wird. Durch Ausnutzung des vorhandenen Knochenangebots können zum Teil augmentative Maßnahmen vermieden werden, so dass im OK bei ca. 40% und im UK bei ca. 70% direkt implantiert werden kann. Dennoch notwendige Augmentationen werden im Oberkiefer ca. doppelt so oft geplant, wie im Unterkiefer. Meistens wird der Eingriff einzeitig geplant. Bei Angulationen von 10°- 45° können vorgefertigte angulierte Aufbauten eingesetzt werden. Für die Winkel über 45° müssen meistens individuelle Aufbauten hergestellt werden.

Für die Zukunft besteht noch Bedarf an dreidimensionalen Messungen von Winkeln über 45°, um sichere Prognosen zu den Überlebensraten von Implantaten und der Prothetik stellen zu können.

5 Zusammenfassung

Heutzutage werden Implantate nicht mehr nur axial, sondern auch vermehrt nach genauer präimplantologischer Diagnostik mittels dreidimensionalen radiologischen Aufnahmen, unter Ausnutzung des Knochenangebotes, anguliert geplant.

Für diese Studie wurden anhand 563 präoperativer digitaler Volumentomogramme computerunterstützte Implantatplanungen ausgewertet und die Winkel zwischen 2041 Implantaten analysiert. Die Angulationen wurden nach Ober- und Unterkiefer, nach Indikationsklassen, nach augmentativer Maßnahme, nach Versorgung, nach Anzahl der Implantate pro Kiefer und nach ihrer Position verglichen und mit Hilfe des SPSS- Programms ausgewertet und graphisch dargestellt.

Die Analyse ergibt, dass Implantate hauptsächlich im Oberkiefer (OK 59,4%, UK 40,6%), für festsitzenden Zahnersatz (Einzelzahnersatz 42,7%, Brücken 38,4%), überwiegend im Kauzentrum (1.M 22,3%, 1.PM 17,3%, 2.PM 17,1%) geplant werden. Dabei sind augmentative Maßnahmen im UK häufig nicht erforderlich (OK 38,1%, UK 71,8%) und zweizeitige Eingriffe eher selten (Augmentationen OK 5,0%, UK 3,6%; Sinuselev. 8,4%).

Des Weiteren zeigt die Analyse, dass im Oberkiefer größere Winkel zwischen den Implantaten, als im Unterkiefer (Mittelwert OK 17,72°, UK 11,93°) geplant werden. Die größten Winkel werden hierbei bei zahnlosen Patienten (Mittelwert OK 19,19°, UK 12,73°) gemessen, die in dieser Analyse durch die Versorgung mit dem Malo-Konzept erhöht werden (Mittelwert OK 54,9°, UK 44,35°). Beim Vergleich der Versorgungsarten ergibt sich, dass Brückenversorgungen im OK mit größeren Angulationen (Mittelwert 18,57°) als Einzelzahn- (14,92°) und Stegversorgungen (15,73°) geplant werden, sich aber im UK dagegen keine signifikanten Unterschiede nachweisen lassen. Auch bei den augmentativen Maßnahmen sind im OK größere Differenzen festzustellen als im UK (z.B. „Augmentation geplant“ (OK 20,4°, UK 11,81°) und „ohne Augmentation“ (OK 17,79°, UK 12,07°)), wobei ein- und zweizeitiges Vorgehen die Planung der Angulation in beiden Kiefern nicht verändert. Je mehr Implantate in einem Kiefer geplant werden, desto größer sind auch die Winkel zwischen ihnen (Mittelwert Gruppe 9/10 Implantate: OK 22,20°, UK 28,63°; Gruppe 2 Implantate: OK 10,95°, UK 7,69°).

Die Analyse verdeutlicht, dass heute vermehrt Implantate bewusst anguliert geplant werden; die Langzeitprognosen anhand dreidimensionalen Analysen der Implantat-angulationen bleiben abzuwarten.

6 Literaturverzeichnis

[1] Aparicio C, Perales P, Rangert B (2001) Tilted implants as an alternative to maxillary sinus grafting: a clinical, radiologic, and periotest study. Clin Implant Dent Relat Res; 39-49

[2] Bain C, Moy P (1993) The association between the failure of dental implants and cigarette smoking. Int J Oral Maxillofac Implants; 609-15

[3] Balshe A, Assad D, Eckert S, Koka S, Weaver A (2009) A retrospective study of the survival of smooth- and rough-surface dental implants. Int J Oral Maxillofac Implants; 1113-8

[4] Balshi T, Ekfeldt A, Stenberg T, Vrielinck L (1997) Three-year evaluation of Branemark implants connected to angulated abutments. Int J Oral Maxillofac Implants; 52-8

[5] Basa S, Varol A, Turker N (2004) Alternative bone expansion technique for immediate placement of implants in the edentulous posterior mandibular ridge: a clinical report. Int J Oral Maxillofac Implants; 554-8

[6] Bayer G, Kistler F, Kistler S, Adler S, Neugebauer J (2011) Sofortversorgung mit reduzierter Implantatanzahl - Wissenschaftliche Konzeption und klinische Ergebnisse; Berlin: Quintessenz Verlag

[7] Behneke N, Behneke A (1999) Implantatverankerter festsitzender Zahnersatz. In: Koeck B. Kronen- und Brückenprothetik. Elsevier Urban und Fischer Verlag. p.289-322

[8] Benzing U, Gall H, Weber H (1995) Biomechanical aspects of two different implant-prosthetic concepts for edentulous maxillae. Int J Oral Maxillofac Implants; 188-98

- [9] Berger C, Nickenig H-J (2002) Kapitel C Indikation enossaler Implantate. In: BDIZ E. Indikation enossaler Implantate in Gutachterhandbuch Implantologie. Edition Breisach. p.75-80
- [10] Bevilacqua M, Tealdo T, Pera F, Menini M, Mossolov A, Drago C, Pera P (2008) Three-dimensional finite element analysis of load transmission using different implant inclinations and cantilever lengths. Int J Prosthodont; 539-42
- [11] Blackenburg von H, Wüstenfeld F (2007) Individuelle CAD/CAM-gefertigte Abutments und Kronen aus Zirkoniumdioxid. DIGITAL __DENTALNEWS; 36-43
- [12] Bragger U, Karoussis I, Persson R, Pjetursson B, Salvi G, Lang N (2005) Technical and biological complications/failures with single crowns and fixed partial dentures on implants: a 10-year prospective cohort study. Clin Oral Implants Res; 326-34
- [13] Branemark P, Engstrand P, Ohrenell L, Grondahl K, Nilsson P, Hagberg K, Darle C, Lekholm U (1999) Branemark Novum: a new treatment concept for rehabilitation of the edentulous mandible. Preliminary results from a prospective clinical follow-up study. Clin Implant Dent Relat Res; 2-16
- [14] Burk JJ, Provencher RJ, McKean T (1977) Small segmental and unitooth osteotomies to correct dentoalveolar deformities. J Oral Surg; 453-60
- [15] Cabral L, Guedes C (2007) Comparative analysis of 4 impression techniques for implants. Implant Dent; 187-94
- [16] Calandriello R, Tomatis M (2005) Simplified treatment of the atrophic posterior maxilla via immediate/early function and tilted implants: A prospective 1-year clinical study. Clin Implant Dent Relat Res; S1-12
- [17] Camlog-Biotechnologies (2011) .Canelog Esthomic Abutment. Camlog Biotechnologies AG, CAMLOG Vertriebs GmbH. <http://www.camlog.de/implantsystem->

[produkte/conelog-implantatsystem/kronen-brueckenversorgungen/esthomic-abutments/](#). (zuletzt abgerufen am: 04.09.2011)

[18] Casap N, Tarazi E, Wexler A, Sonnenfeld U, Lustmann J (2005) Intraoperative computerized navigation for flapless implant surgery and immediate loading in the edentulous mandible. Int J Oral Maxillofac Implants; 92-8

[19] Danforth R (2003) Cone beam volume tomography: a new digital imaging option for dentistry. J Calif Dent Assoc; 814-5

[20] Danza M, Quaranta A, Palazzo V, Vozza I (2009) Computer-guided flapless surgery: immediately loaded implant-prosthetic rehabilitation. Minerva Stomatol; 115-26

[21] De Araujo Nobre M, Capelas C, Alves A, Almeida T, Carvalho R, Antunes E, Oliveira D, Cardador A, Malo P (2006) Non-surgical treatment of peri-implant pathology. Int J Dent Hyg; 84-90

[22] Degidi M, Piattelli A, Gehrke P, Felice P, Carinci F (2006) Five-year outcome of 111 immediate nonfunctional single restorations. J Oral Implantol; 277-85

[23] Dudley J, Richards L, Abbott J (2008) Retention of cast crown copings cemented to implant abutments. Aust Dent J; 332-9

[24] Eckelt U, Walter M (2006) Ausgleich von Zahnverlusten durch Implantate. In: Reitemeier B. Einführung in die Zahnmedizin. Thieme: Stuttgart New York. p.202-214

[25] Esposito M, Grusovin M, Willings M, Coulthard P, Worthington H (2007) The effectiveness of immediate, early, and conventional loading of dental implants: a Cochrane systematic review of randomized controlled clinical trials. Int J Oral Maxillofac Implants; 893-904

- [26] Ewers R, Schicho K, Truppe M, Seemann R, Reichwein A, Figl M, Wagner A (2004) Computer-aided navigation in dental implantology: 7 years of clinical experience. *J Oral Maxillofac Surg*; 329-34
- [27] Ferrigno N, Laureti M, Fanali S (2006) Dental implants placement in conjunction with osteotome sinus floor elevation: a 12-year life-table analysis from a prospective study on 588 ITI implants. *Clin Oral Implants Res*; 194-205
- [28] Fortin T, Bosson J, Coudert J, Isidori M (2003) Reliability of preoperative planning of an image-guided system for oral implant placement based on 3-dimensional images: an in vivo study. *Int J Oral Maxillofac Implants*; 886-93
- [29] Fortin T, Bosson J, Isidori M, Blanchet E (2006) Effect of flapless surgery on pain experienced in implant placement using an image-guided system. *Int J Oral Maxillofac Implants*; 298-304
- [30] Fortin T, Champleboux G, Bianchi S, Buatois H, Coudert J (2002) Precision of transfer of preoperative planning for oral implants based on cone-beam CT-scan images through a robotic drilling machine. *Clin Oral Implants Res*; 651-6
- [31] Fortin T, Isidori M, Bouchet H (2009) Placement of posterior maxillary implants in partially edentulous patients with severe bone deficiency using CAD/CAM guidance to avoid sinus grafting: a clinical report of procedure. *Int J Oral Maxillofac Implants*; 96-102
- [32] Friberg B, Grondahl K, Lekholm U, Branemark P (2000) Long-term follow-up of severely atrophic edentulous mandibles reconstructed with short Branemark implants. *Clin Implant Dent Relat Res*; 184-9
- [33] Graziani F, Donos N, Needleman I, Gabriele M, Tonetti M (2004) Comparison of implant survival following sinus floor augmentation procedures with implants placed in pristine posterior maxillary bone: a systematic review. *Clin Oral Implants Res*; 677-82

- [34] Greenstein G, Cavallaro J, Romanos G, Tarnow D (2008) Clinical recommendations for avoiding and managing surgical complications associated with implant dentistry: a review. *J Periodontol*; 1317-29
- [35] Grutter L, Belser U (2009) Implant loading protocols for the partially edentulous esthetic zone. *Int J Oral Maxillofac Implants*; 169-79
- [36] Hausamen J, Schliephake H (2000) Präprothetische Chirurgie. In: Schwenger N, Ehrenfeld M. *Zahnärztlich Chirurgie*. Georg Thiemeverlag. p.105-125
- [37] Hoffmeister B (2006) Chirurgie der Dysgnathien. In: Horch H. *Mund- Kiefer und Gesichtschirurgie: Praxis der Zahnheilkunde Band 10*. Elsevier Urban und Fischer Verlag. p.554-605
- [38] Ilizarov G (1971) Basic principles of transosseous compression and distraction osteosynthesis. *Ortop Travmatol Protez*; 7
- [39] Jäger L, Reiser M (2000) Computertomographie, Magnetresonanztomographie und Angiographie. In: Schwenger N, Ehrenfeld M. *Allgemeine Chirurgie*. Georg Thieme Verlag. p. 266,262
- [40] Jennings K (1991) ITI hollow-cylinder and hollow-screw implants: prosthodontic management of edentulous patients using overdentures. *Int J Oral Maxillofac Implants*; 202-6
- [41] Kalt G, Gehrke P (2008) Transfer precision of three-dimensional implant planning with CT assisted offline navigation. *Int J Comput Dent*; 213-25
- [42] Kassolis J, Baer M, Reynolds M (2003) The segmental osteotomy in the management of malposed implants: a case report and literature review. *J Periodontol*; 529-36
- [43] Keeve E, Kusch J, Hey J. (2007) *Grundlagen der DVT Technologie*; Quintessenz Verlags-GmbH

[44] Khatami A, Smith C (2008) "All-on-Four" immediate function concept and clinical report of treatment of an edentulous mandible with a fixed complete denture and milled titanium framework. J Prosthodont; 47-51

[45] Kistler F, Kistler S, Neugebauer J, Bayer G (2007) Implantation im atrophierten Kiefer. Z. Oral Implant; 158-169

[46] Koeck B, Wagner W, Wahl G, Lambrecht J, Besimi C, Weibrich G, Neukam W, Schulze-Mosgau S, Richter E (2005) Enossale Implantate. In: Horch H. Totalprothesen. Elsevier Urban und Fischer Verlag. p.218-275

[47] Krekmanov L (2000) Placement of posterior mandibular and maxillary implants in patients with severe bone deficiency: a clinical report of procedure. Int J Oral Maxillofac Implants; 722-30

[48] Krekmanov L, Kahn M, Rangert B, Lindstrom H (2000) Tilting of posterior mandibular and maxillary implants for improved prosthesis support. Int J Oral Maxillofac Implants; 405-14

[49] Krennmair G, Furhauser R, Krainhofner M, Weinlander M, Piehslinger E (2005) Clinical outcome and prosthodontic compensation of tilted interforaminal implants for mandibular overdentures. Int J Oral Maxillofac Implants; 923-9

[50] Lewis S, Beumer Jr, Hornburg W, Moy P (1988) The "UCLA" abutment. Int J Oral Maxillofac Implants; 183-9

[51] Lewis S, Llamas D, Avera S (1992) The UCLA abutment: a four-year review. J Prosthet Dent; 509-15

[52] Lexner E (2003) Verwendungsbereich von freien Knochentransplantaten. In: Lexner E. Die reinen Transplantationen. Enke Stuttgart. p.120

- [53] Lindenmuller I, Lambrecht J (2006) Sinus floor elevation and implantation--a retrospective study. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*; 142-9
- [54] Ludlow J, Ivanovic M (2008) Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*; 106-14
- [55] Lüth T, Bier J (2006) Neue Technologien in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. In: Horch H. *Mund- Kiefer und Gesichtschirurgie: Praxis der Zahnheilkunde* Band 10. Elsevier Urban undFischer Verlag. p.38-54
- [56] Malo P, Rangert B, Dvarsater L (2000) Immediate function of Branemark implants in the esthetic zone: a retrospective clinical study with 6 months to 4 years of follow-up. *Clin Implant Dent Relat Res*; 138-46
- [57] Malo P, Rangert B, Nobre M (2003) "All-on-Four" immediate-function concept with Branemark System implants for completely edentulous mandibles: a retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res*; 2-9
- [58] Malo P, Rangert B, Nobre M (2005) All-on-4 immediate-function concept with Branemark System implants for completely edentulous maxillae: a 1-year retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res*; S88-94
- [59] Marquardt P, Witkowski S, Strub J (2007) Three-dimensional navigation in implant dentistry. *Eur J Esthet Dent*; 80-98
- [60] Meyer C, Chatelain B, Benarroch M, Garnier J, Ricbourg B, Camponovo T (2009) Massive sinus-lift procedures with beta-tricalcium phosphate: Long-term results. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*;
- [61] Mischkowski R, Ritter L, Neugebauer J, Dreiseidler T, Keeve E, Zoller J (2007) Diagnostic quality of panoramic views obtained by a newly developed digital volume tomography device for maxillofacial imaging. *Quintessence Int*; 763-72

- [62] Mischkowski R, Scherer P, Ritter L, Neugebauer J, Keeve E, Zoller J (2008) Diagnostic quality of multiplanar reformations obtained with a newly developed cone beam device for maxillofacial imaging. *Dentomaxillofac Radiol*; 1-9
- [63] Mischkowski R, Zinser M, Neugebauer J, Kubler A, Zoller J (2006) Comparison of static and dynamic computer-assisted guidance methods in implantology. *Int J Comput Dent*; 23-35
- [64] Müller H (2004) *Parodontologie*; Georg Thieme Verlag
- [65] Mupparapu M, Singer S (2004) Implant imaging for the dentist. *J Can Dent Assoc*; 32
- [66] Neugebauer J, Ritter L, Mischkowski R, Zoller J (2006) Three-dimensional diagnostics, planning and implementation in implantology. *Int J Comput Dent*; 307-19
- [67] Neugebauer J, Ritter L, Zöller JE (2007) Implantatplanung. In: Zöller JE. *Digitale Volumentomographie in der Zahn- Mund- und Kieferheilkunde*. Quintessenz Verlags-GmbH. p.159-191
- [68] Niedhart C, Pingsmann A, Juergens C (2003) Komplikationen nach Entnahme autologen Knochens aus dem ventralen und dorsalen Beckenkamm- eine prospektive kontrollierte Studie. *Z. Orthop Ihre Grenzgeb* 4, 481
- [69] Nothdurft F, Pospiech P (2010) Prefabricated zirconium dioxide implant abutments for single-tooth replacement in the posterior region: evaluation of peri-implant tissues and superstructures after 12 months of function. *Clin Oral Implants Res*; 857-865
- [70] Pasler F (2003) *Zahnärztliche Radiologie*; Georg Thieme Verlag
- [71] Pasler FA, Vissler H (2003) *Atlas der zahnärztlichen Radiologie*; Georg Thieme Verlag

- [72] Rech A (2004) Implantatprothetik Band 2; Verlag neuer Merkur GmbH
- [73] Richter E (2004) Prothetische Versorgung. In: Koeck B, Wagner W. Implantologie. Urban und Fischer Verlag. p.236-281
- [74] Richter E (2007) Implantatprothetik. In: Gernet W, Schwenzer N, Ehrenfeld M, Biffer R. Zahn-,Mund- und Kieferheilkunde: Zahnärztliche Prothetik. Georg Thieme-verlag. p.84-129
- [75] Ritter L, Neugebauer J, Mischkowski R, Dreiseidler T, Keeve E, Zöller JE (2007) Implantatplanung bei Sinusbodenelevation. p.: 41-44
- [76] Rosen A, Gynther G (2007) Implant treatment without bone grafting in edentulous severely resorbed maxillas: a long-term follow-up study. J Oral Maxillofac Surg; 1010-6
- [77] Rosenfeld A, Mandelaris G, Tardieu P (2006) Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 1: diagnostics, imaging, and collaborative accountability. Int J Periodontics Restorative Dent; 215-21
- [78] Rosenfeld A, Mandelaris G, Tardieu P (2006) Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 2: rapid-prototype medical modeling and stereolithographic drilling guides requiring bone exposure. Int J Periodontics Restorative Dent; 347-53
- [79] Rosenfeld A, Mandelaris G, Tardieu P (2006) Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 3: stereolithographic drilling guides that do not require bone exposure and the immediate delivery of teeth. Int J Periodontics Restorative Dent; 493-9
- [80] Rucker M, Spitzer WJ (2008) Zahnärztliche Röntgenologie. In: Schwenzer N, Ehrenfeld M. Chirurgische Grundlagen. Georg Thieme Verlag. p.8

- [81] Ruppin J, Popovic A, Strauss M, Spuntrup E, Steiner A, Stoll C (2008) Evaluation of the accuracy of three different computer-aided surgery systems in dental implantology: optical tracking vs. stereolithographic splint systems. Clin Oral Implants Res; 709-16
- [82] Sailer H (1991) Neue Methoden zur oralen Rehabilitation. Die Kombination präprothetisch-chirurgischer Operationen mit endossalen Schraubenimplantaten. Swiss Dent; 23-4, 26-7, 29
- [83] Satoh T, Maeda Y, Komiyama Y (2005) Biomechanical rationale for intentionally inclined implants in the posterior mandible using 3D finite element analysis. Int J Oral Maxillofac Implants; 533-9
- [84] Schauding A, Gente M, Lehmann K (2009) Einfache und hochwertige Versorgung zahnloser Kiefer. Wissenschaft und Forschung; 50-57
- [85] Scherer P, Neugebauer J, Ritter L, Mischkowski R, Scheer M, Zöller J (2007) Indikationen für die 3-dimensionale Bildgebung in der Zahnmedizin. ZWR; 219-230
- [86] Schlegel K, Neukam F (2002) Curriculum: Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie Band 1: Augmentationen, Knochenersatzmaterialien, Membranen; Quintessenzverlag-GmbH
- [87] Schwarz M, Rhodes M, Chafetz N (1987) Computed tomography: Part II. Preoperative assessment of the maxilla for endosseous implant surgery. Int J Oral Maxillofac Implants; 143-8
- [88] Schwarz M, Rothman S, Rhodes M, Chafetz N (1987) Computed tomography: Part I. Preoperative assessment of the mandible for endosseous implant surgery. Int J Oral Maxillofac Implants; 137-41

- [89] Schwenzer N, Ehrenfeld M (2000) Plastische und wiederherstellende Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie. In: Schwenzer N, Ehrenfeld M. Spezielle Chirurgie. Georg Thieme Verlag. p. 380-416
- [90] Sethi A, Kaus T, Sochor P (2000) The use of angulated abutments in implant dentistry: five-year clinical results of an ongoing prospective study. Int J Oral Maxillofac Implants; 801-10
- [91] Sethi A, Kaus T, Sochor P, Axmann-Krcmar D, Chanavaz M (2002) Evolution of the concept of angulated abutments in implant dentistry: 14-year clinical data. Implant Dent; 41-51
- [92] siCAT (2008) Galileosimplant, Installationsanleitung/Gebrauchsanweisung; si-CAT GmbH & Co.KG
- [93] Sirona (2008) Galaxis/ Handbuch für den Anwender; Sirona Dental Sythem GmbH
- [94] Spiekermann H, Donath K, Jovanovic S., Richter E.J. (1994) Spezielle implantologische Diagnostik. In: Spiekermann H, Rateitschak KH, Wolf H.F. Farbatlant der Zahnmedizin 10: Implantologie. Georg Thieme Verlag. p.91-124
- [95] Storum K, Carrick J (2001) Implant-osseous osteotomy for correction of the misaligned anterior maxillary implant. Dent Clin North Am; 181-7
- [96] SwissImplantService D (2011) .Locator Attachments. <http://www.locator-attachment.de/unsere-produkte/locator-attachments/>. (zuletzt abgerufen am: 30.09.2011)
- [97] Upadhyaya C, Humagain M (2009) The pattern of tooth loss due to dental caries and periodontal disease among patients attending dental department (OPD) , Dhulikhel Hospital, Kathmandu University Teaching Hospital (KUTH) , Nepal. Kathmandu Univ Med J (KUMJ) ; 59-62

- [98] Wagner A, Wanschitz F, Birkfellner W, Zauza K, Klug C, Schicho K, Kainberger F, Czerny C, Bergmann H, Ewers R (2003) Computer-aided placement of endosseous oral implants in patients after ablative tumour surgery: assessment of accuracy. Clin Oral Implants Res; 340-8
- [99] Walter M (2007) Präprothetik mit Vorplanung und Vorbehandlung: vom Erstgespräch bis zur restaurativen Therapie. In: Gernet W, Schwenzer N., Ehrenfeld M., Biffer R. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde: Zahnärztliche Prothetik. Georg Thiemeverlag. p.2-20
- [100] Watanabe F, Hata Y, Komatsu S, Ramos T, Fukuda H (2003) Finite element analysis of the influence of implant inclination, loading position, and load direction on stress distribution. Odontology; 31-6
- [101] Watzek G, Mailath-Pokorny G (2000) Zahnärztliche Implantate. In: Schwenzer N, Ehrenfeld N. Zahnärztliche Chirurgie. Georg Thieme Verlag. 127-167
- [102] Watzinger F, Birkfellner W, Wanschitz F, Ziya F, Wagner A, Kremser J, Kainberger F, Huber K, Bergmann H, Ewers R (2001) Placement of endosteal implants in the zygoma after maxillectomy: a Cadaver study using surgical navigation. Plast Reconstr Surg; 659-67
- [103] Wenz B, Oesch B, Horst M (2001) Analysis of the risk of transmitting bovine spongiform encephalopathy through bone grafts derived from bovine bone. Biomaterials; 1599-606
- [104] Winter A, Pollack A, Frommer H, Koenig L (2005) Cone beam volumetric tomography vs. medical CT scanners. N Y State Dent J; 28-33
- [105] Woo I, Le B (2004) Maxillary sinus floor elevation: review of anatomy and two techniques. Implant Dent; 28-32

[106] Yamamoto K, Ueno K, Seo K, Shinohara D (2003) Development of dento-maxillofacial cone beam X-ray computed tomography system. Orthod Craniofac Res; 160-2

[107] Zampelis A, Rangert B, Heijl L (2007) Tilting of splinted implants for improved prosthodontic support: a two-dimensional finite element analysis. J Prosthet Dent; S35-43

[108] Zöllner J, Neugebauer J, Lazar F (2006) Kieferkammdistraktion und/oder Beckenkammaugmentation. In: Horch H. Mund- Kiefer und Gesichtschirurgie: Praxis der Zahnheilkunde Band 10. Elsevier Urban und Fischer Verlag. p.200-221

7 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus Gründen des Datenschutzes in der elektronischen Fassung meiner Arbeit nicht veröffentlicht.