

Entwicklung der Beißkraft nach Versorgung mit implantatgetragendem Zahnersatz

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

Christos Madarlis

aus Düsseldorf

2017

Angefertigt mit der Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. med. rer. nat. Christoph Bourauel
2. Gutachter: Priv.-Doz. Dr. med. dent. Pia Merete Jervøe-Storm

Tag der Mündlichen Prüfung: 07.06.2017

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Propädeutik
Und Werkstoffwissenschaften der Universität Bonn
Direktor: Prof. Dr. med. dent. H. Stark
- Stiftungsprofessur für Oralmedizinische Technologie -
Prof. Dr. rer. nat. C. Bourauel

Meiner Frau

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	7
1.1	Stand der Technik von Dentalimplantaten	7
1.1.1	Konventionelle Implantate	7
1.1.2	Kontraindikationen konventioneller Implantate	9
1.1.3	Lösungen über Mini-Implantate	11
1.1.3.1	Definition und Geschichte der Mini-Implantate	11
1.1.3.2	Indikationen der Mini-Implantate	13
1.1.3.3	Vorteile für ältere Patienten	13
1.2	Prothetik: Möglichkeiten und Stand der Technik	15
1.2.1	Deckprothese	15
1.2.2	Vergleich von totalen und implantatgetragenen Prothesen	16
1.3	Beißkräfte bei Totalprothesen	18
1.3.1	Methode zur Messung der Beißkraft	18
1.3.2	Beißkräfte bei bezahnten und zahnlosen Patienten	19
2.	Problematik und Fragestellung	20
3.	Material und Methode	21
3.1	Patientenauswahl	21
3.2	Auswahl und Positionierung der Implantate	22
3.3	Messungen	25
3.3.1	Messprinzip	25
3.3.2	Kalibrierung	26
3.3.3	Durchführung der Patientenmessungen	27
3.3.4	Statistische Analyse	29
4.	Ergebnisse	30
4.1	Ergebnis der Kalibrierung	30
4.2	Messung der Beißkräfte der Patienten	31
4.2.1	Hypothese 1: Vergleich der Gesamtkräfte vor und nach der Implantation	31
4.2.2	Hypothese 2: Vergleich der Implantatsysteme nach der Implantation	34
4.2.3	Hypothese 3: Vergleich der Verteilung der Beißkräfte	35
4.2.3.1	Verteilung im anterioren Bereich	35
4.2.3.2	Verteilung im posterioren Bereich	37
4.2.4	Hypothese 4: Verteilung der Beißkräfte bei verschiedenen Messzeiten	39

4.2.5	Statistische Auswertung: Vergleich der Gesamtkraft vor und nach der Implantation	40
5.	Diskussion	42
5.1	Einflussfaktoren für Beißkräfte	42
5.1.1	Patienten-individuelle Parameter	42
5.1.2	Presszeiten	44
5.1.3	Prothesenspezifische Parameter	44
5.2	Beißkräfte im Vergleich konventionelle Prothese – implantatgestützte Prothese	44
5.3	Unterschiede zwischen Totalprothesen und implantatgetragenen Prothesen im anterioren und posterioren Bereich	51
5.4	Beißkräfte im Vergleich konventionelle Implantate – Mini-Implantate	51
5.5	Fazit	52
6.	Zusammenfassung	54
7.	Literaturverzeichnis	56
8.	Danksagung	67

1. Einleitung

Die dentale Implantologie hat eine hohe Bedeutung bei Rehabilitationen und Restaurationen im Mund,- Kiefer und Gesichtsbereich. Die Indikationen reichen von Einzelzahnersatz nach Zahnverlust, Therapie von Kronen- und Wurzelfrakturen und Rehabilitation bei unzureichendem Prothesenhalt über eine implantatgestützte Rekonstruktion, bis hin zur Rehabilitation bei odontogenen Infektionen und Tumorerkrankungen. Die Möglichkeiten der dentalen Implantologie gehen damit über die rein funktionelle Rehabilitation hinaus, und erfüllen über die ästhetische Wiederherstellung auch eine psychosoziale Komponente. So erhalten die Patienten nicht nur eine Prothetik für eine neue Kaufunktion, sondern ein großes Maß an wiedergewonnener Lebensqualität (Geckili et al., 2012; Jenei et al., 2015; Nagy et al., 2014; Oh et al., 2016; Visscher et al., 2014).

Die enossale Implantation, d.h. der Einsatz eines rotationssymmetrischen, zahnwurzelförmigen Implantats als Zahnwurzelersatz im partiell oder vollständig zahnlosen Alveolarknochen ist heute Stand der Technik. Es gibt eine Vielfalt passender dentaler Implantate für unterschiedliche implantatgestützte prothetische Versorgungen, welche insbesondere in der Gerontoprothetik Einsatz finden (Friberg und Jemt, 2015; Geckili et al., 2012; Jenei et al., 2015; Kuabara et al., 2010).

Die Vielfalt unterschiedlicher Designs ist sehr hoch. Dem Fachmann obliegt die Aufgabe, bei der Auswahl des geeigneten Implantats eine Synthese zwischen den morphologischen Gegebenheiten im Knochen, den Anforderungen an das Ergebnis, der weiteren prothetischen Konstruktion und den technischen Möglichkeiten zu finden.

1.1 Stand der Technik von Dentalimplantaten

1.1.1 Konventionelle Implantate

Vor dem Hintergrund möglichst schneller Einheilung und hoher Primärstabilität sowie eines möglichst geringen Knochenverlustes beim Inserieren sind Schraubenimplantate heute Stand der Technik in der Zahnheilkunde. Üblicherweise werden zylindrische, konische, parallelwandige Hohlschrauben mit Innensechskant zur Kombination mit Abutments für Kronen oder Außensechskant für Schulterauflagen von Brücken verwendet. Die Hohlschraube benötigt für die Prothetik im Alveolarknochen geringes Volumen bei optimaler Kontaktfläche.

Dreikanal-Innengewinde, Steck- anstelle von Schraubverbindungen und die Möglichkeit der Sechskant-Außenverbindung sind spezielle Modifikationen. Konische Schraubenimplantate in Anlehnung an die natürliche Wurzelform eignen sich speziell für die Sofortimplantation auch im spongiösen Knochen, sowohl zur Einzelzahnrestauration im Front- und Seitenzahnbereich als auch für Brückenkonstruktionen. Auf dem Markt sind Implantate mit 6 bis 18 mm Länge und 2 bis 6 mm Durchmesser, mit unterschiedlichen Plattform-Durchmessern zwischen 3 und 5 mm erhältlich.

Die so genannten Kurz - sowie die Mini-Implantate werden für stark atrophierten Kiefer angeboten (Misch et al., 2006, siehe Kapitel 1.1.3). Für extreme Oberkiefer-Atrophien wurden spezielle Zygoma-Implantate mit Längen bis zu 50 mm zur Verankerung im Jochbein entwickelt (Aparicio et al., 2014; Brånemark et al., 2004; Kuabara et al. 2010). Ein Vorteil dieses Designs ist die Möglichkeit, ohne Augmentationsmaterial auszukommen. Selbstschneidende Schrauben gibt es mit verschiedenen Gewindedesigns. Die Variation des Doppelgewindes dient zur Optimierung der Knochenverdichtung bei der Insertion; Variationen in Gewinde-Steigung, -Durchmesser und – Höhe ermöglichen eine bessere Verteilung der Zugkräfte bei unterschiedlichen Belastungen (Lan et al., 2012).

Als Implantatmaterial werden entweder Reintitan (Titan Grad 4), Titanlegierungen (TiAl6V4 und TiAl6Nb7, Titan Grad 5) mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturierungen, Aluminiumoxid-Siliziumdioxid-Mischkeramiken oder Zirkoniumoxid-Keramiken verwendet. Für Titan sprechen dessen patientenfreundliche Eigenschaften, wie geringe Wärme- und elektrische Leitfähigkeit, hohe Korrosionsbeständigkeit und Bruchfestigkeit sowie die sehr gute Bioverträglichkeit. Bevorzugte Eigenschaften für den Implantologen sind die hohe Elastizität, Röntgentransluzenz und die gute zahn-technische Verarbeitbarkeit (le Guéhennec et al., 2007).

Beispiele für oxidkeramische dentale Implantate sind glasinfiltrierte Keramiken, wie In-Ceram®Alumina bzw. Zirconia und polykristalline dichtgesinterte Al₂O₃- und ZrO₂-Werkstoffe. Zirkoniumdioxid-Implantate werden aufgrund der Ästhetik als so genannte weiße Alternative zu Titanimplantaten eingesetzt, eine Alternative insbesondere für Patienten mit Allergien. Legierung von Zirkoniumoxid mit Yttriumoxid führt zu höheren Rissfestigkeiten, was insbesondere für Kronen, Brücken und Abutments hilfreich ist (Brüll et al., 2014; Denry et al., 2014).

Oberflächenmodifizierungen spielen eine wichtige Rolle in der modernen Implantat-technik. Eine Möglichkeit der Oberflächenmodifizierung kann über die chemische Passivierung an Luft erfolgen, wobei eine bioinerte, monoatomare, nanoskalige Schicht aus Titandioxid entsteht. Beim TiUnite-Verfahren wird diese Oxidschicht durch anodische oder thermische Oxidation erzeugt. Oberflächenvergrößerungen in Form von Mikro- oder Nano-Poren durch Ätzung, Thermostrahlung, Oxidation oder Beschichtung werden zur Optimierung der Osseointegration durchgeführt (Triplett, 2003; Cochran et al., 2011). Zum Einfluss der Hydrophilie der Oberfläche gibt es bisher vereinzelt Untersuchungen (Gittens et al., 2014). Beschichtung der Titanoberfläche, wie bei der Plasma-Spray-Technik mit Hydroxylapatitkeramik, fördert die Interaktion zwischen Titandioxid auf der Metalloberfläche und Knochen (Triplett, 2003). Das Plasma-Flame-Verfahren (TPS = „titanium plasma sprayed“), beispielsweise beim Bonelit-System von Straumann oder TiUnite von Nobel Biocare, nutzt oxidativ erzeugte Titandioxid-Partikel zur Ausbildung einer inerteren Schutzschicht des Implantats (Degidi et al., 2012; Friberg und Jemt, 2010; Imburgia und del Fabbro, 2015; Mozzati et al., 2015; Shibuya et al., 2012; Wagenberg und Froum, 2015). Beschichtungen mit nanoporösen Oberflächen mit der Sol-Gel-Technik zeigten in einigen Studien eine Schutzschicht gegen die Kontamination mit Metallionen aus dem Legierungsmaterial (Inzunza et al., 2014; Ramires et al., 2003).

In der Vielfalt der Implantate werden Systeme für den festsitzenden und auch für den herausnehmbaren Zahnersatz angeboten (Brånemark et al., 2004; Friberg und Jemt, 2015; Imburgia und del Fabbro, 2015; Maló et al., 2013; Shibuya et al., 2012).

1.1.2 Kontraindikation konventioneller Implantate

In den letzten Jahren beschäftigte sich die Fachwelt zunehmend mit der Frage, welche Risikofaktoren bei der dentalen Implantation zu beachten sind und welche Umstände gegen eine Versorgung mit Implantaten sprechen. Insbesondere die steigende Zahl alter und hochbetagter Menschen, die innerhalb eines noch aktiven Lebens eine Verbesserung der Lebensqualität über eine dental-prothetische Versorgung wünschen, stellt den Praktiker aufgrund von Komorbiditäten und in manchen Fällen aufgrund des Nachlassens mentaler Fähigkeiten vor die Aufgabe einer umfangreichen diagnostischen Abklärung und eines individuellen Managements (Schäfer et al., 2013; Tuener et al., 2015).

Bereits im Jahr 1978 stellte Keats eine Klassifizierung der American Society of Anesthesiologists auf, welche auch heute noch einen Rahmen für die implantologische Praxis bietet (Tabelle 1). Die ASA-Klassifikation bietet in fünf Stufen eine grobe Einteilung der Risikogruppen. ASA III erfordert eine intensive medizinische Betreuung sowie bei ambulanter Behandlung postoperative Überwachung. ASA IV und V sind kontraindiziert.

Tab. 1: ASA-Klassifikation für die dentale Implantologie (nach Keats, 1978).

ASA I	Gesunder Patient ohne wesentliche Risikofaktoren
ASA II	Patient mit leichten Allgemeinerkrankungen ohne Leistungseinschränkung
ASA III	Patient mit schweren Allgemeinerkrankungen und Leistungseinschränkungen
ASA IV	Patient mit schweren Allgemeinerkrankungen, die das Leben bedrohen
ASA V	Moribunder Patient

Als schwere Allgemeinerkrankungen gelten schwerwiegende systemische Erkrankungen, Störungen des Knochenstoffwechsels, unkontrollierte Blutgerinnungsstörungen, gestörte Wundheilung, ein instabiles Immunsystem, alle Erkrankungen, die eine regelmäßige Medikation erfordern, nicht abgeschlossenes kraniales Wachstum sowie chronische Erkrankungen und die Multimorbidität älterer Patienten (Koeck und Wahl, 2006; Neugebauer et al., 2009; Neugebauer und Scheer, 2014; Schiegnitz et al., 2012). Psychische Beeinträchtigungen, Demenz, schlechte Mundhygiene, Parodontitis und ein Patient, der nicht zur Kooperation in der Lage oder gewillt ist, müssen im Einzelfall ebenfalls bewertet werden und können eine Implantatversorgung ausschließen (Neugebauer und Scheer, 2014).

Unter Berücksichtigung der Erfahrung in der klinischen Praxis und internationaler Studienergebnisse können folgende Kontraindikationen zusammengefasst werden:

Eine implantatprothetische Versorgung gilt als kritisch bei Patienten ab ASA 3. Im Einzelnen werden hier Diabetes mellitus mit $HbA_{1c} > 8\%$, eine chronische Polyarthrititis mit Bindegewebsbefall, Nekrosen nach Bisphosphonat- sowie Steroid-Therapie

und Behandlung mit Immunsuppressiva genannt (Neugebauer und Scheer, 2014). Als besonders beachtenswert gelten kardiovaskuläre und neuropsychiatrische Erkrankungen, sowie Diabetes mellitus (Marchand et al., 2012), chronische Polyarthrit, Morbus Crohn und die Anwendung von Antikoagulantien (Eichhorn et al., 2011).

Das Vorliegen dieser Risikofaktoren erfordert eine spezifische individuelle Aufklärung und Therapieplanung. Ein nicht ausreichendes Knochenvolumen bzw. verminderte Knochenqualität bei starker Alveolaratrophie sowie mangelnde Qualität und Volumen des Weichgewebes gelten ebenfalls als Kontraindikation für eine implantatprothetische Versorgung. Im Falle eingeschränkter Knochenqualität können heute Knochenersatzmaterialien Abhilfe schaffen. Zur Mindest-Resthöhe des Alveolar-kammes existieren derzeit unterschiedliche Erfahrungen und Hinweise der Fachleute, aber noch keine generelle Empfehlung (S2-k-Leitlinie, 2012). Die Abklärung ist also im Einzelfall dem Fachmann überlassen.

Eine Alternative zu konventionellen Implantaten ohne Augmentation können Mini-Implantate sein. Damit wird sich der folgende Abschnitt befassen.

1.1.3 Lösung über Mini-Implantate

1.1.3.1 Definition und Geschichte der Mini-Implantate

Die Terminologie sogenannter Mini-Implantate ist im deutschsprachigen Raum geregelt, in der englisch-sprachigen Literatur allerdings uneinheitlich. So werden Mini-Implantate als narrow diameter implants (NDI), als small diameter implants (SDI) oder neuerdings auch als geriatric slim implants (GSI) bezeichnet. Unter dem Begriff durchmesserreduzierter Implantate oder ‚narrow diameter implants‘ oder small diameter implants werden allgemein Implantate mit Durchmessern kleiner als 3,0 mm verstanden. Um exakt Mini-Implantate, mini dental implants (MDI) oder auch GSI innerhalb der Gruppe der durchmesserreduzierten Implantate zu differenzieren, werden folgende enge Definitionen zugrunde gelegt:

Der Durchmesser liegt zwischen 1,8 und 2,9 mm (Schiegnitz und Al-Nawas, 2013). In Abgrenzung zu konventionellen Implantaten handelt es sich bei Mini-Implantaten meist um einteilige, transgingivale, teilweise selbstschneidende Schraubensysteme. Die Form kann zylindrisch oder konisch sein. Dazu werden auf dem Markt unterschiedliche Gewindedesigns, Längen und Köpfe angeboten (Abb. 1).

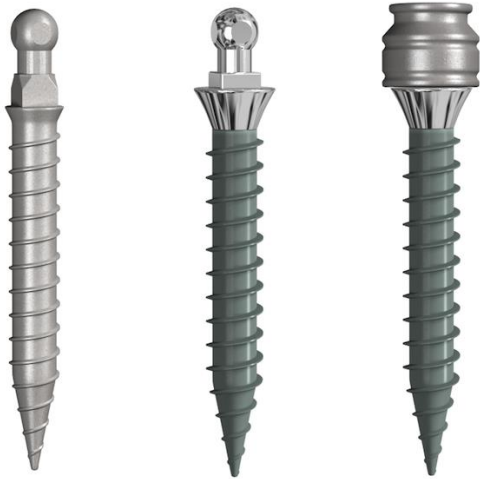


Abb. 1: Gewinde- und Kopf-Modifikationen von Mini-Implantaten. (BDIZ EDI Handbuch, 2007)

Die Entwicklung so genannter Mini-Schrauben begann in den 70er-Jahren des 20. Jahrhunderts, zunächst zur Versorgung von Unterkieferfrakturen (Hadjianghelou, 1977). Die ersten Implantate mit reduziertem Durchmesser wurden 1997 durch Kanomi zur Anwendung in der Kieferorthopädie publiziert. Dieser Bereich (im englischsprachigen Raum ‚orthodontics‘) blieb lange die bevorzugte Domäne. 1998 beschrieben Costa et al. Minischrauben zur Verankerung. In der ersten Zeit der Publikationen gab es allerdings noch keine eindeutige Zuordnung der Durchmesser, so galten generell Implantatdurchmesser unter 3,5 mm als „mini“ (Fritz et al., 2003).

Zunächst wurden die dünnen Implantate als Interims-Lösungen eingesetzt, auch bekannt als Temporary Anchorage Device (TAD) (McGuire et al., 2006). Im Jahr 2000 erschien die erste Publikation einer Langzeitstudie (Vigolo et al., 2000). Das MDI-System ist heute das bekannteste und auch durch einige Studien abgesicherte System (Bulard und Vance, 2005). So gibt es heute Protokolle zur Anwendung von Mini-Implantaten auch im Oberkiefer- und im Frontzahnbereich (Alsamak et al., 2013; Gleznys et al., 2012). Die Anwendung als vorläufiger Zahnersatz während der Einheilphase bei konventioneller Implantation wird nach wie vor durchgeführt, insbesondere, wenn Knochenaufbaumaßnahmen erforderlich sind. Zur Langzeitstabilität gibt es bisher nur wenige Studien, die aber erfolgversprechend sind (Bulard und Vance, 2005; Mundt et al., 2015b; Nienkemper et al., 2013).

1.1.3.2 Indikationen der Mini-Implantate

Durchmesserreduzierte Implantate stellen eine Möglichkeit der Versorgung auch für Knochen weicher Struktur, d.h. mit stark aufgelockerter Spongiosa und reduzierter Mineralisierung sowie Kollagenvernetzung, dar. Während konventionelle Implantate aufgrund des größeren Platzbedarfs augmentative Maßnahmen benötigen würden, können die platzsparenden Mini-Implantate ohne Knochenersatzmaterial oder Bone-Split eingesetzt werden. Der Eingriff ist minimalinvasiv, es sind nur kleine Bohrungen notwendig. Aus diesen Gründen können über Mini-Implantate auch schmale Alveolarkämme und enge Interdentalabstände implantatprothetisch therapiert werden (Schiegnitz und Al-Nawas, 2013).

Eine durch zahlreiche Publikationen gestützte Anwendung von Mini-Implantaten ist die Stabilisierung einer Unterkieferprothese. Auch zur Stabilisierung von Brücken und Prothesen in der Maxilla gibt es Erfahrungsberichte und Studien. Hier ist naturgemäß mit stärkerem Knochenrückgang zu rechnen, auch sind längere Einheilzeiten zu berücksichtigen (Mundt et al., 2015a). Aufgrund der genannten Indikationen werden Mini-Implantate als besonders vorteilhaft für ältere zahnlose Patienten beschrieben.

1.1.3.3 Vorteile für ältere Patienten

Es ist vielfach beschrieben, dass die Lebensqualität im Alter entscheidend mit guter dental-prothetischer Versorgung zusammenhängt. Schlechtsitzende Prothesen beeinträchtigen nicht nur die Kaufunktion, sondern führen den Patienten aufgrund großer ästhetischer Probleme oft in den sozialen Rückzug (Jenei et al., 2015; Visscher et al., 2014). Die implantatprothetische Versorgung hat in den bisherigen Studien bereits eine Verbesserung in allen Punkten der Lebensqualität gezeigt (de Souza et al. 2015; Swelem et al., 2014). Kürzere Behandlungszeiten, die Möglichkeit, ohne Augmentation inserieren zu können, die sofortige Belastbarkeit und verringerte Allgemeinbelastung sind die vier wesentlichen Vorteile, die von Herstellern durchmesserreduzierter Implantate angegeben werden und durch die wenigen bisher erschienenen Studien belegt werden (Elsyad, 2016; Maryod et al., 2014). Schließlich können Mini-Implantate auch einfacher im Frontzahnbereich eingesetzt werden. Nicht zuletzt ist der Erhalt der periimplantären Strukturen ein wichtiger Punkt gerade bei der Versorgung älterer Patienten.

Daneben ergeben sich aber auch einige Nachteile. Kleinere Durchmesser haben mechanische Probleme zur Folge. So ist die Bruchanfälligkeit durch Zugbelastung höher als bei konventionellen Implantaten. Materialermüdungen wirken sich früher aus. Dies wird durch neuere Langzeitstudien bestätigt, wobei die Komplikationen im Oberkieferbereich häufiger und gravierender ausfallen (Preoteasa et al., 2014; de Souza et al., 2015). Schließlich wirkt sich auch die Oberflächenstruktur auf die Stabilität aus. Oberflächenbearbeitungen können bei Implantaten mit geringerem Durchmesser zu Instabilitäten führen (Jofré et al., 2010). In den letzten Jahren sind einige Studien publiziert worden, die nicht nur komplett zahnlose, sondern auch hochbetagte Patienten einbezogen (Mundt et al., 2015b; Tomasi et al., 2013). Daraus zeichnet sich die Tendenz ab, dass die Gefahr der Komplikationen mit der Anzahl der Implantate steigt (de Souza et al., 2015). Des Weiteren berichten alle Autoren über ein Nachlassen des Knochenabbaus nach dem ersten Jahr post insertionem.

Wie Elsyad et al. (2016) darlegen, war die Patientenzufriedenheit mit Mini-Implantat-gestützten Unterkieferprothesen hinsichtlich Handhabung, Essen, Hygiene und äußerem Erscheinungsbild gut, aber Bruchanfälligkeit und Nachsorge erforderten zusätzlichen Aufwand. Ein Vergleich mit konventionellen Implantaten wird hier nicht aufgestellt. Während Preoteasa et al. (2012) sowohl höhere Patientenzufriedenheit als auch bessere Stabilität der Mini-Implantat-Versorgung ermittelten, fanden de Souza et al. (2015) im Vergleich der Unterkiefer-prothetischen Versorgung über Mini- oder konventionelle Implantate bessere Zufriedenheit mit Mini-Implantaten, aber auch eine geringere Überlebensrate im Vergleich zu Standardversorgungen. In der Studie von Mundt et al. (2015b) wurden gute Ergebnisse hinsichtlich Stabilität und Lebensqualität bei älteren Patienten beschrieben, aber keine Unterschiede zur Versorgung mit konventionellen Implantaten gefunden.

Die dentalprothetische Versorgung alter Menschen erfordert besondere Konzepte, die zunehmende kognitive und funktionelle Beeinträchtigungen berücksichtigen müssen. Anpassung an die reduzierte Spannkraft des Bandapparats und Berücksichtigung der Mundhygiene, die einfach und optimal durchführbar sein muss, führen zu neuen Überlegungen und Umsetzungen hinsichtlich der Gestaltung von Form und Oberfläche der Prothese. Mit dem aktuellen Standard der prothetischen Möglichkeiten beschäftigt sich das folgende Kapitel.

1.2 Prothetik: Möglichkeiten und Stand der Technik

1.2.1 Deckprothese

Die Deckprothese, im Englischen *coverdenture* oder *overdenture*, ist im Unterschied zur Totalprothese eine Prothese, die auf dem Alveolarkamm aufliegt, aber noch an Restbezahnung oder Implantaten befestigt werden kann. Die Befestigungselemente dienen der Stabilisierung und Führung der Deckprothese. Von einer Hybridprothese ist die Rede, wenn sowohl bleibende Zähne als auch Implantate zur Befestigung genutzt werden. Erste Fallserien mit Langzeitbeobachtungen ergaben gute Stabilität und guten Tragekomfort (Mijiritsky et al., 2015; Rinke et al., 2015).

Die herausnehmbare Deckprothese, die ohne weitere Stützelemente nur auf die Gingiva aufgesetzt wird, stellt keine langfristig günstige Alternative dar. Sinnvoller kann der herausnehmbare Zahnersatz über eine Verbindung über Druckknopfanker oder konfektionierte Stege und Stegreiter gestaltet werden. Die Verankerung erfolgt entweder an Kronen oder an Implantaten im vorderen Kieferbereich. Stegverbindungen haben sich als hinderlich in Bezug auf die Kaufunktion und die notwendige Hygiene erwiesen (Krennmair et al., 2012; Zou et al., 2013). Eine besondere Befestigungsmöglichkeit bilden sogenannte Teleskope, Doppelkronen, wobei die Verbindung einer passgenau gefertigten Sekundärkrone der Prothese mit der Primärkrone des verbliebenen Zahnes einen besonders guten Halt sichern soll. Die parallelwandige Gestaltung der Teleskopkronen sichert die exakte axiale Ausrichtung und die Stabilität der Prothese.

Als konfektionierte Einzelemente haben sich Kugelkopfanker und der so genannte Locator bewährt (Abb. 2a). Es gibt bisher noch wenige klinische Studien zum Locator, insbesondere Retentionsverlust wird bisher vereinzelt beobachtet (Engelhardt et al., 2016). Allerdings stellt er eine kostengünstige Alternative dar (Cristache et al., 2014). Neben dem Locator (Abb. 2b), der für die Befestigung auf Implantaten entwickelt wurde, gibt es seit einigen Jahren auch den Locator Root, zur Befestigung auf der Zahnwurzel (Teubner et al., 2009).



Abb. 2a: Kugelkopfanker.

(DENTSPLY ICH GmbH, 2000)

Abb. 2b: Locator.

(Hunt, 2011)

Verankerungssysteme für implantatfixierte Hybridprothesen

1.2.2 Vergleich von totalen und implantatgetragenen Prothesen

Die Standardversorgung einer implantatgetragenen Prothese wird in der Literatur über mindestens zwei Implantate für eine Unterkieferprothese und über vier bis sechs Implantate für eine Oberkieferprothese beschrieben (Balaguer et al., 2015; Frisch et al., 2015; Kuoppala et al., 2012). Primärstabilität des Implantats auch bei geringem Restknochenangebot und problematischer Knochenqualität und Langzeitstabilität bei gleichbleibender Funktionalität sind die funktionell wichtigen Parameter bei implantatgetragenen Prothesen. Ästhetik und Natürlichkeit der Restauration sowie Wiederherstellung der Kaufunktion müssen gleichermaßen berücksichtigt werden, da diese Parameter hohe Bedeutung im sozialen Leben haben. Der Kaufunktion muss insbesondere bei alten und hochbetagten Patienten vor dem Hintergrund der adäquaten Ernährung und eventueller physischer und kognitiver Beeinträchtigungen große Relevanz beigemessen werden. Diese Ansprüche können durch festsitzenden Zahnersatz besser als mit herausnehmbaren Prothesen realisiert werden, wie mittlerweile auch einige Studien bestätigen.

Für eine implantatgetragene Prothese spricht heute eine Reihe von Argumenten. So beugt die zusätzliche Abstützung Schleimhautentzündungen durch Reibungskräfte vor. Die Hygiene implantatgetragener herausnehmbarer Prothesen gestaltet sich ein-

facher und effizienter. Dies ist eine Option, die besonders bei älteren multimorbiden Patienten, denen die Motorik nicht mehr so leichtfällt, zu beachten ist (Awad et al., 2014; Frisch et al., 2015; Kuoppala et al., 2012; Müller et al., 2013; Zembic et al., 2014; Zou et al., 2013). Hier gibt es Studien, die implantatgestützte Deckprothesen mit festsitzenden Konstruktionen vergleichen und den Vorteil des implantatgestützten herausnehmbaren Ersatzes bestätigen (Matsuda et al., 2014; Oh et al., 2016).

Die Stützkonstruktion der Implantate ermöglicht eine Prothesenkonstruktion ohne Gaumenplatte oder Steg. Diese Option ist von nicht zu unterschätzendem Vorteil für die Phonetik, Kaufunktion und für das gustatorische System. Die Geschmackswahrnehmung wird in der Regel erheblich durch das Vorhandensein eines Metallbügels beeinträchtigt. Dabei haben sich auch Mini-Implantate als vorteilhaft erwiesen (Boven et al., 2015; Elsyad, 2016). Des Weiteren können individuelle Anpassungen an die Anatomie über eine Implantatkonstruktion besser durchgeführt werden, als das mithilfe einer Totalprothese möglich ist. Nachbesserungen bei altersbedingten anatomischen Veränderungen sind ebenfalls einfacher zu gestalten. So berichten Matsuda et al., (2014), Müller et al., (2013), Tomasi et al., (2013) und Zembic et al. (2014) über eine Verbesserung der Lebensqualität und eine verbesserte funktionelle Stabilität beim Austausch einer Totalprothese gegen eine implantatgestützte Prothetik.

Bei der Kombination einer implantatgestützten Unterkiefer-Deckprothese mit einer Oberkiefer-Totalprothese werden die verbesserte Okklusion und eine höhere Patientenzufriedenheit beschrieben (Gonçalves et al., 2014; Matsuda et al., 2014; Rismanchian et al., 2009). In diesem Zusammenhang ist insbesondere die großangelegte Studie von Awad et al. aus dem Jahr 2014 mit 203 zahnlosen Patienten im mittleren Alter von 68,8 Jahren aus acht Zentren in Nord- und Südamerika sowie Europa zu beachten. Die Ergebnisse bezüglich verbesserter Nahrungsaufnahme sowie – zerkleinerung (Mastikation) sind heterogen und offenbar von Alter und Gesundheitszustand der Patienten abhängig (Chen et al., 2015; Gonçalves et al., 2014; Hamdan et al., 2013; Tajbakhsh et al., 2013). Es gibt bereits einige Studien, die implantatgetragene mit Totalprothesen vergleichen. Eine wichtige Aussage der Studien ist die Beachtung der sorgfältigen Auswahl der Patienten hinsichtlich Vorerkrankungen und Mitarbeit (Frisch et al., 2015; Mijiritsky et al., 2015). Wie die Studie von Spitzl et al. (2012) an Unterkieferprothesen zeigen konnte, erlaubt eine implantatgetragene Prothese höhere neuromuskuläre Effizienz als eine Totalprothese.

Awad et al. (2014), Cakir et al. (2014), Geckili et al. (2012), Oh et al. (2016) und Pan et al. (2014) ermittelten in der Gruppe der Patienten mit implantatgetragener Prothese die höchste Zufriedenheit im Vergleich zu Totalprothesen sowie zu festsitzendem Zahnersatz. Interessant ist in diesem Fall die Studie von Fernandez-Estevan et al. (2015), deren Gruppenzusammensetzung zum einen ein Durchschnittsalter von 70 Jahren aufwies, zum anderen heterogen hinsichtlich Multimorbiditäten war. Auch hier gab die Gruppe mit implantatgetragener Prothetik die höchste Lebensqualität zu Protokoll. Chen et al. (2015) wiesen nach ihrer 3D-Finite-Elemente-Analyse an einer implantatgetragenen Prothese und einer konventionellen Totalprothese auf die Gefahr des verstärkten Knochenabbaus im Bereich der Implantate hin, bedingt durch den verstärkten hydrostatischen Druck.

Die Tatsache, dass implantatgestützte Prothesen höhere Kaukräfte zulassen, kann bei bestimmten Konstruktionen zu einer Förderung der Alveolaratrophie führen. Darauf wird das folgende Kapitel eingehen.

1.3 Beißkräfte bei Totalprothesen

1.3.1 Methode zur Messung der Beißkraft

Es existieren in der Literatur unterschiedliche Definitionen der Beißkraft. Im Folgenden soll damit die Kraft gemeint sein, welche die Muskulatur insgesamt erzeugt.

Die Beißkraft, englisch bite oder biting force, wird in N (Newton) angegeben und entspricht der resultierenden Kraft der einzelnen Kraftvektoren der beteiligten Muskeln. Die Messung kann elektrisch über die Widerstandsänderung eines Dehnungsmessstreifens einer Kraftmessdose erfolgen. Diese Methode wurde bereits 1948 von Howell et al. publiziert, und gilt auch heute noch, mit Anpassungen und Weiterentwicklungen, als Standard-Messmethode der Beißkraft (Geckili et al., 2012; Lundgren et al., 1984). Die Messdose kann in die Prothetik integriert werden. Eine weitere, halbleitertechnische Methode besteht in der Anwendung einer Kunststoffolie, welche mit einer Halbleiterschicht imprägniert ist und auf den Zahnkranz appliziert werden kann, bekannt als T-Scan. Diese Methode eignet sich ebenfalls für Relativmessungen (Cerna et al., 2015). Das Elektromyogramm (EMG) wertet Signale der Muskulatur zur dynamischen Messung aus (Caloss et al., 2011). Die Akustische Myographie (AMG) nutzt Frequenzänderungen bei Kontraktionen. Schließlich wird noch die pho-

tochemische Messmethode angewandt. Hier wird eine Folie eingesetzt, welche mit Entwicklerflüssigkeit gefüllte Kapseln enthält. Infolge der Okklusionskraft zerplatzen diese Kapseln und reagieren mit einer Adsorptionsmittelschicht. Über die Eichung der Intensität der Rotfärbung kann der Druck ermittelt werden. Ein auf dem Markt verfügbares System ist das Dental Prescale (Jofré et al., 2010).

1.3.2 Beißkräfte bei bezahnten und bei zahnlosen Patienten

Studien zur Messung der Beißkraft werden international mit unterschiedlichen Kraftmesssystemen durchgeführt. Ein Vergleich der absoluten Größen ist daher nicht möglich. Allenfalls erlaubt die Auswertung der Publikationen einen relativen Vergleich der Kräfte, sofern innerhalb einer Studie zwischen zwei Gruppen verglichen wurde.

Vergleiche zwischen zahnlosen und bezahnten Patienten sind selten. In den meisten Studien wurden Beißkräfte von Prothesenträgern im Vergleich unterschiedlicher Protokolle ermittelt. So testeten Caloss et al. (2011) die Hypothese, dass Prothesenträger zurückhaltend mit der Anwendung der vollen Beißkraft sind, wenn Instabilitäten zu bemerken sind. Die Untersuchung bestätigte, dass die Beißkraft mit der Unterstützung der Prothese stieg. Müller et al. (2012) führten eine randomisierte Studie mit 80 Patienten durch und verglichen Kaukräfte und Kaeffizienz zwischen bezahnten Patienten, implantatgetragenen Prothesen, festsitzendem Zahnersatz und konventionellen Prothesen. Die höchsten Beißkräfte besaßen die bezahnten Probanden, gefolgt von der Gruppe der festsitzenden implantatgetragenen Prothetik. Müller et al. bestätigten damit die frühen Untersuchungen von Mericske-Stern et al. (1992). Borie et al. (2014) ermittelten in ihrer Studie mit 100 zahnlosen Probanden einen Anstieg der Beißkraft mit der Tragezeit der Prothese. Des Weiteren wiesen ältere Teilnehmer höhere Kaukräfte auf als jüngere. Der Vergleich der Beißkräfte zahnloser und bezahnter Probanden von Tripathi et al. (2014) ergab um den Faktor zehn höhere Kaukräfte in der Gruppe der bezahnten Probanden. Ebenso zeigten Männer höhere Beißkräfte als Frauen.

Die Studienübersicht bestätigt die Einflussgrößen wie Alter, Geschlecht, Fazialmorphologie (Borie et al., 2014; Tripathi et al., 2014), Gesundheitszustand, Bezahnungszustand und Güte des Zahnersatzes auf die Höhe der Beißkraft (Mericske-Stern et al., 1993b; Müller et al., 2012). Demnach erlaubt natürliche Bezahnung die höchsten Beißkräfte, gefolgt von implantatgetragenen Prothesen.

2. Problematik und Fragestellung

Die Versorgung des zahnlosen Kiefers stellt den Fachmann insbesondere bei älteren Patienten vor einen Komplex an Problemen. Die fortschreitende Knochenatrophie destabilisiert den Sitz der Prothese und beeinflusst alle funktionellen Bereiche wie auch die Beißkraft.

Beißkraft und Prothesenhalt stehen dabei in Wechselwirkung: Wie Studien zeigen, nimmt der Patient bei instabiler Prothese eine Schonhaltung ein, d.h. er reduziert die Kraft beim Kauvorgang, aus Sorge mit normaler Beißkraft ein Ungleichgewicht zu erzeugen. Diese Situation ist insbesondere im sozialen Leben äußerst unbefriedigend. Eine Stabilisierung durch die Verankerung mittels Implantaten sollte daher auch die Beißkraft, welche der Patient individuell ausüben kann, positiv beeinflussen.

Die Fragestellung der vorliegenden Arbeit lautet daher:

1. Wie ist die Beißkraftentwicklung bei Patienten, welche zunächst nur eine konventionelle Prothese trugen und anschließend auf eine implantatgestützte Prothese umgestellt wurden?
2. Gibt es einen Unterschied zwischen Totalprothesen und implantatgetragenen Prothesen im anterioren oder posterioren Bereich?
3. Gibt es einen Unterschied der Beißkräfte zwischen Prothesen mit Mini-Implantaten und konventionellen Implantaten?
4. Wie ist die Verteilung der Beißkräfte auf die Okklusionsfläche?

3. Material und Methode

3.1 Patientenauswahl

An der vorliegenden Studie haben 26 Patienten teilgenommen, darunter 15 Männer und 11 Frauen. Das Alter der Patienten lag zwischen 52 und 88 Jahren, mit einem mittleren Alter von 66,5 Jahren. Zur Rekrutierung des Kollektivs wurde zuvor die quantitative Erfassung des Knochenangebotes in Breite, Höhe und Knochendichte, die Lokalisation des Nervus alveolaris inferior und Foramen Mentale, die Notwendigkeit einer Knochenaugmentation, die Planung der Implantatposition sowie die Planung der sagittalen und transversalen Angulation der Implantate anhand von CT-Aufnahmen (SOMATOM Definition Flash, Fa. Siemens) ermittelt. Die Einwilligung der Patienten zur Teilnahme erfolgte gemäß des von der Ethik-Kommission Bonn genehmigten Studienprotokolls (Lfd. Nr. 258/12).

Als Einschlusskriterien galten:

- unbezahnte Ober- und Unterkiefer
- minimale Unterkieferkammhöhe von 10 mm
- minimale Unterkieferkammbreite von 5,5 mm für die Gruppe mit Standard-Implantaten
- minimale Unterkieferkammbreite von 3,5 mm für die Gruppe mit Mini-Implantaten
- Patienten, die sich nach entsprechender Aufklärung für die dreidimensionale Diagnostik zur Bestimmung des Knochenangebotes (Breite, Höhe, Dichte) entschieden haben, um die Implantation besser planen zu können und das Komplikationsrisiko zu verringern
- gesunder klinischer Zustand der Mukosa

Folgende Ausschlusskriterien wurden zugrunde gelegt:

- schlechte Mundhygiene oder unzureichende Mitarbeit der Patienten
- schwere Stoffwechselerkrankungen
- immunsuppressive Therapie

- Schwangerschaft und Stillzeit
- geeignete Patienten, die sich im Rahmen ihrer Behandlung gegen die dreidimensionale Bildgebung zur Bestimmung des Knochenangebots entschieden haben.,

Alle Patienten waren zahnlos und im Ober- und Unterkiefer mit einer Totalprothese versorgt. Die prothetische Neuversorgung erfolgte bei allen Patienten im Unter- sowie im Oberkiefer. Die Auswahl war nicht randomisiert, sondern von der klinischen Situation abhängig, je nachdem ob konventionelle oder Mini-Implantate verwendet wurden. Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte entsprechend des Knochenangebots des Unterkieferkamms. Die Patienten der Kontrollgruppe (Gruppe 1) erhielten konventionelle Implantate (Druckknopfattachments, Matrize mit Gummiring). Es wurden zwei bis vier Implantate interforaminae in den Regionen 34 bis 44 implantiert, das heißt zwischen den beiden Foramen mentale. Die Patienten der Vergleichsgruppe (Gruppe 2) bekamen vier bis fünf Mini-Implantate mit Druckknopfattachments (Matrize mit Gummiring) interforaminae.

Die Implantation erfolgte in einer Behandlung. Dabei wurden die Implantate interforaminae gesetzt. Die vorhandenen Prothesen wurden während der Einheilphase der Implantate weich unterfüttert und der Biss wurde kontrolliert und eventuell korrigiert, damit keine Druckstellen entstehen und sich während der Einheilphase ungünstig auf die Implantate auswirken. Die prothetische Versorgung erfolgte vier Monate nach der Implantation. Dabei wurden in den Prothesen im Bereich der Implantate Hohlräume gefräst, in welche der Retentionseinsatz mit O-Ring fest einpolymerisiert wurde, während die Prothese auf die Implantate aufgesetzt wurde. Die Beißkräfte wurden vor der Implantatinsertion sowie zum Kontrolltermin nach vier Monaten gemessen.

3.2 Auswahl und Positionierung der Implantate

Zehn Patienten (Gruppe 1) wurden mit konventionellen zweiphasigen Implantaten des Systems tioLogic® (Fa. Dentaurum Implants, Pforzheim,) mit Kugelanker (Fa. OT medical, Bremen) versorgt. 16 Patienten (Gruppe 2) erhielten Mini-Implantate (MDI-System, 3M ESPE, USA). Diese Mini-Implantate dienen der Prothesenstabilisierung bei stark atrophiertem Kieferkamm (minimale Kieferkammhöhe von 10 mm). Die Retention wird durch O-Ringe erzielt. Durchmesser und Längen der Implantate wurden in Abhängigkeit von der individuellen klinischen Situation des Patienten gewählt.

Die Mini-Implantate wurden minimal-invasiv durch die Schleimhaut ohne Lappenöffnung inseriert, ein Belastungs-Vorteil insbesondere für betagte Patienten. Positionierung und Komplikationen wurden postoperativ erneut über CT-Aufnahmen kontrolliert. Tabelle 2 gibt die Übersicht der Implantatsystem.

Tab. 2: Übersicht der gewählten Implantat-Dimensionen mit Durchmesser x Länge (in mm) für die jeweiligen Regionen

Gruppe 1 Implantat-System TrioLogic	Gruppe 2 Implantat-System 3M ESPE
--------------------------------------------	------------------------------------------

Patient	Region		Dimension	
1	43	44	3,7x11	3,7x13
2	33	43	3,7x13	3,7x13
3	32	34	3,7x13	3,7x13
	42	44	3,7x11	3,7x11
4	32	44	3,7x13	3,7x11
	42	44	3,7x13	3,7x11
5	32	34	3,7x11	3,7x11
	42	44	3,7x11	3,7x11
6	33	43	3,3x13	3,3x13
	44		3,3x13	
7	32	34	3,7x13	3,7x11
	42		3,7x13	
8	32	34	3,7x13	3,7x13
	42	44	3,7x13	3,7x13
9	34	44	3,7x13	3,7x15
10	31	32	3,7x11	3,7x11
	34	42	3,7x11	3,7x11
	44		3,7x11	

	Patient	Region		Dimension	
	1	31	32	2,1x15	2,1x15
		34	42	2,1x15	2,1x15
		44		2,1x15	
	2	33	34	2,1x13	2,1x13
		41	43	2,1x13	2,1x13
		44		2,1x13	
	3	32	33	2,4x13	2,4x13
	4	42	44	2,4x13	2,4x13
		32	34	2,1x15	2,4x15
		44		2,4x15	
	5	33	34	2,1x13	2,1x13
		42	44	2,1x15	2,1x13
	6	32	34	2,1x13	2,1x13
		42	44	2,1x13	2,1x13
	7	32	34	2,1x15	2,1x15
		42	44	2,1x15	2,1x15
	8	32	34	2,1x15	2,1x15
		42	44	2,1x15	2,1x15
	9	32	33	2,1x15	2,1x15
	10	32	33	2,1x13	2,1x13
		42	44	2,1x13	2,1x13
	11	32	33	2,1x13	2,1x13
		41	43	2,1x13	2,1x13
		44		2,1x13	
	12	32	41	2,1x15	2,1x15
		42	43	2,1x15	2,1x15
		44		2,1x15	
	13	32	34	2,1x15	2,1x15
		42	44	2,1x15	2,1x15
	14	32	34	1,8x13	1,8x13
		42	44	1,8x13	1,8x13
	15	31	32	2,1x13	2,1x13
		41	42	1,8x13	2,1x13
		44		2,1x13	
	16	31	32	1,8x13	1,8x13
		41	42	1,8x13	1,8x13

3.3 Messungen

3.3.1 Messprinzip

Die Beißkräfte wurden vor der Implantation und bei der Eingliederung der neuen Prothese mit PRESCALE, einer Druck anzeigenden Folie der Fa. Fujifilm, ermittelt. PRESCALE ist eine thermoplastische inerte Folie aus Polyethylenterephthalat (PET), die aus zwei Lagen, einer mit Farbmikrokapseln und einer Schicht mit Entwickler-Kapseln, besteht (Abb. 4). Bei Krafteinwirkung auf die Folie zerbrechen die Mikrokapseln entsprechend der Höhe des applizierten Drucks, der Farbstoff reagiert mit dem Entwickler und es wird eine Farbabstufung in Rottönen mit einer hohen Auflösung über die Druckvariationen auf der Berührungsfläche angezeigt.

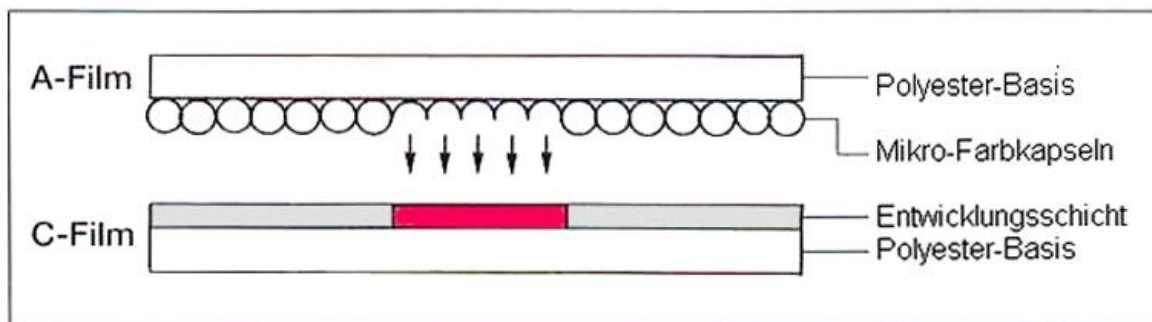


Abb. 4: Prinzip der 2-Schichten PRESCALE-Farmentwicklung: A-Film = Polyester-trägerfolie mit Mikro-Farbkapselschicht, C-Film = Polyesterfolie mit Adsorptions- und

Für die Studie wurde die PRESCALE-Druckmessfolie Typ LW verwendet, eine zweilagige Folie mit einem Druckmessbereich von 2,5 bis 10,0 MPa. Die geringe Stärke von 0,1 bis 0,2 mm ermöglicht, die Folie auch auf gewölbten Oberflächen auszurichten. Die Höhe des Drucks (Beißkraft) wird über die Farbdichte verteilt dargestellt: der Druck entspricht einer bestimmten Farbdichte, in der linken Skala in Abbildung 5 dargestellt. Die Farbabstufung wird mit einer entsprechenden Software mit farbkodierter Skalierung in Kraftwerte umgesetzt. Für die Auswertung der Druckmessung werden die in Abbildung 5 dargestellten Kalibrierkurven zugrunde gelegt. Diese werden vom Fujifilm-Auswerteprogramm als sogenannte Klimakurven geliefert (A bis D in Abb. 5), welche die abgebildete Beziehung Druck–Farbdichte bei vier verschiedenen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverhältnissen repräsentieren. Für die Auswertung muss die Kurve verwendet werden, welche den Messbedingungen entspricht.

Die Rotintensität auf der Folie wird nun einer Dichte auf der y-Achse im Diagramm zugeordnet. Über die entsprechende Klimakurve kann dann der zugehörige Druck auf der x-Achse abgelesen werden.

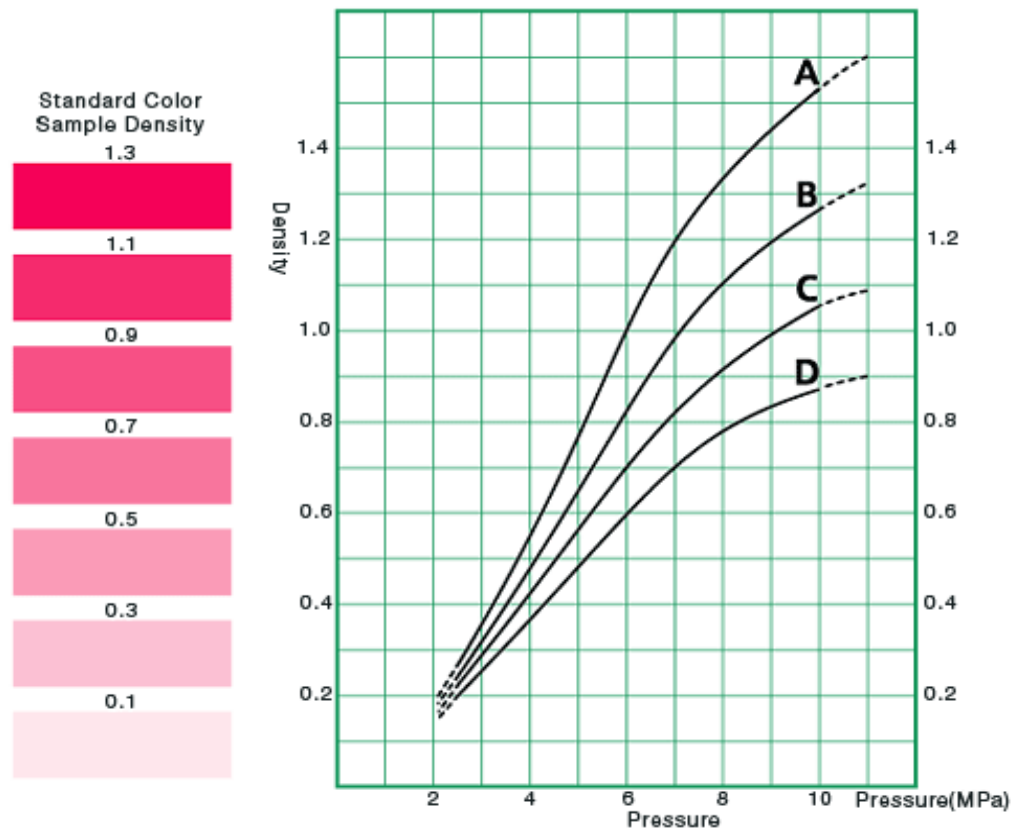


Abb. 5: Druckmessung über PRESACLE-Druckmessfolien: Die Dichte repräsentiert eine bestimmte Farbstufe (links). Die Kurven A bis D zeigen die Abhängigkeit der Druckmessung von den Umgebungsbedingungen Temperatur und Luftfeuchtigkeit (sogenannte Klimakurven).

3.3.2 Kalibrierung

Da infolge der Kraftverteilung in der Druckmessfolie der Enddruck vom voreingestellten Druck abweichen kann, musste vor der Messung eine Kalibrierung vorgenommen werden, um Kraft-Korrekturfaktoren zu ermitteln. Die Kalibrierung erfolgte mit der Werkstoffprüfmaschine Typ Zwick Smart Pro von Zwick/Roell (Abb. 6). Dazu wurde bei einer vorgegebenen Kraft der Werkstoffprüfmaschine die entsprechende Kraft des PRESACLE-Systems gemessen. Bei 100 N, 300 N, 500 N und 700 N wurden jeweils zwölf beziehungsweise fünfzehn Folien gemessen und anschließend ausgewertet, um den Korrekturfaktor der Kraft des PRESACLE-Systems zur Auswertung

der Kraft-Druck-Beziehung des PRESCALE-Systems zu ermitteln. Die Folie wurde zwischen den Modellen platziert, und die Modelle in die Maschine eingespannt. Die vorgegebene Kraft wurde für 2 Minuten beibehalten, und dann erneut erhöht.



Abb. 6: Messapparatur zur Kalibrierung: die Folie befindet sich zwischen den Prothesenmodellen.

3.3.3 Durchführung der Patientenmessungen

Für die Messungen wurden die Messfolien auf den Prothesenmodellen der Patienten zurechtgeschnitten, mit einem seitlichen Überstand von 0,5 mm. Es wurden pro Patient drei Folien für die Messungen bei 2, 3 und 5 Minuten vorbereitet. Auf den Folien wurden die Messzeit, die Position rechts-links und der Name des Patienten vermerkt. Für die Messung wurde die PRESCALE-Folie zwischen Ober- und Unterkiefer platziert. Lage und Temperatur wurden dokumentiert. Die Beißkräfte wurden bei 23 °C und 24 % Feuchtigkeit ermittelt. Der Patient saß aufrecht, mit dem Kopf am Kissen angelehnt. Nach der Applikation der Folie wurde der Patient gebeten, fest zuzubeißen und diesen Druck zunächst für 2 Minuten zu halten. Position der Folie, ein mögliches Verrutschen und gleichmäßiger Beißdruck wurden während der Messzeit kontinuierlich überwacht. Nach der Druckaufnahme wurde die Folie entfernt. Der Patient

erhielt eine Pause von 5 Minuten. Anschließend wurde die nächste Messung mit der neuen Folie durchgeführt, diesmal mit einem Pressdruck über 3 Minuten. Die gleiche Prozedur wurde für die Messung von 5 Minuten wiederholt.

Zur Lagerung wurde die Schicht mit den Farbkapseln entfernt, und nur die Entwicklerschicht gelagert, um die Gefahr weiterer Verfärbung im Zeitverlauf auszuschließen. Nach Beendigung aller Messungen wurden die Folien in den Flachbettscanner (Epson Perfectan V37, Auflösung 4800 dpi x 9600 dpi) gelegt, in der Reihenfolge wie in der Messung (Abb. 7).



Abb. 7: Scannen der Folien der Messungen bei 2, 3 und 5 Minuten jeweils eines Patienten

Nach dem Scannen wurde die Auswertung mit dem Programm FPD-8010E (Fujifilm Corporation) durchgeführt. Die Beißkraft erzeugt punktförmige Abdrücke, welche über die Scanner-Software in Bilddateien umgewandelt wurden, wie in Abbildung 8b dargestellt.

Anschließend wurde der Bereich der Beißkraft von 2,5 bis 10 MPa markiert, der für die Studie relevant war. Alle anderen Bereiche wurden unberücksichtigt gelassen. So resultiert folgendes Bild (Abb. 8a):

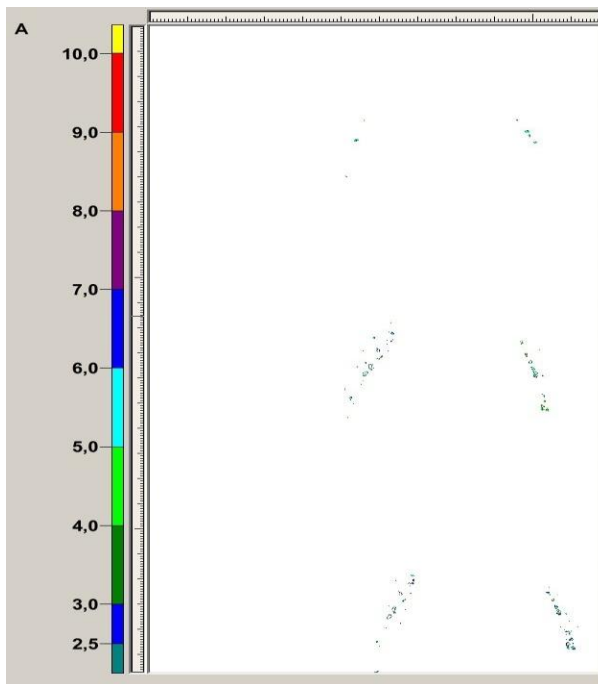


Abb. 8a: Darstellung der Beißkraft nach dem Scan.

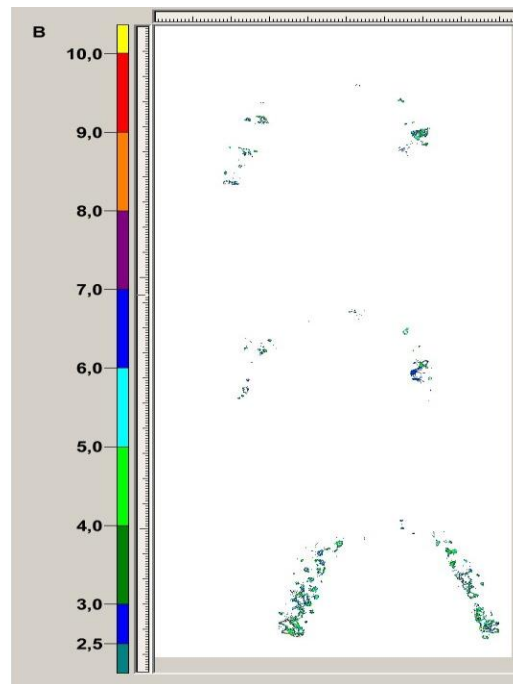


Abb. 8b: Darstellung der Beißkraft

3.3.4 Statistische Analyse

Die Null-Hypothesen lauteten:

1. Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Beißkräften vor- und nach der Implantation.
2. Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Implantatsystemen.
3. Es besteht ein signifikanter Unterschied im anterioren/posterioren Bereich vor und nach Implantation sowie zwischen den beiden Implantatsystemen.
4. Es besteht ein signifikanter Unterschied bei den Beißkräften zu verschiedenen Messzeiten.

Zur statistischen Auswertung wurden Mittelwerte und Standardabweichungen ermittelt. Die Normalverteilung wurde mit dem Test von Kolmogorov-Smirnov gemacht. Der t-Test wurde zur Ermittlung signifikanter Unterschiede angewandt, mit einem Signifikanzniveau von $p=0,05$. Alle Auswertungen wurden mit dem Microsoft-Excel Programm ausgeführt.

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnis der Kalibrierung

Die Auswertung der Kalibrierung zeigte einen Anstieg der Kraft-Korrekturfaktoren mit sinkendem Kraft-Messbereich. Die Korrekturfaktoren lagen zwischen 2,0 für den Messbereich von 700 N und 3,2 für den Messbereich von 100 N (Tabelle 3, Abb. 9).

Tab. 3: Ermittlung der Korrekturfaktoren für die Kraftmessung bei 100 bis 700 N durch vorgegebene Kraft und tatsächlich gemessene Kraft.

Angewandte Kraft	100 N	300 N	500 N	700 N	gemessene Kraft
	25	134	206	331	
	34	132	172	331	
	35	141	165	410	
	38	84	155	345	
	19	54	246	340	
	34	87	188	412	
	30	119	207	377	
	30	167	249	276	
	21	117	154	349	
	24	107	210	388	
	47	139	200	343	
	38	102	170	298	
				273	
				336	
				440	
Mittelwert	31,2	115,2	193,5	349,9	
Standardabw.	8,1	30,6	32,2	48,5	
rel. SD	8%	10%	6%	7%	
Korrekturfaktor	3,2	2,6	2,6	2,0	

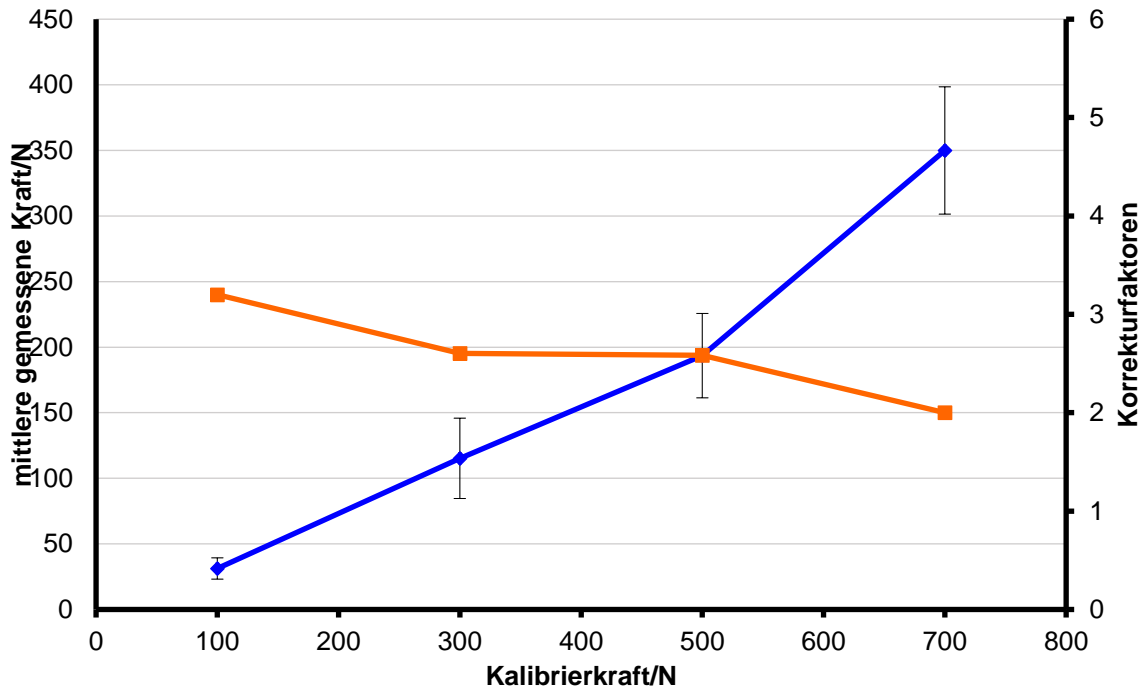


Abb. 9: Kalibrierkräfte (blau) und Korrekturfaktoren (orange)

4.2 Messung der Beißkräfte bei Patienten

4.2.1 Hypothese 1: Vergleich der Gesamtkräfte vor und nach der Implantation

Abbildung 10a gibt die Gesamtkräfte vor der Implantation wieder. Vor der Implantation zeigten sich z.T. erhebliche Unterschiede der Beißkräfte zwischen den Patienten. Die Mittelwerte der Gesamtbeißkräfte aller Patienten betragen 73 N bei 2 Minuten, 103 N bei 3 Minuten und 102 N nach 5 Minuten Pressdruck (Abb. 10a). Abbildung 11b zeigt die Ergebnisse im Vergleich der beiden Implantat-Gruppen. Die Werte liegen für die Messungen bei 2, 3 und 5 Minuten innerhalb der Standardabweichungen mit einem Gesamtmittelwert von 92 N.

Auf die individuellen Unterschiede und eventuelle Einflussfaktoren für tendenziell höhere Ausgangsbeißkräfte wird im Kapitel 5 näher eingegangen

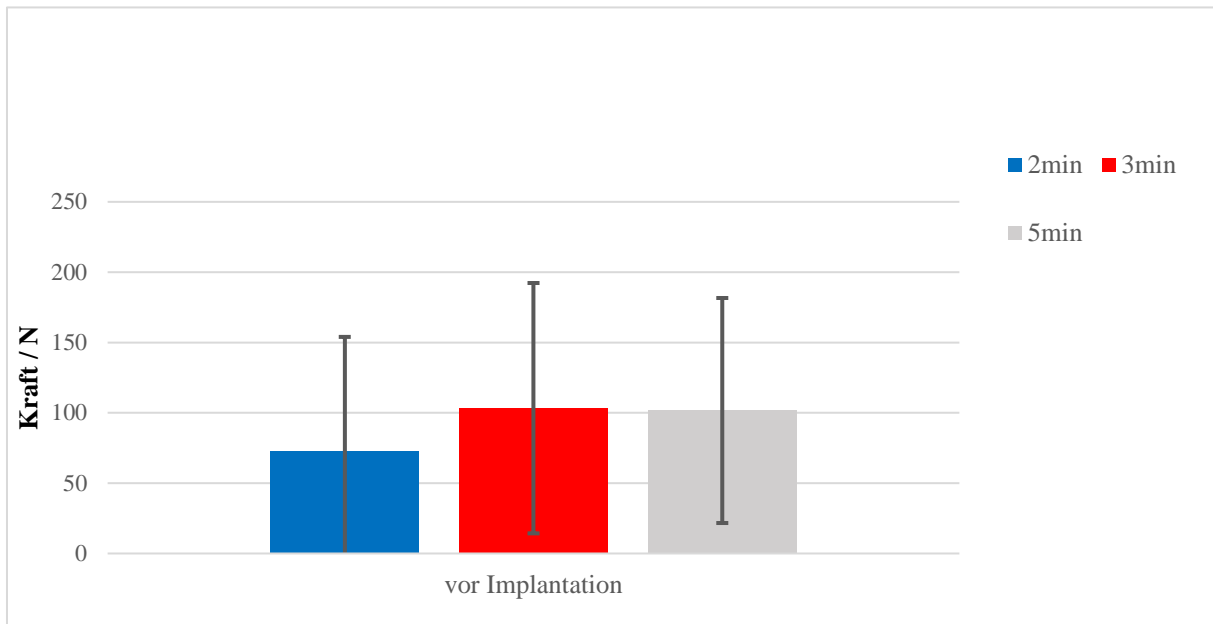


Abb. 10a: Gesamtkraft vor der Implantation, alle Patienten mit erhebliche Unterschiede der Beißkraft

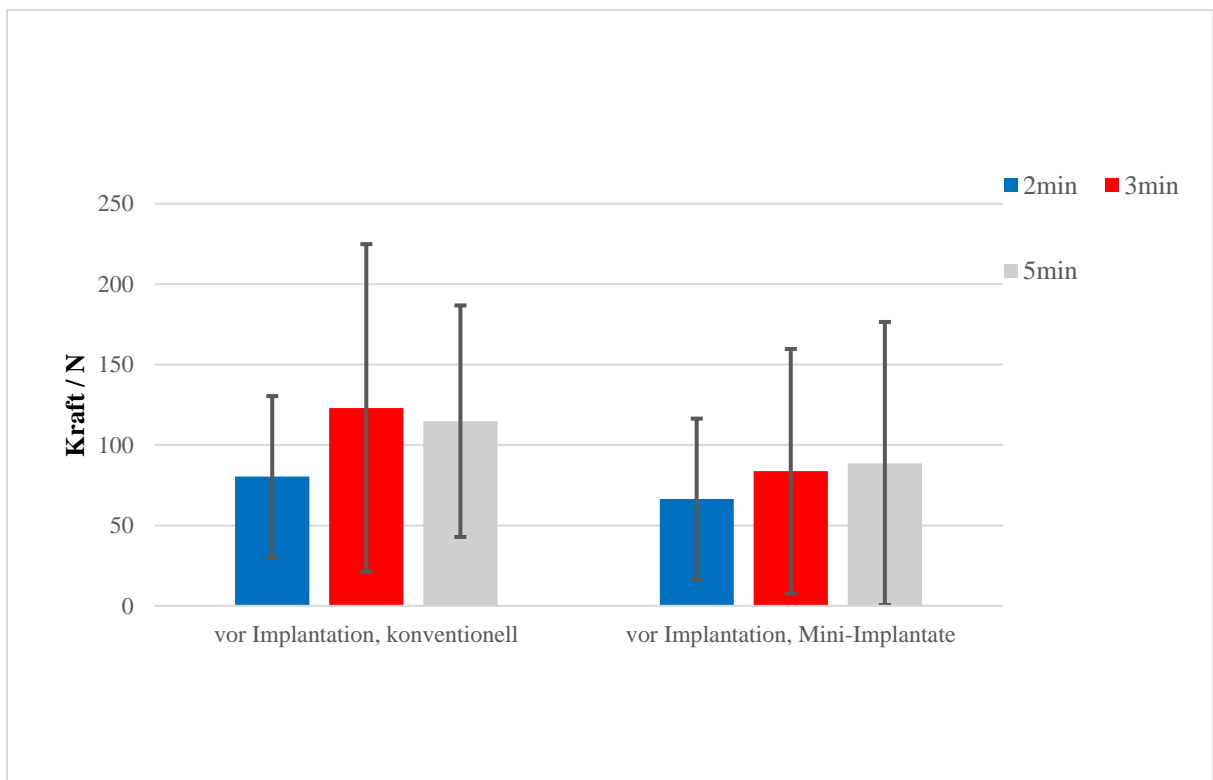


Abb. 10b: Gesamtkraft vor der Implantation, Vergleich zwischen konventionellen und Mini-Implantaten. Die Werte liegen innerhalb der Standardabweichungen.

Abbildung 11 zeigt den Vergleich der Beißkräfte vor und nach der Implantation für die Gruppe 1 der Patienten mit konventionellen Implantaten. Die Gesamtbeißkraft lag bei diesen Patienten vor der Implantation im Mittel bei 80 N (2 Minuten), 122 N (3 Minuten) und 115 N (5 Minuten).

Nach der Implantation erreichten diese Patienten Beißkräfte von 150 N (2 Minuten), 168 N (3 Minuten) und 235 N (5 Minuten) (Abb. 11). Die Unterschiede waren nicht signifikant. Es zeigte sich die Tendenz zur höheren Beißkraft bei längeren Presszeiten, wie 5 Minuten.

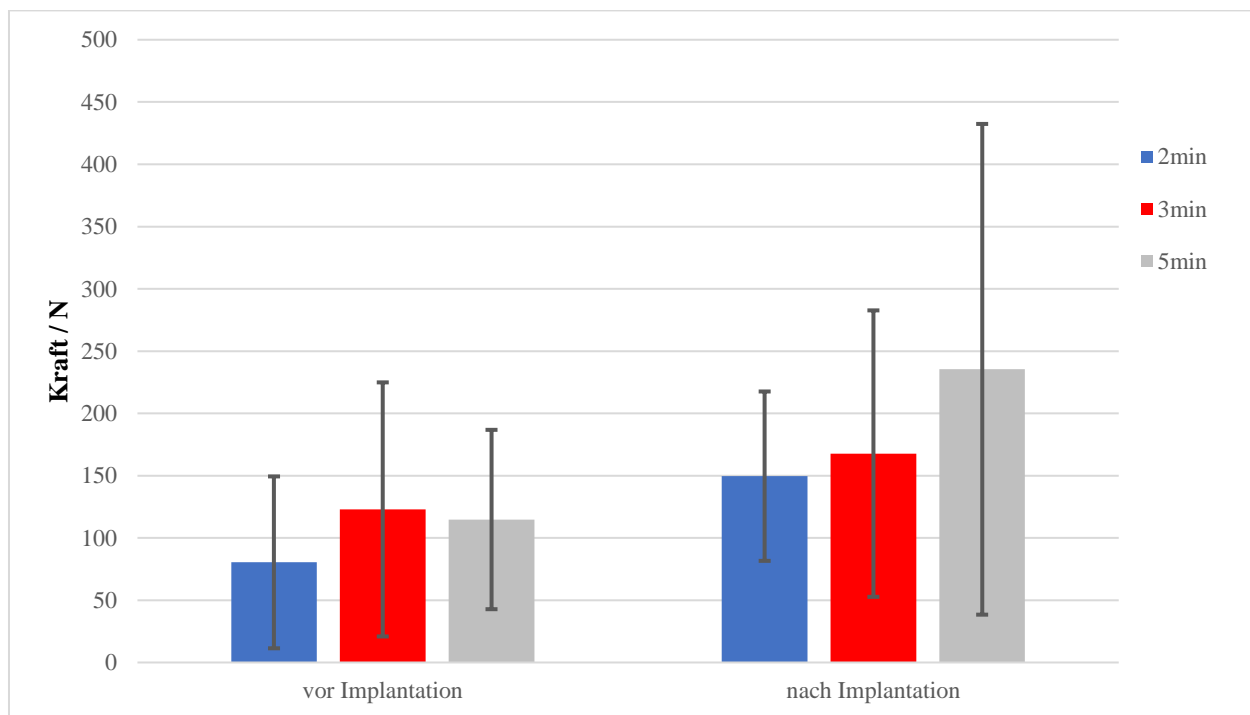


Abb. 11: Gesamtbeißkraft im Vergleich vor und nach der Implantation, konventionelle Implantate

Die Patienten der Gruppe 2, welche mit Mini-Implantaten versorgt wurden, hatten vor der Implantation im Mittel Beißkräfte von 66 N (2 Minuten), 84 N (3 Minuten) und 89 N (5 Minuten) (Abb. 12). Nach der implantatprothetischen Versorgung mit der neuen Prothese wurden Kräfte von 101 N bei 2 Minuten, 81 N bei 3 Minuten und 108 N nach 5 Minuten gemessen. Die Unterschiede waren nicht signifikant. Auch hier lagen

die Werte innerhalb der hohen Standardabweichungen zwischen 68 N (2 Minuten) und 197 N (5 Minuten).

Die Hypothese, es bestehe ein signifikanter Unterschied zwischen den Beißkräften mit Totalprothesen und implantatgestützter Prothese, konnte weder für konventionelle noch für Mini-Implantate bestätigt werden.

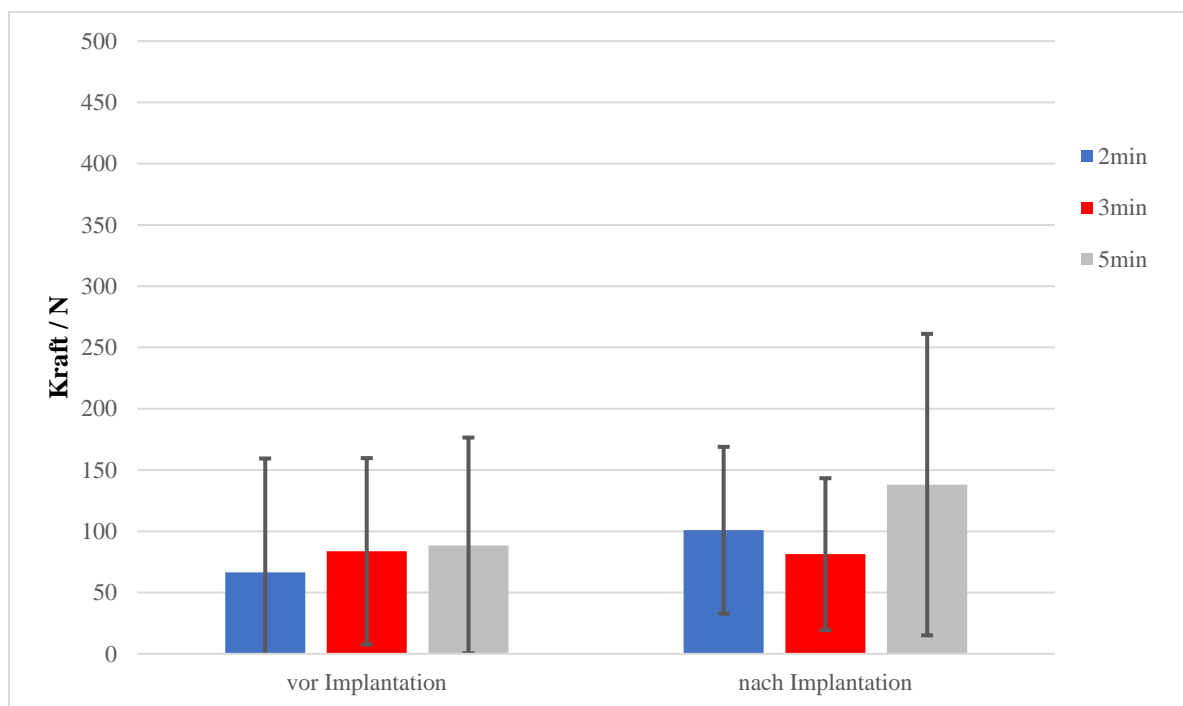


Abb. 12: Gesamtbeißkraft im Vergleich vor und nach der Implantation, Mini- Implantate.

4.2.2 Hypothese 2: Vergleich der Implantatsysteme nach der Implantation

In Abbildung 13 sind die Gesamtbeißkräfte im Vergleich der Implantatsysteme dargestellt, wie sie nach der Implantation gemessen wurden. Die Patienten mit konventionellen Implantaten erreichten nach der Implantation Beißkräfte von 150 N bei 2 Minuten, 168 N bei 3 Minuten und 235 N bei 5 Minuten Pressdruck. In der Gruppe mit Mini-Implantaten wurden Beißkräfte von 101 N bei 2 Minuten, 81 N bei 3 Minuten und 108 N nach 5 Minuten gemessen. Die Werte zeigten hohe Standardabweichungen bis zu 197 N (5 Minuten konventionell). Eine Tendenz zu höheren Beißkräften

bei Verwendung konventioneller Implantate ist erkennbar. Die Unterschiede waren bei einer Presszeit von 3 Minuten signifikant ($p=0,0389$).

Die Hypothese, dass ein signifikanter Unterschied in den Beißkräften im Vergleich konventioneller und Mini-Implantate besteht, konnte für eine Presszeit von 3 Minuten bestätigt werden, für andere Zeiten jedoch nicht.

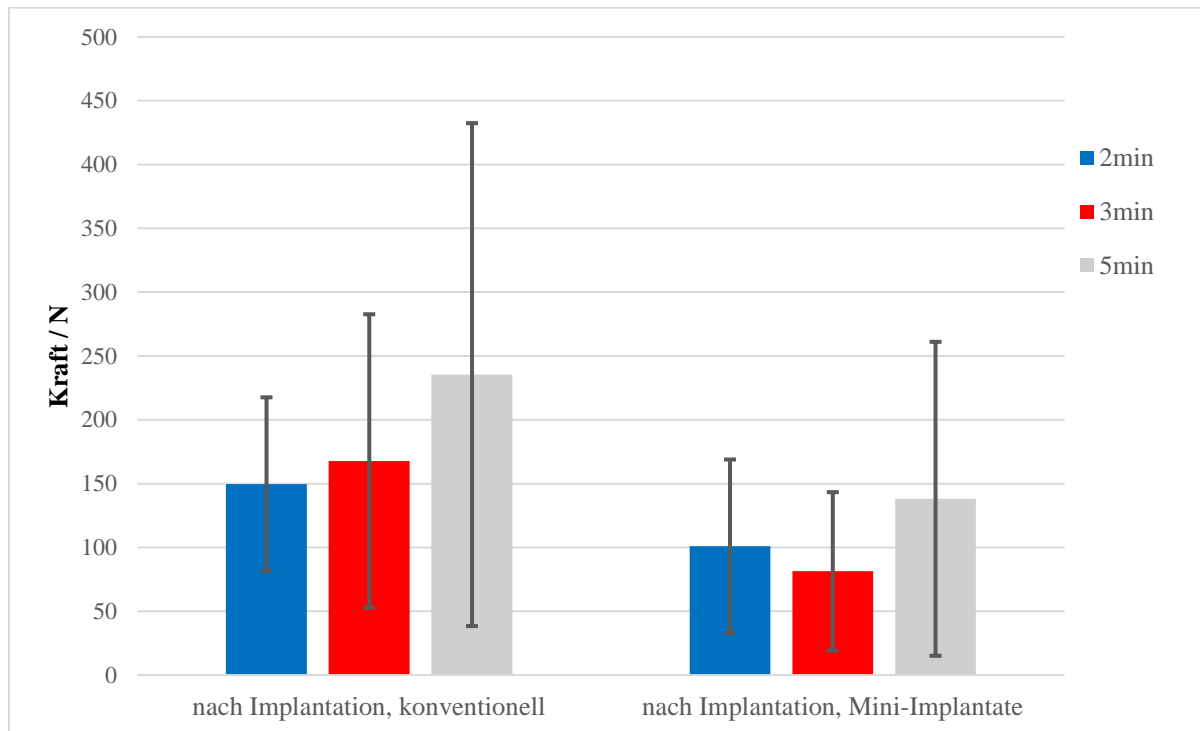


Abb. 13: Gesamtkraft nach der Implantation, Vergleich der Beißkräfte mit konventionellen Implantaten mit den Beißkräften mit Mini-Implantaten. Erkennbar ist die höhere Beißkraft bei den konventionellen Implantaten.

4.2.3 Hypothese 3: Vergleich der Verteilung der Beißkräfte

4.2.3.1 Verteilung im anterioren Bereich

Im Vergleich vor und nach der Implantation ist im Bereich der anterioren Okklusionsfläche eine Tendenz zur Steigerung der Beißkräfte durch die prothetische Versorgung mithilfe konventioneller Implantate zu erkennen (Abb. 14). Bei Verwendung der Mini-Implantate sind nur minimale Unterschiede erkennbar, die innerhalb der hohen Standardabweichungen liegen (Abb. 15).

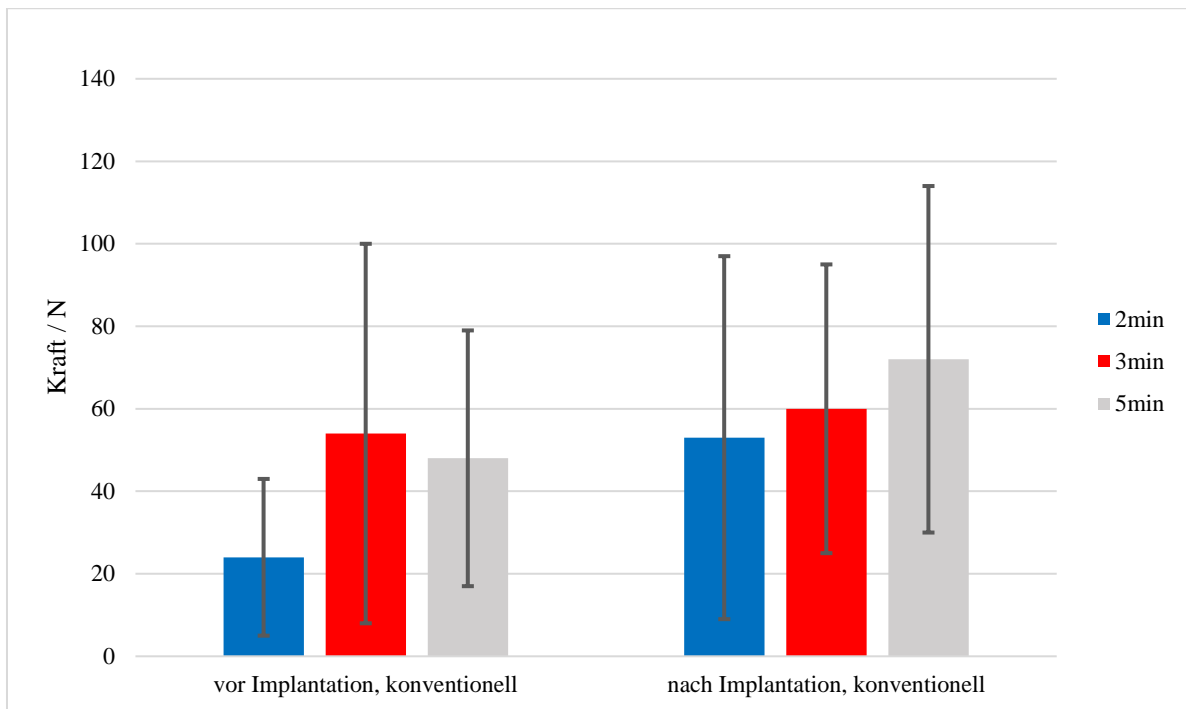


Abb. 14: Verteilung der Beißkräfte im anterioren Bereich vor und nach der Implantation, konventionelle Implantate. Steigerung der Beißkraft ist zur erkennen.

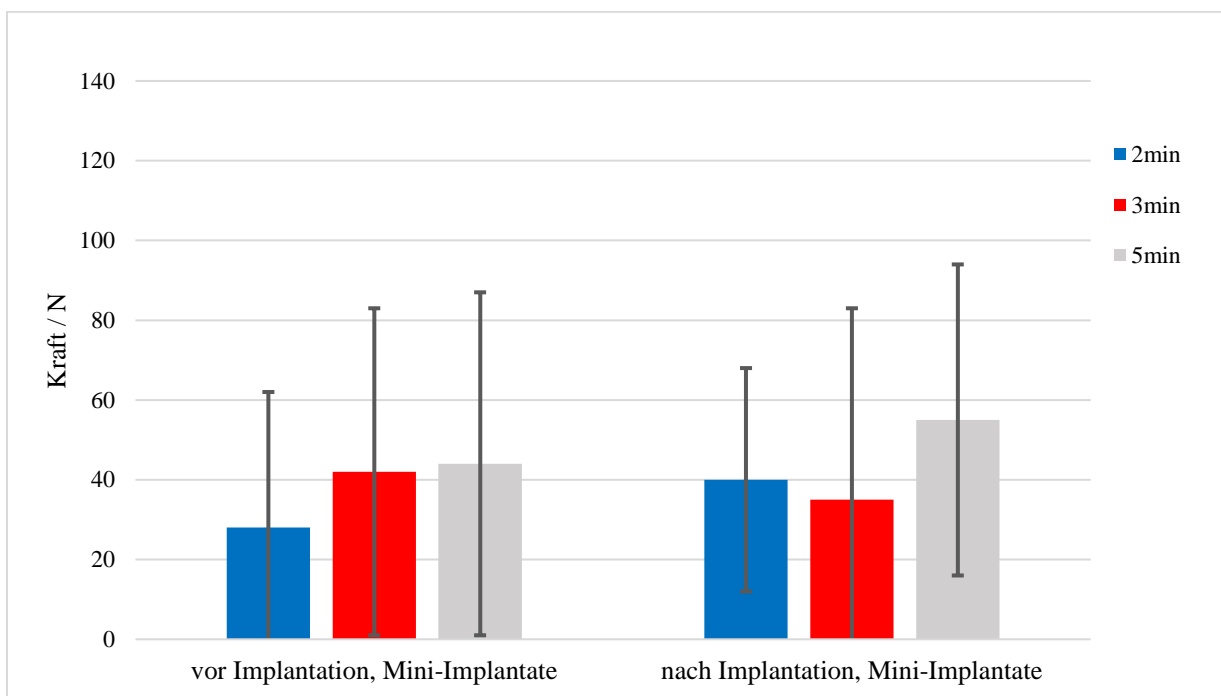


Abb. 15: Verteilung der Beißkräfte im anterioren Bereich vor und nach der Implantation, Mini-Implantate. Minimale Unterschiede ist zur erkennen.

Ein Vergleich der beiden Implantatsysteme in Bezug auf die Beißkraft im anterioren Bereich zeigte ebenfalls die Tendenz zu höheren Kräften in der Gruppe der konventionellen Implantate (Abb. 16). Patienten der Gruppe 1 mit konventionellen Implantaten wiesen im Mittel anteriore Beißkräfte von 53 N nach 2 Minuten, 60 N nach 3 Minuten und 72 N nach 5 Minuten auf. Demgegenüber erreichten die Patienten mit Mini-Implantaten Beißkräfte von 40 N nach 2 Minuten, 35 N nach 3 Minuten und 55 N nach 5 Minuten Messzeit. Die Unterschiede waren nicht signifikant.

Die Hypothese der unterschiedlichen Verteilung der Beißkräfte konnte für den anterioren Bereich nicht bestätigt werden.

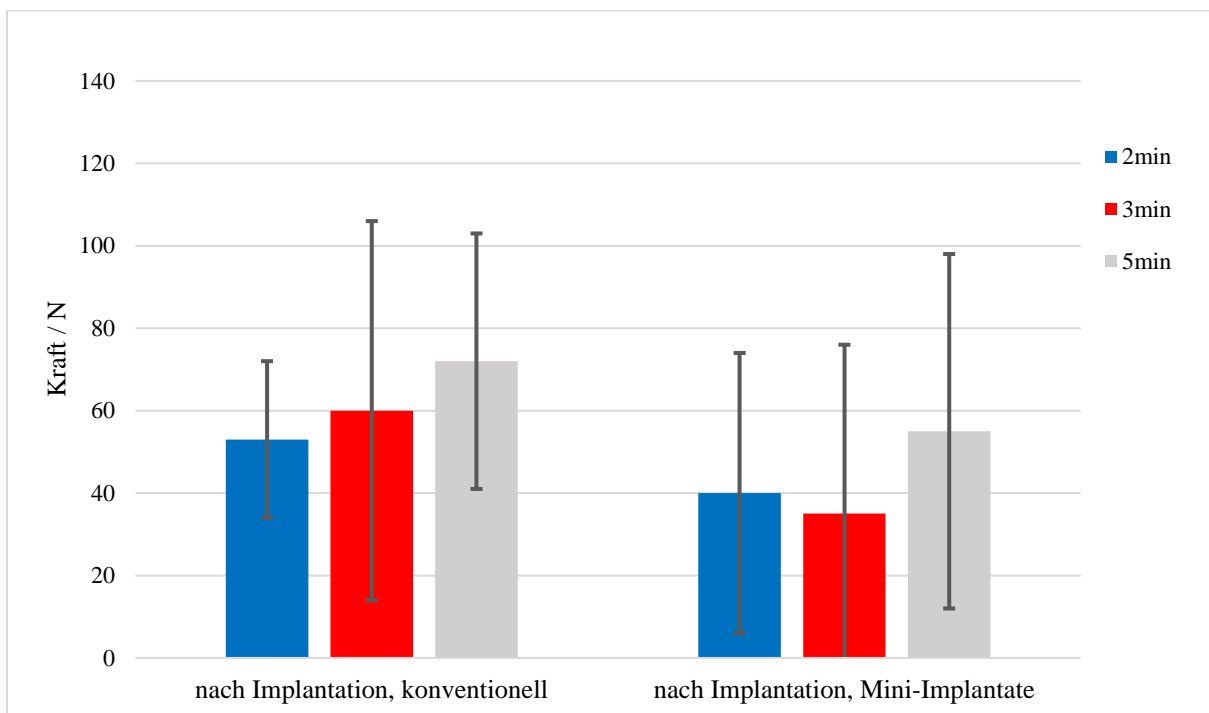


Abb. 16: Beißkraft im anterioren Bereich nach der Implantation, Vergleich der Implantate. Höherer Kraftentwicklung bei den konventionellen Implantaten.

4.2.3.2 Verteilung im posterioren Bereich

Bei der posterioren Kraft zeigte sich durch die prothetische Versorgung mit Implantaten eine Steigerung bei einer Presszeit von 5 Minuten in beiden Gruppen, mit Tendenz zu stärkerer Steigerung in der Gruppe der konventionellen Implantate (Abb. 17 und 18).

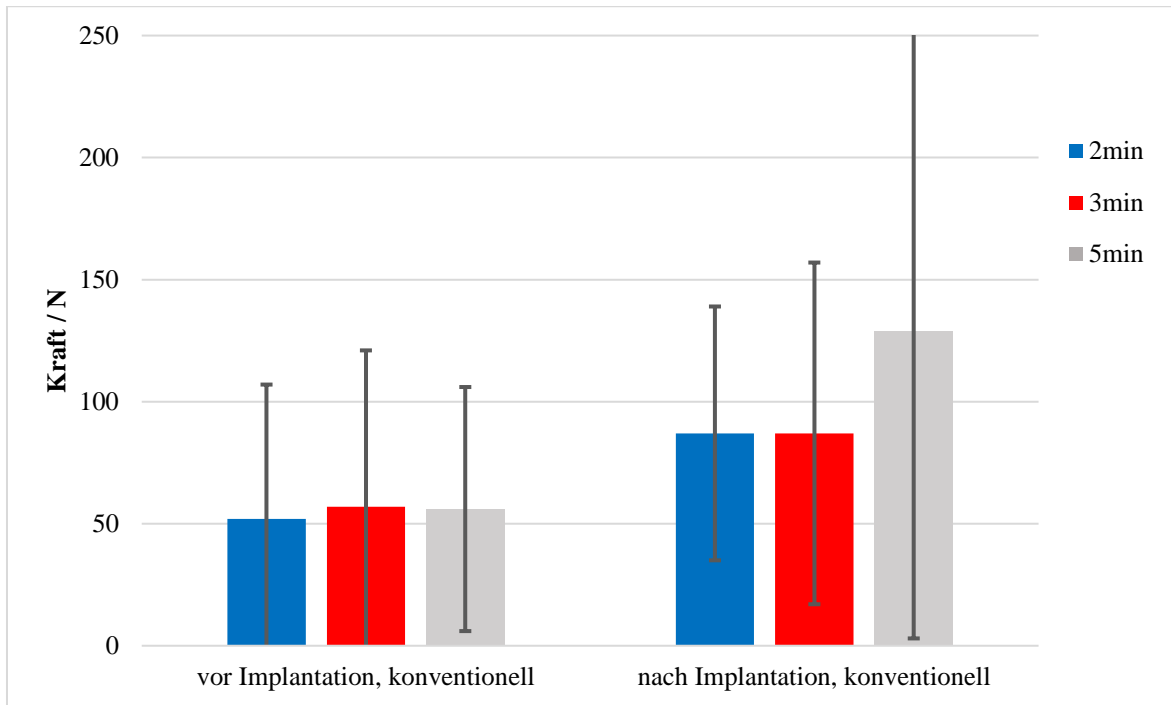


Abb. 17: Kraft im posterioren Bereich vor und nach der Implantation, konventionelle Implantate. Höhere Kraftentwicklung besonders bei der Presszeit von 5 Minuten.

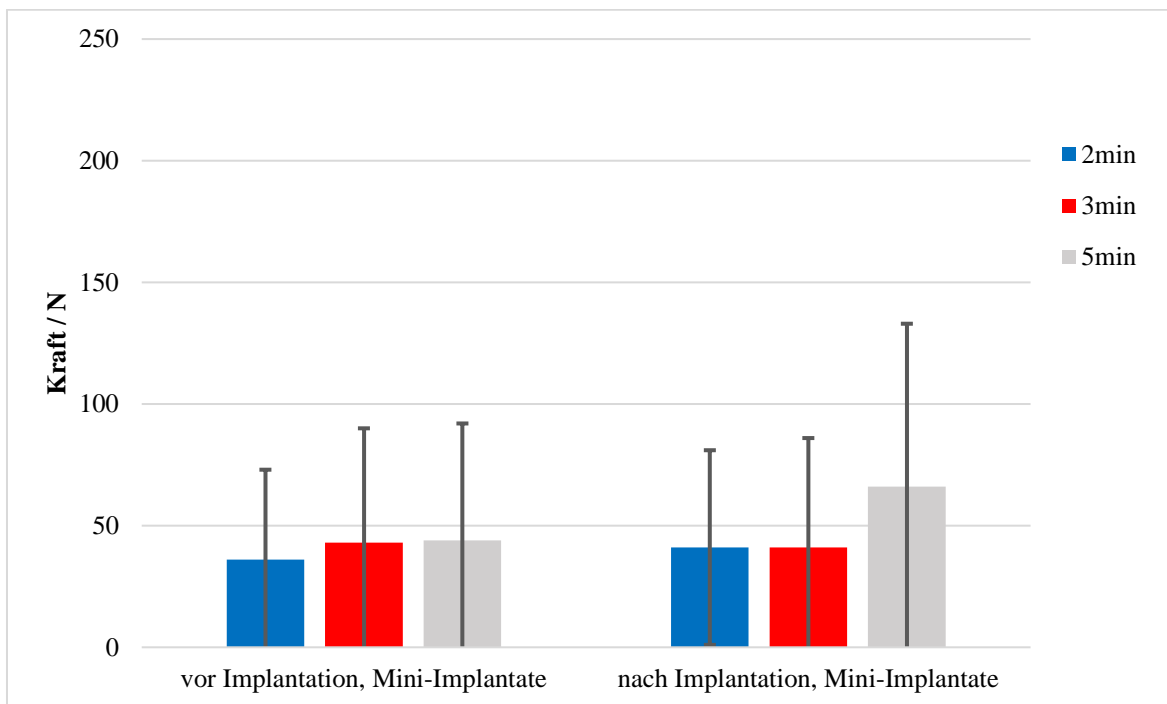


Abb. 18: Kraft im posterioren Bereich vor und nach der Implantation, Mini-Implantate. Höhere Kraftentwicklung bei einer Presszeit von 5 Minuten.

Die Kräfte im posterioren Bereich lagen in beiden Gruppen höher als im anterioren Bereich (Abb. 19). Nach 2 Minuten Presszeit wurden für Gruppe 1 mit konventionellen Implantaten 87 N, nach 3 Minuten ebenfalls 87 N und nach 5 Minuten 129 N gemessen. In der Gruppe mit Mini-Implantaten lagen die Mittelwerte der posterioren Kräfte bei 41 N sowohl nach 2 als auch nach 3 Minuten, und bei 66 N nach 5 Minuten. Die Unterschiede waren für eine Presszeit von 2 Minuten signifikant ($p=0,0258$).

Die Hypothese einer unterschiedlichen Verteilung der Beißkräfte bei unterschiedlichen Implantatsystemen konnte im posterioren Bereich für eine Presszeit von 2 Minuten bestätigt werden: bei einer Presszeit von 2 Minuten wurden mit konventionellen Implantaten signifikant höhere Beißkräfte erreicht als mit Mini-Implantaten.

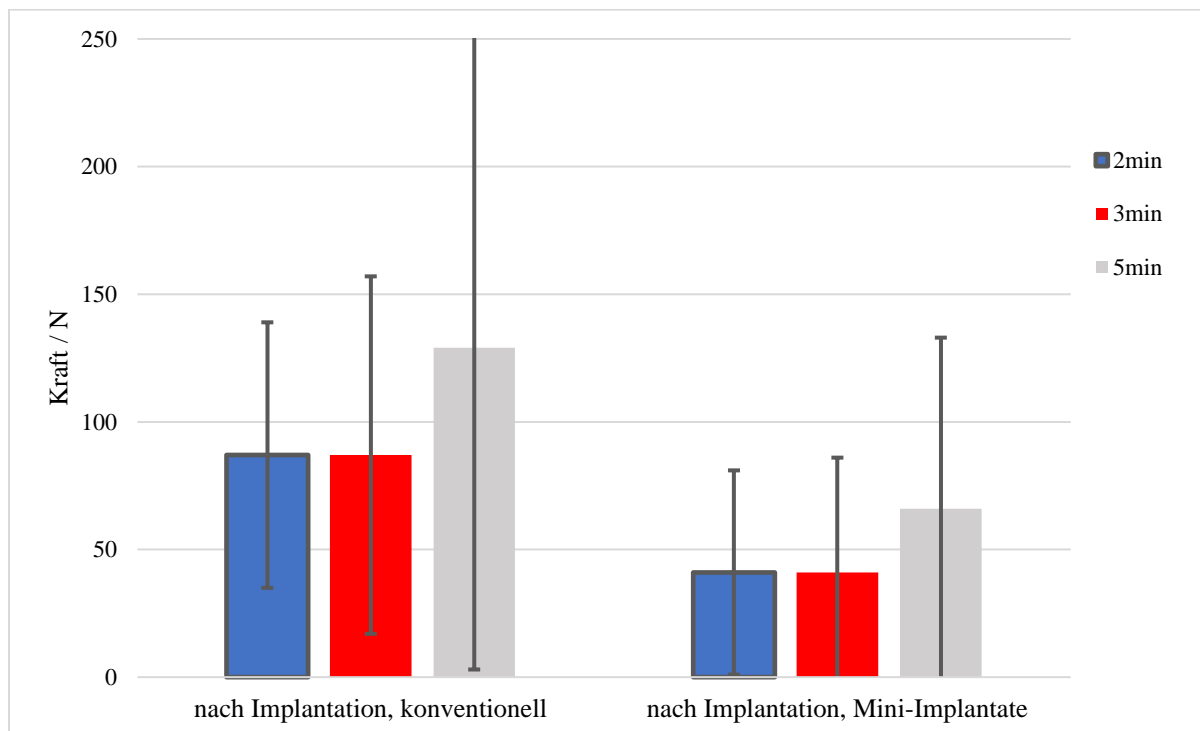


Abb. 19: Kraft im posterioren Bereich nach der Implantation, Vergleich der Implantate. Höheren Beißkräfte bei einer Presszeit von 2 Minuten bei den konventionellen Implantaten ist zu erkennen.

4.2.4 Hypothese 4: Verteilung der Beißkräfte bei verschiedenen Messzeiten

Bei beiden Implantatsystemen ist eine Steigerung der Beißkräfte im anterioren Bereich mit Anstieg der Presszeit zu sehen. Die Unterschiede sind aber nicht signifikant. Im posterioren Bereich waren die Unterschiede für eine Presszeit von 2 Minuten

ten signifikant ($p=0,0258$). Bezogen auf die Gesamt-Beißkraft waren bei einer Presszeit von 3 Minuten Unterschiede zwischen den Implantatsystemen signifikant ($p=0,0389$).

Die Hypothese, dass ein signifikanter Unterschied in den Beißkräften zwischen den Implantatsystemen besteht, konnte für eine Presszeit von 3 Minuten mit höherer Beißkraft bei konventionellen Implantaten bestätigt werden.

4.2.5 Statistische Auswertung: Vergleich der Gesamtkraft vor und nach Implantation

Die statistische Analyse ergab keinen signifikanten Unterschied der Beißkräfte zwischen der alten Prothese und der implantatprothetischen Versorgung über konventionelle Implantate (Tab. 4). Ebenso ergab die statistische Analyse keinen signifikanten Unterschied vor und nach der Implantation in der Gruppe der Mini-Implantate (Tab. 5). Der Vergleich der Beißkräfte nach der implantatprothetischen Versorgung ergab einen signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe 1 mit konventionellen Implantaten und der Gruppe 2 mit Mini-Implantaten bei einer Presszeit von 3 Minuten (Tab. 6). Im anterioren Bereich resultierte kein signifikanter Unterschied der Beißkräfte nach der Implantation im Vergleich der Systeme (Tab. 7). Im posterioren Bereich dagegen zeigten sich signifikante Unterschiede der Beißkräfte nach 2 Minuten (Tab. 8).

Tab. 4: Vergleich der Beißkräfte vor und nach der Implantation, konventionell

tiologic						
2 Minuten			3 Minuten		5 Minuten	
	Pre	post	Pre	Post	Pre	post
MW	80	150	123	168	115	235
Stabw	69	93	102	115	72	197
p	0,0817		0,3685		0,0864	

Tab. 5: Vergleich der Beißkräfte vor und nach der Implantation, Mini-Implantate

3M Espe						
2 Minuten			3 Minuten		5 Minuten	
	Pre	post	Pre	Post	Pre	post
MW	66	101	84	81	88	138
Stabw	68	68	77	62	88	128
p	0,1604		0,9218		0,2004	

Tab. 6: Vergleich der Beißkräfte bezogen auf die Presszeit

2 Minuten			3 Minuten		5 Minuten	
	3M	tiologic	3M	tiologic	3M	tiologic
MW	101	150	81	168	139	235
Stabw	68	93	62	115	123	197
p	0,1649		0,0389		0,1752	

Tab. 7: Vergleich der Beißkräfte im anterioren Bereich

2 Minuten			3 Minuten		5 Minuten	
	3M	tiologic	3M	tiologic	3M	tiologic
MW	40	53	35	60	55	72
Stabw	28	44	22	35	39	42
p	0,4081		0,0621		0,2912	

Tab. 8: Vergleich der Beißkräfte im posterioren Bereich

2 Minuten			3 Minuten		5 Minuten	
	3M	tiologic	3M	Tiologic	3M	tiologic
MW	41	87	40	87	66	129
Stabw	40	52	45	70	67	126
p	0,0258		0,0714		0,1563	

Insgesamt sieht man die Tendenz zu höheren Beißkräften mit konventionellen Implantaten, besonders im posterioren Bereich. Auch in der Presszeit von 3 Minuten waren für beiden Gruppen eine höheren Beißkraft zu sehen.

5. Diskussion

5.1 Einflussfaktoren für Beißkräfte

5.1.1 Patienten-individuelle Parameter

Beißkräfte unterliegen einer Vielzahl von Parametern, wie Alter, Geschlecht, Konstitution, Gesundheitsstaus, Gesichtsmorphologie und Art und Erhalt der Dentition. Die initialen Beißkräfte der Patienten der vorliegenden Studie vor der Implantation weisen eine Spannweite zwischen 0 N und 300 N auf. Zwar wurden die höchsten Beißkräfte von männlichen Probanden geleistet, demgegenüber gab es aber auch männliche Probanden, welche sehr geringe Beißkräfte von weniger als 20 N aufbrachten. Es konnte in dieser Untersuchung kein Zusammenhang zwischen Beißkräften und Alter sowie Geschlecht der Probanden erkannt werden.

Bisherige Studien zu einem Zusammenhang zwischen Alter und Geschlecht und Beißkraft wurden überwiegend mit jungen Probanden im Alter um die 20 Jahre durchgeführt. Da diese Altersgruppe für die vorliegende Studie nicht relevant ist, wurden diese Ergebnisse hier nicht berücksichtigt. Ergebnisse bezüglich Änderungen der Beißkraft mit dem Alter sind heterogen: So gibt es sowohl Studien, die eine Verringerung der Beißkraft im höheren Alter verglichen mit jüngeren Probanden feststellen, als auch Studien, welche über höhere Beißkräfte bei älteren Probanden berichten. Verlässliche Aussagen sind schwierig, da individuelle Faktoren und das Studiendesign immer mitberücksichtigt werden müssen (siehe auch Kapitel 5.1.3).

Interessant für die vorliegende Arbeit sind die Studien von Bilhan et al., (2012), Borie et al., (2014), Ikebe et al., (2005), und Tripathi et al., (2014). Diese Arbeitsgruppen sahen in ihren Studien mit Patienten im Alter zwischen 42 und 90 Jahren, zwischen 60 und 80 Jahren, von über 60 Jahren, bzw. zwischen 50 und 70 Jahren einen Einfluss des Geschlechts: Männer wiesen dabei die höheren Beißkräfte auf. Des Weiteren gibt es Hinweise, dass die Gesichtsform ebenfalls einen Einfluss auf die Beißkraft hat (Moriya et al., 1999; Tripathi et al., 2014). Auch dürften sich Körpergröße sowie Gewicht, aber auch körperliche Konstitution der Probanden auf die Beißkräfte auswirken, wie Inuma et al. (2012) nach der Untersuchung von 491 Patienten im Alter von mehr als 85 Jahren berichten. Wenn bei einer längeren Presszeit die Beißkraft sinkt, kann das ein Hinweis auf schlechte Konzentrationsfähigkeit oder Beeinträchtigung der körperlichen Konstitution sein.

5.1.2 Presszeiten

In der vorliegenden Arbeit konnte die Hypothese bestätigt werden, dass Presszeiten einen Einfluss haben. So wurde ein signifikanter Unterschied in den Beißkräften zwischen den Implantatsystemen für eine Presszeit von 3 Minuten ermittelt. Des Weiteren wurde eine unterschiedliche Verteilung der Beißkräfte bei unterschiedlichen Implantatsystemen für den posterioren Bereich gefunden. Bei einer Presszeit von 2 Minuten waren die Beißkräfte in der Gruppe der konventionellen Implantate signifikant höher als in der Gruppe, welche mit Mini-Implantaten versorgt worden war. Vergleichbare Studien zum Vergleich unterschiedlicher Presszeiten gibt es aktuell nicht. Die bisher mit PRESCALE durchgeführten Untersuchungen verwenden immer eine einzige Presszeit.

5.1.3 Prothesen-spezifische Parameter

Die Veränderung der Beißkräfte nach der implantatprothetischen Versorgung ist individuell zu betrachten. So dürften eine Reihe individueller Parameter des Prothesensitzes Einfluss nehmen. Zum einen spielen Alter, der Sitz und eventuelle Probleme in der Kaufunktion bei der Totalprothese eine Rolle. Bei schlechtem Prothesenhalt resultieren in der Regel Schmerzen beim Kauvorgang, und der Patient verringert automatisch die Beißkraft als Art einer Schonhaltung (Caloss et al., 2010; Caloss et al., 2011; Fontijn-Tekamp et al., 2001; Moriya et al., 1999). Auf diese Weise können die stark unterschiedlichen Ausgangsbeißkräfte zu erklären sein.

Es ist andererseits auffällig, dass einige Probanden nach der Implantation mit der neuen Prothese, insbesondere bei einer Presszeit von 5 Minuten, geringere Beißkräfte aufbrachten als mit der alten Prothese. Hier muss auch die Gewöhnung an die neue Prothese berücksichtigt werden. Dies könnte bei älteren Patienten eine Rolle spielen, die zunächst vorsichtig mit der neuen prothetischen Versorgung umgehen, wie Borie et al. (2014) und Müller et al. (2001) anregten. In diesen Zusammenhang passen auch Untersuchungen, die einen Anstieg der Beißkräfte im Verlauf von Monaten oder Jahren nach Anpassung der neuen Prothese ermittelten (van der Bilt et al., 2010; Rismanchian et al., 2009). Diese Parameter konnten in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt werden.

Eine Reihe neuerer Studien befasst sich mit dem Einfluss der Verankerung. Bilhan et

al. (2012) sahen keinen Einfluss der Anzahl der Implantate und der Art der Verankerung auf die Beißkraft. Wie eingangs erwähnt, müssen hier interindividuelle Unterschiede berücksichtigt werden.

5.2 Beißkräfte im Vergleich konventionelle Prothese – implantatgestützte Prothese

In der vorliegenden Arbeit zeigte sich die Tendenz zu höheren Beißkräften nach prothetischer Versorgung mit einer implantatgestützten Prothese, gemessen vier Monate nach der Implantation. Ein signifikanter Unterschied der Beißkräfte vor und nach der implantatprothetischen Versorgung konnte jedoch nicht ermittelt werden. Es gibt bisher wenige Studien zu Beißkräften im Vergleich von konventionellen Prothesen mit implantatgestützten Prothesen. Im Folgenden werden die Studien chronologisch nach Publikationsjahr vorgestellt.

Die Arbeitsgruppe um Mericske-Stern publizierte diverse Untersuchungen zur Eignung von Implantaten in der prothetischen Versorgung. In der Vergleichsstudie von Mericske-Stern et al. aus dem Jahr 1993 (Mericske-Stern et al., 1993b) wurden Okklusalkräfte von implantatgestützten Unterkiefer-Deckprothesen und zahngestützten Deckprothesen verglichen. Dazu erhielten 26 Patienten Deckprothesen, welche über 2 Implantate abgestützt waren. 18 Patienten trugen eine Deckprothese auf Restbezahnung. Es zeichnete sich bei der Messung der Beißkräfte die Tendenz ab, dass die implantatgestützten Konstruktionen höhere Beißkräfte zuließen. Über exakte Werte können keine Angaben gemacht werden.

Die Langzeituntersuchung von Carlsson et al. (1994) war die erste Studie, welche nach Einsatz einer dentalen Prothese die Beißkräfte über einen Zeitraum von zehn Jahren ermittelte. 23 Patienten erhielten eine implantatgestützte Unterkiefer-Totalprothese. Neun dieser Patienten trugen gleichzeitig eine implantatgestützte Oberkiefer-Prothese, während die Übrigen konventionelle Oberkiefer-Prothesen besaßen. Nach zehn Jahren war zu verzeichnen, dass der Austausch einer konventionellen Totalprothese durch implantatgestützte Unterkiefer-Prothetik höhere Beißkräfte zulässt.

Fontijn-Tekamp et al. (1998) führten eine der wenigen randomisierten klinischen Studien durch. Die Autoren gingen von der Annahme aus, dass die Art der Prothesen-

abstützung einen Einfluss auf die Beißkraft und den Halt der Prothese hat. Zu diesem Zweck wurde ein Panel von 89 Patienten zwischen 41 und 77 Jahren in drei Gruppen aufgeteilt, welche drei unterschiedliche Prothesen erhielten: Gruppe 1 wurde eine vollständig implantatgestützte Deckprothese eingesetzt, die Prothese von Gruppe 2 war über zwei Implantate befestigt, und Gruppe 3 erhielt eine konventionelle Deckprothese. Nach einem vier-Jahres-follow-up wurden die Beißkräfte von nun noch 68 Patienten gemessen. Die Messungen erfolgten sowohl mechanisch über eine Gabel als auch elektrisch mithilfe eines DMS-Messaufnehmers. In beiden Gruppen mit Implantatabstützung lag die maximale Beißkraft höher als bei den Patienten mit konventioneller Deckprothese.

Fontijn-Tekamp et al. (1998) berücksichtigten in ihrer Auswertung auch das Geschlecht der Probanden. Unterschiede zwischen den Gruppen 1 und 2, also in Abhängigkeit von der Anzahl der Implantate, konnten nicht erkannt werden. Dagegen lagen die mittleren Beißkräfte in der Gruppe mit konventioneller Prothese niedriger als in der Gruppe mit implantatgestützter Prothese, in Übereinstimmung mit der vorliegenden Arbeit. In der Gruppe der implantatgestützten Prothese erreichten Männer mittlere Kaukräfte von 246,6 N, Frauen dagegen 173,3 N. Bei den männlichen Probanden mit konventionellen Prothesen lag die mittlere maximale Beißkraft dagegen bei 123,7 N, bei den weiblichen Probanden wurden 85,6 N erreicht. In ihrer Studie aus dem Jahr 2000 verglichen Fontijn-Tekamp et al. Deckprothesen, konventionelle Prothesen und komplette Bezahnung hinsichtlich Beißkraft und Kaueffizienz. Die Oberkieferbezahnung war bei allen Patienten vollständig erhalten. Es wurden sieben Gruppen gebildet. Die größte Gruppe von 40 Patienten stellte die Gruppe mit implantatgestützter Deckprothese. Hier wurden unterschiedliche Implantate verwendet. In der Gruppe der Totalprothesen wurde zusätzlich zwischen hoher und niedriger Knochenhöhe unterschieden. Die Maximalbeißkräfte der implantatgestützten Deckprothesen lagen zwischen denen der Totalprothesen und der kompletten Bezahnung. Beißkräfte während des Kauvorgangs unterschieden sich nicht zwischen den Gruppen mit implantatgestützten Prothesen und denen mit Totalprothesen.

Ohkubo et al. (2008) verwendeten in ihrer Studie Unterkiefer-Deckprothesen, welche über jeweils zwei Implantate gestützt wurden. Die Beißkräfte wurden bei fünf zahnlosen Patienten im Vergleich zu konventionellen Deckprothesen gemessen. Die Kräfte lagen bei Verwendung der implantatgestützten Prothesen signifikant höher, ebenso

gaben die Patienten höhere Zufriedenheit und Komfort zu Protokoll. Rismanchian et al. (2009) überprüften ebenfalls Beißkräfte und Patientenzufriedenheit. Sie bildeten drei Gruppen: Gruppe 1 erhielt implantatgestützte Unterkieferprothesen in Kombination mit konventionellen Oberkieferprothesen, die Gruppen 2 und 3 wurden über konventionelle Totalprothesen versorgt, jeweils betrachtet nach sechs Monaten (2) und nach zehn Jahren (3). In der Gruppe der konventionellen Totalprothesen lag die initiale Beißkraft nach sechs Monaten bei 55,4 N, für dieselben Prothesen wurde nach zehn Jahren ein Wert von 68,6 N gemessen. Die Patienten mit implantatgestützten Prothesen in Kombination mit Oberkiefer-Totalprothesen erreichten eine Beißkraft von 119,8 N. In allen Gruppen sind, wie auch in der vorliegenden Arbeit, hohe Standardabweichungen auffällig.

van der Bilt et al. (2010) konnten ebenfalls zeigen, dass Patienten nach Ersatz der Totalprothese durch eine implantatgetragene Versorgung höhere Beißkräfte entwickeln. Die Autoren schlossen in ihrer randomisierten klinischen Studie 18 zahnlose Patienten ein, die als Ersatz für die ursprüngliche Unterkiefer-Totalprothese eine über zwei Implantate gestützte Unterkiefer-Totalprothese erhalten hatten. Die Verankerungstypen variierten in dieser Studie. Die Beißkräfte wurden zehn Jahre nach der Versorgung erneut gemessen, das Messprinzip war ein Messaufnehmer mit Dehnungsmessstreifen. 14 Patienten waren nach zehn Jahren für die Auswertung erreichbar. Im Falle der zahnlosen Patienten bei van der Bilt et al. (2010) lagen die Beißkräfte nach Einsatz einer implantatgestützten Prothese fast doppelt so hoch wie zuvor bei der konventionellen Totalprothese: es wurde ein mittlerer Anstieg von 183 N auf 341 N verzeichnet. Auch hier lagen, wie in der vorliegenden Arbeit, hohe Standardabweichungen vor. Diese randomisierte Studie ist die einzige randomisierte Langzeitstudie über einen Zeitraum von zehn Jahren. Auch nach dieser Zeit waren die maximalen Beißkräfte unverändert.

In der Multicenter-Studie von Müller et al. (2012) wurden Beißkräfte und Kaeffizienz von Patienten mit implantatgestützten Deckprothesen und implantatgestützten Totalprothesen im Vergleich zu konventionellen Prothesen und kompletter Bezahnung ermittelt. Dazu wurden 80 zahnlose Patienten älter als 55 Jahre in vier Gruppen zu jeweils 20 Patienten aufgeteilt. Das Panel war hinsichtlich Prothetik und übriger Be-

zahnung heterogen: Die Anzahl der Implantate variierte zwischen acht und 16, wobei auch die Art der Implantate und die Verankerung unterschiedlich waren. Die Kau-effizienz lag in den beiden Gruppen mit implantatgestützten Prothesen höher als in der Gruppe mit konventioneller Prothese, aber niedriger als in der Gruppe mit kompletter Bezahnung. Die Beißkraft war in der Gruppe der implantatgestützten Unterkiefer-Deckprothesen gegenüber konventioneller Oberkiefer-Prothese geringer als in der Gruppe mit implantat-gestützten Totalprothesen in beiden Kiefern. Hier ist davon auszugehen, dass alle übrigen in dieser Studie variierenden Parameter, wie Implan-tatform, -design, Verankerung und Anzahl, ebenfalls eine Auswirkung auf die Beiß-kräfte haben. Auch diese Studie, obwohl randomisiert, hat daher nur orientierenden Charakter.

Shah et al. (2012) schlossen 15 Patienten im Alter zwischen 45 und 55 Jahren in ihre Studie ein. Es wurden drei Gruppen zu je fünf Patienten gebildet. Gruppe 1 erhielt eine konventionelle Unterkiefer-Totalprothese, Gruppe 2 wurde mit einer zahngestützten Unterkiefer-Prothese versorgt, in Gruppe 3 wurden implantatgestützte Totalprothesen eingesetzt. Implantate und chirurgisches Vorgehen waren bei allen Patienten identisch. Die Kraftmessung erfolgte mithilfe eines Kompaktmessaufnehmers über Dehnungsmessstreifen. Die Beißkräfte lagen, in Übereinstimmung mit der vorliegenden Arbeit, in der Gruppe mit implantatgestützten Prothesen am höchsten, in der Gruppe mit konventionellen Prothesen am niedrigsten.

In die retrospektive Studie von Geckili et al. (2012) wurden 100 zahnlose Patienten im Durchschnittsalter von 67,9 Jahren einbezogen. Gruppe 1 trug über zwei Implan-tate gestützte Unterkiefer-Deckprothesen, Gruppe 2 konventionelle Deckprothesen. Patientenzufriedenheit und Beißkräfte wurden vier Jahre nach der prothetischen Ver-sorgung erneut ermittelt. Die Beißkräfte wurden über Kraftaufnehmer vom Prinzip Dehnungsmessstreifen gemessen. Zum Messzeitpunkt nach vier Jahren erbrachte die Gruppe der implantatgetragenen Prothesen höhere Beißkräfte als die Gruppe der Totalprothesen.

Müller et al. publizierten im Jahr 2013 eine weitere, diesmal randomisierte Studie mit hochbetagten Patienten älter als 75 Jahre. 16 Patienten erhielten eine Unterkiefer-Deckprothese über zwei 4,1 mm dicke konventionelle Implantat, die Kontrollgruppe bestehend aus 18 Patienten wurde über eine konventionelle Deckprothese versorgt.

Die Messung der Beißkraft erfolgte mithilfe einer hydraulischen digitalen Kraftmess-einrichtung in Stiffform. Es wurde eine Steigerung der Kaukräfte in der Gruppe der Patienten ermittelt, welche die implantatgetragenen Unterkiefer-Prothesen trugen. Stabilität der Prothesen und Zufriedenheit der Patienten waren in dieser Gruppe ebenfalls höher als in der Kontrollgruppe. Lediglich die Kaueffizienz unterschied sich nicht zwischen den Gruppen.

Al-Magaleh et al. (2015) führten eine Studie durch, wobei die Patienten unterschiedliche Stufen der prothetischen Versorgung durchliefen, in denen jeweils die Beißkräfte ermittelt wurden. Im ersten Schritt erhielten alle zehn Patienten eine konventionelle Unterkiefer-Deckprothese. Im zweiten Schritt wurde die Deckprothese mithilfe von vier Implantaten abgestützt, wobei die Verankerung über Abutments erfolgte. In der dritten Phase wurde die Verankerung gegen Kugelkopfanke ausgetauscht. Die gemessenen Beißkräfte stiegen mit jedem Behandlungsschritt an. Es liegt daher der Schluss nahe, dass die Verankerung ebenfalls eine Rolle im Hinblick auf die Stabilität der Prothese spielt. Die aktuelle Studienlage liefert in Übereinstimmung mit der vorliegenden Studie das Ergebnis, dass implantatgestützte Total- und Deckprothesen höhere Beißkräfte erlauben. Zu diesem Schluss kommen alle bisher durchgeführten Untersuchungen. Die Höhe der Beißkräfte variiert individuell und geschlechtsspezifisch. Patientenzufriedenheit und Kaueffizienz werden ebenfalls als verbessert berichtet. Implantatmaterial und -design sowie Anzahl der Implantate sind nach den bisherigen Ergebnissen Parameter, die die Höhe der Beißkraft beeinflussen.

In Tabelle 9 sind die genannten Studien zusammengefasst.

Tab. 9: Übersicht der Studien zur Beißkraft: Vergleich konventionelle und implantatgestützte Prothese (<=kleiner, >=größer)

Autor	Titel	Ziel	Pat	Auswertung	Ergebnis
Mericske-Stern et al. 1993b	In vivo measurements of maximal occlusal force and minimal pressure threshold on overdentures supported by implants or natural roots: a comparative study, Part 1.	Funktionalität implantatgestützter Prothetik	44	Beißkraft zwischen Kiefer	Tendenz zu höherer Beißkraft bei implantatgestützter Prothetik
Carlsson et al 1994	Ten-year longitudinal study of masticatory function in edentulous patients treated with fixed complete dentures on osseointegrated implants.	Langzeit-Vergleich Unterkiefer-Prothese: Totalprothese gegen implantatgestützte Prothese	23	Beißkraft	Höhere Beißkräfte mit der Implantat-Prothese
Fontijn-Tekamp et al. 1998	Bite forces with mandibular implant-retained over-dentures.	Vergleich zwischen implantatgestützter Deckprothese (1), implantatgestützte Deckprothese mit 2 Implantaten (2), konventionelle Deckprothese (3)	68	Beißkraft	Keine Unterschiede zwischen 1 und 2, Gruppe 3 < Gruppe 1+2
Fontijn-Tekamp et al. 2000	Biting and chewing in over-dentures, full dentures, and natural dentitions.	Vergleich zwischen implantatgestützter Deckprothese, Totalprothese und natürlicher Bezahnung		Beißkraft und Effizienz	Beißkraft natürlich > implantatgestützt > Totalprothese
Ohkubo et al. 2008	Effect of implant support on distal-extension removable partial dentures: in vivo assessment.	Vergleich konventionelle Deckprothese/Implantatgestützte Deckprothese	5	Bewegung, Beißkraft und Kontaktfläche	Signifikant höhere Beißkraft+Kontaktfläche bei der implantatgestützten Prothese
Rismanchi-an et al. 2009	Effect of implants on maximum bite force in edentulous patients.	Vergleich Totalprothese 6 Monate (1)/dito 10 Jahre(2)/ mit Oberkiefer-Totalprothese +Unterkiefer-implantatgestützte Deckprothese(3)	75	Beißkraft	Beißkraft Gruppe 3 > Gruppe 2 > Gruppe 1

Tab. 9: Übersicht der Studien zur Beißkraft: Vergleich konventionelle und implantatgestützte Prothese (Fortsetzung)

van der Bilt et al. 2010	Mandibular implant-supported overdentures and oral function.	Austausch der Unterkiefer-Prothese durch implantatgestützte Prothese	18	Beißkraft, Kauzyklen	Anstieg der Beißkraft von 162 auf 341 N im Mittel, keine Veränderung nach 10 Jahren
Müller et al. 2012	Masseter muscle thickness, chewing efficiency and bite force in edentulous patients with fixed and removable implant-supported prostheses: a cross-sectional multicenter study.	Vergleich konventionelle Prothese (1), implantatgestützte Deckprothese (2), implantatgestützte Vollprothese (3)	80	Beißkraft	Beißkraft in Gruppe 3 < als Gruppe 2 und 1
Geckili et al. 2012	Comparison of patient satisfaction, quality of life, and bite force between elderly edentulous patients wearing mandibular two implant-supported over-dentures and conventional complete dentures after 4 years.	Vergleich Totalprothese mit implantatgestützter Deckprothese	100	Beißkraft + Patienten-Zufriedenheit	Beißkraft größer in der implantatgestützten Gruppe
Shah et al. 2012	Comparison of immediate complete denture, tooth and implant-supported overdenture on vertical dimension and muscle activity.	Konventionelle Unterkieferprothese (1), zahngestützte U-Prothese (2), implantatgestützte U-Prothese (3)	15	Beißkraft, Okklusalkräfte	Beißkraft Gruppe 1 < Gruppe 2 < Gruppe 3
Müller et al. 2013	Implant-supported mandibular overdentures in very old adults: a randomized controlled trial.	Ersatz von Totalprothesen durch implantatgestützte Prothesen	34	Beißkraft, Kaeffizienz	Erhöhung der Beißkraft durch den Austausch, Effizienz unverändert
Al-Magaleh et al. 2015	Biting Force and Muscle Activity in Implant-Supported Single Mandibular Over-dentures Opposing Fixed Maxillary Dentition.	Konventionelle Prothese (1), implantatgestützt über Abutments (2), implantatgestützt über Kugelkopfancker	10	Beißkraft	Anstieg von Gruppe 1 zu Gruppe 3, >> Beißkraft abh. von der Prothesenverankerung

5.3 Unterschiede zwischen Totalprothesen und implantatgetragenen Prothesen im anterioren und posterioren Bereich

In der vorliegenden Arbeit lagen die Beißkräfte im posterioren Bereich im Mittel höher als im anterioren Bereich. Dies ist in Übereinstimmung mit üblichen Befunden, wonach die Okklusion im posterioren Bereich höher ist. Es konnte die Hypothese einer unterschiedlichen Verteilung der Beißkräfte bei unterschiedlichen Implantatsystemen für den posterioren Bereich bei einer Presszeit von 2 Minuten bestätigt werden. Im anterioren Bereich zeigten sich dagegen keine signifikanten Unterschiede. Studien zu dieser Fragestellung gibt es bisher nicht. Auch befasst sich bisher keine Untersuchung mit der Verteilung der Beißkräfte auf der Okklusionsfläche.

5.4 Beißkräfte im Vergleich konventionelle Implantate – Mini-Implantate

In der vorliegenden Studie zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Beißkräften bei konventioneller Implantatversorgung gegenüber der Prothese mit Mini-Implantaten, bei einer Presszeit von 3 Minuten.

Zur Beißkraft von prothetischen Versorgungen im Vergleich der Stabilisierung über konventionelle und Mini-Implantate gibt es bisher kaum Untersuchungen. Eine der wenigen Untersuchungen ist die von Cehreli und Akça aus dem Jahr 2004. Die Autoren kamen in ihrer Untersuchung zu dem Ergebnis, dass Mini-Implantate mit Durchmessern unter 3,3 mm nur für Patienten mit geringen Kaukräften geeignet seien, weil die Bruchgefahr bei Mini-Implantaten unter höherer Kaubelastung größer als bei konventionellen Implantaten ist. Sie führten Vergleichsversuche zu Zug- und Druckbelastung von Implantaten unterschiedlicher Durchmesser zur prothetischen Verankerung durch. In der Studie von Joffré et al. (2010) erhielten 45 zahnlose Patienten Unterkiefer-Deckprothesen, welche über Mini-Implantate von 1,8 mm Durchmesser stabilisiert wurden. Hier wurde der Einfluss der Verankerung geprüft. Gruppe 1 erhielt eine Verankerung über Kugelkopfanker, Gruppe 2 über Stege. Die Beißkraft lag zum Messzeitpunkt nach 15 Monaten in Gruppe 1 im Mittel bei 248 N, in Gruppe 2 bei 203 N. Die Unterschiede waren nicht signifikant. In beiden Gruppen wurden ebenso wie in der vorliegenden Studie hohe Standardabweichungen registriert. Die Stabilität von Implantaten in Abhängigkeit vom Durchmesser prüften Wang et al. (2012). Die Autoren testeten die Überlebensraten von Mini-Implantaten mit Durchmessern von 2,2 und 2,4 mm bei Deckprothesen über ein Jahr. Implantate mit 2,4 mm Durchmesser

waren nach einem Jahr zu 93,5 % intakt, wogegen die dünneren Implantate von 2,2 mm Durchmesser nur zu 38,7 % stabil blieben.

Aufgrund der geringen Anzahl von Studien zur Beißkraft wurden auch Untersuchungen zur subjektiven Einschätzung der Kaufunktion durch die Patienten selbst mit einbezogen. So führten Elsyad (2016), Griffiths et al. (2005), Scepanovic et al. (2012) und Tomasi et al. (2013) mittels Fragebögen und Visueller Analogskala (VAS) subjektive Befragungen von Patienten durch, welche eine prothetische Versorgung von zahnlosem Unter- oder Oberkiefer über Mini-Implantate erhalten hatten. Das Ergebnis erbrachte in allen vier Studien Verbesserungen der Kaufunktion, des Komforts und der Artikulation.

Die bis heute verfügbare Ergebnislage legt daher den Schluss nahe, dass eine Zuhilfenahme von Mini-Implantaten sich günstig auf Beißkraft, Kaufunktion, Komfort und Artikulation auswirken kann. Allerdings bedeutet die Wahl geringer Durchmesser gleichzeitig eine Beeinträchtigung der Stabilität.

5.5 Fazit

Im Vergleich zwischen Prothesen mit konventionellen und Mini-Implantaten zeigte sich in der vorliegenden Studie die Tendenz, dass konventionelle Implantate höhere Beißkräfte zulassen als Mini-Implantate. Der Ersatz der Totalprothese durch implantatgestützten Zahnersatz ergab zwar keine signifikanten Unterschiede in den Beißkräften vor und nach der Implantation, aber die Tendenz, dass konventionelle Implantate zu höheren Beißkräften führen. Mini-Implantate brachten in der vorliegenden Untersuchung keine Vorteile. Es fehlen randomisierte klinische Studien mit größerem Patientenpanel oder Fallserien. Auch gibt es bisher zum Langzeitverhalten zu wenige Aussagen. Des Weiteren wurden Parameter, die als Einfluss gebend für die Beißkraft betrachtet werden können, in den meisten Studien nicht berücksichtigt. So wurde bisher bei den Patienten-Panels außer in der Studie von Fontijn-Tekamp et al. (1998) nicht zwischen Frauen und Männern unterschieden. Es ist aber zu erwarten und wurde bisher durch gezielte Studien bestätigt, dass Frauen und Männer Unterschiede in der Beißkraft aufweisen. Weitere Einflussparameter wie Art, Material und Anzahl der Implantate, Art der Verankerung und Körpergröße sowie Gewicht der Probanden wurden bisher ebenfalls nicht oder nur marginal mitberücksichtigt.

Auch bei meiner Arbeit wurde die Körpergröße sowie Gewicht der Probanden nicht mitberücksichtigt. Dies ist aber ein wichtiger Faktor für die Auswahl der Implantate. Deshalb sollten man vor jeder Implantation eine individuelle Messung der Kaukraft vornehmen, um das optimale Implantat auszuwählen.

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit sollte die Frage beantwortet werden, wie sich die Beißkraft bei Patienten entwickelt, welche zunächst nur eine konventionelle Prothese trugen und auf eine implantatgestützte Prothese umgestellt wurden. Des Weiteren wurden Unterschiede zwischen Totalprothesen und implantatgetragenen Prothesen im anterioren oder posterioren Bereich, Unterschiede der Beißkräfte zwischen Prothesen mit Mini-Implantaten und konventionellen Implantaten sowie die Verteilung der Beißkräfte bei verschiedenen Messzeiten betrachtet.

An der Studie nahmen 15 Männer und 11 Frauen im Alter zwischen 52 und 88 Jahren teil. Als Einschlusskriterien galten unbezahnte Ober- und Unterkiefer sowie eine minimale Unterkieferkammhöhe von 10 mm. Alle Patienten waren zahnlos und im Ober- und Unterkiefer mit einer totalen Prothese versorgt. Die prothetische Neuversorgung erfolgte bei allen Patienten im Unter- sowie im Oberkiefer. Die Implantation wurde in einer Behandlung durchgeführt. Der Zeitpunkt der prothetischen Versorgung lag vier Monate nach der Implantation. Die Beißkräfte wurden jeweils vor der Implantatinsertion sowie zum Kontrolltermin nach vier Monaten mit PRESCALE, einer Druck anzeigenden Folie der Fa. Fujifilm, ermittelt.

Es zeigte sich die Tendenz zu höheren Beißkräften nach prothetischer Versorgung mit einer implantatgestützten Prothese, gemessen vier Monate nach der Implantation. Ein signifikanter Unterschied der Beißkräfte vor und nach der implantatprothetischen Versorgung konnte jedoch nicht ermittelt werden. Weder für konventionelle noch für Mini-Implantate bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Beißkräften mit Totalprothese und implantatgestützter Prothese. Es wurden dagegen Einflüsse der Presszeiten erkannt. So bestand ein signifikanter Unterschied in den Beißkräften im Vergleich konventioneller, mit einem Mittelwert von 168 N, und Mini-Implantate, mit einem Mittelwert von 81 N, bei einer Presszeit von drei Minuten. Im posterioren Bereich konnte eine unterschiedliche Verteilung der Beißkräfte bei unterschiedlichen Implantatsystemen für eine Presszeit von zwei Minuten bestätigt werden, wobei mit konventionellen Implantaten signifikant höhere Beißkräfte, mit einem Durchschnitt von 87 N, erreicht wurden als mit Mini-Implantaten, mit einem Durchschnitt von 41 N. Im anterioren Bereich gab es keine unterschiedliche Verteilung der Beiß-

kräfte. Ein Zusammenhang zwischen Beißkräften und Alter oder Geschlecht wurde nicht erkannt.

Die vorliegende Arbeit lässt den Schluss zu, dass eine implantatgestützte Versorgung für den Patienten den Vorteil höher Beißkräfte bedeutet. Bei dem hier ausgewählten Patientenpanel waren Mini-Implantate gegenüber konventionellen Implantaten nicht von Vorteil.

7. Literaturverzeichnis

Al-Magaleh WR, Abbas NA, Amer AA, Abdelkader AA, Bahgat B. Biting Force and Muscle Activity in Implant-Supported Single Mandibular Overdentures Opposing Fixed Maxillary Dentition. *Implant Dent* 2016; 25: 199-203

Alsamak S, Psomiadis S, Gkantidis N Positional guidelines for orthodontic mini-implant placement in the anterior alveolar region: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013; 28: 470-479

Aparicio C, Manresa C, Francisco K, Claros P, Alández J, González-Martín O, Albrektsson T. Zygomatic implants: indications, techniques and outcomes, and the zygomatic success code. *Periodontol 2000* 2014; 66: 41-58

Awad MA, Rashid F, Feine JS. Overdenture Effectiveness Study Team Consortium The effect of mandibular 2-implant overdentures on oral health-related quality of life: an international multicentre study. *Clin Oral Implants Res* 2014; 25: 46-51

Balaguer J, Ata-Ali J, Peñarrocha-Oltra D, García B, Peñarrocha-Diago M. Long-term survival rates of implants supporting overdentures. *J Oral Implantol* 2015; 41: 173-177

Bilhan H, Geckili O, Mumcu E, Cilingir A, Bozdog E. The influence of implant number and attachment type on maximum bite force of mandibular overdentures: a retrospective study. *Gerodontology* 2012; 29: 116-120

van der Bilt A, Burgers M, van Kampen FM, Cune MS. Mandibular implant-supported overdentures and oral function. *Clin Oral Implants Res*. 2010 Nov; 21: 1209-1213.

Borie E, Orsi IA, Fuentes R, Beltrán V, Navarro P, Pareja F, Raimundo LB. Maximum bite force in elderly indigenous and non-indigenous denture wearers. *Acta Odontol Latinoam* 2014; 27: 115-119

Boven GC, Raghoobar GM, Vissink A, Meijer HJ. Improving masticatory performance, bite force, nutritional state and patient's satisfaction with implant overdentures: a systematic review of the literature. *J Oral Rehabil* 2015; 42: 220-233

Brånemark P, Gröndahl K, Ohnrell LO, Nilsson P, Petruson B, Svensson B, Engstrand P, Nannmark U. Zygoma fixture in the management of advanced atrophy of the maxilla: technique and long-term results. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 2004; 38: 70-85

Brüll F, van Winkelhoff AJ, Cune MS. Zirconia dental implants: a clinical, radiographic, and microbiologic evaluation up to 3 years. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014; 29: 914-920

Bulard RA, Vance JB. Multi-clinic evaluation using mini-dental implants for long-term denture stabilization: a preliminary biometric evaluation. *Compend Contin Educ Dent* 2005; 26: 892-897

Cakir O, Kazancioglu HO, Celik G, Deger S, Ak G. Evaluation of the efficacy of mandibular conventional and implant prostheses in a group of Turkish patients: a quality of life study. *J Prosthodont* 2014; 23: 390-396

Caloss R, Al-Arab M, Finn RA, Lonergan O, Throckmorton GS. Does long-term use of unstable dentures weaken jaw muscles? *J Oral Rehabil* 2010; 37: 256-261

Caloss R, Al-Arab M, Finn RA, Throckmorton GS. The effect of denture stability on bite force and muscular effort. *J Oral Rehabil* 2011; 38: 434-439

Carlsson GE, Lindquist LW. Ten-year longitudinal study of masticatory function in edentulous patients treated with fixed complete dentures on osseointegrated implants. *Int J Prosthodont* 1994; 7: 448-453

Cehreli MC, Akça K. Narrow-diameter implants as terminal support for occlusal three-unit FPDs: a biomechanical analysis. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004; 24: 513-519

Cerna M, Ferreira R, Zaror C, Navarro P, Sandoval P. Validity and reliability of the T-Scan(®) III for measuring force under laboratory conditions. *J Oral Rehabil* 2015; 42: 544-551

Chen J, Ahmad R, Suenaga H, Li W, Swain M, Li Q. A comparative study on complete and implant retained denture treatments: a biomechanics perspective. *J Biomech* 2015; 48: 512-519

Cochran DL, Jackson JM, Bernard JP, ten Bruggenkate CM, Buser D, Taylor TD, Weingart D, Schoolfield JD, Jones AA, Oates TW Jr. A 5-year prospective multicenter study of early loaded titanium implants with a sandblasted and acid-etched surface. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011; 26: 1324-1332

Costa A, Raffaini M, Melsen B. Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1998; 13: 201-209

Cristache CM, Muntianu LA, Burlibasa M, Didilescu AC. Five-year clinical trial using three attachment systems for implant overdentures. *Clin Oral Implants Res* 2014; 25: 171-178

Degidi M, Nardi D, Piattelli A. 10-Year Follow-Up of Immediately Loaded Implants with TiUnite Porous Anodized Surface. *Clin Implant Dent Relat Res* 2012; 14: 828-838

Denry I, Kelly JR. Emerging ceramic-based materials for dentistry. *J Dent Res* 2014; 93: 1235-1242

Dentsply ICH GmbH, 2000: Verankerungssysteme für implantatfixierte Hybridprothesen. <http://www.dentsplyimplants.de/> (Zugriffsdatum 18.01.2017)

Eichhorn W, Schäfer W, Siedler M, Eichhorn M, Heiland M. Implantatinsertion unter fortgesetzter oraler Antikoagulantientherapie. *Dtsch Zahnärztl Z* 2011; 66: 872–877

Engelhardt F, Zeman F, Behr M, Hahmel S. Prosthetic Complications and Maintenance Requirements in Locator-attached Implant-Supported Overdentures: A Retrospective Study. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2016; 24: 31-35

Elsyad MA. Patient satisfaction and prosthetic aspects with mini-implants retained mandibular overdentures. A 5-year prospective study. *Clin Oral Implants Res* 2016; 27: 926-933

Fernandez-Estevan L, Selva-Otaolaurruchi EJ, Montero J, Sola-Ruiz F. Oral health-related quality of life of implant-supported overdentures versus conventional complete prostheses: Retrospective study of a cohort of edentulous patients. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2015; 20: 450-458

Fontijn-Tekamp FA, Slagter AP, van't Hof MA, Geertman ME, Kalk W Bite forces with mandibular implant-retained overdentures. *J Dent Res* 1998; 77: 1832-1839

Fontijn-Tekamp FA, Slagter AP, Van Der Bilt A, Van 'T Hof MA, Witter DJ, Kalk W, Jansen JA. Biting and chewing in overdentures, full dentures, and natural dentitions. *J Dent Res* 2000; 79: 1519-1524

Fontijn-Tekamp FA, Slagter AP, van 't Hof MA, Kalk W, Jansen JA. Pain and instability during biting with mandibular implant-retained overdentures. *Clin Oral Implants Res* 2001; 12: 46-51

Friberg B, Jemt T. Clinical experience of TiUnite implants: a 5-year cross-sectional, retrospective follow-up study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2010; 12: 95-103

Friberg B, Jemt T. Rehabilitation of edentulous mandibles by means of osseointegrated implants: a 5-year follow-up study on one or two-stage surgery, number of implants, implant surfaces, and age at surgery. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015; 17: 413-424

Frisch E, Ratka-Krüger P, Wenz HJ. Unsplinted implants and teeth supporting maxillary removable partial dentures retained by telescopic crowns: a retrospective study with >6 years of follow-up. *Clin Oral Implants Res* 2015; 26: 1091-1097

Fritz U, Diedrich P, Kinzinger G, Al-Said M. The anchorage quality of mini-implants towards translatory and extrusive forces. *J Orofac Orthop* 2003; 64: 293-304

Geckili O, Bilhan H, Mumcu E, Dayan C, Yabul A, Tuncer N Comparison of patient satisfaction, quality of life, and bite force between elderly edentulous patients wearing mandibular two implant-supported overdentures and conventional complete dentures after 4 years. *Spec Care Dentist* 2012; 32: 136-141

Gittens RA, Scheideler L, Rupp F, Hyzy SL, Geis-Gerstorfer J, Schwartz Z, Boyan BD. A review on the wettability of dental implant surfaces II: Biological and clinical aspects. *Acta Biomater* 2014; 10: 2907-2918

Gleiznys A, Skirbutis G, Harb A, Barzdziukaite I, Grinyte I. New approach towards mini dental implants and small-diameter implants: an option for long-term prostheses. *Stomatologija* 2012; 14: 39-45

Gonçalves TM, Campos CH, Garcia RC. Implant retention and support for distal extension partial removable dental prostheses: satisfaction outcomes. *J Prosthet Dent* 2014 Aug;112: 334-339

Griffitts TM, Collins CP, Collins PC. Mini dental implants: an adjunct for retention, stability, and comfort for the edentulous patient. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005; 100: 81-84

Guéhenne C, Soueidan A, Layrolle P, Amouriq Y. Surface treatments of titanium dental implants for rapid osseointegration. *Dent Mater* 2007; 23: 844-854

Hadjianghelou O. A modified set of instruments for percutaneous screwing together of mandibular *Schweizerische Monatsschrift für Zahnheilkunde = Revue Mensuelle Suisse D'odonto-stomatologie* 1977; 87: 490-500

Hamdan NM, Gray-Donald K, Awad MA, Johnson-Down L, Wollin S, Feine JS. Do implant overdentures improve dietary intake? A randomized clinical trial. *J Dent Res* 2013; 92: 146S-153S

Howell AH, Manly RS. An electronic strain gauge for measuring oral forces. *Journal of dental research* 1948; 27: 705-712.

Iinuma T, Arai Y, Fukumoto M, Takayama M, Abe Y, Asakura K, Nishiwaki Y, Takebayashi T, Iwase T, Komiyama K, Gionhaku N, Hirose N. Maximum occlusal force and physical performance in the oldest old: the Tokyo oldest old survey on total health. *J Am Geriatr Soc* 2012 Jan; 60: 68-76

Hunt P, 2011: Locator Abutment. <http://www.camlogconnect.com/lexicon> (Zugriffdatum 18.01.2017)

Ikebe K, Nokubi T, Morii K, Kashiwagi J, Furuya M. Association of bite force with ageing and occlusal support in older adults. *J Dent* 2005; 33: 131-137

Imburgia M, Del Fabbro M. Long-Term Retrospective Clinical and Radiographic Follow-up of 205 Brånemark System Mk III TiUnite Implants Submitted to Either Immediate or Delayed Loading. *Implant Dent* 2015; 24: 533-540

Inzunza D, Covarrubias C, Von Martens A, Leighton Y, Carvajal JC, Valenzuela F, Díaz-Dosque M, Méndez N, Martínez C, Pino AM, Rodríguez JP, Cáceres M, Smith P. Synthesis of nanostructured porous silica coatings on titanium and their cell adhesive and osteogenic differentiation properties. *J Biomed Mater Res A* 2014; 102: 37-48

Jenei Á, Sándor J, Hegedűs C, Bágyi K, Nagy L, Kiss C, Szabó G, Márton IJ. Oral health-related quality of life after prosthetic rehabilitation: a longitudinal study with the OHIP questionnaire. *Health Qual Life Outcomes* 2015; 13-99

Jofré J, Hamada T, Nishimura M, Klattenhoff C. The effect of maximum bite force on marginal bone loss of mini-implants supporting a mandibular overdenture: a randomized controlled trial. *Clin Oral Implants Res* 2010; 21: 243-249

Kanomi R. Mini-implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 1997; 31: 763-767

Keats AS. The ASA classification of physical status – a recapitulation. *Anaesthesiology* 1978; 49: 117–124

Koeck B, Wahl G. Indikationen, Kontraindikationen und Differentialindikationen. In: Koeck B, Wagner W (Hrsg): *Implantologie*. Urban & Fischer, München – Jena 2006

Krennmair G, Suto D, Seemann R, Piehslinger E. Removable four implant-supported mandibular overdentures rigidly retained with telescopic crowns or milled bars: a 3-year prospective study. *Clin Oral Implants Res* 2012; 23: 481-488

Kuabara MR, Ferreira EJ, Gulinelli JL, Paz LG. Rehabilitation with zygomatic implants: a treatment option for the atrophic edentulous maxilla--9-year follow-up. *Quintessence Int* 2010; 41: 9-12

Kuoppala R, Nápänkangas R, Raustia A. Outcome of implant-supported overdenture treatment--a survey of 58 patients. *Gerodontology* 2012; 29: 577-584

Lan TH, Du JK, Pan CY, Lee HE, Chung WH. Biomechanical analysis of alveolar bone stress around implants with different thread designs and pitches in the mandibular molar area. *Clin Oral Investig* 2012; 16: 363-369

Lundgren D, Laurell L Occlusal forces in prosthetically restored dentitions: a methodological study. *J Oral Rehabil* 1984; 11: 29-37

Maló P, Nobre Md, Lopes A. Immediate loading of 'All-on-4' maxillary prostheses using trans-sinus tilted implants without sinus bone grafting: a retrospective study reporting the 3-year outcome. *Eur J Oral Implantol* 2013; 6: 273-283

Marchand F, Raskin A, Dionnes-Hornes A, Barry T, Dubois N, Valéro R, Vialettes B. Dental implants and diabetes: conditions for success. *Diabetes Metab* 2012; 38: 14–

Maryod WH, Ali SM, Shawky AF. Immediate versus early loading of mini-implants supporting mandibular overdentures: a preliminary 3-year clinical outcome report. *Int J Prosthodont* 2014; 27: 553-560.

Matsuda K, Kurushima Y, Enoki K, Ikebe K, Maeda Y. Replacement of a mandibular implant-fixed prosthesis with an implant-supported overdenture to improve maintenance and care. *J Prosthodont Res* 2014; 58: 132-136

McGuire MK, Scheyer ET, Gallerano RL. Temporary anchorage devices for tooth movement: a review and case reports *J Periodontol* 2006; 77: 1613-1624

Mericske-Stern R, Geering AH, Burgin WB, Graf H. Three-dimensional force measurements on mandibular implants supporting overdentures. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1992; 7: 185-194

Mericske-Stern R. Forces on implants supporting overdentures: a preliminary study of morphologic and cephalometric considerations. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1993a; 8: 254-263

Mericske-Stern R, Hofmann J, Wedig A, Geering AH. In vivo measurements of maximal occlusal force and minimal pressure threshold on overdentures supported by implants or natural roots: a comparative study, Part 1. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1993b; 8: 641-649

Mijiritsky E, Lorean A, Mazor Z, Levin. Implant Tooth-Supported Removable Partial Denture with at Least 15-Year Long-Term Follow-Up. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015; 17: 917-922

Misch CE, Steingra J, Barboza E, Misch-Dietsh F, Cianciola LJ, Kazor C. Short dental implants in posterior partial edentulism: a multicenter retrospective 6-year case series study. *J Periodontol* 2006; 77: 1340-1347

Moriya Y1, Tuchida K, Moriya Y, Sawada T, Koga J, Sato J, Nishikawa M, Takizawa T, Uematsu H, Ozaki T, Gionhaku N. The influence of craniofacial form on bite force and EMG activity of masticatory muscles. VIII-1. Bite force of complete denture wearers. *J Oral Sci* 1999 ; 41: 19-27

Mozzati M, Gallesio G, Del Fabbro M. Long-term (9-12 years) outcomes of titanium implants with an oxidized surface: a retrospective investigation on 209 implants. *J Oral Implantol* 2015; 41: 437-443

Müller F, Heath MR, Ott R. Maximum bite force after the replacement of complete dentures. *Gerodontology* 2001; 18: 58-62

Müller F, Hernandez M, Grütter L, Aracil-Kessler L, Weingart D, Schimmel M. Masseter muscle thickness, chewing efficiency and bite force in edentulous patients with fixed and removable implant-supported prostheses: a cross-sectional multicenter study. *Clin Oral Implants Res* 2012; 23: 144-150

Müller F, Duvernay E, Loup A, Vazquez L, Herrmann FR, Schimmel M. Implant-supported mandibular overdentures in very old adults: a randomized controlled trial. *J Dent Res* 2013; 92: 154-160

Mundt T, Schwahn C, Biffar R, Heinemann F. Changes in Bone Levels Around Mini-Implants in Edentulous Arches. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2015a; 30: 1149-1155

Mundt T, Schwahn C, Stark T, Biffar R. Clinical response of edentulous people treated with mini dental implants in nine dental practices. *Gerodontology* 2015b; 32: 179-187

Nagy J, Braunitzer G, Antal M, Berkovits C, Novák P, Nagy K. Quality of life in head and neck cancer patients after tumor therapy and subsequent rehabilitation: an exploratory study. *Qual Life Res* 2014; 23: 135-43

Neugebauer J, Scheer M, Lingohr F, Möller F, Mischkowski RA, Zöller JE. Internistische Risikofaktoren bei der implantatprothetischen Behandlung. *ZWR* 2009; 118: 302–310

Neugebauer J, Scheer M. Allgemeine und lokale Risikofaktoren in der Implantologie. *DFZ* 2014; 58: 68–74.

Nienkemper M, Handschel J, Drescher D. Systematic review of mini-implant displacement under orthodontic loading. *Int J Oral Sci.* 2014; 6: 1-6

Oh SH, Kim Y, Park JY, Jung YJ, Kim SK, Park SY. Comparison of fixed implant-supported prostheses, removable implant-supported prostheses, and complete dentures: patient satisfaction and oral health-related quality of life. *Clin Oral Implants Res* 2016; 27: 31-37

Ohkubo C, Kobayashi M, Suzuki Y, Hosoi T. Effect of implant support on distal-extension removable partial dentures: in vivo assessment. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008; 23: 1095-101

Pan YH, Lin TM, Liang CH. Comparison of patient's satisfaction with implant-supported mandibular overdentures and complete dentures. *Biomed J* 2014; 37: 156-162

Preoteasa E, Imre M, Preoteasa CT. A 3-year follow-up study of overdentures retained by mini-dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implant.* 2014; 29: 1170-1176

Ramires PA, Wennerberg A, Johansson CB, Cosentino F, Tundo S, Milella E. Biological behavior of sol-gel coated dental implants. *J Mater Sci Mater Med* 2003; 14: 539-545

Rinke S, Ziebolz D, Ratka-Krüger P, Frisch E. Clinical Outcome of Double Crown-Retained Mandibular Removable Dentures Supported by a Combination of Residual Teeth and Strategic Implants. *J Prosthodont* 2015; 24: 358-365

Rismanchian M, Bajoghli F, Mostajeran Z, Fazel A, Eshkevari Ps. Effect of implants on maximum bite force in edentulous patients. *J Oral Implantol* 2009; 35: 196-200

S2-k-Leitlinie Implantologische Indikationen für die Anwendung von Knochenersatzmaterialien. AWMF-Registernummer: 083-009, Stand 2012

Scepanovic M, Calvo-Guirado JL, Markovic A, Delgado-Ruiz R, Todorovic A, Milicic B, Mistic T. A 1-year prospective cohort study on mandibular overdentures retained by mini dental implants. *Eur J Oral Implantol* 2012; 5: 367-379

Schäfer T, Hartmann A, Hussein R, Bitzer EM, Schwartz FW. Barmer GEK Zahnreport 2013. Schwerpunkt Zahnersatz und Zahnkronen. Barmer GEK Berlin 2013

Schiegnitz E, Kämmerer PW. Systemische Erkrankungen als Risiko für die Implantattherapie – Eine Übersicht. *Quintessenz* 2012; 63:191–197.

Schiegnitz E, Al-Nawas B. Durchmesserreduzierte Implantate - Eine Übersicht. *Implantologie* 2013; 21: 251–256

Shah FK, Gebreel A, Elshokouki AH, Habib AA, Porwal A. Comparison of immediate complete denture, tooth and implant-supported overdenture on vertical dimension and muscle activity. *J Adv Prosthodont* 2012; 4: 61-71

Shibuya Y, Takata N, Takeuchi J, Tsuji K, Ishida S, Kobayashi M, Suzuki H, Hasegawa T, Kamae I, Komori T. Analysis of the 619 Brånemark System TiUnite implants: a retrospective study. *Kobe J Med Sci* 2012; 58: 19-28

Spitzl C, Pröschel P, Wichmann M, Heckmann S. Long-term neuromuscular status in overdenture and complete denture patients with severe mandibular atrophy. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012; 27: 155-161

de Souza RF, Ribeiro AB, Della Vecchia MP, Costa L, Cunha TR, Reis AC, Albuquerque RF Jr. Mini vs. Standard Implants for Mandibular Overdentures: A Randomized Trial. *J Dent Res* 2015; 94: 1376-1384

Swelem AA, Gurevich KG, Fabrikant EG, Hassan MH, Aqou S. Oral health-related quality of life in partially edentulous patients treated with removable, fixed, fixed-removable, and implant-supported prostheses. *Int J Prosthodont* 2014; 27: 338-347

Tajbakhsh S, Rubenstein JE, Faine MP, Mancl LA, Raigrodski AJ. Selection patterns of dietary foods in edentulous participants rehabilitated with maxillary complete dentures opposed by mandibular implant-supported prostheses: a multicenter longitudinal assessment. *J Prosthet Dent* 2013; 110: 252-258

Teubner E, Galindo ML, Arnold D, Marinello CP. Low-cost simple anchorage systems in the removable hybrid prosthesis. Locator Root Attachment and Würzburg post. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2009; 119: 593-610

Tomasi C, Idmyr BO, Wennström JL. Patient satisfaction with mini-implant stabilized full dentures. A 1-year prospective study. *J Oral Rehabil* 2013; 40: 526-534

Tripathi G, A A P, Rajwadha N, Chhaparia N, Sharma A, Anant M. Comparative evaluation of maximum bite force in dentulous and edentulous individuals with different facial forms. *J Clin Diagn Res* 2014; 8: ZC37-40

Triplett GR, Froberg U, Sykaras N, Woody RD. Implant materials, design and surface topographies: their influence on osseointegration of dental implants. *J L T Eff Med I* 2003; 13: 485-501

Tuener M, Greenwood M. Oral and maxillofacial surgery for the geriatric patient. In: *Textbook of geriatric dentistry*. Holm-Pedersen P, Walls A., Ship J. (Hrsg.) Wiley Blackwell 2015, S. 255 ff.

Vigolo P, Givani A. Clinical evaluation of single-tooth mini-implant restorations: a five-year retrospective study. *J Prosthet Dent* 2000; 84: 50-54.

Visscher CM, Lobbezoo F, Schuller AA. Dental status and oral health-related quality of life. A population-based study. *J Oral Rehabil* 2014; 41: 416-22

Wagenberg B, Froum SJ. Long-Term Bone Stability around 312 Rough-Surfaced Immediately Placed Implants with 2-12-Year Follow-Up. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015; 17: 658-666

Wang HL, Okayasu K, Fu JH, Hamerink HA, Layher MG, Rudek IE. The success rate of narrow body implants used for supporting immediate provisional restorations: a pilot feasibility study. *Implant Dent* 2012; 21: 467-473

Zahedi B, 2015: <http://www.implantate.com/mini-implantatesysteme.html>. (Zugriffsdatum 18.01.2017)

Zembic A, Wismeijer D. Patient-reported outcomes of maxillary implant-supported overdentures compared with conventional dentures. *Clin Oral Implants Res* 2014; 25: 441-450

Zou D, Wu Y, Huang W, Zhang Z, Zhang Z. A 5- to 8-year retrospective study comparing the clinical results of implant-supported telescopic crown versus bar overdentures in patients with edentulous maxillae. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013; 28: 1322-1330

8. Danksagung

Bei Professor Dr. rer. nat. Christoph Bourauel bedanke ich mich für die Überlassung des interessanten Themas, die Betreuung und die Hilfestellung.

Herzlich bedanke ich mich bei meiner Betreuerin Dr. med. dent. Dr. rer. nat. MSc. B.D.S Istabrak Hasan für das große Engagement und Begleitung der vorliegenden Arbeit.

Besonders mein Dank an PD Dr.med. dent. habil. Friedhelm Heinemann und sein Team, die die Implantation und Herstellungen der Messfolien bei den Patienten durchgeführt haben.

Nicht zuletzt gilt mein Dank an meiner Frau Ioanna Vassiliou, MSc, die immer für mich da ist und mich immer wieder motiviert und gestärkt hat.