

Aus der Klinik für Zahnärztliche Prothetik, Propädeutik und Werkstoffkunde
(Direktor: Prof. Dr. M. Kern)
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**IN-VITRO UNTERSUCHUNG ZUM EINFLUSS VON ULTRASCHALLBELASTUNG,
VORLAST UND THERMOCYCLING AUF DIE ABZUGSKRÄFTE ZEMENTIERTER
IMPLANTATGETRAGENER EINZELKRONEN**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

DOROTHEE SCHWARZ

aus **Bad Oldesloe**

Kiel **2012**

1.Berichterstatter: Prof. Dr. Kern

2.Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. Wiltfang

Tag der mündlichen Prüfung: 25. Juni 2013

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 25. Juni 2013

gez.: Prof. Dr. Roider
(Vorsitzender des Ausschusses für Promotion)

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	- 1 -
1.1 Hintergrund	- 1 -
1.2 Gestaltung der Abutments	- 2 -
1.3 Befestigung der Suprastrukturen.....	- 2 -
1.3.1 Definitiver vs. provisorischer Zement	- 4 -
1.4 Komplikationen bei implantatgetragenen Zahnersatz	- 4 -
1.5 Abnehmbarkeit von Suprakonstruktionen	- 5 -
1.6 Problemstellung und Zielsetzung	- 5 -
2. Materialien und Methoden	- 7 -
2.1 Materialien	- 7 -
2.1.1 Abutments	- 8 -
2.1.2 Suprakonstruktionen	- 10 -
2.1.3 Zemente	- 13 -
2.2 Methoden	- 14 -
2.2.1 Studiendesign	- 14 -
2.2.2 Vorbereitung der Probekörper	- 18 -
2.2.3 Zementierung der Probekörper	- 18 -
2.2.4 Auswechseln der Abutmentschrauben.....	- 20 -
2.2.5 Lagerung.....	- 21 -
2.2.6 Thermocycling.....	- 22 -
2.2.7 Ultraschallbelastung	- 22 -
2.2.8 Abzugsversuche.....	- 23 -
2.2.9 Statistik	- 26 -
3. Ergebnisse	- 27 -
3.1 Teil 1	- 27 -
3.1.1 Abklopfversuch mit dem Coronaflex-Gerät	- 27 -
3.1.2 Abzugsversuch mit der Zwick-Universalprüfmaschine	- 28 -
3.1.3 Auswertung der Lagerungszeiten.....	- 29 -
3.1.4 Statistische Auswertung	- 30 -
3.2 Teil 2	- 32 -
3.2.1 Auswertung der Ultraschallbelastung.....	- 32 -
3.2.2 Auswertung der Vorlast.....	- 33 -

3.2.3 Auswertung der REM-Aufnahmen.....	- 34 -
3.2.4 Statistische Auswertung.....	- 34 -
4. Diskussion	- 36 -
4.1 Diskussion der Methodik	- 37 -
4.1.1 Anfertigung der Abutments und der Suprakonstruktionen.....	- 37 -
4.1.2 Zementierung.....	- 38 -
4.1.3 Lagerungsbedingungen	- 39 -
4.1.4 Ultraschallbelastung.....	- 40 -
4.1.5 Abzugsversuche.....	- 40 -
4.2 Diskussion der Ergebnisse.....	- 42 -
4.2.1 Einfluss der Zemente	- 43 -
4.2.2 Einfluss der Lagerung	- 44 -
4.2.3 Einfluss der Ultraschallbelastung	- 44 -
4.2.4 Einfluss der Vorlast	- 45 -
4.3 Fazit	- 45 -
5. Zusammenfassung.....	- 47 -
5.1 Summary.....	- 49 -
6. Literaturverzeichnis.....	- 51 -
7. Anhang	- 59 -
8. Danksagung	- 66 -
9. Lebenslauf.....	- 67 -

1. Einleitung

1.1 Hintergrund

Enossale dentale Implantate werden heutzutage immer häufiger für den Ersatz einzelner oder mehrerer verloren gegangener Zähne verwendet (Taylor et al. 2000). Das Fehlen von Zähnen kann bedingt sein durch Parodontitis (Loe et al. 1978), Traumata, Karies oder durch Anodontie (Hebel et al. 2000). Gängige Therapiemöglichkeiten zum Ersatz von einzelnen Zähnen sind konventionelle Brücken (Brägger et al. 2005), Adhäsivbrücken (Pjetursson et al. 2008) oder implantatgetragene Einzelkronen (Romeo et al. 2004). Speziell in klinischen Situationen mit nicht oder minimal konservierend behandelten Zähnen hat die Therapie mittels Implantaten Vorteile. Sowohl die Ästhetik als auch die alltägliche Funktion implantatgetragener Einzelkronen sind denen des natürlichen Zahnes sehr ähnlich, womit ein wichtiges Kriterium für den Patienten erfüllt ist (Tang & Naylor 2005).

Ein Implantat besteht aus einem Hals- und einem Kopfteil und aus einem Körper, der in den Knochen inseriert wird. Es ist in verschiedenen Durchmessern, Längen, Formen und Materialien erhältlich. Nach einer Einheilungsphase von ungefähr drei Monaten erfolgt die Freilegung der Implantate. Anschließend wird die Abformung durchgeführt. Um die Suprastruktur auf dem Implantat befestigen zu können, werden die Abutments mit einer Kraft von 20 bis 35 Ncm abhängig vom Implantathersteller auf die Implantatpfosten geschraubt (Brägger et al. 2005). Dieser Vorgang variiert bei den unterschiedlichen Systemen. Das Befestigen der Restaurationen erfolgt entweder über Zementieren oder Verschrauben (Wolfart et al. 2006). Beide Befestigungsarten zeigen klinisch Vor- und Nachteile, die im Einzelfall gegeneinander abgewogen werden sollten.

Eine erfolgreiche Osseointegration ist neben der harmonischen Integration des Zahnersatzes in die vorliegenden dentalen Verhältnisse für den Erfolg einer implantologischen Behandlung entscheidend (Att et al. 2006). Die Prognose für den Langzeiterfolg wird durch die Art der Belastung, die Materialeigenschaften des Implantates und der Suprakonstruktion, die Implantatgeometrie und Oberfläche, die Qualität und Quantität des umgebenden Knochens und die Implantat-Knochen-Verbindung bestimmt (Bozkaya et al. 2004). In einer 5-Jahres-Studie konnte für die

Implantate in situ eine Überlebensrate von 96,8 % ermittelt werden. Die Suprakonstruktionen wiesen einen Langzeiterfolg von 94,5 % auf (Jung et al. 2008).

1.2 Gestaltung der Abutments

Gegenwärtig können Abutments aus Titan, Gold oder Zirkonoxid von Herstellern bezogen werden (Michalakis et al. 2003). Die Keramikabutments bieten im ästhetischen Bereich gewisse Vorteile, wenn es durch ungünstige strukturelle Bedingungen zu einer Freilegung der Abutmentoberfläche kommen sollte (Schweiger et al. 2010, Lai & Zhang 2008). Bei verschraubten Suprakonstruktionen besteht die Möglichkeit die Abutments direkt zu verblenden. Für die ästhetische Sofortversorgung und Langzeitprovisorien sind provisorische Abutments erhältlich.

Die Herstellungsformen können unterschieden werden in konfektionierte, anguss- oder anpressfähige und CAD/CAM-Implantatabutments (Bresciano et al. 2005, Schweiger et al. 2010). Die konfektionierten Abutments werden in verschiedenen Höhen und Konizitäten geliefert (Strong 2008) und können, ähnlich wie bei einem natürlichen Pfeilerzahn, präpariert werden (Chee et al. 1999). Die Präparation des Abutments stellt einen signifikanten Faktor für die Retention der Suprakonstruktion dar. Untersuchungen ergaben, dass der Neigungswinkel des Abutments einen signifikant größeren Einfluss hat als die Stumpflänge (Bernal et al. 2003, Hebel & Gajjar 1997).

1.3 Befestigung der Suprastrukturen

Definitiver implantatgetragener, festsitzender Zahnersatz kann entweder zementiert oder verschraubt werden (Drago 2003). Ein wesentlicher Aspekt in der Wahl der Befestigung stellt die Abnehmbarkeit der Suprakonstruktion dar (Michalakis et al. 2000), die bei Farbkorrekturen, Reinigen der Suprakonstruktion (Heinemann et al. 2006), Materialschäden oder bei Lockerung der Halteschraube von Vorteil sein kann (Ramp et al. 1999).

Der wichtigste Vorteil einer Verschraubung stellt die vorhersagbare Abnehmbarkeit der Restauration dar. Somit wird ein Reparieren oder Ersetzen fehlerhafter Komponenten und auch ein Anziehen der Abutmentschraube ermöglicht (Chee et al. 1999). Allerdings erfordert die Anwendung von verschraubten Systemen ein präzises Platzieren des Implantates, um eine optimale Lokalisation der Schraubenöffnung zu

erreichen (Chee et al. 1998). Jede Abweichung kann zu ästhetisch unbefriedigenden Ergebnissen führen (Vigolo et al. 2004). Aufgrund des fehlenden Zementspalt es kann bei verschraubten Konstruktionen kein sogenannter „passive fit“ erreicht werden (Michalakis et al. 2003), was in einer größeren Stressbelastung des periimplantären Knochens resultiert.

Viele gegenwärtige Implantatsysteme liefern Abutments, auf die die Suprastruktur zementiert werden kann (Pan & Lin 2005). Zementieren bietet im Vergleich zur Verschraubung sowohl ästhetische als auch funktionelle Vorteile (Hebel & Gajjar 1997, Michalakis et al. 2003), wie der fehlende Schraubenzugang, die Minimierung des Verlustes der Abutmentschraube und den Zementiervorgang, der dem bei natürlichen Zähnen ähnelt (Assenza et al. 2006). Ein weiterer Vorteil wird durch den Zementspalt von 30-100 µm dargestellt (Watanabe et al. 2000), der durch Ausgleich minimaler Diskrepanzen einen weitestgehend spannungsfreien Sitz ermöglicht (Preiskel & Tsolka 2004). Dadurch wird eine Überbelastung an der Knochen-Implantat-Kontaktfläche vermieden (Chee & Jivray 2006).

Die Auswahl des Zementes hängt von der Frage ab, wie viel Retention benötigt wird, um die Restauration unter Kaulast in situ zu halten, und wie wenig Retention die Restauration haben darf, um sie bei Bedarf zerstörungsfrei vom Abutment herunter zu nehmen (Behr 2008, Clayton et al. 1997). Eine „semipermanente“ Fixierung der implantatgetragenen Restauration wäre wünschenswert (Wolfart et al. 2006), was einen Kompromiss zwischen einer adäquaten Retention und einer vorhersagbaren Abnehmbarkeit bedeuten würde (Chee & Torbati 1998). Eine Reduzierung der Retention wurde durch die Anwendung von Vaseline mit Polyurethanharz beschrieben (Bresciano et al. 2005). Ein weiterer Versuch dahingehend war die Reduzierung der applizierten Zementmenge, die jedoch keine signifikanten Unterschiede zeigte (Wolfart et al. 2006).

Die physikalischen Eigenschaften der Zemente variieren hinsichtlich ihrer Löslichkeit, ihrer Festigkeit und ihrer adhäsiven Fähigkeiten (Albert & El-Mowafy 2004). Die Retention der Restauration mittels eines Zementes wird durch diese Parameter bestimmt (Juntavee & Millstein 1992). Allgemein besteht die Möglichkeit der Anwendung von provisorischen oder definitiven Zementen.

Die Lebensdauer von implantatgetragenen Restaurationen wird sowohl durch die Form und Größe der Abutments und die unterschiedlichen Zemente, als auch durch das Material des Zahnersatzes und der Abutments beeinflusst (Hebel & Gajjar 1997).

1.3.1 Definitiver vs. provisorischer Zement

Definitive Zemente werden verwendet, um die Retention der Restauration auf dem Implantatabutment zu erhöhen (Michalakis et al. 2003). Ihre Anwendung ist dann indiziert, wenn eine Abnehmbarkeit nicht vorgesehen ist (Pan & Lin 2005). Aufgrund ihrer hohen Retentionswerte eignen sich Polycarboxylatzemente und Kunststoffzemente für ein permanentes Befestigen implantatgetragener Suprakonstruktionen (May et al. 1995, Mehl et al. 2008, Wolfart et al. 2006).

Eine Alternative wird durch die Anwendung von provisorischen Zementen geboten, wodurch ein Abnehmen der Suprakonstruktionen erleichtert ist (Breeding et al. 1992, Heinemann et al. 2006). Allerdings wird dieser Vorteil von mangelhaften physikalischen Eigenschaften und einer hohen Löslichkeit begleitet (Mehl et al. 2007, Wolfart et al. 2006). Die Entscheidung der Anwendung eines provisorischen oder definitiven Zementes sollte auf seinen retentiven Eigenschaften und der gewünschten Retention basieren (Squier et al. 2001).

1.4 Komplikationen bei implantatgetragendem Zahnersatz

Die Anzahl der Komplikationen haben sich in den letzten Jahren durch die zunehmende Anwendung dentaler Implantate erhöht (Brägger et al. 2001, Givol et al. 2002). Man unterscheidet hierbei in biologische, technische und prothetische Komplikationen, wobei die biologische Integrität in Bezug auf den Langzeiterfolg der implantologischen Therapie einen wichtigen Faktor darstellt (Erneklint et al. 2006). Durch Keime oder Zementrückstände können Entzündungen verursacht werden (Miyata et al. 2000, Strong 2008), die zu einer Periimplantitis führen können (Assenza et al. 2005, Berglundh et al. 2002).

Technische und prothetische Komplikationen sind das Ergebnis des Zusammenspiels mehrerer Faktoren (Kaar et al. 2006). Zu ihnen gehören ein Retentionsverlust der Restauration, eine Fraktur der Verblendkeramik (Karl et al. 2005, Zarone et al. 2007) oder der Gerüstes (Artzi & Dreiangel 1999) und ein Verlust der Abutmentschraube (Jung et al. 2008, Nickenig et al. 2006, Simon 2003). Ursache für diese Komplikationen können eine Malokklusion (Alkan et al. 2004), eine übermäßige Belastung durch Zug-, Druck- und Scherkräfte (Kim et al. 2006) oder ein Auswaschen des Zementes sein (Hebel & Gajjar 1997). Keramikfrakturen treten unter den technischen Komplikationen nach 4-5 Jahren in Funktion mit 10,7 % am

häufigsten auf, gefolgt von Schraubenverlusten mit 6,8 % und Retentionsverlust mit 2,9 % (Brägger et al. 2001).

Klinische Misserfolge sind durch ein Zusammenspiel der genannten Komplikationen bedingt (Cibirka et al. 2001). Sie treten häufig im Zusammenhang mit der Eingliederung der implantatgetragenen Suprakonstruktionen auf (Gervais et al. 2007). So kann eine okklusale Überbelastung der Restauration zu einer Periimplantitis führen (Isidor et al. 1996). In Bezug auf die Befestigung der Kronen auf den Abutments konnte hinsichtlich der Belastungsverteilung allerdings kein signifikanter Einfluss festgestellt werden (Karl 2008).

1.5 Abnehmbarkeit von Suprakonstruktionen

Ein Abnehmen definitiv zementierter implantatgetragener Restaurationen kann durch eine okklusale bzw. palatinale Perforation der Suprakonstruktion erreicht werden. Die Abutmentschraube kann anschließend herausgedreht werden (Doerr 2002). Die Suprakonstruktion wird wie eine verschraubte Krone weiterverwendet. Eine Alternative zu dem oben genannten Verfahren ist das Anbringen einer lingualen Rille (Mehl et al. 2008). Diese kann das Lösen der Suprakonstruktion erleichtern.

Wie in einer vorangegangenen Studie beschrieben (Wolfart et al. 2006), sollte das Abnehmen der implantatgetragenen Restaurationen mit Instrumenten erfolgen, die mit Hochdruck und kurz andauernden Impulsen auf die Suprakonstruktion einwirken. Das Ablösen der Restauration erfolgt dabei mittels direkter Zugkräfte (Ergin & Gemalmaz 2002). Abzugsmethoden mit konstanten, lang anhaltenden Kräften weichen vom klinischen Vorgehen ab. Jedoch gibt es für den Behandler bisher keine Richtlinien bezüglich einer geeigneten Abzugsmethode und der Anzahl der benötigten Abzugsversuche (Mehl et al. 2008).

1.6 Problemstellung und Zielsetzung

Wie in der Einleitung dargestellt, fehlen gesicherte Erkenntnisse zur zerstörungsfreien Abnahme zementierter Implantatrestaurationen. Ziel dieser Studie war es daher zu evaluieren, bei welchem Zement, bei welcher Lagerungsdauer und bei welcher Ultraschallbelastung ein implantatgetragener Zahnersatz noch adäquat befestigt wird, um so einen Kompromiss zwischen sicherer, aber dennoch

semipermanenter (= wiederabnehmbarer) Befestigung und Spannungsfreiheit zu ermitteln.

Weiterhin sollte untersucht werden, ob die verwendete Vorlast einen Einfluss auf die Retention hat und wie hoch die Kraft bzw. wie groß die Anzahl der Abklopfversuche sind, die man benötigt, um die Kronen von den Abutments zu lösen.

Die Null-Hypothesen dieser Studie waren:

1. Es gibt keine Unterschiede bezüglich der Abnehmbarkeit implantatgetragener Kronen zwischen den angewendeten Zementen.
2. Lagerungszeit und künstliche Alterung durch Temperaturwechselbelastung haben keinen Einfluss auf Abnehmbarkeit implantatgetragener Kronen.
3. Die Dauer der Ultraschallbelastung hat keinen Einfluss auf die Abnehmbarkeit implantatgetragener Kronen.
4. Die Vorlast bei der Ultraschallbelastung hat keinen Einfluss auf die Abnehmbarkeit implantatgetragener Kronen.

2. Materialien und Methoden

2.1 Materialien

Die in dieser In-Vitro-Studie verwendeten Materialien (Tab. 2.1) wurden direkt von den Herstellern geliefert und nach Herstellerangaben verwendet.

Tab. 2.1 Verwendete Materialien. Die Angaben wurden von den Herstellern zur Verfügung gestellt.

Material	Hersteller	Inhaltsstoffe [Gew-%]	Chargennummer
Laboranalog	Camlog Biotechnologisches AG, CH, Basel	Titan	6000024
Universalabutment	Camlog Biotechnologisches AG, CH, Basel	Titan	5001885
Modellierwachs	Modellierwachs, Bego, D, Bremen	Paraffinwachs, natürliches Wachs, Mikrowachs, Harz	
Dubliersilikon	Speedy Wachs Transpaduplisil, Company Wichnalek, D, Augsburg	Silikon A, Silikon B	
Phosphatgebundene Einbettmasse	GC Fujivest Super, GC, J, Tokio	Cristoballite 60-80	
Cobalt-Chrom- Legierung	Wirobond, Bego, D, Bremen	Co 61,0; Cr 26,0; Mo 6,0; W 5,0; Si, Fe, Ce	70681
Fit Checker	Fit Checker, Kuraray, J, Tokio	Silikondioxid 42-45; Vinyltrimethylpolysiloxane 50-60	
Guttapercha	Guttaperchastangen, Dentsply De Trey, D, Konstanz	Guttapercha 16; Zinkoxid 81; Paraffin 2,4; Bienenwachs 1,2	
Ketac Cem	3M Espe, D, Seefeld	Ca-Al-FI-Silikatglas; Polycarbonsäure und Wasser 50	397051
Durelon	3M Espe, D, Seefeld	Zinndifluorid 1-5; Zinndioxid 1-5; Zinnoxid >90	393086

2.1.1 Abutments

In der vorliegenden Studie wurden 36 Titanabutments des Camlog-Implantatsystems (Universalabutment, Camlog Biotechnologisches AG, Basel, Schweiz) verwendet, die auf Laboranalogen mit 20 Ncm (Torquewrench, Camlog) verschraubt wurden. Sie wiesen einen Durchmesser von 4,3 mm, eine Länge von 8,5 mm und eine Konizität von 5° auf. Das Universalabutment eignet sich für die Herstellung von Doppelkronen und individuell hergestellten Kronen- und Brückenkonstruktionen und kann dementsprechend durch Beschleifen modifiziert werden.

Die Titanabutments wurden auf eine Höhe von 6 mm gekürzt (Abb. 2.1). Eine standardisiert angelegte Rille von 5 mm Länge und 0,5 mm Tiefe diente als Rotationsschutz. Diese Rille wurde mit Hilfe einer konischen Fräse angefertigt, die in einer Parallelisierungsmaschine (Emcomat, Emco, Wien, Österreich) eingespannt war (Abb. 2.2). Diese Fräse war auf eine Länge von 5 mm justiert und hatte einen Anschlag bei einer Tiefe von 0,5 mm, was die Herstellung eines standardisierten Rotationsschutzes ermöglichte (Abb. 2.3 a und b). Alle Abutments wurden wie vom Hersteller geliefert mit maschinierter Oberfläche verwendet. Es resultierten 36 identische Abutments, die auf 36 Laboranaloge mit einer standardisierten Kraft von 20 Ncm (Torque Controller, Camlog Biotechnologisches AG, Basel, Schweiz) geschraubt werden (Abb. 2.4). Diese Abutments sollten für das Zementieren von 36 implantatgetragenen Einzelkronen dienen.

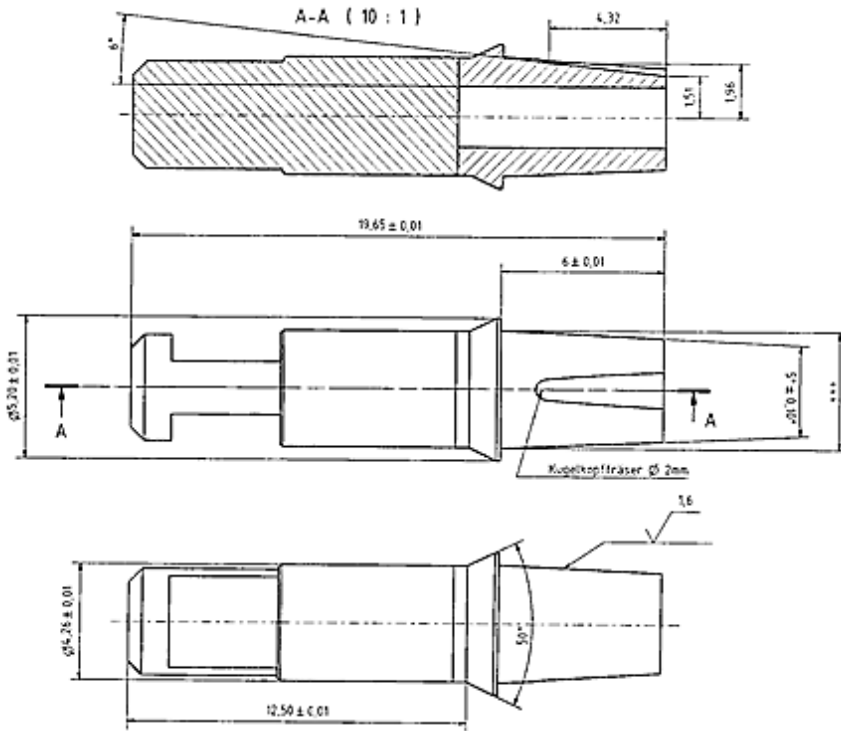


Abb. 2.1 Individualisierung der Universalabutments

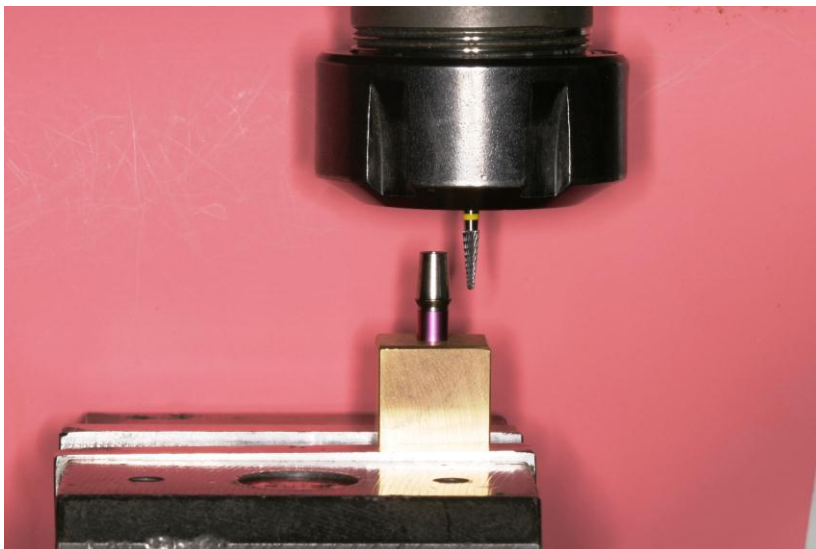


Abb. 2.2 Parallelisierungsmaschine



a)



b)

Abb. 2.3 Anlegen des Rotationsschutzes

- a) Konische Fräse in Parallelisierungsmaschine
- b) Fertiger standardisierter Rotationsschutz



Abb. 2.4 Gefrästes Abutment, auf Laboranalog verschraubt

2.1.2 Suprakonstruktionen

Es wurden entsprechend der Anzahl der Implantate 36 Einzelkronen hergestellt. Die Öffnungen der Abutmentschrauben wurden zunächst mit Guttapercha (Stangenguttapercha, Dentsply De Trey, Konstanz, Deutschland) verschlossen (Abb. 2.5). Anschließend wurde Wachs (Smooth Casting Wax, Bego, Bremen, Deutschland) auf eines der 36 Abutments aufgetragen, bis eine Mindestschichtstärke

von 1 mm erreicht war. Zusätzlich wurden die Kronen mit einem okklusalen Ring und einer lingualen Rille versehen (Abb. 2.6 a und b).

Die Einzelkronen wurden mit Hilfe der Speedy-Wax-Doubliertechnik (Speedy Wax Transpaduplication, Wichnalek, Augsburg, Deutschland) vervielfältigt, so dass 36 identische Kronen entstanden (Abb. 2.7). Diese Technik wurde bereits durch Wichnalek (1999) beschrieben.

Die Kämpchen wurden in eine phosphatgebundene Einbettmasse (GC Fujivest Super; GC, Tokio, Japan) eingebettet und anschließend mit einer Kobalt-Chrom-Legierung (Wirobond, Bego, Bremen, Deutschland) gegossen (Abb. 2.8). Nach dem Ausbetten der gegossenen Probekörper wurden diese mit Aluminiumoxid (50 µm Körnung) bei 2,5 bar abgestrahlt.

Anschließend erfolgte das Aufpassen der Einzelkronen auf die Abutments. Die Passung wurde mit Hilfe von Fließsilikon (Fit-Checker, Kuraray, Tokio, Japan) überprüft und gegebenenfalls durch Beschleifen korrigiert, bis sie akzeptabel war. In den meisten Fällen war keine Adjustierung erforderlich. Daraufhin wurden sowohl die Kronen als auch die Laboranaloge mit den Ziffern 1-36 graviert, um eine eindeutige Zuordnung der einzelnen Probekörper zueinander zu gewährleisten. Sowohl die Suprakonstruktionen als auch die Abutments kamen ebenfalls in dem zweiten Teil der Studie zur Anwendung.



Abb. 2.5 Mit Guttapercha verschlossene Schraubenöffnungen



a)



b)

Abb. 2.6 Wachsmodellation der Krone

a) linguale Rille

b) okklusaler Ring



Abb. 2.7 Duplikation der Wachsmodellation



Abb. 2.8 Gegossener Probekörper

2.1.3 Zemente

Für das Zementieren der Suprakonstruktionen auf den Abutments kamen zwei Zemente zur Anwendung. Ketac Cem ist für die Zementierung von Inlays, Onlays, Einzelkronen und Brücken sowohl aus Metall, als auch aus Keramik oder Kunststoff geeignet (Diaz-Arnold et al 1999). Ketac Cem ist ein Glasionomerezement, dessen Pulver sich aus glasartigen, fluoridhaltigen Silikaten zusammensetzt. Die Flüssigkeit enthält Polykarbonsäuren, Wasser und Konservierungsstoffe. Es wird eine adhäsive Bindung zum Dentin und Schmelz hergestellt und durch eine ständige Fluoridabgabe eine kariostatische Wirkung erzielt (Christensen 1990). Dieser Zement ist sowohl zum manuellen Anmischen als auch in Kapselform erhältlich. Letztere kam in der vorliegenden Studie zum Einsatz. Die Kapsel wird im Aktivator für zwei Sekunden aktiviert. Im Anschluss wird sie für acht Sekunden in einem Hochfrequenzmischgerät mit ca. 4300 Schwingungen/ Minute (CapMix, 3M Espe, Seefeld, Deutschland) gemischt, um dann mit einer Applikationspistole verwendet werden zu können (Smith 1990).

Durelon ist ein Polycarboxylatzement, der sowohl für Unterfüllungen als auch als Befestigungszement für Inlays, Onlays, Einzelkronen und Brücken angewendet werden kann (Kopzon 2009). Auch dieser Zement ist entweder in Pulver/ Flüssigkeitsform oder in Kapselform erhältlich. Das Pulver setzt sich aus Zinkoxid und Zinkfluorid zusammen, während die Flüssigkeit aus 40-50%iger Polyacrylsäure besteht. Durelon zeichnet sich durch eine gute Pulpenverträglichkeit und eine chemische Verbindung zur Zahnhartsubstanz aus. In dieser Studie wurde Durelon in

Kapselform angewendet. Die Verarbeitung erfolgt in der gleichen Weise wie bei Ketac Cem.

2.2 Methoden

2.2.1 Studiendesign

Im ersten Teil der Studie wurden in Bezug auf die Abzugskräfte folgende Faktoren in zwei Phasen untersucht: Zementwahl, Lagerungsdauer, Lagerungsart. Es wurden 36 Einzelkronen auf Implantaten angefertigt, die in zwei Zementgruppen mit je 18 Probekörpern unterteilt wurden. Die zwei Zementgruppen wurden jeweils in zwei Untergruppen mit je 9 Probekörpern unterteilt, so dass insgesamt vier Gruppen für die Abzugsversuche entstanden sind. Die Zementierung erfolgte mit zwei verschiedenen Zementen. Vor und nach der Zementierung der Probekörper auf die Abutments wurden die Referenzhöhen mittels einer Messlehre bestimmt. In Phase I folgten - nach dreitägiger Lagerung der zementierten Restaurationen in einem Hydrobad mit destilliertem Wasser - die Abzugsversuche mit einer Universalprüfmaschine (Zwick Z010, Ulm, Deutschland) und einem klinisch verwendeten Abzugsgerät (Coronaflex, KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland). Damit war Phase I abgeschlossen. Nach Konditionieren und Reinigen der Probekörper konnte mit dem Zementieren für Phase II begonnen werden. Dieses erfolgte analog zu Phase I. Die Proben wurden einer Langzeitlagerung für 150 Tage und 37.500 Thermolastwechseln unterzogen. Im Anschluss folgten die Abzugsversuche gemäß Phase I in den einzelnen Untergruppen. Phase II war somit beendet (Abb. 2.9). Die Ergebnisse der Abzugsversuche wurden dokumentiert.

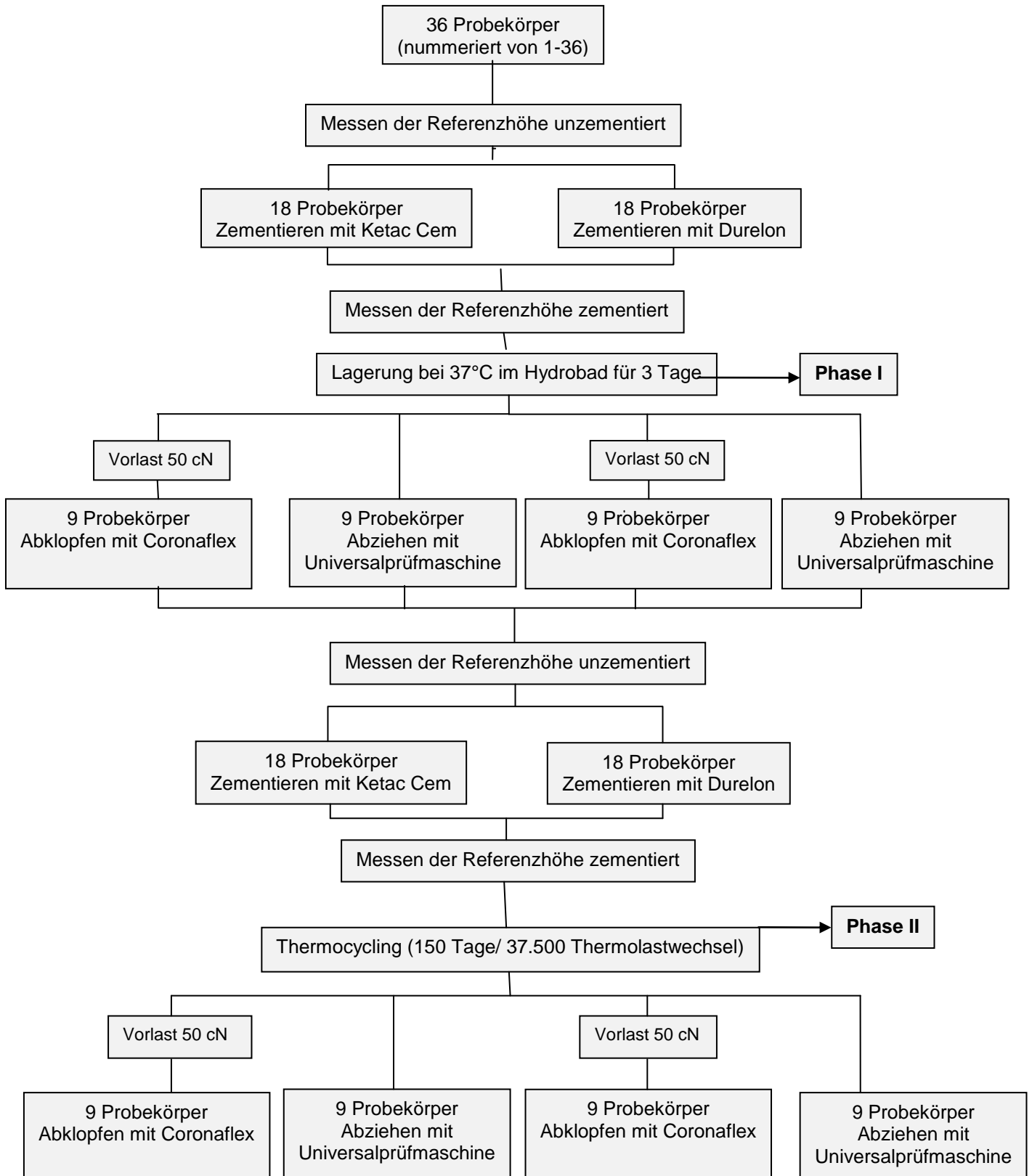


Abb. 2.9 Versuchsschema 1. Teil der Studie;

Zu untersuchende Faktoren: 1. Zementwahl, 2. Lagerungsdauer, 3. Lagerungsart

In dem zweiten Teil der Studie wurden folgende Faktoren in Bezug auf die Abzugskraft untersucht: Vorlast, Dauer und Gewicht der Ultraschallbelastung. Die 36 Probekörper aus dem ersten Teil der Studie wurden nach Reinigen und Konditionieren der zementierten Oberflächen wieder verwendet. Die Einzelkronen und Abutments wurden in zwei Zementgruppen mit je 18 Probekörpern eingeteilt. Die zwei Zementgruppen wurden jeweils in zwei Untergruppen mit je 9 Probekörpern unterteilt, so dass insgesamt vier Gruppen für die Abzugsversuche entstanden sind. Die Zementierung erfolgte mit zwei verschiedenen Zementen. Nach dreitägiger Lagerung der zementierten Restaurationen in einem Hydrobad mit destilliertem Wasser wurde je eine Untergruppe der beiden Zementgruppen mit Ultraschall belastet. Die andere Untergruppe diente als Kontrollgruppe. Anschließend folgten die Abzugsversuche für die Phase I mit einem klinisch verwendeten Abzugsgerät (Coronaflex, KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland). In Phase II wurden bei 18 Implantaten neue Abutmentschrauben eingesetzt. Der Abstand der Windungen wurde vor Zementieren und nach Abklopfen im Rasterelektronenmikroskop gemessen. In dieser Phase wurde die Dauer der Ultraschallbelastung verlängert. In Phase III wurde das Gewicht der Ultraschallbelastung vor dem Abklopfen geändert (Abb. 2.10). Die Anzahl der benötigten Abklopfversuche wurde dokumentiert.

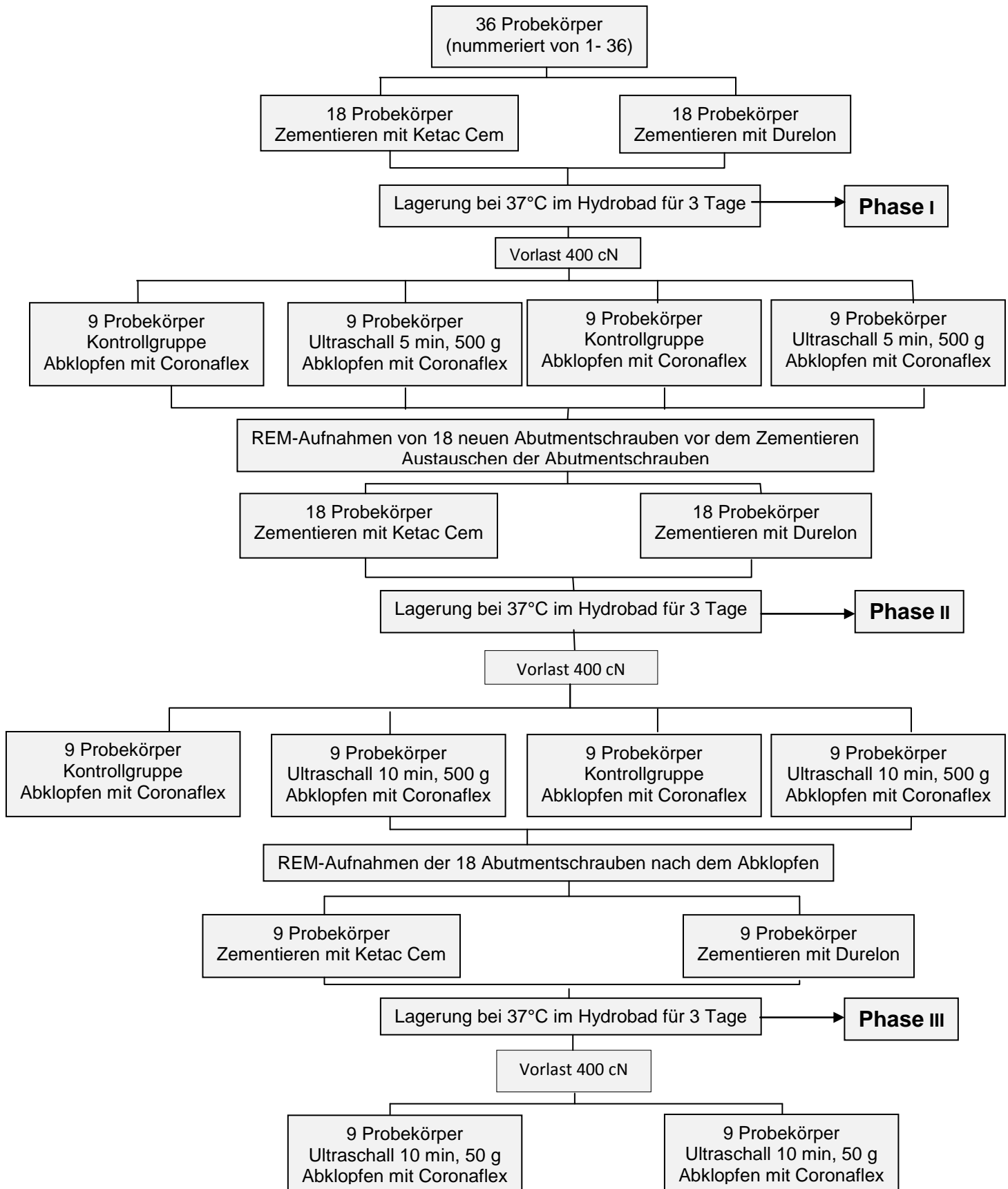


Abb. 2.10 Versuchsschema 2. Teil der Studie;

Zu untersuchende Faktoren: 1. Zementwahl, 2. Dauer der Ultraschall-
Belastung, 3. Gewicht der Ultraschallbelastung

2.2.2 Vorbereitung der Probekörper

Die okklusalen Schraubenöffnungen der Abutments wurden erneut mit Guttapercha verschlossen (Stangenguttapercha, Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland). Um gleiche Bedingungen während der einzelnen Zementierungsvorgänge zu ermöglichen, wurde der Raum, in dem zementiert wurde, mittels einer Klimaanlage auf 21° C temperiert.

Vor der Zementierung wurden die Referenzhöhen der zusammengesetzten Probekörper anhand einer Messlehre bestimmt, die in der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel in der Sektion für Werkstoffkunde konstruiert wurde. Vor der ersten Messung wurde der Abstand der beiden Branchen auf 25 mm geeicht. Anschließend wurde der erste zusammengesetzte Probekörper in eine Messinghülse, die auf der einen Branche sitzt, gesteckt, um dann die Höhe zu messen. Die Messwerte wurden auf vier Stellen nach dem Komma angegeben und zu den geeichten 25 mm addiert. Für jede Probe wurden zehn Messwerte ermittelt, um daraus anschließend den Mittelwert zu bestimmen. Auch das Messen wurde bei einer Raumtemperatur von 21° C durchgeführt.

Vor dem Zementieren wurden die Innenflächen der Kronen mit Aluminiumoxid (50 µm Körnung) bei 2,5 bar für fünf Sekunden konditioniert. Die Probekörper wurden in 96%igem Alkohol mittels Ultraschall drei Minuten lang gereinigt. Die Alkohollösung wurde vor jeder Reinigung erneuert.

2.2.3 Zementierung der Probekörper

Der Zement wurde wie in den Herstellerangaben gefordert kühl gelagert und standardisiert vor jeder Zementierung aus dem Kühlschrank genommen. Das Zementieren im ersten Teil der Studie erfolgte in zwei Zementgruppen mit je 18 Probekörpern. Das Anmischen von Ketac Cem und Durelon geschah in gleicher Weise. Die Kapsel wurde im Aktivator für zwei Sekunden aktiviert. Im Anschluss wurde die Kapsel für acht Sekunden in einem Hochfrequenzmischgerät mit ca. 4300 Schwingungen/ Minute (CapMix, 3M Espe, Seefeld, Deutschland) gemischt, um danach mit der Applizierspritze auf eine gekühlte Glasplatte gegeben zu werden. Vom Kronenrand ausgehend wurde ein 3 mm breites Zementband appliziert (Abb. 2.11). Dazu wurde ein auf 3 mm gekürzter Pinsel einmal in den Zement getaucht und der daran haftende Zement auf die Kroneninnenseite aufgetragen.

Die Kronen wurden mit einem Druck von 50 N für 10 Minuten auf die Abutments gepresst. Dazu wurde ein mit Pressluft betriebener Zementierungsstempel benutzt (Abb. 2.12 a). Um bei dem Aushärten des Zementes Temperaturbedingungen ähnlich denen des Mundmilieus zu schaffen, wurde der Bereich des Zementierungsstempels mit Hilfe einer Wärmequelle auf 37°C erwärmt (Abb. 2.12 b). Im Anschluss an das Zementieren wurde analog der ersten Messung die Referenzhöhe bestimmt (Tab. 7.9).

Nach Beendigung der Phase I wurde umgehend mit der Phase II begonnen. Auch hier erfolgte zunächst das Bestimmen der Referenzhöhen. Anschließend wurden die Probekörper nach entsprechender Vorbehandlung wie oben beschrieben erneut zementiert. Nach dem Zementieren wurden wiederum die Referenzhöhen gemessen. Das Zementieren für den zweiten Teil der Studie erfolgte entsprechend der obigen Beschreibung. Jedoch wurde hier auf das Messen der Referenzhöhen verzichtet.

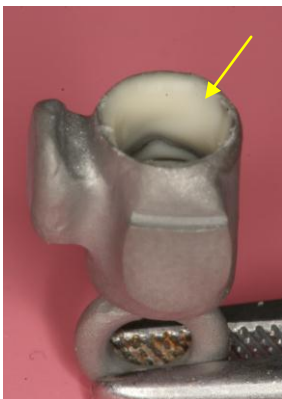
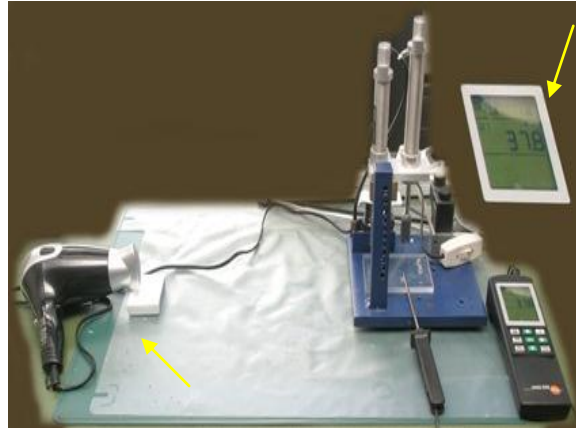


Abb. 2.11 Applizierte Zementmenge (3 mm breites Band vom Kronenrand aus)



a)



b)

Abb. 2.12 Druckluftbetriebener Zementierungsstempel

a) 50 N, 10 Min

b) Mit Wärmequelle (37°C)

2.2.4 Auswechseln der Abutmentschrauben

Im zweiten Teil der Studie wurden vor dem Zementieren in Phase II bei 18 Implantaten die Abutmentschrauben (Abutment Screw, Camlog Biotechnologisches AG, Basel, Schweiz) ausgewechselt. Nach der Beschriftung der Schraubenkörper (Abb. 2.13) wurden sie auf entsprechende Träger positioniert, um anschließend im Rasterelektronenmikroskop die Abstände der Windungen auswerten zu können. Nach dieser Analyse wurden die Abutmentschrauben in die entsprechenden Implantate mit einer standardisierten Kraft von 20 Ncm geschraubt (Tab. 2.2). Bei 9 Probekörpern wurden die Abutmentschrauben um exakt eine Drehung wieder gelockert, um den Einfluss gelöster Schrauben zu testen. Die Schraubenöffnungen wurden mit Wachs verschlossen. Im Anschluss an das Zementieren und das Abklopfen in Phase II wurden die Abstände der Schraubenwindungen erneut im REM ausgewertet.

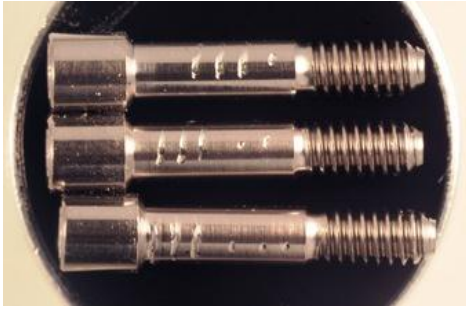


Abb. 2.13 Beschriftung der Abutmentschrauben

Tabelle 2.2 Ausgewechselte Abutmentschrauben, (*) gelockerte Abutmentschrauben

Probekörper Nr.	Abutmentschraube Nr.
1	1 (*)
2	2 (*)
3	3 (*)
4	4 (*)
5	5 (*)
6	6
10	7
11	8
12	9
19	10 (*)
20	11 (*)
21	12 (*)
22	13 (*)
23	14
24	15
28	16
29	17
30	18

2.2.5 Lagerung

Alle zementierten Probekörper der Phase I des ersten Teils der Studie wurden innerhalb von 10 Minuten nach der Verklebung in ein 37°C warmes Wasserbad mit destilliertem Wasser gegeben. Dort wurden sie für drei Tage gelagert. Anschließend erfolgten die Abzugsversuche.

Die Probekörper des zweiten Teils der Studie wurden ebenfalls nach der Zementierung für drei Tage in einem 37°C warmen Hydrobad gelagert.

2.2.6 Thermocycling

Nach dem Zementieren in Phase II des ersten Teils der Studie erfolgte ein Thermocycling mit 37.500 Thermolastwechseln. Dies bedeutet eine automatisierte Temperaturwechselbelastung in zwei Bädern mit 5°C und 55°C.

2.2.7 Ultraschallbelastung

Im zweiten Teil der Studie wurden die Probekörper nach der Lagerung im Wasserbad mit dem Sonicflex-Ultraschallgerät (KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland) belastet. Dazu wurde das Ultraschallgerät in einer speziell angefertigten Apparatur montiert (Abb. 2.14 a und b). Der Ansatz des Sonicflex-Gerätes wurde an der lingualen Rille positioniert (Abb. 2.15).

Dieser Vorgang erfolgte entsprechend der Zementierung in drei Phasen. Die Belastungsdauer und Intensität variierte in den einzelnen Phasen.

In Phase I wurden die Probekörper für 5 min bei einem Gewicht von 500 g belastet. In Phase II wurde die Belastungszeit auf 10 min erhöht, während das Gewicht von 500 g gleich blieb. Letzteres wurde in Phase III verändert. Anstatt der 500 g erfolgte eine Belastung der Probekörper mit 50 g für 10 min.

Nach der Ultraschallbelastung wurden die Abzugsversuche durchgeführt.

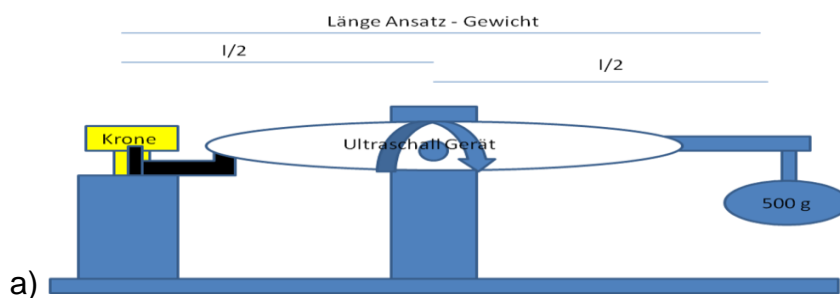


Abb. 2.14 Versuchsaufbau Ultraschallbelastung



Abb. 2.15 Ultraschallbelastung des Probekörpers

2.2.8 Abzugsversuche

Die Retentionskräfte der zementierten Einzelkronen wurden im ersten Teil der Studie mit zwei unterschiedlichen Methoden bestimmt. Zum einen wurde mit der Universalprüfmaschine (Zwick Z010, Ulm, Deutschland) gearbeitet, zum anderen mit einem klinisch verwendeten Abzugsgerät (Coronaflex, KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland). Im zweiten Teil der Studie wurden die Probekörper lediglich mit dem Coronaflex-Gerät abgeklopft. Die Probekörper wurden unmittelbar vor den Abzugsversuchen aus dem Hydrobad entnommen.

Bei dem quasi-statischen Abzugsversuch mit der Universalprüfmaschine wurde der zementierte Probekörper in das Gerät eingespannt (Abb. 2.16 a). Dabei wurde die Einzelkrone an der höhenverstellbaren Achse der Maschine befestigt, indem der okklusale Ring in einer vorgefertigten Schiene geführt wurde. Der Implantatpfosten wurde ebenfalls in einem modifizierten Halter befestigt, der über eine mehrgliedrige Kette am Boden des Gerätes angebracht wurde (Abb. 2.16 b).

Die Prüfmaschine wurde so eingestellt, dass sich die beiden Spannköpfe mit einer Geschwindigkeit von 2 mm/min voneinander weg bewegten. Ab einer Kraft von zwei Newton wurden die Kurven bis zum endgültigen Lösen der Probekörper voneinander aufgezeichnet. Die Messung wurde automatisch beim Lösen gestoppt und ausgewertet.



a)



b)

Abb. 2.16 Befestigung des Probekörpers und des Laboranaloges in der Universalprüfmaschine

Das Abklopfen mit dem Coronaflex-Gerät (Abb. 2.17) stellt im Gegensatz zu dem Abziehen mit der Universalprüfmaschine eine klinisch verwendete Methode zum Lösen von Provisorien, Kronen und Brücken dar. Per Druckluft wird aus dem Schaft ein Kolben in die Spitze des Kronenabziehers gepresst. Der daraus resultierende kurze Impuls wirkt auf die Struktur des Zementes, zerstört sie schlagartig und hebt dadurch die Haftkraft auf. Man kann das Coronaflex-Gerät mit Hilfe einer Zange, einer Klebeklammer oder einer Schlaufe benutzen. In diesem Teil der Studie wurde mit der Schlaufe gearbeitet, die in den okklusalen Ring der Einzelkrone eingehängt wurde (Abb. 2.18), nachdem der Probekörper in eine Vorrichtung eingespannt wurde (Abb. 2.19). Mit dem druckluftbetriebenen Kronenabzieher wurden dann Impulse auf den Halter der Schlaufe bis zum Lösen der Einzelkrone von dem Abutment ausgeübt. Die Anzahl der Impulse wurden direkt im Anschluss notiert.

Da eine Vorspannung des Coronaflex-Geräts wichtig ist, wurde diese anhand einer Federwaage festgelegt. Dazu wurde die Federwaage an den Ansatz des Geräts gehalten, um den Impuls erst auszulösen, als die gewünschte Vorspannung sichergestellt werden konnte. Im ersten Teil der Studie wurde eine Vorlast von 50 cN auf die Verbindung Restauration - Abutment ausgeübt. Im zweiten Teil der Studie wurde diese Vorspannung auf 400 cN erhöht.



Abb. 2.17 Coronaflex-Gerät

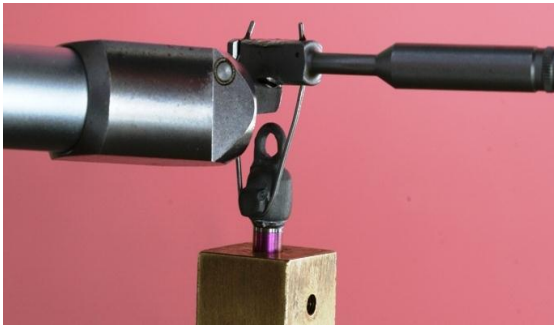


Abb. 2.18 Abklopfen mit dem Coronaflex-Gerät



Abb. 2.19 Eingespannter Probekörper

2.2.9 Statistik

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit „SPSS für Windows“ (Version 17.0; SPSS Inc., Chicago, USA). Da die Daten der Abzugsversuche mit dem Coronaflex-Gerät keine Normalverteilung aufwiesen (Kolmogorov-Smirnov-Test, Shapiro-Wilk-Test), wurden nichtparametrische Tests durchgeführt (Mann-Whitney-U-Test). Die Daten der Abzugsversuche mit der Universalprüfmaschine zeigten eine Normalverteilung. Folglich konnten parametrische Tests angewendet werden (ANOVA, T-Test).

3. Ergebnisse

3.1 Teil 1

3.1.1 Abklopfversuch mit dem Coronaflex-Gerät

In Abbildung 3.1 sind die Abklopfimpulse, die benötigt wurden, um die implantatgetragenen Kronen zu lösen, grafisch dargestellt. Bei der Kurzzeitlagerung konnten für die mit Ketac Cem zementierten Restaurationen Medianwerte von 91 Impulsen ermittelt werden. Für Durelon ergaben sich Werte von 312 Impulsen. Nach der Langzeitlagerung lagen für die Ketac Cem-Gruppe Medianwerte von 99 Impulsen und für die Durelon-Gruppe von 311 vor.

In Tabelle 7.1 sind die Mediane, 25. Perzentile, 75. Perzentile, Minimal- und Maximalwerte der erhaltenen Impulse bis zur Lösung der implantatgetragenen Kronen während des Abklopfversuches nach der Kurzzeitlagerung (3 d) in den einzelnen Zementgruppen dargestellt. Keine der Kronen löste sich während der Lagerung spontan. In Tabelle 7.2 sind die Mediane, 25. Perzentile, 75. Perzentile, Minimal- und Maximalwerte der erhaltenen Impulse bis zur Lösung der implantatgetragenen Kronen während des Abklopfversuches nach der Langzeitlagerung (150 d) in den einzelnen Zementgruppen dargestellt. Keine der Kronen löste sich während der Lagerung spontan.

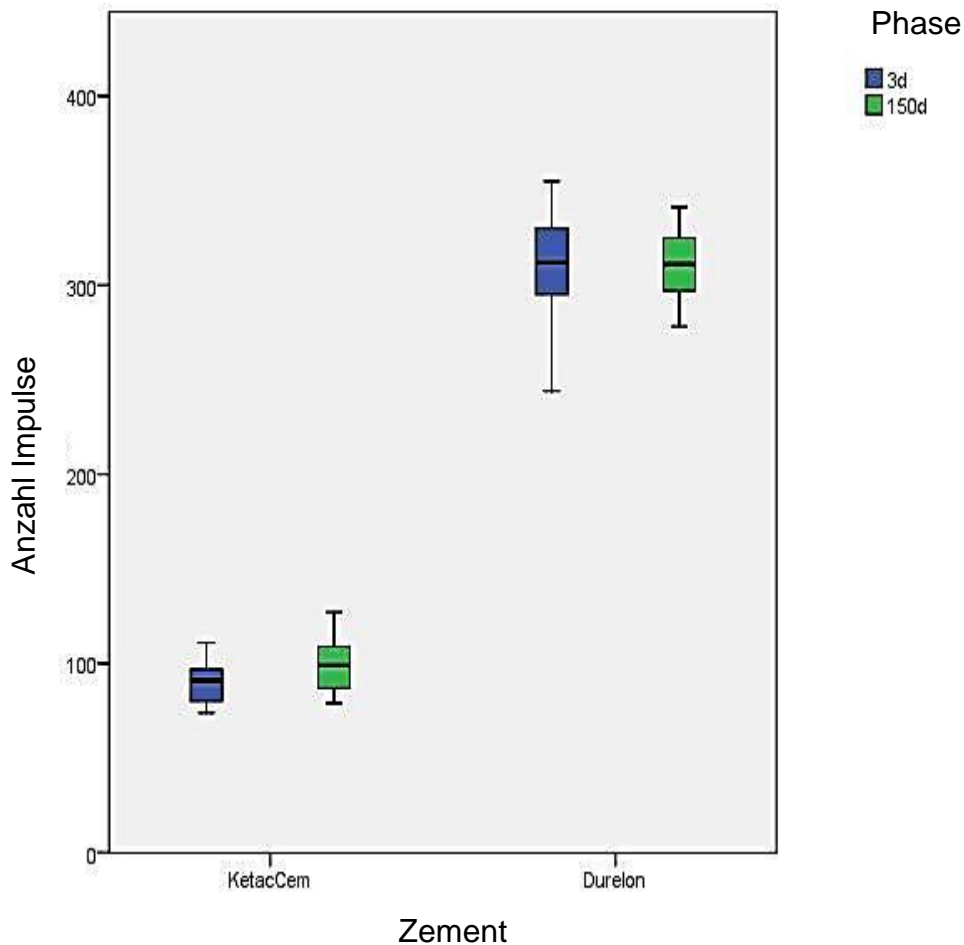


Abb. 3.1 Benötigte Impulse bis zur Lösung der zementierten implantatgetragenen Kronen im Abklopferversuch.

Lagerung 3 Tage ohne Temperaturwechsellast (TWL), 150 Tage mit 37.500 TWL.

3.1.2 Abzugsversuch mit der Zwick-Universalprüfmaschine

In Abbildung 3.2 sind die Ergebnisse der im Zugtest erhaltenen Abzugskräfte bis zur Lösung der zementierten implantatgetragenen Kronen grafisch dargestellt. Bei der Kurzzeitlagerung konnte für die mit Ketac Cem zementierten Restaurationen ein Medianwert von 292,1 N ermittelt werden. Für Durelon ergab sich ein Wert von 555,8 N. Nach der Langzeitlagerung lag für die Ketac Cem-Gruppe ein Medianwert von 264,2 N und für die Durelon-Gruppe von 471,9 N vor.

In Tabelle 7.3 sind die Mediane, 25. Perzentile, 75. Perzentile, Minimal- und Maximalwerte der erhaltenen Abzugskräfte der implantatgetragenen Kronen während des Zugtests nach der Kurzzeitlagerung (3 d) in den einzelnen Zementgruppen dargestellt. Keine der Kronen löste sich während der Lagerung spontan. In Tabelle

7.4 sind die Mediane, Minimal- und Maximalwerte der erhaltenen Abzugskräfte der implantatgetragenen Kronen während des Zugtests nach der Langzeitlagerung (150 d) in den einzelnen Zementgruppen dargestellt. Keine der Kronen löste sich während der Lagerung spontan.

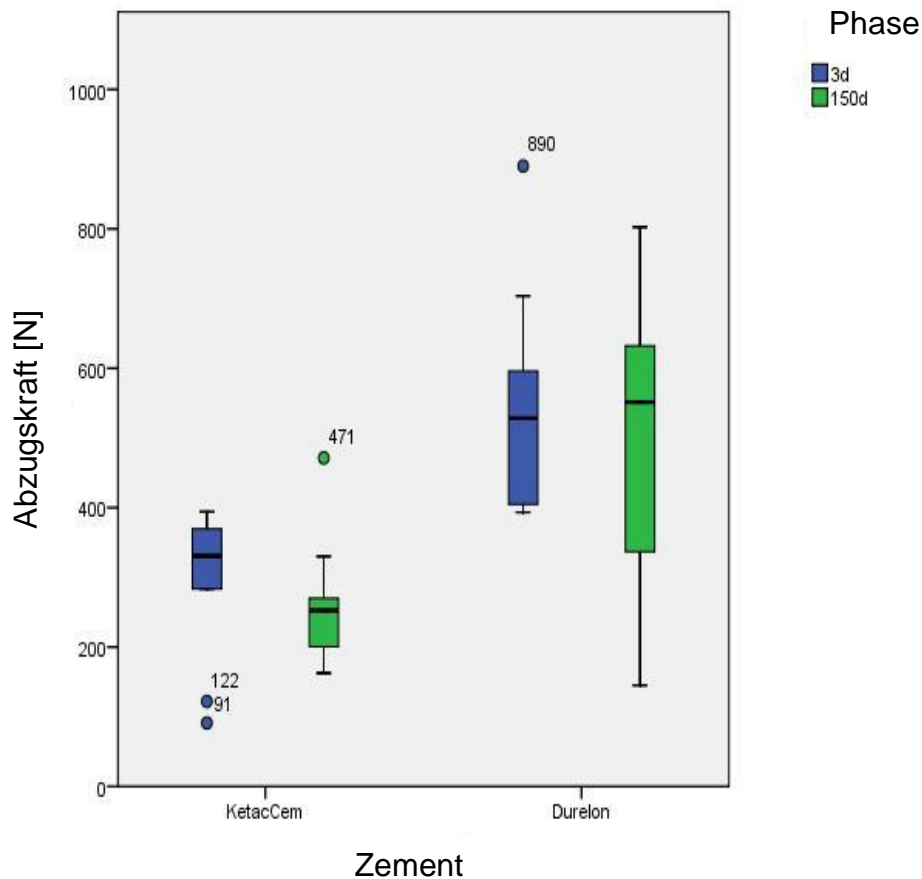


Abb. 3.2 Abzugskraft bis zur Lösung der zementierten implantatgetragenen Kronen im Zugtest. Abzugskraft in N, Lagerung 3 Tage ohne Temperaturwechsellast (TWL), 150 Tage mit TWL (37.500 Zyklen)

3.1.3 Auswertung Teil 1

Nach der Kurzzeitlagerung konnten nach den Abklopfversuchen mit der Coronaflex folgende Medianwerte ermittelt werden: für Ketac Cem 91 Impulse und für Durelon 312 Abklopfimpulse. Die Langzeitlagerung ergab für die Ketac Cem-Gruppe einen Medianwert von 99 Impulsen und für die Durelon-Gruppe einen Wert von 311. Die Abzugsversuche mit der Zwick-Universalprüfmaschine ergaben nach der

Kurzzeitlagerung für die mit Ketac Cem zementierten Restaurationen einen Medianwert von 292,1 N, für Durelon 555,8 N. Die Auswertung der Medianwerte nach der Langzeitlagerung zeigte für Ketac Cem einen Wert von 264,2 N und für Durelon 471,9 N. In Tabelle 7.5 sind die Mediane, Minimal- und Maximalwerte der erhaltenen Ergebnisse während der Abzugsversuche nach unterschiedlicher Lagerungsdauer dargestellt.

Die Auswertung der Passungengenauigkeiten erfolgte anhand von 20 zufällig ausgewählten Probekörpern. Für den Hauptteil der Krone ergaben sich Diskrepanzen von $87 \mu\text{m} \pm 22 \mu\text{m}$. Im Randbereich konnten Werte von $102 \mu\text{m} \pm 42 \mu\text{m}$ festgestellt werden.

3.1.4 Statistische Auswertung

Die Tests der Daten für die Abklopfversuche auf eine normale Verteilung hin zeigten, dass diese von einer Normalverteilung signifikant abwichen (Kolmogorov-Smirnov-Test und Shapiro-Wilks-Test, $P > 0,05$). Aus diesem Grund wurden für die Analyse dieser Daten nichtparametrische Testverfahren angewendet. Bei der Abzugsmethode mit dem Coronaflex-Gerät wurde anhand des Kruskal-Wallis- und des Mann-Whitney U-Tests der Einfluss von Zement, Lagerungsart, Lagerungsintensität und Ultraschallbelastung auf die Zielgröße Impulse auf signifikante Unterschiede hin getestet (Tabelle 3.1). Die Daten der Abzugsversuche mit der Universalprüfmaschine wiesen eine Normalverteilung auf (Kolmogorov-Smirnov-Test und Shapiro-Wilks-Test) und konnten mittels univariater Varianzanalyse (ANOVA) und T-Tests analysiert werden (Tabelle 3.2).

Tabelle 3.1 Statistische Auswertung der Abzugsversuche mit dem Coronaflex-Gerät (Kruskal-Wallis- und Mann-Whitney U-Test).

Coronaflex- Gerät				
Zement	Lagerung	Vergleich	Bonferroni-Holm-Korrektur	p-Wert
1. Ketac Cem	3 d	1 x 2	0,0083	0,182
2. Ketac Cem	150 d			0,88
3. Durelon	3 d	3 x 4		<0,0001*
4. Durelon	150 d			
Ketac Cem- Durelon		1 x 3, 2 x 4		

*: signifikant ($P \leq 0,05$)

Tabelle 3.2 Statistische Auswertung der Abzugsversuche mit der Universalprüfmaschine (ANOVA und des T-Test).

Zwick-Universalprüfmaschine		
Zement	Bonferroni-Holm-Korrektur	p-Wert
Ketac Cem 3 d vs. Ketac Cem 150 d	0,025	0,68
Durelon 3 d vs. Durelon 150 d		0,46
Ketac Cem 3 d vs. Durelon 3 d		0,003*
Ketac Cem 150 d vs. Durelon 150 d		0,045*
Ketac Cem vs. Durelon		<0,0001*

*: signifikant ($P \leq 0,05$)

Bei beiden Abzugsmethoden waren die mit Ketac Cem zementierten Probekörper signifikant leichter zu lösen als die mit Durelon zementierten Restaurationen ($P \leq 0,0001$). Nach der Kurzzeitlagerung war lediglich bei der Abzugsmethode mit der Universalprüfmaschine ein signifikanter Unterschied zwischen Ketac Cem und Durelon nachweisbar ($P \leq 0,05$). Nach der Langzeitlagerung konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Zementen festgestellt werden ($P > 0,05$). Das Thermocycling wies keinen signifikanten Einfluss auf die Retention der Zemente auf ($P > 0,05$).

3.2 Teil 2

3.2.1 Auswertung der Ultraschallbelastung

In Phase I erfolgte nach der Kurzzeitlagerung (3 Tage) das Abklopfen der zementierten Probekörper aus der Kontrollgruppe. Die Auswertung der Ergebnisse ergab für Ketac Cem einen Medianwert von 2 Impulsen und für Durelon einen Wert von 19 Impulsen. Die andere Gruppe wurde für 5 Minuten mit 500 g ultraschallbelastet. Es konnte für Ketac Cem ein Medianwert von 5 Impulsen und für Durelon ein Wert von 16 Abklopfimpulsen ermittelt werden. In Tabelle 7.6 sind die Mediane, 25. Perzentile, 75. Perzentile, Minimal- und Maximalwerte der erhaltenen Impulse bis zur Lösung der implantatgetragenen Kronen während des Abklopfversuches nach der Kurzzeitlagerung (3 d) und der Ultraschallbelastung (5 min, 500 g) in den einzelnen Zementgruppen dargestellt. Keine der Kronen löste sich während der Lagerung spontan.

In Phase II wurde die Dauer der Ultraschallbelastung auf 10 Minuten bei 500 g Gewicht verlängert. In der Kontrollgruppe konnten für die Ketac Cem-Gruppe Medianwerte von 4 Impulsen und für die Durelon-Gruppe ein Wert von 19 ermittelt werden. Für die ultraschallbelastete Gruppe ergab sich ein Medianwert von 4 Abklopfimpulsen für Ketac Cem und 23 Impulse für Durelon. In Tabelle 7.7 sind die Mediane, 25. Perzentile, 75. Perzentile, Minimal- und Maximalwerte der erhaltenen Impulse bis zur Lösung der implantatgetragenen Kronen während des Abklopfversuches nach der Kurzzeitlagerung (3 d) und der Ultraschallbelastung (10 min, 500 g) in den einzelnen Zementgruppen dargestellt. Zusätzlich ist die Nummerierung der ausgewechselten Abutmentschrauben angegeben. Keine der Kronen löste sich während der Lagerung spontan.

In Phase III wurde das Gewicht der Ultraschallbelastung auf 50 g für 10 Minuten reduziert. In dieser Phase gab es keine Kontrollgruppe, sondern nur die ultraschallbelastete Gruppe. Die Ergebnisse zeigten für Ketac Cem einen Medianwert von 4 Impulsen und für Durelon einen Wert von 37 Abklopfimpulsen. In Tabelle 7.8 sind die Mediane, 25. Perzentile, 75. Perzentile, Minimal- und Maximalwerte der erhaltenen Impulse bis zur Lösung der implantatgetragenen Kronen während des Abklopfversuches nach der Kurzzeitlagerung (3 d) und der Ultraschallbelastung (10 min, 50 g) in den einzelnen Zementgruppen dargestellt. Keine der Kronen löste sich während der Lagerung spontan.

3.2.2 Auswertung der Vorlast

In Abbildung 3.3 sind die Ergebnisse der ermittelten Impulse während des Abklopversuches mit veränderter Vorlast bis zur Lösung der implantatgetragenen Kronen grafisch dargestellt. Nach der Kurzzeitlagerung (3 Tage) wurden die Probekörper im ersten Teil der Studie vor dem Abklopfen mit dem Coronaflex-Gerät mit 50 cN belastet, im zweiten Teil der Studie mit 400 cN. Die Auswertung der Ergebnisse zeigte im ersten Teil der Studie für Ketac Cem einen Medianwert von 91 Impulsen und für Durelon einen Wert von 312 Abklopfimpulsen. Im zweiten Teil der Studie konnte für die Ketac Cem-Gruppe ein Medianwert von 4 Impulsen und für die Durelon-Gruppe von 19 Impulsen ermittelt werden.

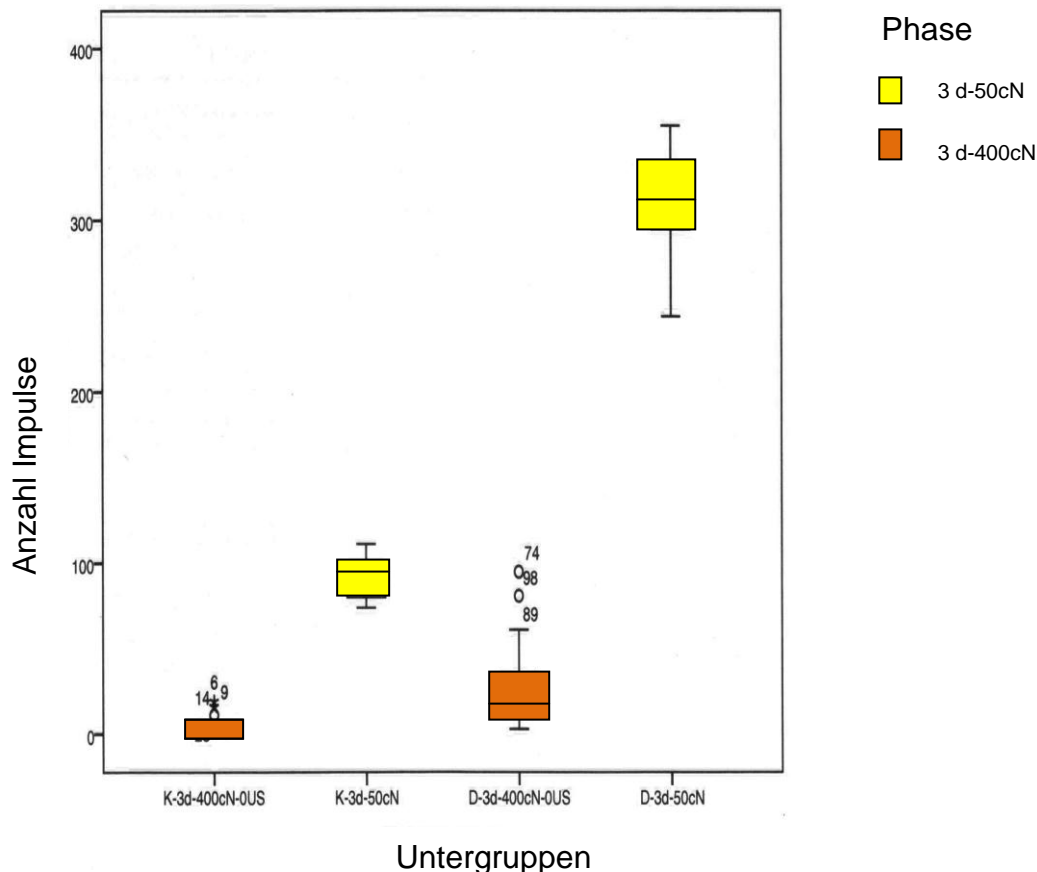


Abb. 3.3 Benötigte Impulse bis zur Lösung der zementierten implantatgetragenen Kronen im Abklopversuch.

Lagerung 3 Tage ohne Temperaturwechsellast (TWL), ohne Ultraschallbelastung, Vorlast 50 cN und 400 cN

3.2.3 Auswertung der REM-Aufnahmen

Auf den rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen der ausgewechselten Abutmentschrauben konnten keine Abnutzungserscheinungen nachgewiesen werden. Die Abstände der einzelnen Windungen vor und nach Belastung blieben gleich (Abb. 3.4 a-d). Unterschiede in den Messungen sind eher den Messungenauigkeiten zuzuschreiben.

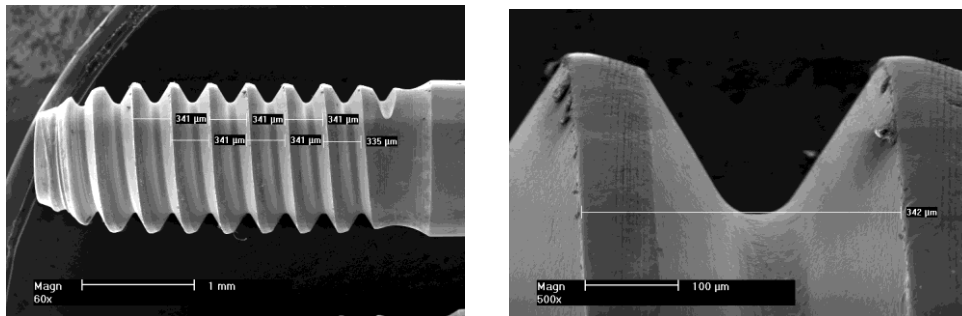
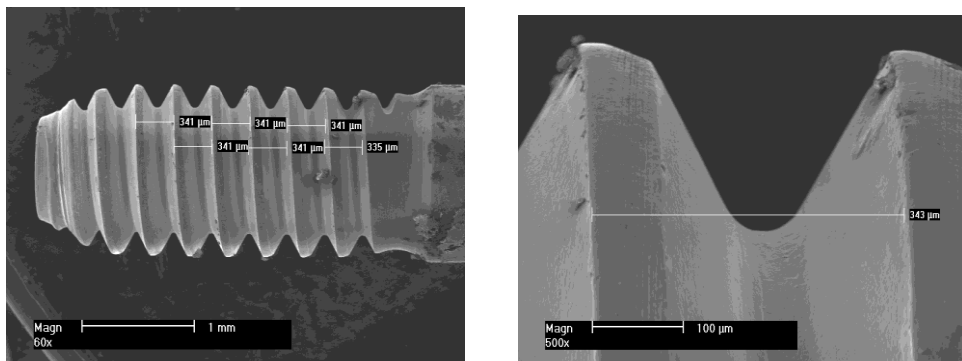


Abb.: 3.4

a) Schraube vor Belastung

b) Windung vor Belastung



c) Schraube nach Belastung

d) Windung nach Belastung

3.2.4 Statistische Auswertung

Die Tests der Daten für die Abklopfversuche auf eine normale Verteilung hin zeigten, dass diese von einer Normalverteilung signifikant abwichen (Kolmogorov-Smirnov-Test und Shapiro-Wilks-Test, $P > 0,05$, Tab. 7.6-7.8). Aus diesem Grund wurden für die Analyse dieser Daten nichtparametrische Testverfahren angewendet. Bei der Abzugsmethode mit dem Coronaflex-Gerät wurde anhand des Kruskal-Wallis- und des Mann-Whitney U-Tests der Einfluss von Zement, Belastungsdauer und Intensität und der Einfluss der Vorlast auf die Zielgröße Impulse auf signifikante Unterschiede hin getestet (Tabelle 3.3).

Tabelle 3.3 Statistische Auswertung der Abzugsversuche mit dem Coronaflex-Gerät (Kruskal-Wallis- und des Mann-Whitney U-Test).

Gruppe		n	Vergleich	Bonferroni-Holm-Korrektur	p- Wert
Zement	Ketac Cem	72	1 x 2		<0,0001*
	Durelon	72			
Ultraschallbelastung	1. Ketac Cem ohne US	27	1 x 2	0,006	0,85
	2. Ketac Cem 5 min US	9	1 x 3		0,38
	3. Ketac Cem 10 min US	9	2 x 3		0,63
	4. Durelon ohne US	27	4 x 5		0,85
	5. Durelon 5 min US	9	4 x 6		0,71
	6. Durelon 10 min US	9	5 x 6		0,97
	Ketac Cem vs. Durelon	18	1x4,2x5,3x6		<0,006*
Belastungsintensität	1. Ketac Cem 50 g	9	1 x 2	0,0083	1
	2. Ketac Cem 500 g	9			
	3. Durelon 50 g	9	3 x 4		0,79
	4. Durelon 500 g	9			
	Ketac Cem vs. Durelon	18	1 x 3, 2 x 4		<0,003*
Vorlast	1. Ketac Cem 50 cN	27	1 x 2	0,0125	<0,0001*
	2. Ketac Cem 400 cN	9			
	3. Durelon 50 cN	27	3 x 4		<0,0001*
	4. Durelon 400 cN	9			
	Ketac Cem vs. Durelon		1 x 3, 2 x 4		<0,0001*

*: signifikant ($P \leq 0,05$)

Die mit Ketac Cem zementierten Probekörper waren signifikant leichter zu lösen als die mit Durelon zementierten Restaurationen ($P \leq 0,0001$). Weder die Dauer der Ultraschallbelastung noch deren Intensität hatten einen signifikanten Einfluss auf die Retention der zementierten Suprakonstruktionen ($P > 0,05$). Unterschiedliche Vorlasten resultierten in einer signifikant unterschiedlichen Anzahl der zum Lösen der Krone benötigten Abklopffversuche ($P \leq 0,0001$). Vor allem die Vorlast von 400 cN resultierte in einer signifikant geringeren Anzahl von Impulsen bei den Abzugsversuchen mit dem Coronaflex-Gerät.

4. Diskussion

Das Verfahren, Retentionskräfte zementierter implantatgetragener Einzelkronen mittels Abzugsversuchen in vitro zu bestimmen, ist eine gängige Methode (Michalakis et al. 2000, Pan & Lin 2005, Sheets 2008). Da die Zwick-Universalprüfmaschine hinsichtlich ihrer klinischen Anwendung Einschränkungen aufweist, kam in neueren Studien zusätzlich das Coronaflex-Gerät zum Einsatz (Mehl et al. 2008). Beiden Methoden sind gemein, dass sie die Retention mittels direkter Zugkräfte auswerten (Ergin & Gemalmaz 2002). Jedoch ist ein direkter Vergleich mit ähnlichen Studien erschwert, da zum Teil unterschiedliche Methoden und Parameter angewendet wurden (Mehl et al. 2008, Ramp et al. 1999, Tuntiprawon 1999, Wolfart et al. 2006).

Die Retention einer zementierten Restauration wird von diversen Faktoren beeinflusst: von der Zementart, der Viskosität des Zementes, seinen retentiven Eigenschaften, der Größe des Zementspaltes, des passiven Sitzes, den Druck- und Zugkräften, der Struktur der Innenflächen der Suprakonstruktionen sowie der Konizität, des Durchmessers als auch der Höhe des Abutments (Bernal et al. 2003, Karl et al. 2006, Kim et al. 2006, Quek et al. 2006). In der vorliegenden Studie wurde sich auf die labortechnischen Parameter der Zementwahl, der Lagerungszeit und der Ultraschallbelastung beschränkt. Folglich gilt es in nachfolgenden Studien die Abzugskräfte unter anderen Einflussfaktoren zu testen.

Hinsichtlich der Wahl des Zementes bestehen nach wie vor Diskussionen (Mehl et al. 2008, Michalakis et al. 2007, Wolfart et al. 2006). Die Auswahl des Zementes zur Befestigung implantatgetragener Suprakonstruktionen hängt von der Frage ab, wie viel Retention benötigt wird, um die Restauration zuverlässig in situ zu halten und wie wenig Retention die Restauration haben darf, um sie bei Bedarf zerstörungsfrei vom Abutment herunter zu nehmen (Behr 2008). Es können entweder provisorische oder definitive Zemente angewendet werden. In der vorliegenden Studie wurde mit definitiven Zementen gearbeitet, um deren Praxistauglichkeit festzustellen, da durch die klinische Anwendung permanenter Zemente ein geringerer Retentionsverlust beobachtet werden konnte (Mehl et al. 2008). Des Weiteren sollte getestet werden, ob definitive Zemente für eine semipermanente Befestigung implantatgetragener Restaurationen geeignet sind.

4.1 Diskussion der Methodik

Die Vergleichbarkeit der gemessenen Retentionswerte ist von großer Bedeutung. Daher ist ein systematisches Vorgehen sowohl in der Vorbereitungsphase als auch während des Zementierens erforderlich. Bereits geringe Abweichungen in der Ausführung können die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beeinträchtigen (Øilo & Jørgensen 1978).

Ein Nachteil dieser Studie stellt die Rezentierung der Restaurationen dar, da sich die Passung der Suprakonstruktionen eventuell von der in der initialen Phase unterscheidet (Lawson et al. 2007). Die Anzahl der Probekörper sollte in nachfolgenden Studien hinsichtlich einer erwünschten Normalverteilung der Daten erhöht werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Einflüsse der verschiedenen Parameter werden Letztere im Folgenden getrennt voneinander diskutiert.

4.1.1 Anfertigung der Abutments und der Suprakonstruktionen

Das Kürzen der Abutments und das Setzen der Rille geschahen standardisiert mittels einer Parallelisierungsmaschine, in die eine konische Fräse eingespannt war, so dass 36 identische Abutments entstanden sind. Die Abutmentoberfläche wurde nicht abgestrahlt, da dadurch sowohl die Passung als auch die Haftkraft beeinflusst werden würde (Mansour et al. 2002). Sowohl die Konizität als auch die Höhe des Abutments haben einen entscheidenden Einfluss auf die Retention zementierter implantatgetragener Restaurationen (Bernal et al. 2003, Strong et al. 2008), wobei laut einer früheren Studie die Konizität größeren Einfluss auf die Retention hat als die Höhe der Abutments (Bresciano et al. 2005). Mit abnehmender Höhe des Abutments muss auch die Konizität verringert werden. Die Konizität hat weiterhin Einfluss auf die Wahl des möglichen Zementes, denn je geringer die Konizität ist, umso weniger retentiv muss der Zement sein (Bresciano et al. 2005). Beides gilt es in weiterführenden Studien zu untersuchen, da diese Kriterien in dieser Studie nicht berücksichtigt wurden.

Die Herstellung der Suprakonstruktionen erfolgte über eine Dublierform der modellierten Restauration, um das Ziel identischer Kronen zu erreichen (Wichnalek 1999). Obwohl das Vorgehen standardisiert war, können trotzdem Schwankungen bei den Passgenauigkeiten und folglich bei den Ergebnissen auftreten (Albert & EI-

Mowafy 2004). In vergleichbaren Studien hatte jedoch ein Zementspalt von 25 -100 µm keinen signifikanten Einfluss auf die Retention zementierter implantatgetragener Suprakonstruktionen (Juntavee & Millstein 1992). Folglich scheinen geringe Abweichungen in der Passung der Restaurationen durch Produktionsmängel keine Bedeutung für die Retention der Kronen zu haben.

4.1.2 Zementierung

Unabhängig von der Art der Kontamination der zu zementierenden Oberflächen erwies sich das Abstrahlen mit Aluminiumoxidpulver vor dem Zementieren am Geeignetsten (Quaas et al. 2007), um den negativen Einfluss von Speichelkontakt oder der Verwendung von Fließsilikon zu verringern (Müller 1988, Nicholls 1988, Quaas et al. 2007, Yang et al. 2006). Beim Abstrahlen kommt es zu einem Substanzabtrag, aus dem Ungenauigkeiten in der Passung resultieren können (Kern & Thompson 1993, Mehl et al. 2008). Der Einfluss auf die Retention der zementierten Restaurationen ist bisher ungewiss (Kern & Thompson 1993). In dieser Studie wurden lediglich die Innenseiten der Kronen abgestrahlt. Diese Methode entspricht einem klinisch angewendeten Verfahren, das auch bereits in früheren Studien Anwendung fand (Mehl et al. 2008, Wolfart et al. 2006). Ein Grund dafür ist, dass so die Zementreste beim Abnehmen der Restauration an dieser haften und nicht etwa im Munde verbleibenden Abutment. Zudem ist es hinsichtlich subgingivaler Zementüberschüsse sinnvoll, dass die Abutmentoberfläche nicht aufgeraut wird, da die Überschüsse sonst schwierig vollständig zu entfernen sind (Agar et al. 1997). Ein Abstrahlen der Abutments kann allerdings erwünscht sein, wenn man bei zu geringer Höhe oder Konizität der Abutments eine größere Retention der Suprakonstruktionen erreichen möchte. Jedoch ist bei einer Gestaltung des Abutments mit 6 mm Höhe und 5° Konizität wie in dieser Studie keine Konditionierung der Oberflächen mit Aluminiumoxid notwendig (Michalakis et al. 2003), sondern diese würde die Abnehmbarkeit übermäßig erschweren (Wolfart et al. 2006). Aufgrund dessen wurden die Abutments in der vorliegenden Studie lediglich im Ultraschallbad gereinigt.

Alle Zementierungen erfolgten mit einem speziellen Zementierungsstempel (Abb. 2.12), der ein standardisiertes Vorgehen mit axialer Belastung und einem definierten Anpressdruck von 50 N ermöglichte (Kern & Thompson 1993). Dieses Verfahren

fand bereits in früheren Studien Verwendung (Mehl et al. 2008, Wolfart et al. 2007, Yang et al. 2008). In einer vorangegangenen Studie konnte nachgewiesen werden, dass ein Zementierungsdruck über 50 N bei einer Dauer von über einer Minute keinen signifikanten Einfluss auf die Reduzierung des Zementspaltes hat (McLean & von Fraunhofer 1971).

Das in dieser In-vitro-Studie angewendete Verfahren gewährleistete in Hinblick auf die applizierte Zementmenge und die Wärmezufuhr standardisierte Bedingungen. Schwankungen in Bezug auf die Zementmenge und die Umgebungstemperatur konnten nicht ausgeschlossen werden. In vorangegangenen Studien konnte nachgewiesen werden, dass die applizierte Zementmenge hinsichtlich der Retention keinen signifikanten Einfluss aufwies (Mehl et al. 2008, Wolfart et al. 2006). Bezüglich der Umgebungstemperatur sollte eine geeignete Vorrichtung entwickelt werden, die die Temperatur konstant hält.

Die Zementierung erfolgte in zwei voneinander unabhängigen Phasen, so dass ein Rezementieren der Suprakonstruktionen erforderlich war. Die Probekörper wurden erneut abgestrahlt, um die Innenflächen von Zementrückständen zu befreien. Dieses stellt eine gängige klinische Methode dar (Gegauff & Rosenstiel 1989, Hembree & Cooper 1979, Mehl et al. 2008). In vorangegangenen Studien konnten verringerte Retentionswerte beobachtet werden (Ayad et al. 1998, Carter & Wilson 1997, Rösel 2004), da durch das wiederholte Abstrahlen der Kronen eine schlechtere Passung und ein größerer Zementspalt entstanden sind (Wolfart et al. 2006). In dieser Studie wurden die Abutments vor dem erneuten Zementieren im Ultraschallbad gereinigt, um die Zementreste zu entfernen, da sonst ein Rezementieren aufgrund von Zementrückständen erschwert gewesen wäre (Squier et al. 2001).

4.1.3 Lagerungsbedingungen

Die Lagerung der Probekörper erfolgte sowohl im Wasserbad mit konstanter Temperatur bei 37°C als auch bei Thermowechselbelastungen zwischen 5°C und 55°C. Das Verfahren der Thermowechselbelastung fand bereits in früheren Studien Anwendung (Dubois et al. 1999, Frankenberger 2002, Juntavee et al. 1992, Rosin et al. 2000). Jedoch ist eine genaue Reproduktion der thermischen Schwankungen im Mund nicht möglich (Michalakis et al. 2007).

In vitro konnten nicht alle Stressfaktoren, wie Kaubelastung und Parafunktionen (Taylor et al. 2000), berücksichtigt werden. In dieser Studie wurden nur der Einfluss der Wasserlagerung und Thermowechselbelastung untersucht, da die genannten Bedingungen zementierte Kronen intraoral beeinflussen. Das Thermocycling simuliert den Alterungsprozess des Zementes (Albert und El-Mowafy 2004), da durch die verschiedenen Wärmeausdehnungskoeffizienten der zementierten Werkstoffe mittels der Thermowechselbelastung Stress auf die Materialien ausgeübt wird (Crim et al. 1985). Jedoch wurde auf den Einfluss intraoraler Kräfte verzichtet, die dynamische, sich wiederholende Belastungen beschreiben (Att et al. 2006) und zu einem Abhebeln der Suprakonstruktion führen können (Kim et al. 2006).

4.1.4 Ultraschallbelastung

Die Anwendung von Ultraschall in der Zahnmedizin beschränkt sich weitestgehend auf die Bereiche der Prophylaxe und der Parodontologie. Dennoch existieren diverse Studien, die über eine Ultraschallbelastung vor der Abnahme einer zementierten Krone berichten (Gomes et al. 2001, Mehl et al. 2008, Wolfart et al. 2006). Allerdings bestehen sowohl hinsichtlich der Belastungsdauer als auch der Belastungsintensität keine einheitlichen Angaben (Bergeron et al. 2001, Olin 1990). Daher wurde für den Applikationsdruck ein Mittelwert von 10 Zahnärzten ermittelt, die auf einer Waage die applizierte Kraft simulierten. Jedoch stellt sich die Frage, ob man aufgrund der individuellen Anpresskraft die Anzahl der Zahnärzte erhöhen sollte, um einen aussagekräftigeren Mittelwert zu erhalten.

In dieser In-vitro-Studie wurden die implantatgetragenen Suprakonstruktionen axial belastet. Dazu wurde der Ansatz des Ultraschallgerätes an der lingualen Rille positioniert. Erhofft wurde durch das Benutzen von Ultraschall eine verringerte Retention und folglich ein erleichtertes Abnehmen der zementierten Probekörper.

4.1.5 Abzugsversuche

Abzugsversuche werden in der Regel mittels direkter Zugkräfte durchgeführt, die zu einer Ablösung der Restauration führen (Ergin & Gemalmaz 2002). Das Zementversagen ereignet sich an der Abutmentoberfläche, die dadurch beschädigt werden kann (Kaar et al. 2006, Pan et al. 2007). Nach visueller Überprüfung der

gelösten Probekörper in dieser Studie konnte man bei Durelon eine gleichmäßige Schicht sowohl auf dem Abutment als auch auf der Kroneninnenseite erkennen, während bei Ketac Cem der größte Anteil der Zementrückstände an der Kroneninnenseite zu erkennen war. In dieser In-vitro-Studie wurde die Retention der Suprakonstruktionen auf den Titanimplantatpfosten anhand zweier Abzugsmethoden getestet. Beide Verfahren erlaubten einen Abzug in Richtung der Achse der Titanimplantatpfosten.

Die Universalprüfmaschine (Zwick) beschreibt ein standardisiertes Vorgehen, bei dem auf den Probekörper eine konstante, lang andauernde Kraft ausgeübt wird. Durch die Kettenaufhängung konnte ein Ausgleich möglicher vorhandener Verdrehungen erzielt werden, wodurch eine axiale Belastung der Zementfuge möglich war (Kern & Thompson 1993) und eine vorzeitige Kraftübertragung auf die Verbundfläche vermieden werden konnte (Rösel 2004). Laut einer vorangegangenen Studie (Wolfart et al. 2006) ist allerdings in Hinblick auf die Praxistauglichkeit ein kurz andauernder Impuls erforderlich. Letzteres wird durch die Anwendung des Coronaflex-Gerätes erreicht.

Eine Einschränkung dieser In-vitro-Studie stellt die starre Metallkonstruktion dar. Die einwirkende Kraft wurde ausschließlich auf die Verbindung Abutment-Restoration übertragen, wodurch eine geringere Retention erwartet wird (Mehl et al. 2008), da die Kräfte bei den Abklopversuchen nicht - wie in vivo zu erwarten - teilweise vom Knochen absorbiert werden (Mehl et al. 2008). Zudem wurden bei den Abzugsversuchen lediglich axiale Zugkräfte auf die Probekörper ausgeübt. In vivo können zusätzlich lateral einwirkende Kräfte zu einem Ablösen der Suprakonstruktionen führen (Mansour et al. 2002). Aufgrund der Dämpfung des Impulses durch die Schlaufe des Coronaflex-Gerätes kann die Kraftübertragung und die Anzahl der benötigten Impulse bis zum Lösen der Restauration beeinflusst werden.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

Die Retention implantatgetragener Suprakonstruktionen wurde bereits in vorangegangenen Studien untersucht (Bresciano et al. 2005, Cameron et al. 2006, Ergin & Gemalmaz 2002, Mehl et al. 2008, Wolfart et al. 2006). Während des manuellen Abzugsversuches mit dem Coronaflex-Gerät wurde hierbei für die mit Ketac Cem zementierten Restaurationen ein Medianwert von 14 Impulsen ermittelt. Für Durelon ergab sich ein Wert von 65 Impulsen (Mehl et al. 2008). In der vorliegenden Studie konnte für Ketac Cem ein Medianwert von 91 Impulsen ermittelt werden, für Durelon ein Wert von 312 Impulsen. Der Abzugsversuch mit der Zwick-Universalprüfmaschine erbrachte für Ketac Cem eine durchschnittliche Abzugskraft von 469 N. Für Durelon lagen Werte von 813 N vor (Wolfart et al. 2006). Die Ergebnisse dieser Studie zeigten für Ketac Cem einen Medianwert von 292,1 N. Für Durelon lag der Medianwert bei 555,8 N.

Die Abweichungen der Ergebnisse voneinander können verschiedene Ursachen haben. Die verwendeten rein chemisch härtenden Zemente müssen während einer begrenzten definierten Verarbeitungszeit eingegliedert werden (Ernst et al. 2008). Unterschiedliche Verarbeitungszeiten können zu Abweichungen der Retentionswerte führen. Weiterhin kann eine frühzeitige Lagerung im Wasserbad direkt nach der Zementüberstands Entfernung zu einer raschen hydrolytischen Degradation des Verbundes von Abutment zu Suprakonstruktion führen, falls diese nicht vollständig abgebunden sind (Ernst et al. 2008). Eine signifikante Reduktion des Haftpotentials könnte eine Folge sein. Eine weitere Fehlerquelle in dieser Studie kann der fehlende Kontakt zu Speichel sein, da die Lagerung der Restaurationen nicht der klinischen Situation entspricht. Variierende Zementspalten durch Abstrahlen oder Passungenauigkeiten in der Herstellung und folglich unterschiedliche Zementmengen können ebenfalls zu einer geringeren Retention der Restaurationen führen.

Die Retention der in dieser Studie zementierten Restaurationen wurde ebenfalls mit den zwei verschiedenen Abzugsmethoden getestet unter dem Aspekt der verschiedenen Zemente und Lagerungszeiten. Die Ergebnisse werden im Folgenden getrennt voneinander diskutiert.

4.2.1 Einfluss der Zemente

Die Retention der implantatgetragenen Suprakonstruktionen ist sowohl von der Wahl des Zementes (Akça et al. 2002, Sheets 2008) als auch von der Größe des Zementspaltes (Mehl et al. 2008) abhängig. Letzteres wurde in dieser Studie vernachlässigt. Es wurde beschrieben, dass eine Varianz des Zementspaltes von 25-100 µm keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Retention der Restaurationen verursacht (Juntavee und Millstein 1992). Jedoch können abweichende Zementspalten eine Erklärung dafür sein, dass bei der statistischen Auswertung der vorliegenden Retentionswerte keine Normalverteilung der Daten vorlag. So können zu geringe Zementspalten zu einer erhöhten Retention bei den Abzugsversuchen führen (Wolfart et al. 2006). Die Varianz der Zementspalten in dieser Studie kann verantwortlich sein für die unterschiedlichen Ergebnisse im Vergleich zu den Studien von Mehl et al. (2008) und Wolfart et al. (2006).

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen bei den Polycarboxylatzementen die höchsten Retentionswerte, die wahrscheinlich auf die adhäsiven Eigenschaften des Zementes zurückzuführen sind (Akça et al. 2002, Mansour et al. 2002). Auch in früheren Studien wurden bei Polycarboxylatzementen im Vergleich zu einem Glasionomerzement höhere Retentionswerte beobachtet (Akça et al. 2002, Mehl et al. 2008, Wolfart et al. 2006), was durch die Ergebnisse dieser Studie erneut belegt werden konnte. Polycarboxylatzemente weisen eine bessere Haftung an glatten Metalloberflächen auf als die übrigen Zemente (Mehl et al. 2008, Øilo & Jørgensen 1978). Die Ablösung während des Abzugsversuches ereignet sich innerhalb des Zementes (kohäsives Versagen). Die Zementreste der von Ketac Cem befanden sich hingegen mehr auf den Innenflächen der Kronen. Glasionomerzemente haben durchaus ein selbstadhäsives Potential (Van Meerbeck et al. 2004). Sie zeigten jedoch in Bezug auf die axiale Widerstandskraft in dieser Studie signifikant geringere Abzugskräfte im Vergleich mit den Polycarboxylatzementen. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit denen vorangegangener Studien (Akça et al. 2002, Mehl et al. 2008, Wolfart et al. 2006). Eine Ursache für die geringere Retention des Glasionomerzementes können die mechanischen Eigenschaften des Zementes sein (Mehl et al. 2008, Wolfart et al. 2006).

4.2.2 Einfluss der Lagerung

Entgegen der Nullhypothese, dass Thermocycling die Retention eines Zementes nicht beeinflusst, ist der Medianwert bei dem Abklopffversuch mit dem Coronaflex-Gerät nach der Langzeitlagerung für Ketac Cem größer als nach der Kurzzeitlagerung. Für Durelon ist er in etwa gleich geblieben. Der Abzugsversuch mit der Zwick-Universalprüfmaschine hingegen ergab für Durelon einen signifikanten Einfluss des Thermocyclings, so dass auch in diesem Fall die Nullhypothese nicht bestätigt werden konnte. In einer früheren Studie konnte ebenfalls ein signifikanter Unterschied der Retentionswerte nach der Thermowechselbelastung beobachtet werden (Michalakis et al. 2007). Die Ursache für unterschiedliche Ergebnisse in dieser Studie kann sein, dass Thermocycling zwar eine gute Alternative für den intraoralen Alterungsprozess darstellt, jedoch eine vollständige Simulation der intraoralen Gegebenheiten nicht stattgefunden hat.

Durch die thermische Wechselbelastung kommt es zu Dimensionsänderungen sowohl im Metall als auch im Zement, wodurch die Retention zementierter Restaurationen beeinflusst werden kann (Michalakis et al. 2007). Allerdings hängt die Retention einer Restauration nicht nur von thermischen Schwankungen ab, sondern auch von der Konizität und der Höhe des Abutments (Strong 2008). Des Weiteren scheinen laut einer vorangegangenen Studie laterale Kräfte einen Einfluss auf die Retention des Zementes zu haben (Pan et al. 2007), was eine mögliche Erklärung für die Ergebnisse nach der Langzeitlagerung sein kann. Während des Thermocyclings wurden keine Kaukräfte auf die Probekörper ausgeübt, die in vivo zu einem Zementversagen beitragen können.

4.2.3 Einfluss der Ultraschallbelastung

Über den Einfluss einer Ultraschallbelastung vor dem Abnehmen zementierter implantatgetragener Kronen sind Studien mit unterschiedlichen Ergebnissen vorhanden (Bergeron et al. 2001, Gomes et al. 2001, Mehl et al. 2008, Olin 1990). Da sowohl die Belastungsdauer als auch die Belastungsintensität variieren, ist ein Vergleich zu den vorliegenden Ergebnissen der aktuellen Studie nur eingeschränkt möglich. Auch der Anpressdruck an der zementierten Restauration ist nicht standardisiert worden.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse konnte die Nullhypothese, dass die Dauer und die Intensität der Ultraschallbelastung keinen Einfluss auf die Abnehmbarkeit implantatgetragener Kronen haben, bestätigt werden. Die ermittelten Medianwerte der Abklopfversuche weisen keinen statistisch signifikanten Unterschied ($p > 0,5$) zwischen der Kontrollgruppe und der Ultraschallgruppe auf, wie auch in der früheren Studie von Mehl et al. (2008). Ähnliche Ergebnisse konnten sowohl bei auf natürlichen Zähnen zementierten Kronen (Dixon et al. 1992, Gomes et al. 2001) als auch auf Metall (Olin 1990) festgestellt werden. In einer anderen Studie hingegen wurde eine verringerte Abzugskraft durch vorherige Ultraschallbelastung beobachtet (Garrido et al. 2009). Möglicherweise ist eine Erklärung dafür, dass in der Studie von Garrido et al. die Probekörper gleichmäßig von allen Seiten mit Ultraschall belastet wurden. In der vorliegenden Studie wurde das Ultraschallgerät lediglich an der lingualen Rille angesetzt. Eine weitere Erklärung dafür, dass in dieser Studie kein signifikanter Einfluss auf die Retentionskraft festgestellt werden konnte, kann sein, dass das Gewicht der Ultraschallbelastung nicht ausreichend groß war.

4.2.4 Einfluss der Vorlast

Der Einfluss einer Vorlast auf intraorale Verbindungen wurde bisher nur in Bezug auf die Abutmentschrauben getestet (Alkan et al. 2004, Byrne et al. 2006, Stüher et al. 2008). Hinsichtlich der Abnehmbarkeit zementierter implantatgetragener Suprakonstruktionen konnten keine Studien gefunden werden. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass vor allem die Vorlast von 400 cN die Retention signifikant verringert. Offensichtlich wurde der Impuls durch die erhöhte Vorlast stärker auf die Probekörper transferiert, wodurch höhere Abzugskräfte entstanden sind und so weniger Abklopfimpulse benötigt wurden.

4.3 Fazit

Die Wahl des geeigneten Zementes basiert größtenteils auf klinischen Erfahrungen (Bresciano et al. 2005). Wenn eine unbedingte Abnehmbarkeit gewünscht ist, sollten provisorische Zemente zur Anwendung kommen (Akça et al. 2002, Covey et al. 2000). Der Vorteil der Abnehmbarkeit wird begleitet von mangelhaften physikalischen Eigenschaften, geringeren Zugkräften und hoher Löslichkeit (Albert & El-Mowafy 2004, Juntavee & Millstein 1992). In vorangegangenen Studien konnte

nachgewiesen werden, dass der Zementierung mit provisorischen Zementen aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften eine verringerte Retention folgte (Michalakis et al. 2007, Wolfart et al. 2006). Zementierte, implantatgetragene Restaurationen zeigen bei der Anwendung von permanenten Zementen ein geringeres Risiko an Retentionsverlust, da permanente Zemente die höchsten Retentionswerte aufweisen (Sheets 2008). Folglich ist eine semipermanente Fixierung wünschenswert, die sowohl eine adäquate Retention als auch eine Abnehmbarkeit erlaubt (Mehl et al. 2008). Die klinische Bedeutung der Retentionswerte bleibt aufgrund der Differenzen zwischen klinischem Vorgehen und den Abzugsversuchen in vitro unklar.

Aufgrund der Ergebnisse zum Einfluss der Vorlast auf die Abnahme der zementierten Restaurationen mit dem Coronaflex-Gerät kann Glasionomerezement am ehesten für die semipermanente Zementierung empfohlen werden. Von essentieller Bedeutung erscheint dabei aber die Anwendung einer möglichst hohen Vorlast vor Auslösen des Abklopfimpulses.

5. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Retention zementierter implantatgetragener Suprakonstruktionen mit unterschiedlichen Zementen und nach unterschiedlicher Lagerungszeit zu evaluieren. Diese Abzugskräfte wurden anhand zweier verschiedener Abzugsmodi ermittelt.

Speziell für den Versuchsaufbau angefertigte Titanabutments (Camlog Biotechnologisches AG, Basel, Schweiz) und individuell hergestellte Suprakonstruktionen aus einer Kobalt-Chrom-Legierung (Wirobond, Bego, Bremen, Deutschland) wurden in zwei Gruppen aufgeteilt. Alle Probekörper wurden vor der Zementierung mit Aluminiumoxid (50 µm, 2,5 bar) abgestrahlt und mit 96-%igem Alkohol im Ultraschallbad gereinigt. Anschließend erfolgte die Zementierung in zwei verschiedenen Gruppen. Die eine Hälfte der Probekörper wurde mit Glasionomierzement (Ketac Cem, 3M Espe, Seefeld, Deutschland) zementiert, die andere Hälfte wurde mit Polycarboxylatzement (Durelon, 3M Espe) befestigt. Alle Proben wurden mit einem speziellen Zementierungstempel (50 N, 10 min) zementiert.

Die Proben wurden in der ersten Phase für 3 Tage in einem 37°C Wasserbad mit destilliertem Wasser gelagert. Anschließend wurde die Retention in den Abzugsversuchen evaluiert. Die beiden Zementgruppen wurden jeweils in zwei Untergruppen aufgeteilt. Im Anschluss erfolgten die Abzugsversuche mit der Zwick-Universalprüfmaschine und dem Coronaflex-Gerät. Im ersten Teil der Studie wurde bei den Abklopffversuchen das Coronaflex-Gerät mit einer Vorlast von 50 cN belastet. Die Retention nach der Kurzzeitlagerung lag in der Glasionomierzement-Gruppe für das Coronaflex-Gerät bei 91 Impulsen und für die Polycarboxylatzement-Gruppe bei 312 Impulsen. Der Zugtest mit der Zwick-Universalprüfmaschine ergab für die Glasionomierzement-Gruppe einen Wert von 330 N und für die Polycarboxylatzement-Gruppe eine Abzugskraft von 528 N.

Nach der Rezementierung der Probekörper in derselben Weise wie oben beschrieben, erfolgte die Lagerung in der zweiten Phase über ein Thermocycling mit 37.500 Thermolastwechseln (5°C und 55°C). Auch die Abzugsversuche wurden wie bereits erwähnt durchgeführt. Der Abklopftest (Coronaflex-Gerät) nach der zweiten Phase ergab für die Glasionomierzement-Gruppe einen Wert von 99 Impulsen und für die Polycarboxylatzement-Gruppe 311 Impulse. Die Werte für die

Universalprüfmaschine (Zwick) brachten für die Glasionomierzement-Gruppe eine Abzugskraft von 252 N hervor und für die Polycarboxylatzement-Gruppe 551 N. Im zweiten Teil der Studie wurden die Probekörper nach Zementierung und anschließender dreitägiger Lagerung im Wasserbad vor dem Auseinanderklopfen mit dem Coronaflex-Gerät mit Ultraschall belastet. Zusätzlich wurde die Vorlast des Coronaflex-Geräts auf 400 cN erhöht. In der ersten Phase erfolgte diese Ultraschallbelastung für 5 Minuten bei einer Kraft von 500 g. Der Medianwert für die Glasionomierzement-Gruppe lag bei 5 Impulsen, der für die Polycarboxylatzement-Gruppe bei 16. In der nächsten Phase wurde die Belastungszeit auf 10 Minuten erhöht, wonach für den Glasionomierzement ein Wert von 4 Impulsen und für den Polycarboxylatzement von 23 Impulsen zu verzeichnen war. In der letzten Phase wurde die Kraft der Belastung auf 50 g verringert. Hier ergab sich für die Glasionomierzement-Gruppe ein Medianwert von 4 Impulsen und für die Polycarboxylatzement-Gruppe ein Wert von 37 Impulsen bis zur Lösung der Kronen. Insgesamt zeigte sich in der vorliegenden Studie, dass die Retentionskraft für Polycarboxylatzement signifikant größer ist als für Glasionomierzement. Die Werte blieben auch nach 150 tägiger Lagerung mit 37.500 Thermolastwechseln stabil, so dass man zu dem Schluss kommen kann, dass Thermocycling keinen signifikanten Einfluss auf die Retention ausübt. Auch die Ultraschallbelastung konnte keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der benötigten Impulse bis zur Lösung der Suprakonstruktion verzeichnen. Die Ergebnisse bezüglich der veränderten Vorlast zeigten vor allem bei der erhöhten Vorspannung von 400 CN eine signifikant verringerte Anzahl benötigter Abklopfimpulse. Hinsichtlich der Abnehmbarkeit mit einem klinisch angewendeten Abzugsgesetz empfiehlt sich aufgrund der semipermanenten Befestigung die Anwendung von Glasionomierzement für die Zementierung implantatgetragener Suprakonstruktionen, während Polycarboxylatzement für permanente Zementierungen verwendet werden sollte.

5.1 Summary

The aim of this in-vitro study was to evaluate the retention of implant-supported crowns after cementation with several cements and after different periods of water storage and thermal cycling. The retention forces were tested by two different methods of deduction.

Modified titanium abutments (Camlog Biotechnologies, Basel, Switzerland) and individual fabricated single crowns by a cobalt-chromium-alloy (Wirobond, Bego, Bremen, Germany) have been used and were divided into two groups. All restorations were air-abraded before cementation with alumina particles (50 µm, 0.25 MPa) and cleaned ultrasonically in 96% alcohol. Afterwards the specimens were cemented in two different groups. Half of the test specimens were cemented with glass-ionomer cement (Ketac Cem, 3M Espe, Seefeld, Germany) while the other half was cemented with polycarboxylate cement (Durelon, 3M Espe). All test specimens were cemented with a 50 N load.

In the first phase of the study the samples were stored in 37°C water distilled water bath for 3 days. Subsequently the retention forces were tested by in tension. Tensile testing was performed with a universal testing machine (Zwick) and a clinically used removal device (Coronaflex). In the first part of this study the removal device was used with a preload of 50 cN measured with a calliper. Glass-ionomer cement specimens could be removed averaging 91 impulses and polycarboxylate cement group specimens using 312 impulses with the removal device. Glass-ionomer cement specimens needed a mean of 330 N and polycarboxylate cement specimens a mean of 528 N to debond the cemented crowns during tensile testing in the universal testing machine.

In the second phase of this study thermocycling of 150 days with 37.500 thermal cycles (5°C and 55°C) was performed followed by tensile tests and dynamic removal with the removal device. Glass-ionomer cement specimens could be removed averaging 99 impulses and polycarboxylate cement group specimens using 311 impulses. Glass-ionomer cement specimens needed a mean of 252 N and polycarboxylate cement specimens a mean of 551 N to debond the cemented crowns during tensile testing in the universal testing machine.

In the second part of this study the influence of ultrasonic stress on the retrievability of cemented implant crowns was evaluated using the removal device after

cementation and 3 d storage with an increased preload of 400 cN. In the first phase the specimens were subjected to ultrasonic loading for 5 minutes with a weight of 500 g. For the retrieval of the glass-ionomer cement specimens with the removal device 5 impulses were needed and for the polycarboxylate cement group 16 impulses. In the next phase the duration of the ultrasonic loading was changed to 10 minutes, resulting in 4 impulses for the glass-ionomer cement group and 23 impulses for the polycarboxylate cement group. In the last phase the specimens were subjected to ultrasonic stress for 10 minutes but with a preloading weight of 50 g. Specimens from the glass-ionomer cement group needed 4 impulses and for the polycarboxylate cement group 37 impulses to be retrieved.

The present study showed that polycarboxylate cement offered a significantly higher retention than glass-ionomer cement. The retention was unaffected by a 150 day thermal cycling protocol. Ultrasonic stress did not reduce the retention values or removal attempts suggesting that ultrasonic loading is not suitable to ease the retrieval of implant cemented crowns. Using a higher preload resulted in reduced number of removal attempts. In conclusion glass-ionomer cement can be recommended for semipermanent cementation of implant-supported single crowns, while polycarboxylate cement might serve for permanent cementation.

6. Literaturverzeichnis

- Agar, J.R., Cameron, S. M., Hughbanks, J. C., Parker, M. H.: *Cement removal from restorations to titanium abutments with simulated subgingival margins*. J Prosthet Dent, 1997. **78**: 43-47.
- Akça, K., Iplikcioglu, H., Cehreli, M. C.: *Comparison of uniaxial resistance forces of cements used with implant-supported crowns*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2002. **17**: 536-542.
- Albert, F.E., El-Mowafy, O. M.: *Marginal adaption and microleakage of Procera AllCeram crowns with four cements*. Int J Prosthodont, 2004. **17**: 529-535.
- Alkan, I., Sertgöz, A., Ekici, B.: *Influence of occlusal forces on stress distribution in preloaded dental implant screws*. J Prosthet Dent, 2004. **91**: 319-325.
- Artzi, Z., Dreiangel, A.: *A screw lock for single-tooth implant superstructures*. J Am Dent Assoc, 1999. **130**: 677-682.
- Assenza, B., Scarano, A., Giulio, L., Carusi, G., Thams, U., San Roman, F., Piattelli, A.: *Screw- vs. cement-retained restorations: an experimental study in the beagle. Part I. Screw and abutment loosening*. J Oral Implantol, 2005. **31**: 242-246.
- Assenza, B., Artese, L., Scarano, A., Rubini, C., Perrotti, V., Piatelli, M., Thams, U., San Roman, F., Piccirilli, M., Piatelli, A.: *Screw vs. cement-implant-retained restorations: An experimental study in the beagle. Part II: Immunohistochemical evaluation of the peri-implant tissues*. J Oral Implantol, 2006. **32**: 1-7.
- Att, W., Kurun, S., Gerds, T., Strub, J.: *Fracture resistance of single tooth-implant supported all-ceramic restorations: An in vitro study*. J Prosthet Dent, 2006. **95**: 111-116.
- Ayad, M.F., Rosenstiel, S.F., Woelfel, K.: *The effect of recementation on crown retention*. Int J Prosthodont, 1998. **11**: 177-182.
- Behr, M.: *Zementierung von festsitzenden Restaurationen auf dentalen Implantaten*. Dtsch Zahnärztl Z, 2008. **63**: 160-162.
- Bergeron, B., Murchison, D., Schindler, W., Walker, W.: *Effect of ultrasonic vibration and various sealer and cement combinations on titanium post removal*. J Endod, 2001. **27**: 13-17.
- Berglundh, T., Persson, L., Klinge, B.: *A systematic review of the incidence of biological and technical complications in implant dentistry reported in prospective longitudinal studies of at least 5 years*. J Clin Periodontal, 2002. **29**: 197-212.

- Bernal, G., Okamura, M., Munoz, C.: *The effects of abutment taper, length and cement type on resistance to dislodgement of cement-retained, implant-supported restorations*. Int J Prosthodont, 2003. **12**: 111-115.
- Bozkaya, D., Muftu, S., Muftu, A.: *Evaluation of load transfer characteristics of five different implants in compact bone at different load levels by finite elements analysis*. J Prosthet Dent, 2004. **92**: 523-530.
- Brägger, U., Aeschlimann, S., Bürgin, W., Hämmerle, C. H. F., Lang, N. P.: *Biological and technical complications and failures with fixed partial dentures (FPD) on implants and teeth after four to five years of function*. Clin Oral Impl Res, 2001. **12**: 26-34.
- Brägger, U., Krenander, P., Lang, N.P.: *Economic aspects of single-tooth replacement*. Clin Oral Impl Res, 2005. **16**: 335-341.
- Breeding, L.C., Dixon, D. L., Bogacki, M. T., Tietge, J. D.: *Use of luting agents with an implant system: Part I*. J Prosthet Dent, 1992. **68**: 737-741.
- Bresciano, M., Schierano, G., Manzella, C., Screit, A., Bignardi, C., Preti, G.: *Retention of luting agents on implant abutments of different height and taper*. Clin Oral Impl Res, 2005. **16**: 594-598.
- Byrne, D., Jacobs, S., O'Connell, B., Houston, F., Claffey, N.: *Preloads generated with repeated tightening in the three types of screw used in dental implants assemblies*. J Prosthodont, 2006. **15**: 164-171.
- Cameron, S.M., Morris, W. J., Keese, S. M., Barsky, T. B., Parker, M. H.: *The effect of preparation taper on the retention of cemented cast crowns under lateral fatigue loading*. J Prosthet Dent, 2006. **95**: 456-461.
- Carter, S., Wilson, P.R.: *The effects of die spacing on post-cementation crown elevation and retention*. Aust Dent J, 1997. **42**: 192-198.
- Chee, W., Torbati, A., Albouy, J. P.: *Retrievable cemented implant restorations*. Int J Prosthodont, 1998. **7**: 120-125.
- Chee, W., Felton, D. A., Johnson, P. F., Sullivan, D. Y.: *Cemented versus screw-retained implant prostheses: which is better?* Int J Oral Maxillofac Implants, 1999. **14**: 137-141.
- Chee, W., Jivray, S.: *Screw versus cemented implant supported restorations*. British Dent J, 2006. **201**: 501-507.
- Christensen, G. J.: *Glass ionomer as a luting material*. J Am Dent Assoc, 1990. **120**: 59-62.

- Cibirka, R.M., Nelson, S. K., Lang, B. R., Rueggeberg, F. A.: *Examination of the implant-abutment interface after fatigue testing*. J Prosthet Dent, 2001. **85**: 268-275.
- Clayton, G.H., Driscoll, C. F., Hondrum, S. O.: *The effect of luting agents on the retention and marginal adaptation of the CeraOne implant system*. Int J Oral Maxillofac Implants, 1997. **12**: 660-665.
- Covey, D.A., Kent, D. K., Germain Jr, H. A. St., Koka, S.: *Effects of abutment size and luting cement type on the uniaxial retention force of implant-supported crowns*. J Prosthet Dent, 2000. **83**: 344-348.
- Crim, G.A., Swartz, M. L., Phillips, R. W.: *Comparison of four thermocycling techniques*. J Prosthet Dent, 1985. **53**: 50-53.
- Diaz-Aronld, A. M., Vargas, M. A., Haselton, D.R.: *Current status of luting agents for fixed prosthodontics*. J Prosthet Dent, 1999. **81**: 135-141.
- Dixon, D.L., Breeding, L. C., Lilly, K. R.: *Use of luting agents with an implant system: part II*. J Prosthet Dent, 1992. **68**: 885-890.
- Doerr, J.: *Simplified technique for retrieving cemented implant restorations*. J Prosthet Dent, 2002. **88**: 352-353.
- Drago, C.J.: *A clinical study of the efficacy of gold-tite square abutment screws in cement-retained implant restorations*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2003. **18**: 273-278.
- Dubois, R.J., Kyriakakis, P., Weiner, S., Vaidyanathan, T.K.: *Effects of occlusal loading and thermocycling on the marginal gaps of light-polymerized and autopolymerized resin provisional crowns*. J Prosthet Dent, 1999. **82**: 161-166.
- Ergin, S., Gemalmaz, D.: *Retentive properties of five different luting cements on base and noble metal copings*. J Prosthet Dent, 2002. **88**: 491-497.
- Erneklint, C., Ödmann, P., Örtengren, U., Karlsson, S.: *An in vitro load evaluation of a conical implant system with 2 abutment designs and 3 different retaining-screw alloys*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2006. **21**: 733-737.
- Ernst, C.P., Schattenberg, A., Stender, E., Willershausen, B.: *In-vitro-Retentionskräfte bei selbstadhäsiver Befestigung von Zirkonoxid-Kronen*. Dtsch Zahnärztl Z, 2008. **63**: 623-631.
- Frankenberger, R.: *Zur Haftung eines neuen Universalzementes*. Tagungsbeitrag Jahrestagung der DGZMK, 2002.
- Garrido, A.D.B., Oliveira, A.G., Osorio, J.E.V., Silva-Sousa, Y.T.C., Sousa-Neto, M.D.: *Evaluation of several protocols for the application of ultrasound during the*

- removal of cast intraradicular posts cemented with zinc phosphate cement.* Int Endodont J, 2009. **42**: 609-613.
- Gegauff, A.G., Rosenstiel, S.F.: *Reassessment of die-spacer with dynamic loading during cementation.* J Prosthet Dent, 1989. **61**: 655-658.
- Gomes, A.P., Kubo, C. H., Santos, R. A., Santos, D. R., Padilha, R. Q.: *The influence of ultrasound on the retention of cast posts cemented with different agents.* Int Endodont J, 2001. **34**: 93-99.
- Hebel, K., Gajjar, R.: *Cement-retained versus screw-retained implant restorations: Achieving optimal occlusion and esthetic in implant dentistry.* J Prosthet Dent, 1997. **77**: 28-35.
- Hebel, K., Gajjar, R., Hofstede, T.: *Single-tooth replacement: bridge vs. implant-supported restoration.* J Can Dent Assoc, 2000. **66**: 435-438.
- Heinemann, F., Mundt, T., Biffar, R.: *Retrospective evaluation of temporary cemented, tooth and implant supported fixed partial dentures.* J Cranio-Max Surg, 2006. **34**: 86-90.
- Hembree, J.H, Cooper, E.W: *Effect of die relief on retention of cast crowns and inlays.* Oper Dent, 1979. **4**: 104-107.
- Jung, R., Pjetursson, B., Glauser, R., Zembic, A., Zwahlen, M., Lang, N.: *A systematic review of the 5-year survival and complication rates of implant-supported single crowns.* Clin Oral Impl, 2008. **19**: 119-130.
- Juntavee, N., Millstein, P. L.: *Effect of surface roughness and cement space on crown retention.* J Prosthet Dent, 1992. **68**: 482-486.
- Kaar, D., Oshida, Y., Andres, C. J., Barco, M. T., Platt, J. A.: *The effect of fatigue damage on the force required to remove a restoration in a cement-retained implant system.* Int J Prosthodont, 2006. **15**: 289-294.
- Karl, M., Rosch, S., Graef, F., Taylor, T. D., Heckmann, S. M.: *Static implant loading caused by as-cast metal and ceramic-veneered superstructures.* J Prosthet Dent, 2005. **93**: 324-330.
- Karl, M., Taylor, T. D., Wichmann, M. G., Heckmann, S. M.: *In vivo stress behavior in cemented and screw-retained five-unit implant FPDs.* Int J Prosthodont, 2006. **15**: 20-24.
- Kern, M., Thompson, V.P.: *Sandblasting and silica-coating of dental alloys: volume loss, morphology and changes in the surface composition.* Dent Mater, 1993. **9**: 151-161.

- Kim, Y., Yamashita, J., Shotwell, J. L., Chong, K.-H., Wang, H.-L.: *The comparison of provisional luting agents and abutment surface roughness on the retention of provisional implant-supported crowns*. J Prosthet Dent, 2006. **95**: 450-455.
- Kopzon, V.: *In-vitro Untersuchung des Einflusses von Mischungsabweichungen auf die physikalischen Eigenschaften von Polycarboxylatzementen*. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin an der Medizinischen Fakultät der Universität Regensburg, 2009.
- Lawson, N.C., Burgess, J. O., Mercante, D.: *Crown retention and flexural strength of eight provisional cements*. J Prosthet Dent, 2007. **98**: 455-460.
- Mansour, A., Ercoli, C., Graser, G., Tallents, R., Moss, M.: *Comparitive evaluation of casting retention using the ITI solid abutment with six cements*. Clin Oral Impl Res, 2002. **13**: 343-348.
- May, K.B., Fox, J., Razzoog, M. E., Lang, B. R.: *Silane to enhance the bond between polymethyl methacrylate and titanium*. J Prosthet Dent, 1995. **73**: 428-431.
- Mehl, C., Harder, S., Wolfart, M., Kern, M., Wolfart, S.: *Retrievability of implant retained crowns following cementation*. Clin Oral Impl Res, 2008. **19**: 1304-1311.
- McLean, J.W., von Fraunhofer, J.A.: *The estimation of cement film thickness by an in vivo technique*. Br Dent J, 1971. **3**: 107-111.
- Michalakis, K.X., Pissiotis, A. L., Hirayama, H.: *Cement failure loads of 4 provisional luting agents used for the cementation of implant-supported fixed partial dentures*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2000. **15**: 545-549.
- Michalakis, K.X., Hirayama, H., Garefis, P. D.: *Cement-retained versus screw-retained implant restorations: A critical review*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2003. **18**: 719-728.
- Michalakis, K.X., Pissiotis, A. L., Kang, K., Hirayama, H., Garefis, P. D., Petridis, H.: *The effect of thermal cycling and air abrasion on cement failure loads of 4 provisional luting agents used for the cementation of implant-supported fixed partial dentures*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2007. **22**: 569-574.
- Miyata, T., Kobayashi, Y., Araki, H., Ohto, T., Shin, K.: *The influence of controlled occlusal overload on peri-implant tissue. Part 3: a histologic study in monkeys*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2000. **15**: 425-431.
- Müller, G.: *Etching and silanizing of dental ceramics*. Dtsch Zahnärztl Z, 1988. **7**: 438-441.

- Nicholls, J.I.: *Tensile bond on resin cements to porcelain veneers*. J Prosthet Dent, 1988. **60**: 443-447.
- Nickenig, H.-J., Schäfer, C., Spiekermann, H., *Survival and complication rates of combined tooth-implant-supported fixed partial dentures*. Clin Oral Impl Res, 2006. **17**: 506-511.
- Øilo, G., Jørgensen, K.D.: *The influence of surface roughness on the retentive ability of two dental luting cements*. J Oral Rehab, 1978. **5**: 377-389.
- Øilo, G.: *Bond strength testing-What does it mean?* Int Dent J, 1993. **43**: 492-498.
- Olin, P.: *Effect of prolonged ultrasonic instrumentation on the retention of cemented cast crowns*. J Prosthet Dent, 1990. **64**: 563-565.
- Pan, Y.-H., Lin, C.-K.: *The effect of luting agents on the retention of dental implant-supported crowns*. Chang Gung Med J, 2005. **28**: 403-410.
- Pan, Y.-H., Ramp, L.C., Lin, C.K., Liu, P.-R.: *Retention and leakage of implant-supported restorations luted with provisional cement*. J Oral Rehab, 2007. **34**: 206-212.
- Pjetursson, B.E., Karoussis, I., Bürgin, W., Brägger, U., Lang, N. P.: *Patients' satisfaction following implant therapy. A 10-year prospective cohort study*. Clin Oral Impl Res, 2005. **16**: 185-193.
- Pjetursson, B.E., Tan, W. C., Tan, K., Brägger, U., Zwahlen, M., Lang, N. P.: *A systematic review of the survival and complication rates of resin-bonded bridges after an observation period of at least 5 years*. Clin Oral Impl Res, 2008. **19**: 131-141.
- Preiskel, H.W., Tsolka, P.: *Cement- and screw-retained implant-supported prostheses: up to 10 years of follow-up of a new design*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2004. **19**: 87-91.
- Quaas, A.C., Yang, B., Kern, M.: *Panavia F 2.0 bonding to contaminated zirconia ceramic after different cleaning procedures*. Dent Mater, 2007. **23**: 506-512.
- Quek, C.E., Tan, K.B., Nicholls, J.I.: *Load fatigue performance of a single-tooth implant abutment system: effect of diameter*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2006. **21**: 929-936.
- Ramp, M.H., Dixon, D.L., Ramp, L.C., Breeding, L.C., Barber, L.L.: *Tensile bond strength of provisional luting agents used with an implant system*. J Prosthet Dent, 1999. **81**: 510-514.
- Romeo, E., Lops, D., Margutti, E., Cehisolfi, M., Chiapasco, M., Vogel, G.: *Long-term survival and success of oral implants in the treatment of full and partial arches: a 7-*

- year prospective study with the ITI dental implant system. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2004. **19**: 247-259.
- Rösel, M.: *Untersuchungen zur Retention von Gusskronen in Abhängigkeit von Zementspaltbreite und Zementart*. Dissertation Med. Fak. der Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg, 2004.
- Rosin, M., Splieth, C., Wilkens, M., Meyer, G.: *Effects of cement type on retention of a tapered post with a self-cutting double thread*. *J Dent*, 2000. **28**: 57-582.
- Salinas, T., Eckert, S. E.: *In patients requiring single-tooth replacement, what are the outcomes of implant- as compared to tooth-supported restorations?* *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2007. **22**: 71-95.
- Schwedholm, E.R., Raigrodski, A. J.: *A technique for locating implant abutments screws of posterior cement-retained metal-ceramic restorations with ceramic occlusal surfaces*. *J Prosthet Dent*, 2006. **95**: 165-167.
- Sheets, J.L., Wilcox, C., Wilwerding, T.: *Cement selection for cement- retained crown technique with dental implants*. *J Prosthodont*, 2008. **17**: 92-96.
- Simon, R.L.: *Single-implant supported molar and premolar crowns: a ten-year retrospective clinical report*. *J Prosthet Dent*, 2003. **90**: 517-521.
- Smith, D.C.: *Composition and characteristic of glass ionomer cements*. *J Am Dent Assoc*, 1990. **120**: 20-22.
- Squier, R.S., Agar, J. R., Duncan, J. P., Taylor, T. D.: *Retentiveness of dental cements used with metallic implant components*. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2001. **16**: 793-798.
- Strong, S.M.: *What's your choice: cement- or screw- retained implant restorations?* *Gen Dent*, 2008. **56**: 15-18.
- Stüher, R.A., Teixeira, E.R., Beck, J.C., da Costa, N.P.: *Preload and torque removal evaluation of three different abutment screws for single standing implant restorations*. *J Appl Oral Sci*, 2008. **16**: 55-58.
- Tang, C., Naylor, A.: *Single-unit implants versus conventional treatments for compromised teeth: a brief review of the evidence*. *J Dent Educ*, 2005. **69** : 414-418.
- Taylor, T.D., Agar, J. R., Vogiatzi, T.: *Implant prosthodontics: current perspective and future directions*. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2000. **15**: 66-75.
- Tuntiprawon, M.: *Effect of tooth surface roughness on marginal seating and retention of complete metal crowns*. *J Prosthet Dent*, 1999. **81**: 142-147.

- Van Meerbeek, B., de Munck, J., Yoshida, Y.: *Adhäsion an Schmelz und Dentin. Aktueller Stand und zukünftige Aufgaben, Teil 1.* Ästhet Zahnmed, 2004. **7**: 4-16.
- Vigolo, P., Givani, A., Majzoub, Z., Cordioli, G.: *Cemented versus screw-retained implant-supported single-tooth crowns: a 4-year prospective clinical study.* Int J Oral Maxillofac Implants, 2004. **19**: 260-265.
- Watanabe, F., Uno, I., Hata, Y., Neuendorff, G., Kirsch, A.: *Analysis of stress distribution in a screw-retained implant prosthesis.* Int J Oral Maxillofac Implants, 2000. **15**: 209-218.
- Wichnalek, N.: *Die Speedy-Wax-Doubliertechnik zur Herstellung von Wachsfertigungsteilen.* Dent Lab, 1999. **47**: 1799-1810.
- Widmer, M.: *Kontrolle der Oberflächenqualität von anodisierten Titan-Implantaten mittels Reflexionsspektroskopie.* Diplomarbeit, ETH-Zürich, Departement Werkstoffe, Oberflächentechnik, 1998.
- Wolfart, M., Wolfart, S., Kern, M.: *Retention forces and seating discrepancies of implant-retained castings after cementation* Int J Oral Maxillofac Implants, 2006. **21**: 855-861.
- Wolfart, M., Lehmann, F., Wolfart, S., Kern, M.: *Durability of the resin bond strength to zirconia ceramic after using different surface conditioning methods.* Dent Mater, 2007. **23**: 45-50.
- Yang, B., Scharnberg, M., Wolfart, S., Quaas A.C., Ludwig, K., Adlung, R., Kern, M.: *Influence of contamination on bonding to zirconia ceramic.* J Biomed Mater Res B Appl Biomater, 2006. **81**: 283-290.
- Yang, B., Lange-Hansen, H.C., Scharnberg, M., Wolfart, S., Ludwig, K., Adlung, R., Kern, M.: *Influence of saliva contamination on zirconia ceramic bonding.* Dent Mater, 2008. **24**: 508-513.
- Zarone, F., Sorrentino, R., Traini, T., Di Lorio, D., Caputi, S.: *Fracture resistance of implant-supported screw- versus cement-retained porcelain fused to metal single crowns: SEM fractographic analysis.* Dent Mater, 2007. **23**: 296-301.

7. Anhang

Tabelle 7.1 Benötigte Impulse bis zur Lösung der zementierten Suprakonstruktionen auf Titanimplantatpfosten im Abklopfversuch nach Kurzzeitlagerung, Mediane, 25. Perzentile, 75. Perzentile, Minimalwerte, Maximalwerte, Lagerungszeit, Zement

Kurzzeitlagerung 3 d (ohne TWL)					
Zement	Probekörper Nr.	Anzahl Impulse bis Lösung	Zement	Probekörper Nr.	Anzahl Impulse bis Lösung
KetacCem	10	79	Durelon	28	302
	11	80		29	355
	12	74		30	312
	13	91		31	330
	14	87		32	274
	15	101		33	244
	16	93		34	343
	17	111		35	327
	18	97		36	295
Median		91			312
25. Perzentile		80			285
75. Perzentile		99			337
Minimum		74			244
Maximum		111			355

Tabelle 7.2 Benötigte Impulse bis zur Lösung der zementierten Suprakonstruktionen auf Titanimplantatpfosten im Abklopversuch nach Langzeitlagerung, Mediane, 25. Perzentile, 75. Perzentile, Minimalwerte, Maximalwerte, Lagerungszeit, Zement

Langzeitlagerung 150 d (mit 37.500 TWL)					
Zement	Probekörper Nr.	Anzahl Impulse bis Lösung	Zement	Probekörper Nr.	Anzahl Impulse bis Lösung
KetacCem	10	98	Durelon	28	278
	11	112		29	302
	12	127		30	335
	13	87		31	297
	14	79		32	318
	15	109		33	286
	16	85		34	325
	17	108		35	341
	18	99		36	311
Median		99			311
25. Perzentile		86			292
75. Perzentile		111			330
Minimum		79			278
Maximum		127			341

Tabelle 7.3 Abzugskräfte bis zur Lösung der zementierten Kronen auf Titanabutments im Zugtest nach Kurzzeitlagerung (3 d), Median, Minimalwerte, Maximalwerte, Lagerungszeit, Zement, Abzugskraft in N

Kurzzeitlagerung 3 d (ohne TWL)					
Zement	Probekörper Nr.	F [N] bis Lösung	Zement	Probekörper Nr.	F [N] bis Lösung
KetacCem	1	121,94	Durelon	19	404,61
	2	317,96		20	393,33
	3	337,87		21	500,15
	4	330,52		22	397,52
	5	394,19		23	589,53
	6	369,49		24	528,17
	7	382,39		25	889,89
	8	91,01		26	703,44
	9	283,27		27	595,86
Median		330,5			528,2
Minimum		91,0			393,3
Maximum		394,2			889,9

Tabelle 7.4 Abzugskräfte bis zur Lösung der zementierten Kronen auf Titanabutments im Zugtest nach Langzeitlagerung (150 d), Mediane, Minimalwerte, Maximalwerte, Lagerungszeit, Zement, Abzugskraft in N

Langzeitlagerung 150 d (37.500 TWL)					
Zement	Probekörper Nr.	F [N] bis Lösung	Zement	Probekörper Nr.	F [N] bis Lösung
KetacCem	1	330,01	Durelon	19	160,05
	2	200,3		20	802,3
	3	269,34		21	566,8
	4	198,84		22	632,08
	5	223,03		23	145,01
	6	269,77		24	647,29
	7	162,44		25	336,76
	8	471,26		26	405,81
	9	252,42		27	551,25
Median		252,4			551,3
Minimum		162,4			145,0
Maximum		471,3			802,3

Tabelle 7.5 Ergebnisse der Abzugsversuche der Kronen auf Titanabutments, im Abklopversuch und Zugtest nach unterschiedlicher Lagerungsdauer, Mediane, Minimalwerte (Min), Maximalwerte (Max), Lagerungszeit, n= 18

Phase	Zement	Abzugsart					
		Coronaflex (Impulse)			Zwick F[N]		
		Median	Maximum	Minimum	Median	Maximum	Minimum
3 d (ohne TWL)	Ketac Cem	91	111	74	292,1	394,2	91
	Durelon	312	355	244	555,8	889,9	393,3
150 d (37.500 TWL)	Ketac Cem	99	127	79	264,2	471,3	162,4
	Durelon	311	341	278	471,9	802,3	145

Tabelle 7.6 Benötigte Impulse bis zur Lösung der zementierten Kronen auf Titanabutments im Abklopversuch nach Ultraschallbelastung (5 min, 500 g), Mediane, 25. Perzentile, 75. Perzentile, Minimalwerte, Maximalwerte, Lagerungszeit, Zement, n= 36

Kurzzzeitlagerung 3 Tage (ohne TWL)									
Ultraschallbelastung 5 min, 500 g									
Zement	Gruppe	Probekörper Nr.	Anzahl Impulse bis Lösung	Zement	Gruppe	Probekörper Nr.	Anzahl Impulse bis Lösung		
Ketac Cem	Kontrollgruppe	1	4	Durelon	Kontrollgruppe	19	18		
		2	2			20	95		
		3	1			21	3		
		4	2			22	5		
		5	6			23	15		
		6	19			24	61		
		7	2			25	30		
		8	2			26	9		
		9	16			27	19		
	Median		2		Median		19		
	25. Perzentile		1		25. Perzentile		9		
	75. Perzentile		5		75. Perzentile		35		
	Minimum		1		Minimum		2		
	Maximum		19		Maximum		31		
	Ultraschallbelastung	Ultraschallbelastung	10		5	Ultraschallbelastung	Ultraschallbelastung	28	12
			11		3			29	65
			12		2			30	6
			13		13			31	82
			14		8			32	11
			15		2			33	16
			16		5			34	54
			17		31			35	8
			18		2			36	54
Median				5	Median				16
25. Perzentile				2	25. Perzentile				10
75. Perzentile				7	75. Perzentile				60
Minimum				3	Minimum				6
Maximum				95	Maximum				82

Tabelle 7.7 Benötigte Impulse bis zur Lösung der zementierten Kronen auf Titanabutments im Abklopferversuch nach Ultraschallbelastung (10 min, 500 g), Mediane, 25. Perzentile, 75. Perzentile, Minimalwerte, Maximalwerte, Lagerungszeit, Zement, Schraubenummerierung, n= 36

Kurzzeitlagerung 3 Tage (ohne TWL)											
Ultraschallbelastung 10 min, 500 g											
Zement	Gruppe	Probekörper Nr.	Schraubennr.	Anzahl Impulse bis Lösung	Zement	Gruppe	Probekörper Nr.	Schraubennr.	Anzahl Impulse bis Lösung		
Ketac Cem	Kontrollgruppe	1	1	1	Durelon	Kontrollgruppe	19	10	17		
		2	2	2			20	11	19		
		3	3	1			21	12	9		
		4	4	5			22	13	35		
		5	5	11			23	14	16		
		6	6	2			24	15	23		
		7		1			25		4		
		8		4			26		81		
		9		5			27		42		
	Median			4		Median			19		
	25. Perzentile			2		25. Perzentile			9		
	75. Perzentile			7		75. Perzentile			35		
	Minimum			1		Minimum			4		
	Maximum			11		Maximum			81		
	Ultraschallbelastung	Ultraschallbelastung	10	7		1	Ultraschallbelastung	Ultraschallbelastung	28	16	23
			11	8		3			29	17	4
			12	9		4			30	18	12
			13			4			31		39
			14			1			32		8
			15			14			33		72
			16			3			34		45
			17			9			35		13
			18			5			36		107
			Median						4	Median	
25. Perzentile					2	25. Perzentile					10
75. Perzentile					7	75. Perzentile					59
Minimum					1	Minimum					4
Maximum					14	Maximum					107

Tabelle 7.8 Benötigte Impulse bis zur Lösung der zementierten Kronen auf Titanabutments im Abklopfversuch nach Ultraschallbelastung (10 min, 50 g), Mediane, 25. Perzentile, 75. Perzentile, Minimalwerte, Maximalwerte, Lagerungszeit, Zement, n= 36

Kurzzzeitlagerung 3 Tage (ohne TWL)							
Ultraschallbelastung 10 min, 50 g							
Zement	Gruppe	Probekörper Nr.	Anzahl Impulse bis Lösung	Zement	Gruppe	Probekörper Nr.	Anzahl Impulse bis Lösung
Ketac Cem	Ultraschallbelastung	10	5	Durelon	Ultraschallbelastung	28	5
		11	1			29	13
		12	5			30	37
		13	6			31	66
		14	3			32	64
		15	4			33	67
		16	1			34	9
		17	17			35	19
		18	1			36	63
			Median				4
	25. Perzentile		2		25. Perzentile		11
	75. Perzentile		7		75. Perzentile		65
	Minimum		1		Minimum		5
	Maximum		17		Maximum		67

Tabelle 7.9 Referenzhöhen vor und nach dem Zementieren im ersten Teil der Studie:
Mittelwerte, Differenz (in mm)

Probekörper	Mittelwert nach Zementieren (in mm)		Differenz (in mm)
	Phase I	Phase II	
1	27,6578	27,604	-0,0538
2	28,5303	26,3234	-2,2069
3	28,7246	28,6706	-0,054
4	27,2293	26,6894	-0,5399
5	28,7562	28,5369	-0,2193
6	26,4577	26,5801	0,1224
7	27,867	25,9924	-1,8746
8	26,8143	26,8556	0,0413
9	26,5758	26,6197	0,0439
10	26,2781	26,239	-0,0391
11	28,7729	27,0262	-1,7467
12	26,5387	26,5152	-0,0235
13	26,2116	28,119	1,9074
14	28,482	26,3033	-2,1787
15	28,4283	26,3912	-2,0371
16	28,4149	26,7018	-1,7131
17	27,4638	26,5045	-0,9593
18	26,7836	26,6979	-0,0857
19	25,5675	25,5609	-0,0066
20	26,2355	26,5802	0,3447
21	26,0803	26,0885	0,0082
22	26,7943	26,733	-0,0613
23	28,4396	26,3616	-2,078
24	26,4067	26,3825	-0,0242
25	26,7638	26,7972	0,0334
26	26,4296	26,4276	-0,002
27	26,5936	26,7512	0,1576
28	26,4382	26,4705	0,0323
29	27,0738	26,2333	-0,8405
30	26,2597	26,2353	-0,0244
31	26,3296	26,3674	0,0378
32	26,7602	26,75	-0,0102
33	26,501	26,2249	-0,2761
34	25,8471	25,1457	-0,7014
35	26,5891	26,6053	0,0162
36	26,4278	26,5437	0,1159

8. Danksagung

Mein Dank gilt Prof. Dr. Matthias Kern für die Überlassung des Promotionsthemas, für die stetige Betreuung und die vielen Tipps während der Entstehung dieser Dissertation.

Herrn Dr. Christian Mehl und Herrn Dr. Sönke Harder danke ich für ihr Engagement.

Den Mitarbeitern des Zahntechnischen Labors an der Universitätsklinik in Kiel danke ich für die angenehme Zusammenarbeit.

Ebenso danke ich Herrn Frank Lehmann, Herrn Martin Steiner und Herrn Rüdiger Möller für die Unterstützung und die Hilfestellung im Umgang mit der Prüfmaschine.

Der Firma Camlog Biotechnologies danke ich für das Bereitstellen der Implantate und die freundliche Unterstützung.

Diese Dissertation widme ich meinen Eltern, meinen Geschwistern und deren Familie, die mir das Studium ermöglicht haben und mir immer mit Rat und Tat zur Seite standen.

9. Lebenslauf

Name: Dorothee Schwarz

Wohnort: Wallstrasse 35
23560 Lübeck

Geburtstag: 25.01.1981

Geburtsort: Bad Oldesloe

Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulbildung: 08/1987 - 06/1991 Grund- und Hauptschule,
Sandesneben
08/1991 - 07/2000 Oberschule zum Dom, Lübeck

Berufsausbildung: 09/2000 - 02/2004 Ausbildung zur Zahntechnikerin im
Zahntechnischen Labor Ose, Grönwohld
10/2004 - 12/2009 Studium der Zahnmedizin, Christian-
Albrechts-Universität, Kiel
12/2009 Zahnärztliche Approbation

Berufstätigkeit: 03/2004 - 06/2004 Zahntechnikerin im Zahntechnischen
Labor Birnbaum, Honolulu, Hawaii
07/2004 - 10/2004 Zahntechnikerin im Zahntechnischen
Labor Ose, Grönwohld
10/2004 - 09/2008 Zahntechnikerin im Zahntechnischen
Labor Ose (Semesterferien)
01/2010 - 03/2012 Vorbereitungsassistentin in der
Zahnarztpraxis von Dr. Harald Fritz, Lübeck
Seit 04/2012 angestellte Zahnärztin in der Zahnarztpraxis
von Dr. Harald Fritz, Lübeck

Lübeck, 02.09.2012