

Die Retention von Kronen in Abhängigkeit von Stumpfhöhe und Befestigungszement

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus – Liebig – Universität Gießen

vorgelegt von Ulrike Mendelin
aus Warstein

Gießen 2002

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Abteilung für Zahnärztliche Prothetik

Leiter: Prof. Dr. P. Ferger
des Universitätsklinikums Gießen

Gutachter : Prof. Dr. Ferger

Gutachter : Prof. Dr. Dr. Figgenger

Tag der Disputation : 09.09.2003

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	4
2. LITERATURÜBERSICHT	7
2.1. Zink – Phosphat – Zemente	7
2.1.1 Zusammensetzung	7
2.1.2 Verarbeitung	11
2.1.3 Haftmechanismus	16
2.2. Einfluß der Präparationshöhe auf die Retention	18
3. ZIEL DER ARBEIT	22
4. MATERIAL UND METHODE	23
4.1. Studienübersicht	23
4.2. Materialbeschreibung	24
4.2.1 Fixodont (Detrey / Dentsply)	24
4.2.2 CoolCem P (Pharmamed)	26
4.2.3 Grafische Darstellung der Elementanalyse von Fixodont und CoolCem P nach einer und nach 24 Stunden	28
4.3. Herstellung der Testkörper	28
4.4. Versuchsdurchführung	31
4.4.1 Versuchsserie 1	31
4.4.2 Versuchsserie 2	32
4.4.3 Versuchsserie 3	32
4.4.4 Versuchsserie 4	32
4.4.5 Versuchsserie 5	33
4.4.6 Versuchsserie 6	34

4.4.7 Untersuchung zur Handhabbarkeit der verwendeten Zemente	35
4.5. Statistische Auswertung der Meßergebnisse	36
4.5.1 Versuchsserien 1 – 6	36
4.5.2 Nebenkriterium: Zeitabhängigkeit	38
4.5.3 Untersuchung zur Handhabbarkeit der verwendeten Zemente	39
5. ERGEBNISSE	40
5.1. Versuchsserien 1 bis 6	40
5.1.1 Test auf Normalverteilung	40
5.1.2 Deskriptive Statistik	40
5.1.3 Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen	45
5.1.4 Inhomogene Varianzanalyse	45
5.1.5 post – hoc – Test.....	47
5.1.6 Kovarianzanalyse	47
5.2 Nebenkriterium: Zeitabhängigkeit.....	50
5.2.1 Test auf Normalverteilung	50
5.2.2 Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen	50
5.2.3 Varianzanalyse	50
5.2.4 Ergebnisse der elektronenmikroskopischen Untersuchung.....	54
5.3 Ergebnisse der Untersuchung zur Handhabbarkeit der verwendeten Zemente	60
5.3.1 Deskriptive Statistik	60
5.3.2 Diagramme	63
5.3.3 Anmischdauer in Sekunden / Diagramme.....	68
6. DISKUSSION	72
6.1 Diskussion der Präparationshöhe	72
6.2 Diskussion der Zink – Phosphat – Zemente unter dem Nebenkriterium Zeitabhängigkeit	75

6.3 Diskussion des Anmischvorgangs	79
6.4 Diskussion des Thermocyclings.....	82
6.5 Diskussion der Handhabbarkeit	83
7. ZUSAMMENFASSUNG	87
8. TABELLARISCHER ANHANG	90
9. LITERATUR.....	99
10. DANKSAGUNG.....	107
12. LEBENSLAUF	108

1. Einleitung

Bei der Versorgung eines Patienten mit definitivem Kronenersatz kommt der Retention der Restauration eine besondere Bedeutung zu. Diese als Widerstandskraft gegen Dislokation entlang der Einschubrichtung [39] definierte Größe ist laut *Kaufmann et al.* [17] von der Zahnpräparation, dem Gußobjekt und dem verwendeten Zement abhängig.

Die drei Hauptfaktoren können weitergehend in entsprechend zugehörige Unterfaktoren unterteilt werden; bei der Zahnpräparation sind das die Mantelfläche und die Höhe der Präparation, der Konvergenzwinkel und die Oberflächenrauigkeit, beim Gußobjekt sind es Paßgenauigkeit, Oberflächenbeschaffenheit der Innenseite und Legierungstyp.

Im Bezug auf den Zement sind sowohl der Zementtyp, die Viskosität des Zementes, die Kraft während des Einsetzens und Aushärtens und die Härte des Zementes im abgebundenen Zustand als auch die Unterschiede beim Abzugsvorgang, wie z.B. Zeitpunkt und Abzugswinkel, entscheidend für die Retention.

Nicht alle diese Faktoren sind vom Zahnarzt steuerbar; die Oberflächengröße beispielsweise hängt vor allem von der Lage und dem Umfang des zu präparierenden Zahnes sowie seinem Zerstörungsgrad ab [45]. So wird sie bei einem gut erhaltenen Molaren größer sein als bei einem stark zerstörten Unterkiefer Inzisivus. Auf der anderen Seite ist ein Molar aufgrund seiner Lage im Zahnbogen und damit des schlechten Zugangs und der eingeschränkten Sicht schwieriger zu präparieren, außerdem ist das Höhen – Basis – Verhältnis vermindert [27], d.h. bei einem Molaren muß die Präparationshöhe größer sein als bei einem schmalen Zahn.

In diesem Zusammenhang ist es für den Zahnarzt wichtig zu wissen, ab welcher Stumpfhöhe noch ein ausreichender Halt für die Gußrestauration gegeben ist

und ab wann er auf zusätzliche Hilfsmittel zurückgreifen muß. So kann er z.B. den Präparationswinkel steiler gestalten oder bei kurzen Axialwänden durch eine chirurgische Kronenverlängerung (Gingivektomie) gingivale Extension erzielen. Zusätzlich können Hilfsmittel wie Rillen, Kästen, Stiftkanäle und stiftverankerte Aufbauten den Halt der Restauration vergrößern.

Ebenfalls von großer Bedeutung für den dauerhaften Sitz einer gegossenen Versorgung ist die Wahl des Befestigungszementes. Bevorzugt verwendet man dafür Zink – Phosphat – Zemente, die bereits 1877 von *Rostaing di Rostagno* und 1879 von *Pierce* auf der Grundlage von Zinkoxid und Phosphorsäure entwickelt und in der Zahnheilkunde eingeführt worden sind [3] und denen noch heute trotz der Entwicklung von adhäsiven Befestigungskunststoffen ein hoher Stellenwert zukommt.

Der Haftmechanismus der Zink – Phosphat – Zemente beruht vor allem auf mechanischer Verkeilung und ist daher im großen Maße abhängig von der Gestaltung der Präparation im Bezug auf Winkel, Höhe und Oberflächengröße [11]. Das Pulver – Flüssigkeits – Verhältnis beeinflußt bei diesem Zementtyp sehr stark sowohl die Konsistenz und Abbindezeit als auch die mechanische Festigkeit, Löslichkeit und Filmdicke.

In den meisten Fällen erfolgt die Portionierung ohne Dosierhilfsmittel; hierbei besteht die Gefahr von großen Schwankungen im Pulver – Flüssigkeits – Verhältnis. Aus diesem Grund wurde ein in Kapseln vorportionierter Zement mit Dosierspritze für die Flüssigkeitszugabe entwickelt (CoolCem P, Pharmamed), der konstante Mischungsverhältnisse gewährleisten soll.

Da es von Vorteil ist pulverreiche Mischungen zu erzielen, ohne dabei die Verarbeitungsfähigkeit des Zementes herabzusetzen, sollte der Zement auf einer gekühlten Unterlage angemischt werden, um die frei werdende Wärme dieser exothermen Reaktion abzuleiten. Damit wird die weitere Zugabe von Pulver nicht durch die beginnende Abbindereaktion begrenzt, sondern durch die

Konzentrationsverhältnisse in der Mischung [44]. Die Kühlung verlangsamt die Abbindereaktion, die Verarbeitungszeit wird verlängert.

Im allgemeinen wird dazu die sogenannte „Frozen – Slab – Technik“ angewandt, bei der als Anmischunterlage eine Glasplatte dient, die zuvor im Kühlschrank oder im Gefrierfach gelagert wurde.

Dieses Verfahren wurde weiterentwickelt mit dem Ziel, die Anmischplatte auch während des Anmischens kühlen zu können. So konzipierte die Firma RB Dentalelektronik das dentalCooly, ein sensorgesteuertes Kühlgerät, welches die Unterlage konstant auf gewünschte Temperatur kühlt.

Viele verschiedene Faktoren sind also involviert, die die Retention einer Krone beeinflussen. In der vorliegenden Untersuchung soll besonderes Augenmerk auf die Höhe der Präparation und den Befestigungszement mit dessen unterschiedlichen Anmischverfahren gerichtet werden, mit dem Ziel deren Einfluß auf die Retention genauer beurteilen zu können.

2. Literaturübersicht

2.1. Zink – Phosphat – Zemente

2.1.1 Zusammensetzung

Zink – Phosphat – Zemente erfüllen in der Zahnheilkunde unterschiedliche Aufgaben; sie dienen sowohl zur Befestigung von Kronen, Inlays, Onlays, Veneers und ähnlichem als auch von orthopädischen Bändern, sind ein häufig verwendetes Unterfüllungsmaterial und können auch zum provisorischen Verschluß und zum Stumpfaufbau angewendet werden [8].

Die Vorteile dieser Zementart liegen in ihren guten physikalischen Eigenschaften wie Druckfestigkeit, Zugfestigkeit und Härte und ihrer Isolationswirkung gegen chemische, bakterielle und thermische Reize. Dagegen stehen Nachteile wie Löslichkeit in Mundflüssigkeiten und eine Reizwirkung auf die Pulpa in noch nicht ausgehärtetem Zustand infolge der Anwesenheit freier Phosphorsäure [34].

Die Zink – Phosphat – Zemente setzen sich aus einer Pulver- und einer Flüssigkeitskomponente zusammen, wobei das Pulver zum größten Teil aus Zinkoxid und Magnesiumoxid besteht. Dazu kommen weitere Zusätze wie Siliziumdioxid, Calciumbifluorid u.a.. Das Magnesiumoxid verlangsamt die Reaktionsgeschwindigkeit zwischen dem ZnO und dem H₃PO₄ der Flüssigkeit, außerdem gewährleisten die Zusätze eine Optimierung von Eigenschaften wie Druckfestigkeit, Farbgebung, Mischbarkeit und Abbindezeit [5].

Die Flüssigkeit ist eine wäßrige Lösung der Phosphorsäure, die mit Zink und Aluminium gepuffert ist, wodurch sich die Reaktionsgeschwindigkeit reduziert

und die Verarbeitungszeit steigt [20]. Zusätzlich verhindert das Aluminium die Bildung von Kristallen [30].

Prozentual betrachtet stellt sich die Zusammensetzung eines typischen Zink – Phosphat – Zementes folgendermaßen dar [8] :

Pulver	Flüssigkeit
80 – 90 m% ZnO	52 – 56 m% H ₃ PO ₄
10 m% MgO	32 – 36 m% H ₂ O
SiO ₂	7 – 10 m% Zn
CaF ₂	2 m% Al

Beim Herstellungsprozeß des Pulvers wird Rotzinkerz gebrannt, gemahlen und geröstet bis es weiß ist, anschließend wird das Zinkoxid mit Zuschlagsstoffen versetzt, erneut gebrannt, gesintert und zermahlen. Die daraus resultierende Mahlfeinheit und Korngröße beeinflussen stark die Abbindegeschwindigkeit, die Filmdicke und die Viskosität des Zementes [8]. Laut *Porsche et al.* ist die minimale Filmdicke von der Fraktion der großen Korndurchmesser abhängig [3, 47]. Dies steht im Gegensatz zu Untersuchungen von *Cramer*, der 1965 postulierte, daß die minimale Filmdicke von der Korngrößenverteilung und nicht der maximalen Korngröße abhängig sei [6]. Ähnlich wird es auch 1982 bei *Phillips* formuliert [30]; die minimale Filmdicke sei demnach von der Korngröße abhängig, aber sie kann dünner sein als die maximale Korngröße, da die Größe der Originalpartikel durch Lösung in der Flüssigkeit beim Anmischen abnimmt und beim Mischprozeß und beim Eingliedern zerkleinert wird.

Die Filmdicke, die letztendlich resultiert, ist von der „effektiven Korngröße“ abhängig, welche erreicht wird nachdem die größeren Partikel bereits zerkleinert

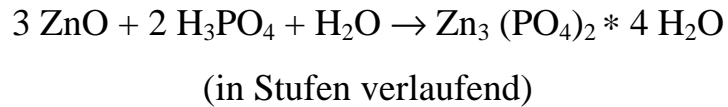
wurden und nun eine immer größer werdende Menge an Partikeln gleicher Größe im Zementspalt dem Einsetzdruck standhalten kann [14]. Je kleiner also die Originalpartikel, desto kleiner die effektive Korngröße und umso geringer die Filmdicke [30].

Die Filmdicke liegt bei den Feinkornzementen – auch Typ 1 Zement genannt für präzises Einzementieren von Gußrestaurationen – unter 25 µm, und bei den Mittelkornzementen – Typ 2 für Unterfüllungen und Befestigung orthopädischer Bänder – bei 40 µm [30, 8].

Die Viskosität der Zink – Phosphat – Zemente steht ebenfalls im klaren Zusammenhang mit der Partikelgröße, -form und -verteilung, da während des Anmischens die Säure nicht alle Partikel gleichmäßig durchdringt und so Agglomerationen von Partikeln entstehen, die bis zu 100 µm groß sein können und als Barriere für den Zementfluß den sogenannten „Filtrationseffekt“ verursachen [49]. Dieser sieht in praxi so aus, daß beim Einsetzvorgang die Agglomerationen zusammengedrückt werden, allerdings weniger als die Umgebung mit niedrigerer Viskosität, und so kann die noch lösliche Säure wegfließen während sie das Pulver um die Klumpen herum ebenfalls abtransportiert. Der Bereich um die Agglomerationen ist somit pulverfrei, weil diese wie Filter agieren [15].

Als Folge der Filtration kann es zu Pulpaverletzungen durch die freie Phosphorsäure kommen, zu Sekundärkaries durch die erhöhte Löslichkeit am Kronenrand und zu einem Retentionsverlust durch Defekte im Zementfilm [15]. Bei der Reaktion des Pulvers mit der Flüssigkeit bilden sich innerhalb weniger Minuten amorphe Phosphate, die ungelöste Zinkoxidpartikel in sich einschließen und innerhalb von 24 Stunden in tertiäres Phosphat umwandeln ($\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$) [3].

Reaktionsgleichung [20]:



Bei *Phillips* [30] wird das Endprodukt jedoch nicht mehr als tertiäres Zink – Phosphat bezeichnet, sondern als eine Matrix amorpher Zink – Phosphate, die unreagierte Zink – Oxid – Partikel zusammenbindet mit den sogenannten „Hopeite Kristallen“, die sich auf der Oberfläche des Zementes entwickeln wenn überschüssiges Wasser vorliegt [37]. Die Anwesenheit solcher „Hopeite Kristalle“ reduziert stark die adhäsiven Fähigkeiten des Zementes [37].

Die pulver- und flüssigkeitsenthaltenden Gefäße sollten immer dicht verschlossen aufbewahrt werden. Bleibt das Pulvergefäß offen stehen, so kommt es zur Anreicherung mit Kohlendioxid aus der Luft. Das karbonathaltige Pulver bildet beim Anmischen leicht Gase und führt so zu stark porösen Zementen mangelhafter Qualität. *Branco und Hegdahl* [4] testeten den Einfluß falscher Lagerung auf das Pulver von Zink – Phosphat – Zementen und konnten eine starke Reduktion der mechanischen und physikalischen Eigenschaften feststellen.

Phosphorsäure ist hygroskopisch und nimmt Wasser aus der Luft auf. Bei häufiger Öffnung des Flüssigkeitsbehälters verschiebt sich das Wasser – Säure – Verhältnis dann zugunsten des Wassers. Man kann dies daran erkennen, daß sich Kristalle an den Wänden der Flasche bilden oder die Flüssigkeit wolzig erscheint, in dem Stadium sollte man sie generell nicht mehr benutzen [30].

Auch sollte die Flüssigkeit nicht schon lange von dem Anmischen auf die Platte gebracht werden [30]. Die Abbindegeschwindigkeit wird durch die Wasseraufnahme erhöht, die einmischbare Pulvermenge vermindert und die Qualität des Endproduktes negativ beeinflußt [8].

Es wurden auch Zink – Phosphat – Zemente entwickelt, bei denen Wasser statt Phosphorsäure als Flüssigkeit zugegeben wurde und bei denen das Pulver die sauren Phosphatsalze enthielt. Damit war der pH – Wert derselbe wie bei den konventionellen Zink – Phosphat – Zementen, die physikalischen Eigenschaften schienen aber geringer zu sein ohne das sich irgendein Vorteil ergab, so daß sich diese Form nicht durchsetzen konnte [30].

2.1.2 Verarbeitung

Die Verarbeitung der Zink – Phosphat – Zemente wird von sechs Faktoren beeinflußt, dazu gehören die Umgebungstemperatur und -feuchtigkeit, die Dauer und Methode des Anmischens, die Temperatur der Anmischplatte und das Verhältnis von Pulver und Flüssigkeit in der Mischung [47].

Die Umgebungstemperatur und -feuchtigkeit kann vom Zahnarzt nur bedingt beeinflußt werden; im allgemeinen liegt die Raumtemperatur um 23°C und die relative Luftfeuchtigkeit bei 50%, sie unterliegen allerdings bekanntermaßen jahreszeitlichen Schwankungen aufgrund der Außentemperatur.

Der Prozeß des Anmischens ist bei den Zink – Phosphat – Zementen besonders wichtig, da es sich um eine exotherme Reaktion handelt, d.h. es wird Wärme freigesetzt, die die Abbindereaktion beschleunigt und dabei die Verarbeitungszeit stark einschränkt. Dies ist ein viel diskutiertes Problem in der Zahnheilkunde, da das vorzeitige Abbinden die Gefahr der Bißerhöhung und der Randspaltbildung mit sich bringt, insbesondere bei umfangreichen Restaurationen [5]. Um diesem Phänomen entgegenzuwirken, ohne jedoch das Pulver – Flüssigkeits – Verhältnis zu verändern, sind verschiedene Techniken entwickelt worden.

Im allgemeinen sollte das Pulver sukzessiv in kleinen Portionen in die Flüssigkeit gebracht werden, da es bei anfänglich großer Pulverportionsbeigabe zu einem gleichzeitigen Kontakt vieler Pulverpartikelchen mit nur geringen Mengen der Phosphorsäure kommt und als Folge davon schnell Maximalwerte

der Temperatur erreicht werden, was wiederum rasche Erhärtung und Inhomogenität bedingt [34].

Andererseits vertreten einige Autoren die Meinung, daß bei einer gekühlten Anmischfläche die Rate, mit der das Pulver in die Flüssigkeit gebracht wird, gleichgültig ist, bzw. daß die schnelle Anmischtechnik – d.h. das gesamte Pulver wird gleichzeitig mit der Flüssigkeit vermengt – sogar noch eine erhöhte Pulverinkorporation bei gleichbleibender Konsistenz erlaubt [10].

Untersuchungen von *Rosenstiel und Gegauff* [33] ergaben sogar, daß unterschiedliche Anrührtechniken keinen signifikanten Einfluß auf die Retention hatten und daß Zink – Phosphat – Zemente gerade wegen ihrer fehlenden Techniksensivität immer noch gerne benutzt werden, trotz der Entwicklung neuerer Zemente und adhäsiver Befestigungskunststoffe; diese Behauptung ist jedoch in der Literatur eher eine Ausnahme.

Der zweite wichtige Punkt, den man beim Anmischvorgang beachten sollte, ist die Kühlung der Anmischfläche.

Die exotherme chemische Reaktion des Abbindens stellt sich wie folgt dar [5] :

$$\frac{-d[P]}{dt} = \frac{-d[F]}{dt} = k[P]^x * [F]^y$$

[P] = momentane Pulverkonzentration

[F] = momentane Flüssigkeitskonzentration

x, y = Reaktionsexponenten

k = temperaturabhängige Geschwindigkeitskonstante

Die Reaktion hängt also von der momentanen Konzentration der Reaktionspartner und von der Temperatur beim Anmischen ab. Da die Konzentrationen nur durch unterschiedliche Portionsgrößen veränderbar sind, dies aber eine negative Wirkung auf die chemischen und mechanischen Eigenschaften des Zementes hätte, kann lediglich die Temperatur der Anmischfläche beeinflusst werden.

Durch deren Kühlung erreicht man eine Verlangsamung der Abbindezeit, was mit einer Verlängerung der Arbeitszeit einhergeht. Die weitere Zugabe von Pulver wird damit nicht durch die beginnende Abbinderaktion begrenzt, sondern durch die Konzentrationsverhältnisse in der Mischung.

Zur Kühlung der Anmischfläche gibt es unterschiedliche Verfahren.

Das in praxi am einfachsten Umzusetzende ist wohl die „Frozen – Slab – Technik“ : eine Glasplatte wird im Kühlschrank gelagert und erst zum Zeitpunkt des Anmischens entnommen. Dadurch kann die freiwerdende Wärme abgeleitet und die Abbindezeit verzögert werden. Wichtig ist hierbei, daß man die Kondensationstemperatur nicht unterschreitet, da sonst Wasser auf der Platte niederschlägt und das Pulver – Flüssigkeitsgemisch verdünnt wird, was die chemischen und mechanischen Eigenschaften des Zementes verschlechtert [5, 22, 30].

Ein ähnliches Prinzip wird besonders häufig in der Kieferorthopädie angewendet, wo man bei Bebänderungen oft auf Vorrat anmischen muß. Dabei werden die Glasplatten bei circa minus zehn Grad tiefgekühlt und die Abbindegeschwindigkeit sinkt, frei nach den allgemein physikalisch – chemischen Regeln über die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit. Diese besagen, daß Temperaturunterschiede von 10°C nach unten etwa eine Halbierung der Reaktionsgeschwindigkeit bewirken, 10°C nach oben eine Verdoppelung [8]. Gekühlte Glasplatten erlauben laut *Sheperd et al.* [38] auch ein schnelles Einmischen des Pulvers in die Flüssigkeit

ohne Defizite für das Pulver – Flüssigkeits – Verhältnis, die Arbeitszeit, die Abbindezeit, die Härte und die Retention mit dem Vorteil der Zeitersparnis. Der Nachteil der Kühlung von Glasplatten besteht darin, daß es zu einem sehr starken Temperaturanstieg kommt, wenn der Zement direkt von der Kühlplatte in den Mund gebracht wird. Daraus können Pulpaverletzungen resultieren, insbesondere bei den stark reduzierten Dentinschichten nach Präparationen. Um dies zu umgehen schlägt *Newman* [24] vor, den Zement noch 10 Minuten auf der Kühlplatte zu belassen, bevor die Restauration eingegliedert wird.

Aufgrund von Forderungen nach einer thermisch kontrollierbaren Anmischfläche mit verlängerter Kühlwirkung ist von der Firma Jota eine kühlbare Glasplatte mit eingebautem Thermometer entwickelt worden und später von der Deutschen Inter Unitek GmbH die Unitek-Platte, die bei 23°C eingefroren wurde, den optimalen Temperaturbereich von 18°C aber erst nach 14 Stunden Lagerung bei Raumtemperatur erreichte und damit für nicht empfehlenswert befunden wurde [34]. Beide Verfahren konnten sich auf dem Markt nicht durchsetzen.

Henschel [12] hält den Einbau eines Thermometers in die Glasplatte für ein eher ungünstiges Verfahren, da sich die Innen- und die Außentemperatur unterscheiden, das Thermometer jedoch von der Oberfläche separiert ist und so nicht die wahre Temperatur der Anmischfläche reflektiert.

Besser wäre es demnach, kaltes Wasser zwecks Temperaturengleich zwischen das Thermometer und die Außenfläche zu bringen – also ein hohles Gefäß zu benutzen – um die tatsächliche Temperatur der Anmischfläche messen zu können.

Ferner schlägt er vor, einen Zahnstocher o.ä. okklusal an der Restauration mit Klebewachs zu befestigen, so daß sich beim Einbringen des Zementes die Körperwärme nicht über die Finger des Anwenders überträgt und den Zement zu früh erwärmt.

Die Firma RB Dentalelektronik in Weiden hat das Prinzip der thermisch kontrollierbaren Anmischfläche erneut aufgegriffen und weiterentwickelt. Ihr Produkt „dentalCooly“ ist ein sensorgesteuertes Kühlaggregat, welches die Anmischfläche in wenigen Minuten auf die vorgewählte Temperatur von 8°C bis 18°C kühlt und diese Temperatur konstant hält. Dadurch wird die Abbindezeit um 200 – 400% verlängert [5].

Das Verhältnis von Pulver und Flüssigkeit in der Mischung ist bei vielen Zink – Phosphat – Zementen nicht genau geregelt, obwohl mechanisch und chemisch wichtige Eigenschaften wie Konsistenz, Abbindezeit, Filmdicke, Druckfestigkeit, Löslichkeit und Toxizität für die Pulpa davon abhängig sind. Positive Folgen von einer erhöhten Pulverkonzentration sind steigende Druck- und Zugfestigkeit des Zementes und verminderte Säurelöslichkeit. Nach Applikation der Restauration bindet der Zement aufgrund des hohen Pulveranteils schneller ab und die Restsäureeffekte gehen zurück, d.h. das Demineralisationsrisiko durch eine Initialentkalkung der Schmelzoberfläche wird vermindert, Pulpairritationen treten seltener auf und die Haftfähigkeit steigt [8]. Genauso kommt es aber auch zu einer verstärkten Demineralisation und Pulpairritationen bei zu dünn angemischtem Zementen wegen nicht umgesetzter Phosphorsäure und damit längerfristig bestehendem niedrigerem pH – Wert. Häufig sieht sich der Zahnarzt oder die Helferin wegen fehlenden oder ungenauen Anweisungen des Herstellers gezwungen, die Dosierungen „nach Gefühl“ vorzunehmen. Angaben wie „sahnige“ o.ä. Konsistenz sind äußerst subjektiv und führen zu großen Variationen der Mischungen. Die Forderung nach standardisierten Anmischvorgaben mit Dosierhilfsmitteln für reproduzierbare Mischungsverhältnisse sind daher nicht neu [35, 30], sie wurden bereits 1935 in der ADA – Spezifikation Nr.8 gestellt. Trotzdem war Phosphacap (Vivadent) laut Hersteller noch 1996 der einzige Zink – Phosphat – Zement auf dem Markt, der in einer Triturations – Kapsel – Form vorlag und der ein ideales Pulver – Flüssigkeits – Verhältnis versprach.

Der Nachteil dieses Produktes liegt jedoch darin, daß die Portionierung des Zementes hierbei nicht individuell bestimmt werden kann, so daß eine erhebliche Menge an Abfall aus den 200 Kubikmillimeter Zement enthaltenden Kapseln resultiert, falls nur eine Restauration eingegliedert werden soll. Ferner sollte bei der Eingliederung mehrerer Kronen lieber mehrmals angemischt werden, denn die Verarbeitungszeit von Phosphacap liegt nur bei circa zwei Minuten. Neben dem erhöhten Materialverlust und damit höheren Kosten ist der Zeitverlust dabei wegen der schnellen und sauberen Anmischtechnik aber gering [50].

Inzwischen gibt es noch einen weiteren Zement der auf eine genauere Portionierung hinzielt. Bei CoolCem P (Pharmamed) ist das Pulver in Kapseln bereits vordosiert, die Flüssigkeit kann mit Hilfe einer mitgelieferten Dosierspritze und nach genauen Vorgaben für den jeweiligen Verwendungszweck dazu appliziert werden.

2.1.3 Haftmechanismus

Zink – Phosphat – Zemente weisen keine spezifische Haftwirkung auf, ihr Halt beruht zu 13% auf Oberflächenadhäsion und zu 87% auf mechanischer Verkeilung [42]. Diese Mikroverzahnung setzt ausreichend rauhe Kavitäten- bzw. Stumpfflächen und Restorationsinnenseiten voraus [22], so daß das Ineinandergreifen von Zementsträngen in die an den Haftflächen befindlichen kleinen Unregelmäßigkeiten wirksam werden kann [41]. Hochglanzpolierte Oberflächen sind demnach nicht sinnvoll [30].

Wenn die angreifende Kraft parallel zum Zementfilm wirkt, so werden Verschiebungen zwischen den Zement – Zahn und Zement – Metall Kontaktflächen wirksamer durch die winzigen in die Oberflächenunregelmäßigkeiten eingreifenden Zementstränge verhindert als bei Zugkräften. Eine schräg angreifende Kraft hat eine parallel und eine senkrecht zu den Haftflächen wirkende Kraftkomponente, somit ist der Zement einer

Kombination aus Schub- und Druckkräften ausgesetzt. Verschiebungen werden also wirksamer verhindert als bei reinen Zug- oder Schubkräften [41].

Die Gestaltung der Präparation hat einen großen Einfluß auf die Retentionswirkung dieses Zementes, man benötigt parallele Wände, damit sein Haftmechanismus Erfolg hat. Auch die Filmdicke spielt eine große Rolle; so erhöht eine geringe Dicke der Zementschicht den rein mechanischen Halt, da dann die Gefahr von Rissen und Sprüngen im Zementfilm minimiert ist [5] und wegen der besseren Oberflächenadhäsion [30]. Faktoren, aus denen die Filmdicke resultiert, sind die Höhe der axialen Wände, der Präparationswinkel, die Art der Präparationsgrenze, die Temperatur und Schnelligkeit während des Anmischens, die Zementviskosität, der Druck während des Einzementierens und der Zementtyp [31].

Bleibt zu wenig Platz für den Zement – z.B. durch inadäquat ausgeführten Gebrauch von die spacer – oder wird die Krone mit Zement überfüllt, so kann es zu einem vertikalen Versatz der Restauration kommen. Hierbei können auch eine zu hohe Viskosität und der Aufbau von hydraulischem Druck während des Einsetzvorgangs eine Rolle spielen [31].

In dem Fall, daß die Friktion der Restauration an den Stumpf durch inkompletten Sitz entfällt, wird auch der Zink – Phosphat – Zement in seiner Wirksamkeit eingeschränkt.

Rosenstiel und Gegauff [33] testeten den Einfluß von Pulvergehalt, Raumtemperatur, Frozen – Slab – Technik und Anmischzeit auf die Retention durch unterschiedliche Variationen der Größen, es konnten jedoch keine signifikanten Einflüsse festgestellt werden.

2.2. Einfluß der Präparationshöhe auf die Retention

Der Einfluß der Präparationshöhe auf die Retention ist bereits Gegenstand vieler Untersuchungen gewesen, z.B. 1990 bei *Maxwell et al.* [21], wo anhand von Präparationshöhen von 5 mm, 3 mm, 2 mm und 1 mm und einem Präparationswinkel von 6° die Frage geklärt werden sollte, ab welcher Höhe der Kliniker zusätzliche Hilfsmittel zwecks Erreichen einer adäquaten Retention benötigt. Dazu wurden Abzugsversuche an natürlichen Zähnen mit Hilfe von aus Gold gegossenen Käppchen durchgeführt, die zuvor mit Zink – Phosphat – Zement befestigt worden waren. Die Ergebnisse reichten von $7,4 \pm 2,3$ kg benötigter Abzugskraft bei 1 mm Höhe bis zu $85,4 \pm 15,9$ kg bei 5 mm Höhe, wobei es bis zu einer Höhe von 3 mm in etwa zu einer Verdoppelung der Kraft pro Millimeter Höhenzunahme kam. Dies bedeutet also einen linearen Anstieg der Retention mit zunehmender Höhe. Aus dieser Untersuchung wurde der Schluß gezogen, daß die Präparationshöhe von 3 mm bei einem Präparationswinkel von 6° und einer daraus resultierenden Abzugskraft von $37 \pm 7,8$ kg das Minimum zur Erzielung einer adäquaten Retention sei.

Kaufmann et al. [17] untersuchten bereits 1961 den Zusammenhang zwischen der Höhe der Präparation und der Retention mit Hilfe von Abzugsversuchen; im Unterschied zu *Maxwell* wurden die Versuche jedoch an präparierten Aluminiumstümpfen mit 4 mm, 7 mm und 10 mm Höhe durchgeführt. Es ergaben sich bei einem Präparationswinkel von 5° Abzugskräfte von 152 pounds bei 4 mm Höhe, 227 pounds bei 7 mm Höhe und 320 pounds bei einer Höhe von 10 mm. Es ist also kein uniform proportionaler Anstieg der Retention ersichtlich und laut *Kaufmann* kann die Retention auch nicht uniform proportional mit der Höhe steigen, da in konvergierenden Zylindern mit jedem dazugewonnenem Millimeter in der Höhe der Durchmesser kleiner wird und sich die Fläche verringert. Daher kommt es nur bei fast paralleler Präparation zu einer nahezu einheitlichen Retention über die gesamte Fläche.

Die okklusale Fläche trägt zwar nur wenig zur Gesamtretention bei [1, 17], ist laut *Willey* [48] jedoch von zentraler Bedeutung für den von ihm definierten Retentionsindex. Anhand dieses Indexes stellte er die Schlußfolgerung auf, daß bei einem Konvergenzwinkel von 30° eine Präparationshöhe von 3 mm erforderlich sei; verringert sich der Winkel auf 20° läge die Mindestpräparationshöhe dem Index zu Folge bei 2,5 mm. Seinen Überlegungen liegen allerdings keine Abzugsversuche zugrunde, sondern mathematische Überlegungen.

Die Länge der Präparation wird auch bei *Shillingburg et al.* [41] für sehr wichtig erachtet, da mit zunehmender Höhe die Größe der Oberfläche zunimmt. Der größte Teil der zusätzlichen Oberfläche steht dann unter Einwirkung von Schub- und nicht Zugspannung. Von Bedeutung ist dies daher, da alle Dentalzemente unter Druck- bzw. Schubbelastung ihre größte und unter Zugbelastung ihre geringste Festigkeit aufweisen.

Dagegen führen *El – Mowafy et al.* [9] aus, daß Mißerfolge im Mund aufgrund von Retentionsverlust durch Kombinationen von Kaukräften über einen langen Zeitraum hinweg kommen, hierbei spielten vor allem Druck- und Seitwärtskräfte eine Rolle, weniger die Zugbelastung, obwohl gerade diese überwiegend im Labor geprüft wird. Sie selbst führten 1996 Untersuchungen durch, in denen unter anderem auch die Retentionskraft von 3 mm gegen 5 mm hohe Kronenpräparationen an extrahierten Molaren getestet wurde. Mit Zink – Phosphat als Zementmedium ergaben sich Abzugskräfte von 203,9 N für die kurzen und 295,1 N für die langen Präparationen.

Laut *Darveniza et al.* [7] besteht eine signifikant positive lineare Beziehung zwischen der Oberfläche und der Retention, aber statistisch kann die Oberfläche nicht als sinnvoller Vorhersagewert für die Größe der Retention genutzt werden, da viele andere Faktoren – z.B. das Zementmedium oder das Gußstück betreffend – hierbei noch eine Rolle spielen.

Ein Beweis dafür, daß eine Retentionssteigerung nicht allein durch einen Oberflächenzuwachs erklärbar ist, zeigt der Unterschied zwischen $\frac{7}{8}$ Kronen und Vollkronen, welcher von *Potts und Shillingburg* [32] 1980 untersucht wurde. Dazu führten sie Abzugsversuche an Stümpfen mit 6 mm Höhe und 6° Präparationswinkel durch, die für $\frac{7}{8}$ Kronen und für Vollkronen präpariert wurden. Nach dem Aufzementieren von Käppchen mit Zink – Phosphat – Zement ergaben sich für die $\frac{7}{8}$ Kronen Abzugskräfte von 94 pounds, wohingegen für die Vollkronen 243 pounds gemessen wurden. Letztere weisen also eine wesentlich größere Retentionskraft auf, was nicht allein durch den Oberflächenzuwachs erklärbar ist.

Die Oberflächengröße ist ein schwer veränderbarer Faktor, der von der Lage, der Neigung, dem Umfang und dem Grad der Zerstörung des zu präparierenden Zahnes abhängt [45, 9]. Bei stark zerstörten Zähnen muß z.B. beurteilt werden, ob Defekte zur Retentionserhöhung in die Präparation integriert werden können; durch die intrakoronale Ausdehnung der Präparation müssen die Stümpfe dann nicht mehr unbedingt infragingival präpariert werden [45]. Die Gingivektomie ist eine andere Möglichkeit um die Präparationshöhe zu vergrößern, neben dem chirurgischen Eingriff stehen dem Zahnarzt aber auch noch weniger invasive Behandlungsmethoden wie Rillen, Kästen, stiftverankerte Aufbauten und Stiftkanäle zur Verfügung [40].

Zusätzlich zu den somit ohnehin schon vorhandenen Schwierigkeiten einen adäquaten Halt der Restauration zu gewährleisten kommt erschwerend hinzu, daß die Friktion vor dem Einsetzen nicht unbedingt mit der postzementiven Retention korreliert. Vor dem Einsetzen kann eine präzise Friktion aufgrund von Diskrepanzen der inneren Oberfläche wie Blasen, Oberflächenrauigkeiten entstehen. Die Restauration wird dann mit Gewicht auf den Zahn gedrückt und scheint gut zu halten, ist aber gar nicht komplett eingesetzt [36]. Andererseits verhindert die trotz Spacer entstehende Zementfuge das Erreichen der präzementiven Friktion [19].

Obgleich in der Literatur der Zink – Phosphat – Zemente schon zahlreiche Untersuchungen bezüglich ihrer mechanischen und physikalischen Eigenschaften durchgeführt worden sind, war deren Hauptintention jedoch im überwiegenden Maße der Vergleich zu alternativen oder neueren Befestigungszementen bzw. -compositen. Bei Studien, die sich ausschließlich auf Zink – Phosphat – Zemente konzentrierten, wurden meist Druckfestigkeit, Löslichkeit, Korngröße und die daraus resultierende Filmdicke untersucht. Im Bezug auf die Kühlung der Anmischfläche stand vor allem die Verarbeitungszeit, die Abbindezeit, Konsistenz und Härte im Vordergrund. Die Haftkraft eines herkömmlichen Zementes im Vergleich zu einem Kapselzement unter Berücksichtigung des Anmischverfahrens und der Kühlung der Anmischunterlage ist jedoch noch nicht hinreichend untersucht worden. Dabei gilt auch zu klären, inwieweit eine Veränderung der Retention stattfindet werden die Zemente dem Prozeß der künstlichen Alterung, d.h. dem Thermocycling unterzogen. Dieses Verfahren ist in der Literatur eher selten zu finden, obschon es für die Prognose der Beständigkeit von Zementen unter thermischen Belastungen in der Mundhöhle durchaus von Bedeutung ist.

Auch der Frage nach der optimalen Präparationsgestaltung, die eine adäquate Retention der Restauration gewährleistet, ist bereits vielfach nachgegangen worden, im besonderen auch was Präparationswinkel und -höhe angeht, dafür wurde die Stumpfhöhe aber zumeist nur in drei verschiedene Höhen unterteilt. Eine definitive Festlegung der Mindestpräparationshöhe erfolgt bei *Maxwell et al.* [21]; die von ihm angegebenen 3 mm mit einer dafür benötigten Abzugskraft von $37 \pm 7,8$ kg können als Kontrollgröße für unsere Untersuchungen fungieren, welche mittels einer zehnfachen Abstufung der Höhe in Millimeterschritten diesen Aspekt noch genauer beleuchten sollen.

3. Ziel der Arbeit

Ziel der Untersuchung ist die Abhängigkeit der Retention von Gußrestorationen auf präparierten Stümpfen zum einen von der Stumpfhöhe und zum anderen vom verwendeten Zink – Phosphat – Zement in einer in – vitro Studie zu überprüfen.

Dabei wird der Frage nach einer ausreichenden Präparationshöhe nachgegangen, indem mit zehn präparierten Messingstümpfen unterschiedlich hoher Axialwände und zugehörigen Käppchen Abzugsversuche durchgeführt werden.

Analog dazu wird der markteingeführte Zink – Phosphat – Zement Fixodont (Detrey / Dentsply) im Bezug auf seine Haftfestigkeit mit CoolCem P (Pharmamed) verglichen, einem in Kapseln vordosiertem Produkt gleichen Zementtyps. Zur Beurteilung der Haftkraft beider Zemente nach künstlicher Alterung wird zusätzlich eine Versuchsreihe nach Thermocycling durchgeführt.

Besonderes Augenmerk soll auf die Kühlung der Anmischfläche gerichtet werden, indem man die Zemente zum einen in herkömmlicher Weise auf einer vorgekühlten Glasplatte und zum anderen auf der Kühlfläche des dentalCooly, einem sensorgesteuerten Kühlaggregat (RB Dentalelektronik), anmischt.

Die Handhabbarkeit der beiden Zemente und die Anwendung des dentalCooly werden zusätzlich noch von Zahnärzten und zahnärztlichen Helferinnen beurteilt.

4. Material und Methode

4.1. Studienübersicht

Es wurden Prüfkörper mit unterschiedlicher Präparationshöhe aus Messing hergestellt und darauf Käppchen aus Phantommetall gegossen, die anschließend mit zwei unterschiedlichen Zink – Phosphat – Zementen befestigt wurden.

In einer in – vitro Studie ist dann die Haftkraft der Zemente bei abnehmender Stumpfhöhe ermittelt worden.

Dabei variierten die Testreihen zusätzlich im Anmischverfahren :

1. nach dem herkömmlichen Verfahren auf einer gekühlten Glasplatte
2. auf der sensorgesteuerten dentalCooly Kühlplatte

und es erfolgte eine Simulation der Alterung durch

3. Thermocycling

Im Anschluß daran sollte noch die Handhabbarkeit der beiden Zemente überprüft werden, indem sowohl zahnärztliche Helferinnen als auch Zahnärzte zum einen CoolCem P nach Herstellerangaben auf der dentalCooly Kühlplatte verarbeiteten und zum anderen Fixodont, welches konventionell sukzessiv in kleinen Portionen auf einer gekühlten Glasplatte angemischt wurde.

4.2. Materialbeschreibung

Untersuchte Zemente:

4.2.1 Fixodont (Detrey / Dentsply)

Fixodont ist ein feinkörniger Zink – Phosphat – Zement, bei dem sowohl das Pulver als auch die Flüssigkeit in wiederverschließbaren Behältern aufbewahrt werden.

Vom Hersteller werden keine Dosierungshilfsmittel mitgeliefert; laut Gebrauchsanweisung sollte der Zement für Befestigungszwecke eine glatte, cremartige und für die Verwendung als Unterfüllungsmaterial u.ä. eine puttyähnliche Konsistenz aufweisen.

Dafür sind Pulver – Flüssigkeits – Mischungsverhältnisse von 2,8 g : 1 g bzw. 5,6 g : 6 g vorgeschlagen, die Art und Weise des Abmessens dieser Mengen liegt in der Hand des Anwenders.

Da der Hersteller die Inhaltsstoffe des Zementes nicht im Einzelnen spezifiziert und deklariert hat, wurde von uns eine Elementanalyse an abgebundenem Material durchgeführt, die genauen Aufschluß über Art und Anteil der enthaltenen Elemente gibt. Um eventuelle Veränderungen in der Zementzusammensetzung nach dem vollständigen Aushärten des Zementes zu erkennen, erfolgte die Elementanalyse nach einer Stunde und nach 24 Stunden.

So ergab sich folgende Zusammensetzung in Atomprozent:

Element	nach einer Stunde (At.%)	nach 24 Stunden (At.%)
C	55,96	43,99
O	25,55	36,65
F	7,43	2,43
Zn	6,80	9,3
Mg	0,74	1,72
Al	0,71	1,06
Si	0,16	0,3
P	2,36	4,19
Ca	0,29	0,37

Tabelle 1: Zusammensetzung Fixodont



Abbildung 1: Fixodont Flüssigkeit, Pulver und Anmischfläche

4.2.2 CoolCem P (Pharmamed)

CoolCem P ist ebenfalls ein feinkörniger Phosphatzement, das Pulver ist jedoch bereits in Einmalkapseln vordosiert; eine Kapsel enthält 1 g des Pulvers. Die für den jeweiligen Verwendungszweck benötigte Flüssigkeitsmenge kann der Gebrauchsanweisung entnommen und mit einer mitgelieferten Dosierpritze zugegeben werden. Für die Befestigung von Kronen wird eine Flüssigkeitsmenge von 0,4 ml angeraten.

Zusätzlich dazu wird noch die Verwendung des dentalCooly empfohlen, eine sensorgesteuerte Kühlplatte, die die Verarbeitungszeit um ein Vielfaches verlängern soll.

Für dieses vom Hersteller als „CS – System“ bezeichnete Verfahren steht dem Anwender eine genaue Auflistung von Verarbeitungszeit und Aushärtezeit bei unterschiedlichen Flüssigkeitszugaben zur Verfügung.

Da auch dieser Hersteller keine genauen Angaben über die Inhaltsstoffe beifügt, ist an CoolCem P ebenfalls eine Elementanalyse durchgeführt worden.

Nach einer und nach 24 Stunden zeigen sich folgende Ergebnisse:

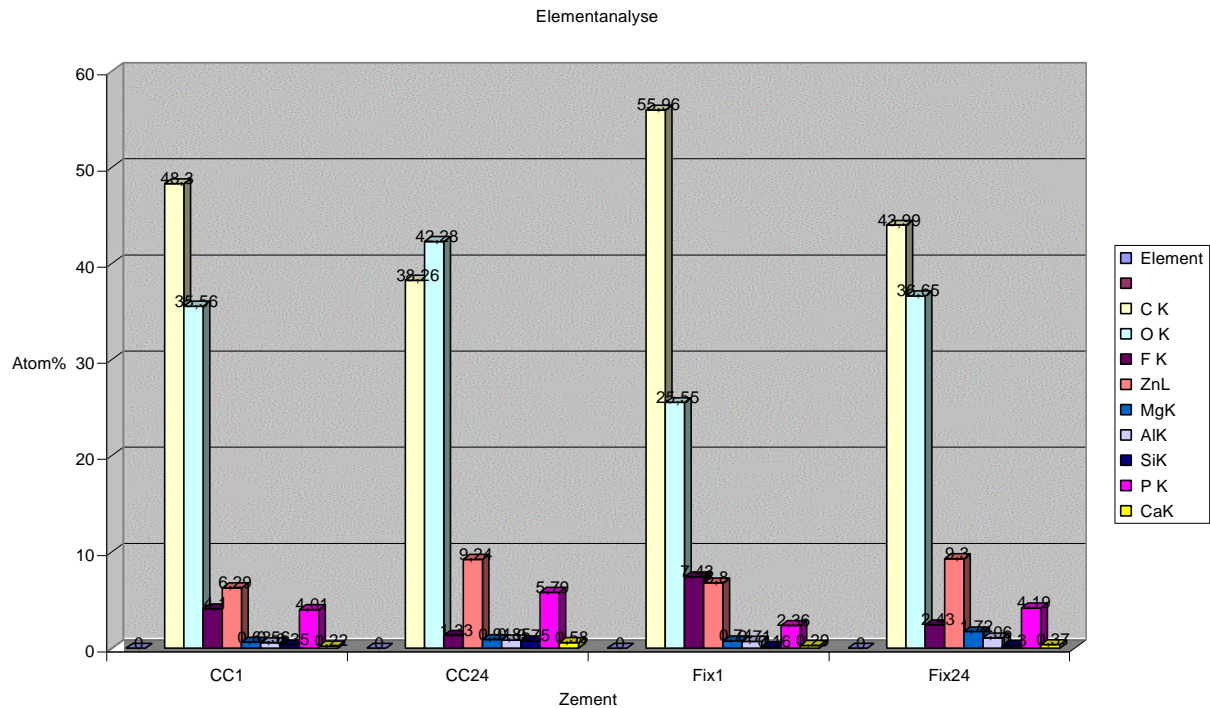
Element	nach einer Stunde (At.%)	nach 24 Stunden (At.%)
C	48,30	38,26
O	35,56	42,28
F	4,10	1,33
Zn	6,29	9,24
Mg	0,62	0,91
Al	0,56	0,85
Si	0,35	0,75
P	4,01	5,79
Ca	0,22	0,58

Tabelle 2: Zusammensetzung CoolCem P



Abbildung 2: CoolCem P Flüssigkeit, Pulver und Anmischfläche

4.2.3 Grafische Darstellung der Elementanalyse von Fixodont und CoolCem P nach einer und nach 24 Stunden



CC1 = CoolCem P nach 1 Stunde

Fix1 = Fixodont nach 1 Stunde

CC24 = CoolCem P nach 24 Stunden

Fix24 = Fixodont nach 24 Stunden

Abbildung 3: Elementanalyse

4.3. Herstellung der Testkörper

Zur Herstellung der Testkörper wurden zehn Stümpfe aus Messing maschinell angefertigt, die der Form eines optimal präparierten Zahnes entsprechen sollten. Der Konvergenzwinkel dieser Stümpfe beträgt 6° , die Höhe der Präparationen liegt beim ersten Stumpf bei 10 mm und ist pro Stumpf jeweils um 1 mm gekürzt, so daß der zehnte Stumpf also nur noch eine Höhe von 1 mm aufweist.

Die Oberflächengröße kann nach folgender Formel berechnet werden [11] :

$$p * (R_1 + R_2) * \sqrt{h^2 + (R_1 - R_2)^2} + p * (R_2)^2$$

R_1 = Radius an der Basis

R_2 = Radius an der Spitze

Die genauen Abmessungen der Stümpfe und die daraus resultierenden Oberflächengrößen sind in der unten stehenden Tabelle zusammengefaßt.

Stumpfhöhe	Basisdurchmesser	Durchmesser an der Spitze	Oberflächengröße
10 mm	12,0 mm	10,0 mm	425,84 mm ²
9 mm	11,8 mm	10,1 mm	390,76 mm ²
8 mm	11,5 mm	10,2 mm	354,41 mm ²
7 mm	11,4 mm	10,2 mm	320,67 mm ²
6 mm	11,0 mm	10,2 mm	282,63 mm ²
5 mm	11,0 mm	10,2 mm	249,54 mm ²
4 mm	10,8 mm	10,2 mm	214,89 mm ²
3 mm	10,2 mm	10,0 mm	174,25 mm ²
2 mm	10,2 mm	10,0 mm	142,79 mm ²
1 mm	10,1 mm	10,0 mm	110,89 mm ²

Tabelle 3: Abmessungen der Versuchsstümpfe



Abbildung 4: Versuchsstümpfe

Da die Stümpfe maschinell gefertigt sind weisen alle die gleiche Oberflächenbeschaffenheit auf. Mit Hilfe eines Perthometers konnte die mittlere Rauhtiefe bestimmt werden; sie beträgt im Durchschnitt $13\ \mu\text{m}$.

Um die Abzugsversuche durchführen zu können, die die Situation von Vollgußkronen unter Zugbelastung im Mund simulieren sollten, wurden anschließend auf diesen Messingstümpfen 5 Wachskäppchen pro Stumpf modelliert. Die Herstellung dieser Käppchen erfolgte dergestalt, daß man die Stümpfe zunächst mit Isolit (Degussa) isolierte und anschließend in ein Tauchbad mit Unterzieh wachs (Gründler) tauchte. Nach dem Abkühlen des Unterzieh waxes wurden sie in ein zweites Tauchbad mit Modellierwachs (Thowax, Yeti Dental) getaucht. Dieses Tauchverfahren ermöglichte eine blasenfreie Innenfläche der Käppchen ohne das Auftreten von Fließfalten. Auf jedes Käppchen wurde anschließend noch ein Henkel aus Gußwachs modelliert, um das Abziehen der Käppchen mit Hilfe eines Schekels an der Zwick Universalprüfmaschine 1454 ermöglichen zu können.

Nach einer mindestens 24-stündigen Wartezeit wurden die Wachskäppchen eingebettet (Einbettmasse Deguvest) und in Phantommetall (Fa.Degussa) bei 1150°C in einer Tiegelschleuder (TS 3, Fa.Degussa) gegossen. Abschließend ist die Innenfläche der Käppchen mit $250\ \mu\text{m}$ Körnung sandgestrahlt worden.

4.4. Versuchsdurchführung

4.4.1 Versuchsserie 1

In der ersten Versuchsreihe wurde CoolCem P auf einer im Kühlschrank bei $8^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ vorgekühlten Glasplatte mit ebenso kühl gelagerter Flüssigkeit bei einer Raumtemperatur von $21^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}$ angemischt. Das Einbringen des in Kapseln vordosierten Pulvers zu der mit einer Spritze und nach vorgegebener Tabelle dosierbaren Flüssigkeit erfolgte gemäß Herstellerangaben auf einmal und nicht portionsweise, wie es sonst bei Zink – Phosphat – Zement allgemein üblich ist. Dann wurde die Innenseite der Käppchen mit Hilfe eines Pinsels dünn mit dem Zement bestrichen und die Käppchen auf die Stümpfe zementiert. Das Aushärten benötigte einen Zeitraum von 10 Minuten, in denen die Konstruktion mit einem Gewicht von 10 kg belastet wurde. Nach einer Wartezeit von mindestens einer Stunde konnten die Abzugsversuche durchgeführt werden.

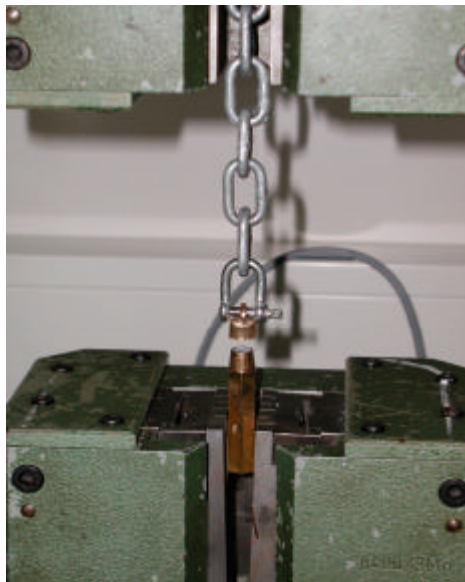


Abbildung 5: Versuchsstumpf in Zwick Universalprüfmaschine 4549

4.4.2 Versuchsserie 2

In der zweiten Versuchsserie waren alle Versuchbedingungen gleich denen der ersten, nur daß nun Fixodont statt CoolCem P eingesetzt wurde und wegen fehlender Dosierungshilfsmittel die Dosierungen selbst abgemessen werden mußten. Das Einbringen des Pulvers in die Flüssigkeit erfolgte nach Herstellerangaben portionsweise.

Ansonsten verfuhr man wie im ersten Versuchsablauf, d.h. mit gekühlter Glasplatte, einer Belastung von 10 kg während des zehnminütigen Aushärtens und einer mindestens einstündigen Wartezeit vor den Abzugsversuchen.

4.4.3 Versuchsserie 3

In der dritten Versuchsserie wurde der Aufbau derart abgewandelt, daß hier statt der gekühlten Glasplatte das dentalCooly, ein neues Gerät, welches zur Verlängerung der Verarbeitungszeit von Befestigungszementen entwickelt wurde, als Anmischfläche für den Zement diente. Diese Kühlplatte ist sensorgesteuert und hält die Temperatur der Anmischfläche konstant auf einer individuell regelbaren Temperatur, welche für vorliegende Versuchszwecke auf 14°C eingestellt wurde. Dadurch soll die Wärme, die bei der exothermen Reaktion des Abbindevorganges des Zink – Phosphat – Zementes entsteht, kontinuierlich abgeleitet werden, um ein vorzeitiges Abbinden des Zementes zu verhindern.

Es wurden wieder mit CoolCem P zehn Versuchsdurchläufe durchgeführt; alle anderen Parameter des Versuchsaufbaus blieben gleich.

4.4.4 Versuchsserie 4

Die vierte Testreihe entsprach exakt der Anordnung der dritten, jedoch wurde statt CoolCem P Fixodont verwendet.

4.4.5 Versuchsserie 5

Zu Beginn der fünften Versuchsreihe wurde zunächst wie in den beiden vorherigen Testreihen verfahren, also der Zement auf dem dentalCooly angemischt, jedoch kam als zusätzliche Fragestellung die Veränderung der Abzugsfestigkeit der Zemente nach Thermocycling hinzu.

So wurden die Abzugsversuche nicht direkt nach der einstündigen Wartezeit gemacht, sondern die Messingstümpfe mit den mit CoolCem P aufzementierten Käppchen kamen zunächst noch in eine Thermocycling – Apparatur, welche aus einem Kaltbad (5°C, Aqua dest.), einem Warmbad (55°C, Aqua dest.) und einem schwenkbaren Korb bestand. Dieser Schwenkkorb tauchte die 10 Stümpfe jeweils 60 Sekunden in das Kaltbad und 60 Sekunden in das Warmbad, mit einer Abtropfzeit von 4 Sekunden zwischen den Bädern und einem Umfang von 1000 Zyklen.

Die Abzugsversuche erfolgten dann nach Ablauf der Zyklen und nachdem sich die Temperatur der Versuchsstümpfe wieder der Raumtemperatur angeglichen hatte.



Abbildung 6: Thermocycler mit Versuchsstümpfen

4.4.6 Versuchsserie 6

Statt CoolCem P wurden die Kämpchen mit Fixodont befestigt, ansonsten glich der Versuchsaufbau der fünften Testreihe.

4.4.7 Untersuchung zur Handhabbarkeit der verwendeten Zemente

Sechs Zahnarthelferinnen und fünf Zahnärzte wurden gebeten, die beiden Zemente auf ihr Verhalten in der Verarbeitung zu bewerten. Dazu sollte jeder von ihnen zum einen CoolCem P auf der Kühlplatte gemäß Herstellerangaben anmischen – also die Flüssigkeit direkt zum Pulver –, zum anderen Fixodont auf einer gekühlten Glasplatte in konventioneller Art und Weise.

Die Bewertung der Zemente erfolgte anhand von Parametern, die bei der Verarbeitung von Zementen besonders von Bedeutung sind. Dazu gehören die Portionierung, der Anmischvorgang, die Anmischdauer, die Konsistenz, die Benetzungsfähigkeit, die Abbindezeit, die Reinigung der Instrumente und die Überschußentfernung.

Die Beurteilung der einzelnen Punkte wurde dann mit Hilfe von Analogskalen durchgeführt.

Der Parameter Benetzungsfähigkeit war von den zahnärztlichen Helferinnen für CoolCem P nicht beurteilbar, da in dieser Studie keine Restaurationen eingesetzt wurden, ebenso wie die Überschußentfernung.

4.5. Statistische Auswertung der Meßergebnisse

4.5.1 Versuchsserien 1 – 6

Die maximale Abzugskraft in den Versuchsserien 1 bis 6 wurde mit Hilfe der Universalprüfmaschine (Zwick 4549) gemessen. Dann erfolgte die Übertragung der einzelnen Werte in das Statistikprogramm SPSS Win 11.01, mit dem die Auswertung zunächst durchgeführt wurde. Das SAS System ist zur erweiterten statistischen Bearbeitung herangezogen worden.

Die deskriptiv-statistische Auswertung der Abzugsversuche im Bezug auf Höhe, Zement, Anmischverfahren und Thermocycling umfaßte Mittelwerte, Mediane und Standardabweichung. Der Mittelwert, oder auch arithmetisches Mittel, ist die Summe der beobachteten Werte dividiert durch ihre Anzahl. Der Median ist dagegen ein lagetypischer Meßwert, der eine ihrer Größe nach geordnete Reihe von Meßwerten halbiert, das heißt die geordnete Reihe der Beobachtungswerte wird durch den Median in zwei gleiche Teile zerlegt. Der Median wird daher eher bei schiefen Verteilungen genommen, weil er nicht so stark von Extremwerten abhängig ist wie das arithmetische Mittel.

Um die Normalverteilung zu überprüfen wurde der Test nach Kolmogorov – Smirnov herangezogen.

Median, Minimum und Maximum wurden anhand von Boxplotgrafiken dargestellt. Anhand dieser Darstellung ist als horizontaler Strich innerhalb der Boxen der jeweilige Median erkennbar. Liegt dieser in der Mitte der Boxen, so spricht das für eine symmetrische Verteilung. Der graue Kasten – die sogenannte „Box“ – umfaßt 50% der Meßwerte und reicht damit vom 25%-Quantil bis zum 75%-Quantil; diese Eckwerte geben an, wieviel Prozent der gesamten Werte kleiner oder gleich diesen Werten sind. Das bedeutet also

beispielsweise für das 25%-Quantil, daß 25% aller Werte kleiner oder gleich diesem Quantil sind. Der Abstand zwischen dem 25%-Quantil und dem 75%-Quantil wird als Interquartilsbereich bezeichnet [29].

Die senkrechten Linien führen zu den höchsten bzw. niedrigsten Werten der Untersuchungen; Ausreißer werden als solche bezeichnet, wenn sie um mehr als das 1,5fache der Box entfernt liegen und sind als Kreise außerhalb der Linien dargestellt.

Nachdem der Levene – Test zur Prüfung der Hypothese der Homogenität der Varianzen signifikante Abweichungen von der Nullhypothese ergab, wurden die weiterführenden Tests für inhomogene Varianzen im SAS Statistikprogramm durchgeführt, welches für diese Zwecke besser geeignet schien.

Die univariate mehrfaktorielle Varianzanalyse prüft Mittelwertsunterschiede aus mehr als zwei Stichproben, indem sie den Einfluß mehrerer unabhängiger Variablen (Zementart, Höhe, Anmischvorgang, Thermocycling) auf eine abhängige Variable (Kraft) untersucht.

Die Definition der Varianz ist die quadratische Abweichung der Einzelbeobachtungen vom Mittelwert.

Post – hoc – Mehrfachmittelwertsvergleiche ermöglichten es, die einzelnen Gruppen unterschiedlicher Höhe miteinander zu vergleichen. Dazu wurde das bei Annahme von Varianzheterogenität übliche Verfahren nach Games – Howell gewählt. Mit Hilfe von post – hoc – Tests werden Untergruppenunterschiede und die Mittelwerte der jeweiligen homogenen Untergruppen ersichtlich.

Die Abhängigkeit der Kraft von der Höhe ist zusätzlich noch in einer Kovarianzanalyse untersucht worden, in der die Höhe nicht mehr als diskrete Variable sondern als metrisches Maß als Kovariate diente. Das hatte den Vorteil nun nicht mehr nur die einzelnen sich jeweils um einen Millimeter unterscheidenden Höhen gruppiert zu betrachten, sondern die Höhe ohne vorgegebene Unterteilungen und ihren Einfluß auf die Kraft zu untersuchen. Dabei wurden auch wieder die anderen Faktoren – Zement, Anmischverfahren

und Thermocycling – berücksichtigt und Wechselwirkungen deutlich. Der Sachverhalt, der sich aus der Kovarianzanalyse ergab, kann der sogenannten „Lowess – Regressionsgrafik“ entnommen werden, in welcher anhand von Linien die verschiedenen Zemente mit und ohne Thermocycling in unterschiedlichen Höhen dargestellt sind.

4.5.2 Nebenkriterium: Zeitabhängigkeit

Obwohl die Abzugsversuche der Versuchsreihen 1 – 4 immer erst nach einer mindestens einstündigen Wartezeit durchgeführt worden sind, erfolgten sie technisch bedingt zu einem großen Teil auch erst nach 24 Stunden. Auffallend wurde nach Abschluß der Versuche, daß in diesen Fällen die Haftwerte nach der 24-stündigen Wartezeit deutlich höher lagen als nach einer Stunde.

Das veranlaßte uns zu einer weiteren Untersuchung der Abzugskraft nun mit der Zeitabhängigkeit als zusätzlichen Faktor. Die Einteilung der Zeit erfolgte in zwei Gruppen, die erste für Abzugsversuche nach 1 Stunde, die zweite für Abzugsversuche nach 24 Stunden. Da wie bereits erwähnt dieser Gesichtspunkt erst nach Ablauf der Versuchsreihen auffällig wurde, ist die Anzahl der Fälle in den beiden Gruppen nicht gleich groß. Anhand des Kolmogorov – Smirnov Tests wurde die Normalverteilung, anhand des Levene – Test die Varianzhomogenität geprüft und dann erneut eine univariate multifaktorielle Varianzanalyse in SPSS durchgeführt, die dieses Mal auch die Zeit als unabhängige Variable enthielt. Die grafische Auswertung der Kraft – Zeitabhängigkeit wurde anhand von Boxplots bei unterschiedlichem Anmischverfahren und ausgewählten Höhen dargestellt.

Desweiteren wurde eine elektronenmikroskopische Untersuchung von Fixodont und CoolCem P zum einen nach einer Stunde und zum anderen nach 24 Stunden angeschlossen, um mögliche optische Unterschiede in der Zementstruktur ersichtlich zu machen.

Die Irrtumswahrscheinlichkeit p (Signifikanzniveau) ermöglichte die statistische Beurteilung der jeweilig durchgeführten Tests. Dabei lautet die Einteilung der Signifikanz wie folgt :

$p >$	0,05	(5%)	nicht signifikant
$p \leq$	0,05	(5%)	signifikant
$p \leq$	0,01	(1%)	sehr signifikant
$p \leq$	0,001	(0,1%)	höchst signifikant

Im Bezug auf den Kolmogorov – Smirnov Test wird bei großer Stichprobengröße, wie es in unserer Untersuchung der Fall ist, der Wert der Signifikanz eher vernachlässigt, da schon sehr geringe Abweichungen zu einer hohen Signifikanz führen. Stattdessen sollte bei einer Fallzahl ab über 100 Fällen die Statistik unter 0,1 liegen, um noch genügend nah an einer Normalverteilung zu liegen.

Beim Test nach Levene verhält es sich ähnlich; ist der F – Wert unter 2,2 kann man auch hier noch von einer akzeptablen Homogenität der Varianzen sprechen.

4.5.3 Untersuchung zur Handhabbarkeit der verwendeten Zemente

Die Auswertung der Ergebnisse zur Untersuchung der Handhabbarkeit der Zemente erfolgte über Mittelwertbestimmung bzw. Ermittlung der Abweichung vom Optimum und wurde grafisch in Balkendiagrammen dargestellt. Die gemessene Anmischdauer wird anhand von Histogrammen deutlich.

5. Ergebnisse

5.1. Versuchsserien 1 bis 6

5.1.1 Test auf Normalverteilung

Zunächst wurden die Ergebnisse der Abzugsversuche aus den Versuchsserien 1 bis 6 auf ihre Normalverteilung hin geprüft. Der Kolmogorov – Smirnov Test war zwar höchst signifikant, aufgrund der hohen Fallzahl mit 600 Fällen wurde aber der Statistik – Wert von 0,083 vor bzw. 0,075 nach Ausreißerkorrektur zur Beurteilung herangezogen, die vorliegende Abweichung von der Normalverteilung ist also genügend klein (Tabellen 9 und 10, Anhang).

5.1.2 Deskriptive Statistik

In der Tabelle 11 (Anhang) sind die Mittelwerte, die Mediane und die Standardabweichungen der Abzugskräfte beider Zementsorten bei unterschiedlichen Höhen, Anmischverfahren und nach dem Prozeß des Thermocyclings dargestellt.

Die Werte der Mediane liegen in der Hälfte aller Fälle höher als die Werte des arithmetischen Mittels, das heißt die Verteilung ist nicht ganz symmetrisch sondern eher rechtslastig.

Deutlich wird in dieser Zusammenstellung der kontinuierliche Anstieg der Kraft bei Zunahme der Höhe und die durchgehend höheren Werte von CoolCem P in allen Variationen im Vergleich zu Fixodont.

Bei genauerer Betrachtung fällt auf, daß der Einfluß des Anmischverfahrens auf die Kraft scheinbar keine so große Rolle spielt. Bei CoolCem P wird unter Verwendung des dentalCooly im Bezug auf die Mittelwerte insgesamt achtmal ein höherer Wert erreicht als beim Anmischen auf der gekühlten Glasplatte, bei Fixodont jedoch nur viermal, d.h. hier sind in über der Hälfte der Fälle die Abzugswerte im Durchschnitt bei konventioneller Anmischtechnik höher. Die Mittelwerte der Kraft nach Thermocycling liegen in den meisten Fällen über den vorher erzielten Werten, wobei aber auch wieder Unterschiede zwischen den beiden Zementsorten erkennbar sind. Im Bezug auf CoolCem P ist ein genereller Anstieg der Kraft von teilweise bis zu 300 N ersichtlich, bei Fixodont wird dieser Kraftanstieg erst ab 5 mm Höhe deutlich und bewegt sich auch dann in einem wesentlich kleineren Rahmen von circa 100 N.

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse sind in Boxplotgrafiken die Abzugskräfte für Fixodont bzw. CoolCem P bei unterschiedlichen Höhen dargestellt.

Abbildung 7 zeigt die Verteilung nach Anmischen auf einer gekühlten Glasplatte.

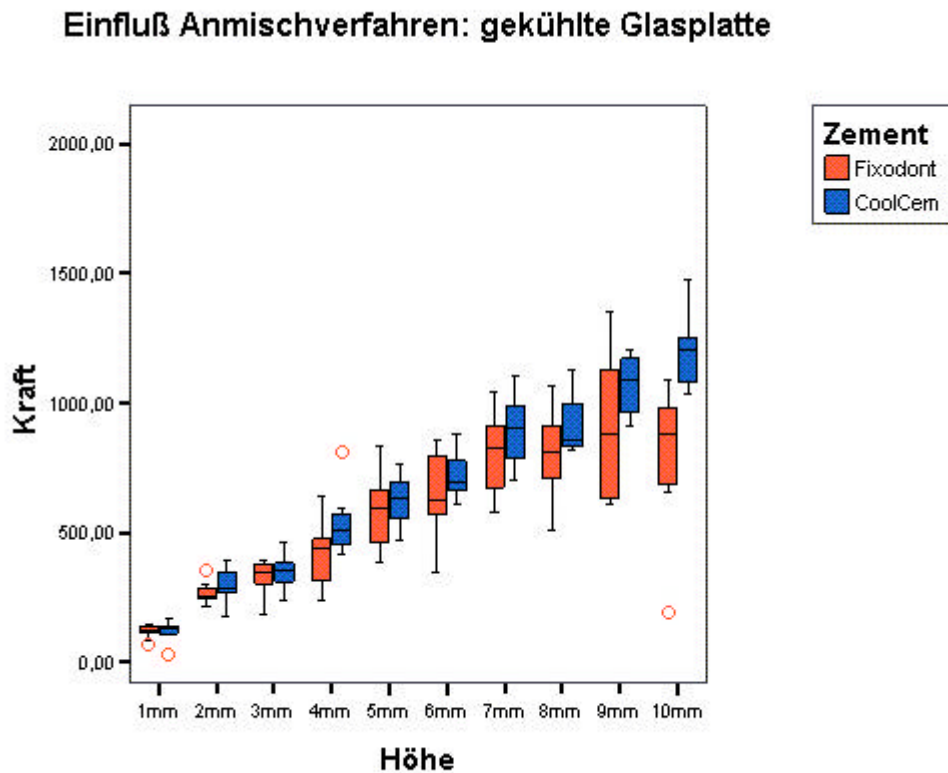


Abbildung 7: Abzugskräfte nach Anmischen auf gekühlter Glasplatte

In der Abbildung ist zu erkennen, daß die Mediane bei CoolCem P immer höher liegen als bei Fixodont mit steigender Tendenz bei steigender Höhe. Außerdem liegen die Mediane nicht immer in der Mitte der Boxen, was die Beobachtung von zuvor unterstreicht, daß die Verteilung nicht ganz symmetrisch ist. Fixodont weist eine größere Streubreite auf als CoolCem P.

Ausreißerwerte findet man bei 1 mm Höhe bei beiden Zementen, ansonsten bei Fixodont in 2 mm und 10 mm Höhe und bei CoolCem P bei 4 mm Höhe.

Aus Abbildung 8 kann man die Verteilung nach Anmischen mit Hilfe des dentalCooly ablesen.

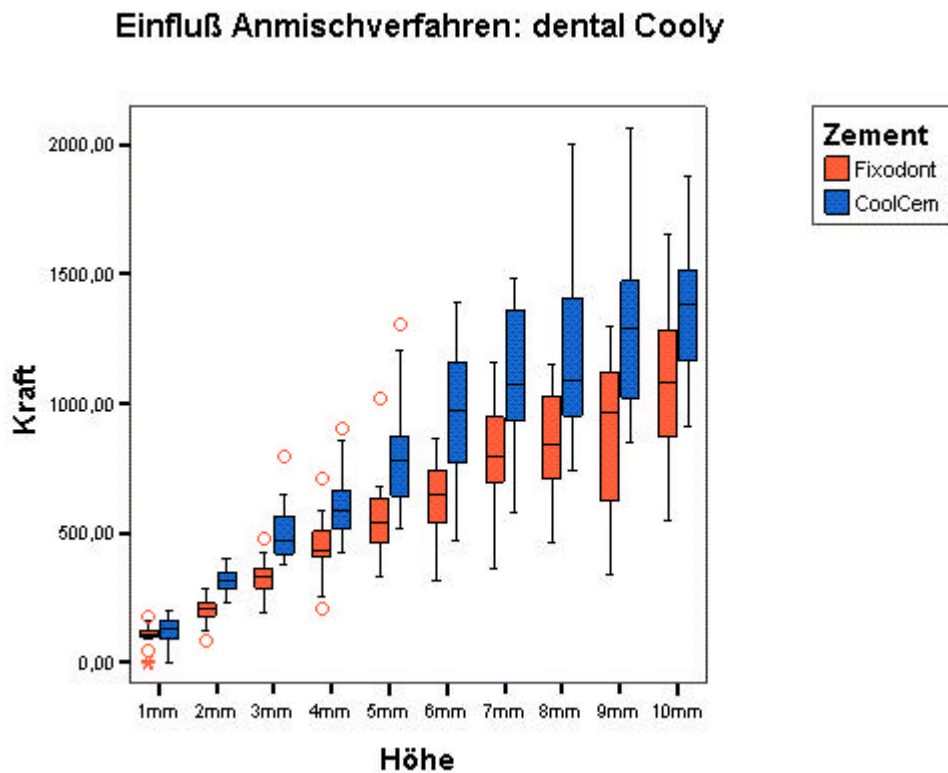


Abbildung 8: Abzugskräfte nach Anmischen mit dem dentalCooly

Auffällig ist im Vergleich zur Abbildung 7 die starke Zunahme der Streubreite bei beiden Zementen, besonders ausgeprägt jedoch bei CoolCem P. Bis zu einer Höhe von 4 mm liegen die Werte hier noch in etwa auf gleicher Höhe wie bei der konventionellen Anmischtechnik, ab 5 mm wird der Interquartilsbereich jedoch sehr groß und die Mediane verschieben sich in einen wesentlich höheren Wertebereich. Bei Fixodont hat zwar ebenfalls die Streubreite zugenommen, die Mediane sind aber kaum verändert. Insgesamt erscheint die Verteilung bezüglich der Mediane symmetrischer als in Abbildung 7.

Die Ausreißerrate ist angestiegen; bei Fixodont findet man Ausreißer bei 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm und 5 mm Höhe, bei CoolCem P bei 3 mm, 4 mm und 5 mm Höhe. Statistisch gesehen hat das Anmischverfahren keinen signifikanten Einfluß auf die Abzugskraft ($p > 0,05$), die verwendete Zementsorte hingegen ist höchst signifikant ($p < 0,001$) (Tabelle 4).

Der Einfluß des Thermocyclings auf die Abzugskraft ist in Abbildung 9 dargestellt.

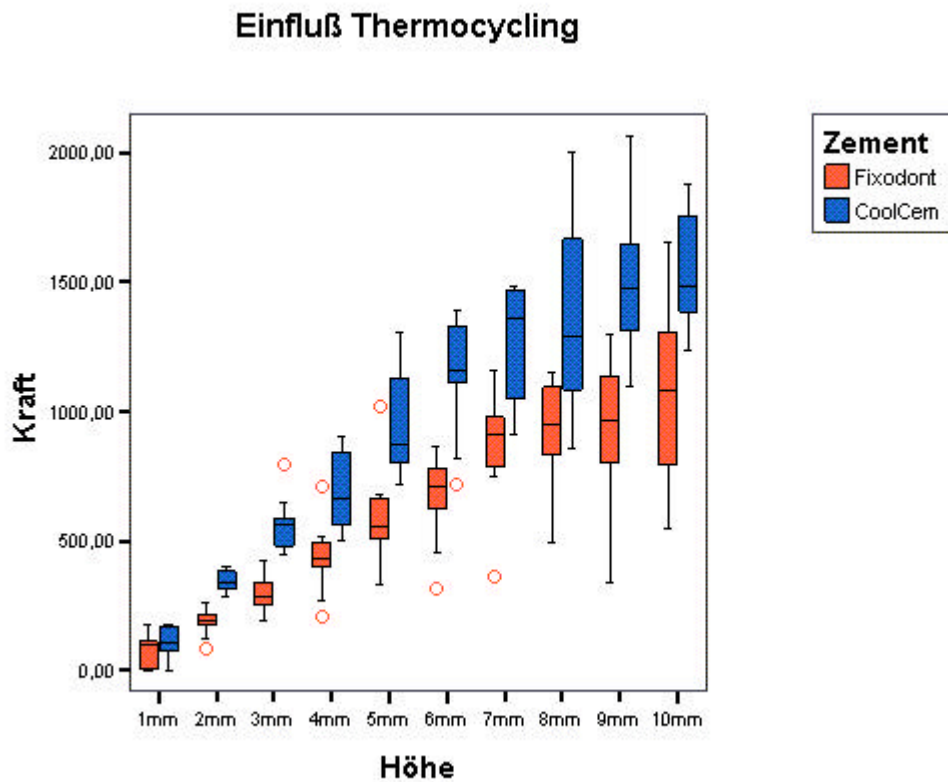


Abbildung 9: Abzugskräfte nach Thermocycling

Deutlich erkennbar ist, daß trotz des Prozesses der künstlichen Alterung die Haftwerte nicht gesunken, sondern stattdessen stagniert bzw. noch leicht gestiegen sind. Bei CoolCem P steigen die Medianwerte im Vergleich zu den Abzugsversuchen ohne Thermocycling mit dentalCooly ab einer Höhe von 2 mm klar an, die Streubreite bleibt in etwa gleich groß.

Für Fixodont sind die Veränderungen verhaltener, nur die Mediane in den mittleren Höhen sind leicht gestiegen, die Streubreite bleibt groß. Außerdem liegen die Mediane wieder vermehrt abseits der Boxenmitte.

Die Zahl der Ausreißer ist in etwa gleich geblieben; bei Fixodont treten sie bei 2 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm und 7 mm auf, bei CoolCem P bei 3 mm und bei 6 mm Höhe.

Die künstliche Alterung hat einen höchst signifikanten Einfluß auf die Abzugskraft ($p < 0,001$) (Tabelle 4).

Insgesamt veranschaulichen die Boxplotgrafiken noch einmal deutlich die Feststellungen, die man bereits mit Hilfe von Tabelle 11 machen konnte, nämlich daß die Kraft kontinuierlich mit zunehmender Höhe steigt und daß CoolCem P eine höhere Haftkraft aufweist als Fixodont, da über alle Versuchsserien hinweg die Mediane von CoolCem P denen von Fixodont überlegen sind.

5.1.3 Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen

Der Levene – Test wird durchgeführt um die Nullhypothese zu prüfen, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist. Dazu wird eine einfaktorielle Varianzanalyse über den Betrag der Abweichung vom Gruppenmittelwert gerechnet. Dieser Test ist gegenüber Verletzungen der Normalverteilung sehr stabil.

Auch nach Beseitigung von Ausreißern ist der Test noch höchst signifikant und mit einem F – Wert von 5,257 kann nicht mehr von einer Homogenität der Varianzen ausgegangen werden (Tabelle 12, Anhang).

5.1.4 Inhomogene Varianzanalyse

Um mit den inhomogenen Varianzen Aussagen über die Signifikanz der einzelnen Modifikationen – welche eine Auswirkung auf die Abzugskraft haben könnten – treffen zu können, wurde der inhomogene Varianztest im SAS – Programm gewählt.

Faktoren	Signifikanz
Höhe	<0,0001
Zement	<0,0001
Thermocycling	<0,0001
Mischvorgang	0,1522
Höhe*Zement	<0,0001
Höhe*Mischvorgang	0,0934
Zement*Mischvorgang	0,1328
Höhe*Zement*Mischvg.	0,1856
Höhe*Thermocycling	<0,0001
Zement*Thermocycling	<0,0001
Höhe*Zement*Thermo.	0,0034

Tabelle 4: Inhomogener Varianztest

Statistisch höchst signifikanten Einfluß auf die Abzugskraft hat die Höhe ($p < 0,001$), die Zementsorte ($p < 0,001$), und das Thermocycling ($p < 0,001$). Der Art des Anmischvorganges ist dagegen statistisch nicht signifikant ($p > 0,05$).

Die Wechselwirkung von Höhe und Mischvorgang ($p > 0,05$), von Zement und Mischvorgang ($p > 0,05$) und von der Kombination Höhe/Zement/Mischvorgang ($p > 0,05$) sind ebenfalls nicht signifikant, wohingegen die Kombinationen, in denen der Mischvorgang außen vor gelassen wird höchst bzw. sehr signifikant sind; diese sind Höhe/Zement ($p < 0,001$), Höhe/Thermocycling ($p < 0,001$), Zement/Thermocycling ($p < 0,001$) und Höhe/Zement/Thermocycling ($p < 0,01$).

5.1.5 post – hoc – Test

Anhand des post – hoc – Tests nach Games – Howell ist es möglich, die Signifikanz der Höhenunterschiede paarweise zu betrachten (Tabelle 13, Anhang).

Mit Annahme von heterogenen Varianzen ergeben sich nach Ausreißerbeseitigung höchst signifikante Unterschiede zwischen allen unteren Höhen bis 5 mm ($p \leq 0,001$).

Als sehr signifikant werden die Unterschiede zwischen 6 mm und 7 mm, 6 mm und 8 mm und 8 mm und 10 mm eingestuft ($p \leq 0,01$). Als nicht signifikant gelten Unterschiede von 5 mm und 6 mm, 7 mm und 8 mm, 7 mm und 9 mm, 8 mm und 9 mm und 9 mm und 10 mm ($p > 0,05$).

Aus den Untergruppen nach Games – Howell kann man ersehen, welche Höhen zu einer Gruppe gehören und wie hoch die Mittelwerte der Abzugskräfte der jeweiligen Höhen sind (Tabelle 14, Anhang); auch hier wurden Ausreißer nicht berücksichtigt. Aus dem Durchschnitt von allen Versuchsserien ermittelt stieg die zum Abzug der Käppchen benötigte Kraft pro mm um 116,03 N an.

Auffällig ist jedoch der große Abstand des geringsten Wertes von 15,01 N zwischen 7 mm und 8 mm Höhe zum Höchstwert von 167,44 N zwischen 6 mm und 7 mm Höhe. Die 5 mm und 6 mm Höhe zählen nach dieser Unterteilung zu derselben Untergruppe, die Höhen 7 mm, 8 mm und 9 mm bilden die nächste Untergruppe und 9 mm ist nochmals mit 10 mm zu einer Gruppe zusammengefaßt.

5.1.6 Kovarianzanalyse

Bevor die Abhängigkeit der Abzugskraft von der Höhe je nach Zement, Mischvorgang und Thermocycling über die Kovarianzanalyse überprüft wurde, ist zunächst wieder ein Levene – Test vorangestellt worden. Trotz des kaum akzeptablen F – Wertes von 7,108 (Tabelle 15, Anhang) kann man die

Ergebnisse dennoch als aussagekräftig einstufen, da mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10^{-10} davon ausgegangen werden kann, daß die Höhe einen höchst signifikanten Einfluß auf die Abzugskraft hat.

Faktoren	Signifikanz
Höhe	0,0000000000
Mischvorgang*Höhe	0,4386325028
Thermocycling*Höhe	0,0000000008
Zement*Höhe	0,0000000075

Tabelle 5: Kovarianzanalyse / Kovariate: Höhe

Die hohe Signifikanz der Wechselwirkungen zwischen Höhe und Thermocycling bzw. Höhe und Zement ($p < 0,001$) unterstreicht das bereits festgestellte Faktum aus der Varianzanalyse in SAS; die Kombination Höhe/Mischvorgang ist – wie zuvor festgestellt – nicht signifikant ($p > 0,05$). Abbildung 10 zeigt den Anstieg der Kraft in Abhängigkeit von der Höhe für die Kombinationen Fixodont mit und ohne Thermocycling, CoolCem P mit und ohne Thermocycling und die Kraftzunahme bei steigender Höhe gesamt. Der Mischvorgang wurde aufgrund der fehlenden Signifikanz nicht berücksichtigt.

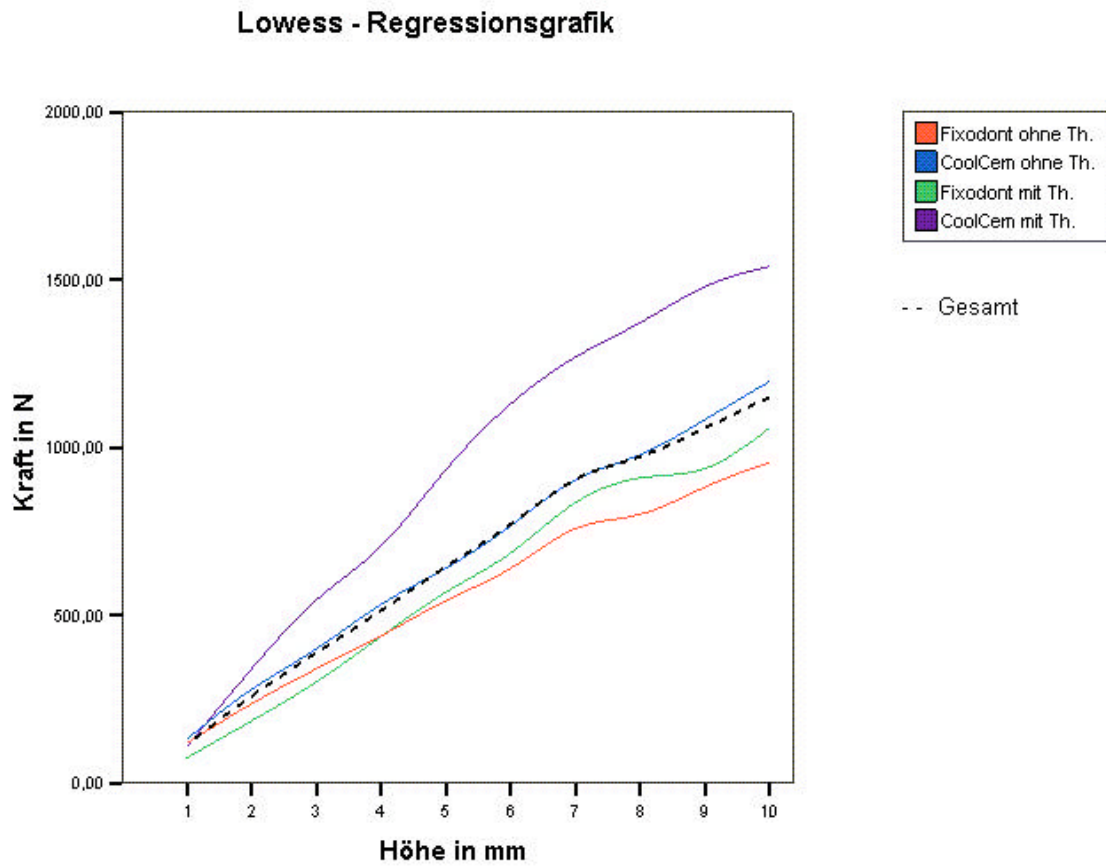


Abbildung 10: Lowess – Regressionsgrafik

Man kann deutlich sehen, daß CoolCem P mit Thermocycling die größte Steigung aufweist und Fixodont ohne Thermocycling die geringste. Die Linie 'Gesamt' ist in etwa deckungsgleich mit der Linie für CoolCem P ohne Thermocycling.

5.2 Nebenkriterium: Zeitabhängigkeit

5.2.1 Test auf Normalverteilung

Zur Überprüfung der Abhängigkeit der Abzugskraft von der Zeit vom Aufzementieren der Käppchen bis zu den Abzugsversuchen ist zunächst die Normalverteilung der Ergebnisse aus den Versuchsserien 1 bis 4 mit dem Kolmogorov – Smirnov – Test überprüft worden. Die Zahl der untersuchten Fälle beschränkt sich auf 396, da die Versuchsserien mit Thermocycling nicht einbezogen wurden und 4 Ausreißer beseitigt sind. Wir zogen zur Beurteilung des Testes wegen der hohen Fallzahl wieder den Statistik – Wert von 0,078 zur Beurteilung heran, die Abweichung von der Normalverteilung ist also tolerierbar (Tabelle 16, Anhang).

5.2.2 Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen

Der Levene – Test zeigt mit einem F – Wert von 2,730 leichte Abweichungen von der Varianzhomogenität, sie liegen aber noch im Rahmen (Tabelle 17, Anhang).

5.2.3 Varianzanalyse

Faktoren	Signifikanz
Zeit	0,0000000000
Höhe	0,0000000000
Zement	0,0000000000
Höhe*Zeit	0,0000034181
Zeit*Zement	0,0000203789
Höhe*Zeit*Zement	0,0160110723

Tabelle 6: Varianzanalyse mit Nebenkriterium Zeit

Die univariate multifaktorielle Varianzanalyse erlaubt mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10^{-10} die These, daß die Zeit einen höchst signifikanten Einfluß auf die Kraft ausübt ($p \leq 0,001$), ebenso wie die bereits getestete Höhe, der verwendete Zement und die Kombinationen von Höhe/Zeit und Zeit/Zement.

Auch die Kombination von Höhe, Zeit und Zement zusammen hat einen signifikanten Einfluß auf die Kraft ($p \leq 0,05$).

In Boxplotgrafiken soll die Abhängigkeit der Kraft von der Zeit für Fixodont und CoolCem P getrennt veranschaulicht werden. Dazu wurden Boxplots in zwei unterschiedlichen Farben zur Darstellung der unterschiedlichen Zeiten gewählt, auf der x – Achse sind drei ausgewählte Höhen (3 mm, 6 mm und 10 mm) mit den beiden unterschiedlichen Anmischvorgängen (konventionell und dentalCooly) kombiniert.

Zeitabhängigkeit Fixodont

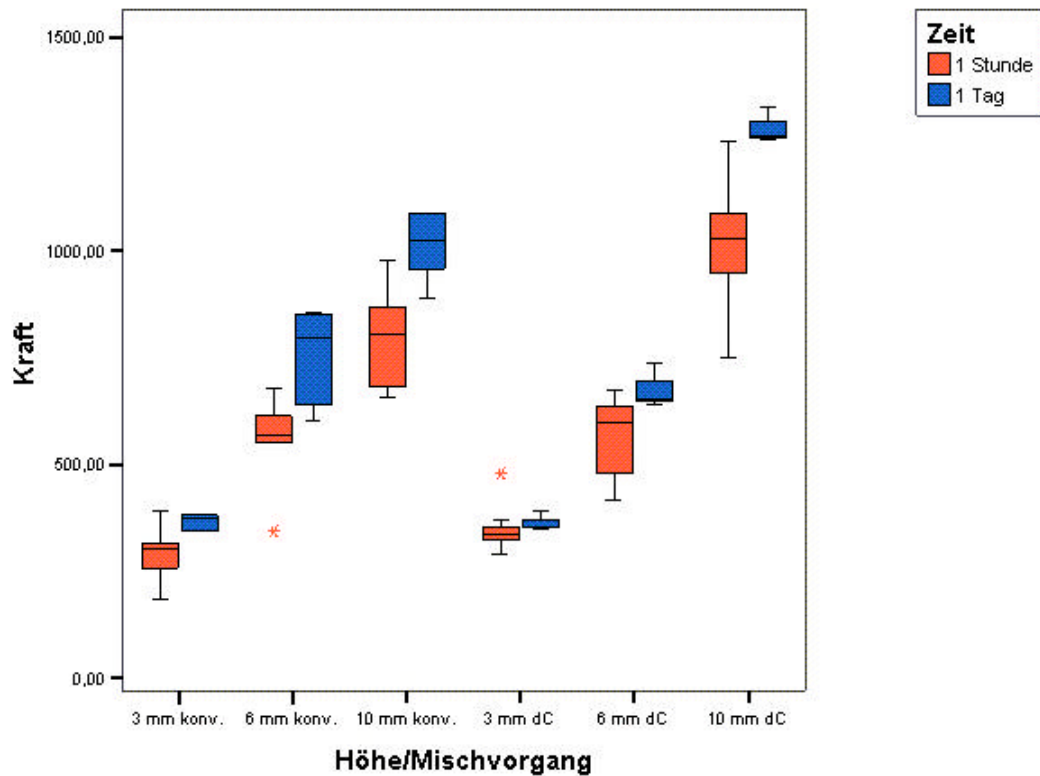


Abbildung 11: Zeitabhängigkeit Fixodont

Abbildung 11 zeigt deutlich, daß die Mediane für die Abzugskräfte nach Ablauf von 24 Stunden grundsätzlich und zum Teil wesentlich höher liegen als nach einer Stunde.

Der Anmischvorgang spielt dabei keine wesentliche Rolle.

Zeitabhängigkeit CoolCem

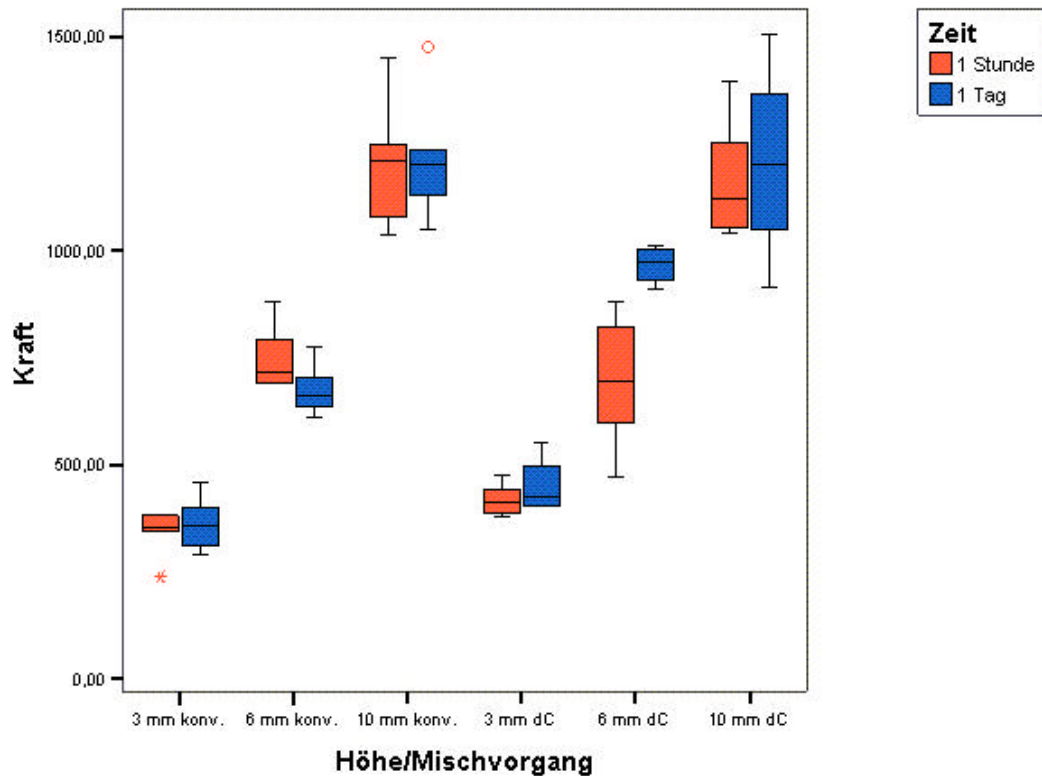


Abbildung 12 : Zeitabhängigkeit CoolCem P

Den gleichen Sachverhalt kann man auch – abgesehen von zwei Ausnahmen – in Abbildung 12 mit CoolCem P als Testmedium erkennen. Lediglich die Mediane bei 6 mm / konventioneller Mischvorgang und 10 mm / konventioneller Mischvorgang sind nach 24 Stunden etwas niedriger als nach einer Stunde. Die Tendenz des Anstiegs der Kraft bei verlängerter Wartezeit ist jedoch dieselbe.

Statistisch gesehen hat die Zeit einen höchst signifikanten Einfluß auf die Abzugskraft ($p < 0,001$) (Tabelle 6).

5.2.4 Ergebnisse der elektronenmikroskopischen Untersuchung

Aufgrund der beobachteten Abhängigkeit der Abzugskraft von der Zeit sollte die Struktur der beiden Zemente noch genauer untersucht werden. Zu diesem Zweck wurde sowohl eine Stunde als auch 24 Stunden nach dem Anmischen eine elektronenmikroskopische Untersuchung an den abgebundenen Zementen durchgeführt, um etwaige Unterschiede im Aufbau zu verdeutlichen, welche Ursache für die Retentionssteigerung nach 24 Stunden sein könnten. Zusätzlich ermöglicht diese Untersuchung auch den direkten Vergleich des Strukturaufbaus der beiden Zemente.

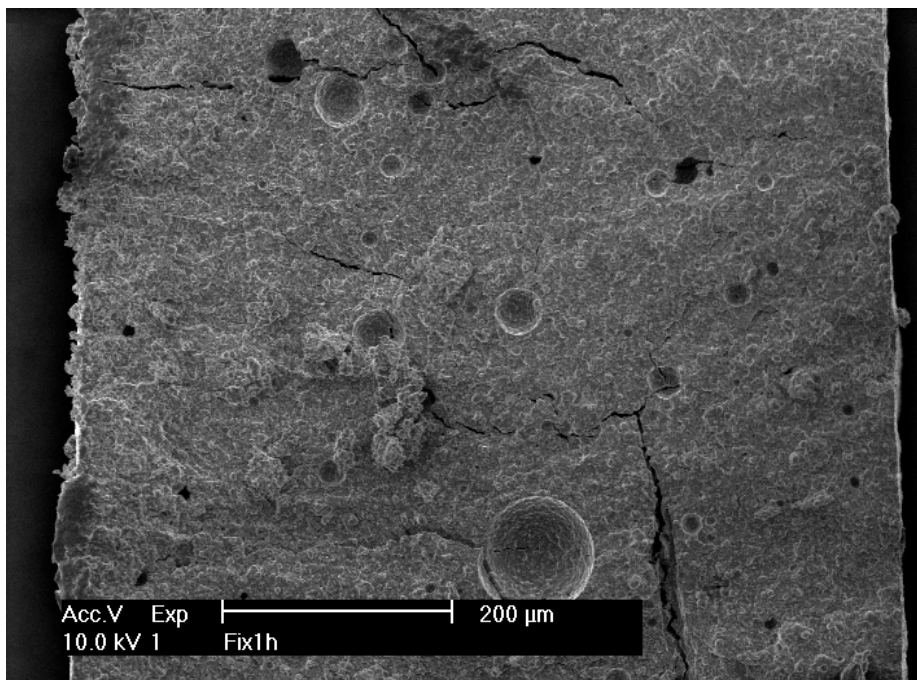


Abbildung 13: Übersichtsaufnahme Fixodont nach einer Stunde

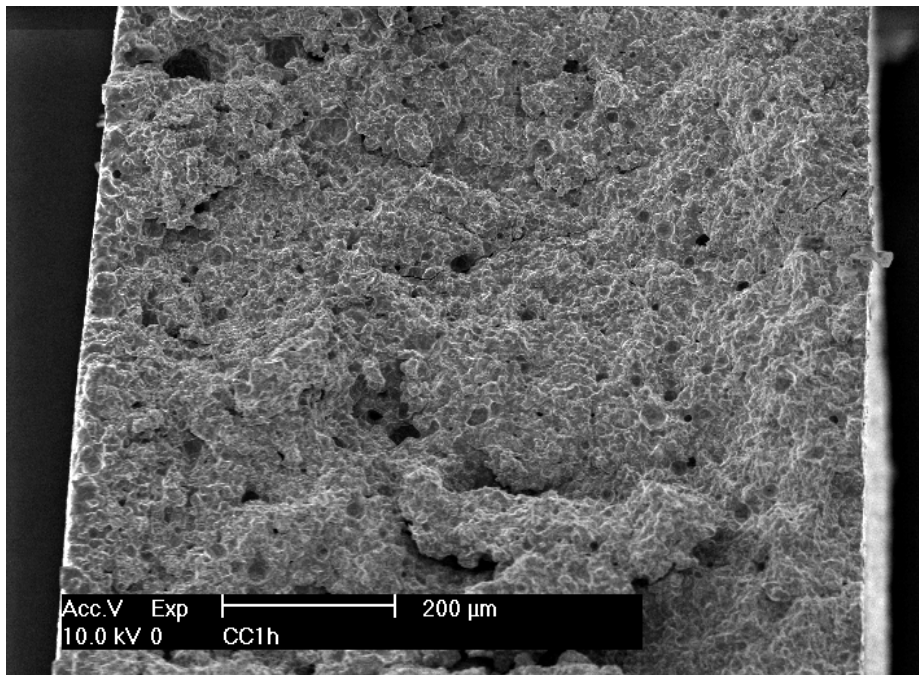


Abbildung 14: Übersichtsaufnahme CoolCem P nach einer Stunde

Die Übersichtsaufnahme von beiden Zementen eine Stunde nach dem Anmischen zeigt bereits deutliche Unterschiede. Die Oberfläche von CoolCem P erscheint schwammartiger aufgrund von größeren Porositäten als sie bei Fixodont zu finden sind. Bei Fixodont wird die Strukturhomogenität durch große kreisförmige Einschlüsse unterbrochen, während CoolCem P insgesamt eine sehr homogene Struktur aufweist. Weitere auffällige Unregelmäßigkeiten bei Fixodont sind senkrechte und waagerechte rißartige Einkerbungen in der Oberfläche.

Nach 600facher Vergrößerung derselben Präparate bestätigen sich die bereits aus der Übersichtsaufnahme gewonnenen Feststellungen.

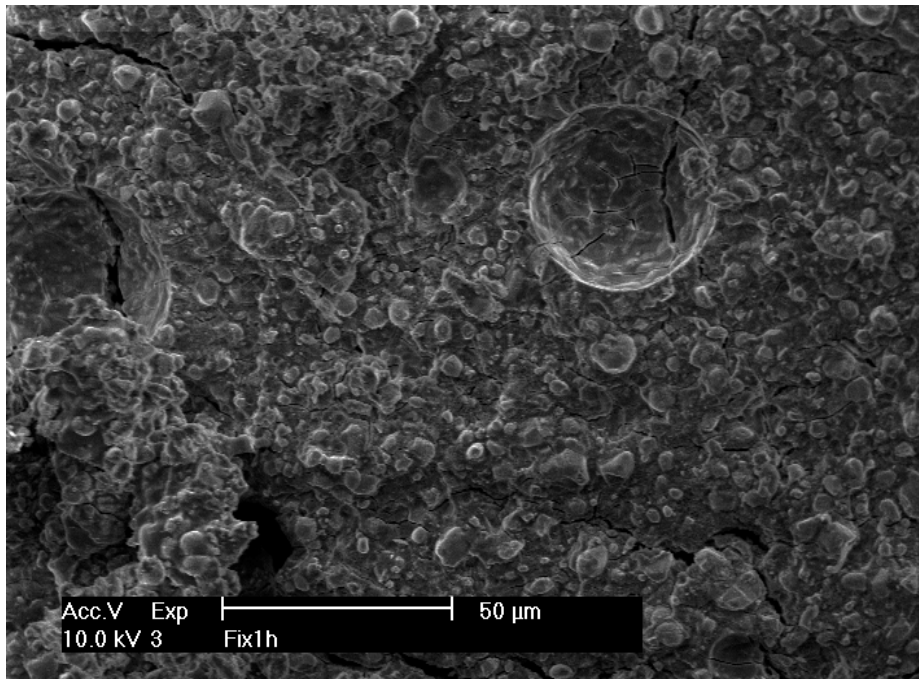


Abbildung 15: 600fache Vergrößerung, Fixodont nach einer Stunde

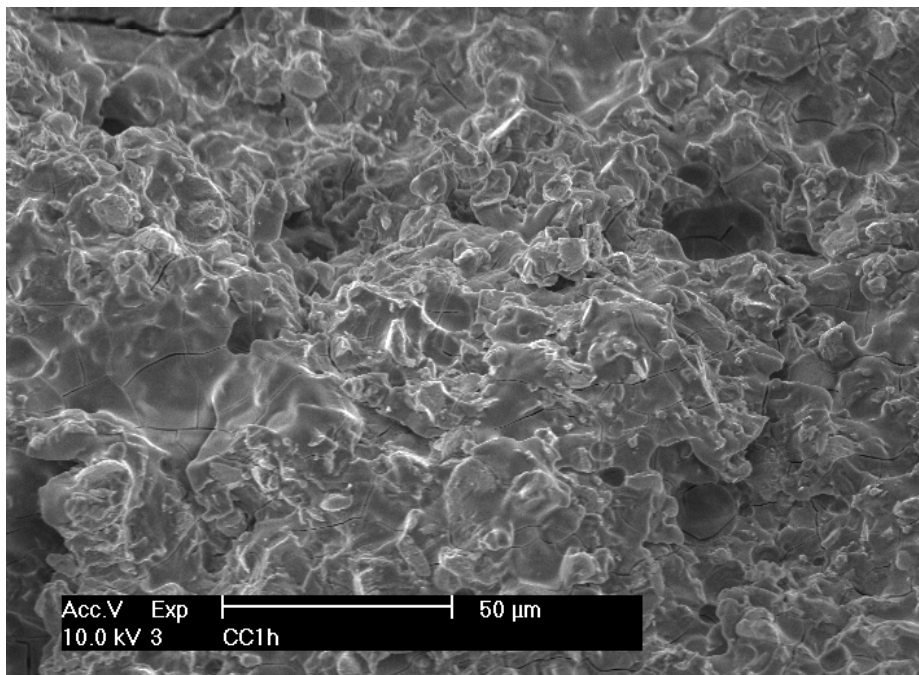


Abbildung 16: 600fache Vergrößerung, CoolCem P nach einer Stunde

Gut zu erkennen ist eine der kreisrunden Strukturen auf der Oberfläche von Fixodont, die umgebenden Partikel hingegen sind sehr feinstrukturiert und kaum unterbrochen. Die Oberfläche von CoolCem P ist zwar in sich homogener, die im Vergleich zu Fixodont größeren Porositäten sind aber auch klar erkennbar.

Die Präparate, die 24 Stunden nach Anmischen elektronenmikroskopisch untersucht wurden, zeigen – zumindest im Bezug auf Fixodont – ein leicht verändertes Bild.

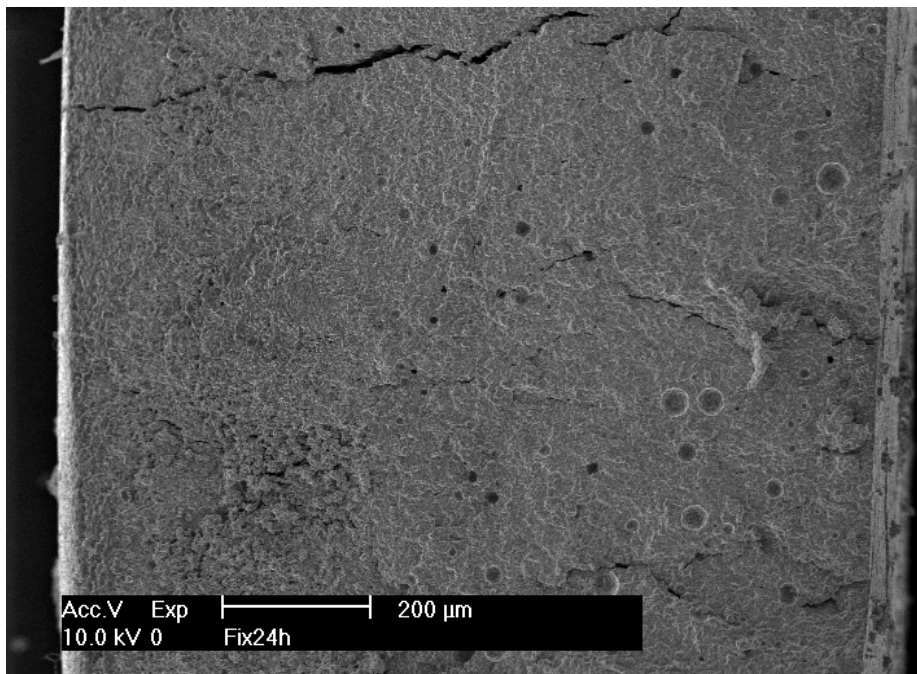


Abbildung 17: Übersichtsaufnahme Fixodont nach 24 Stunden

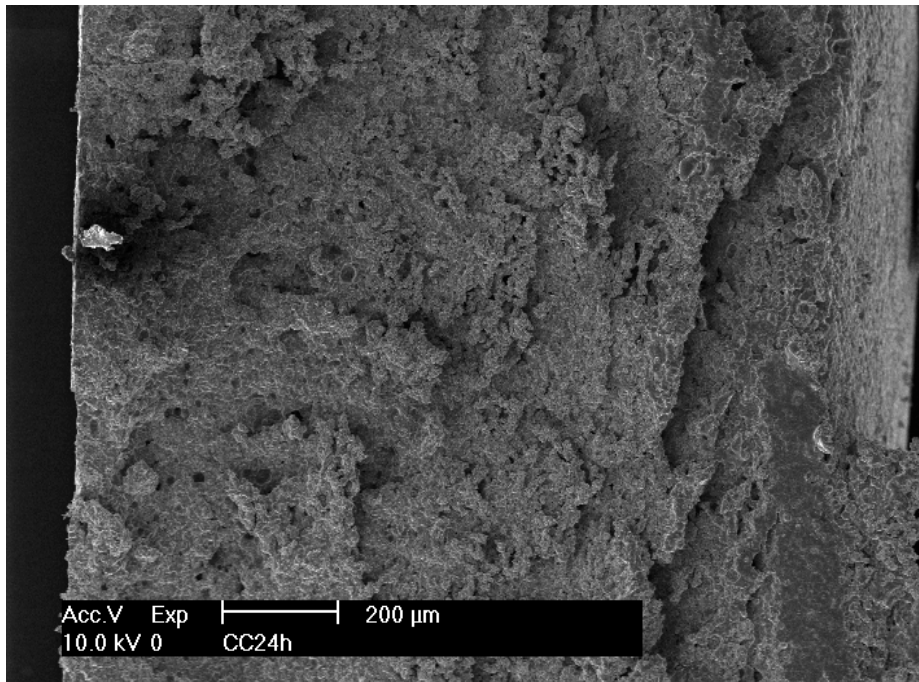


Abbildung 18: Übersichtsaufnahme CoolCem P nach 24 Stunden

Die zuvor bei Fixodont sehr auffälligen runden Einschlüsse erscheinen in diesem Präparat kleiner und weniger an Zahl. Die rißartigen Einkerbungen sind auch wieder zu finden, trotzdem scheint die Struktur insgesamt noch feiner und homogener zu sein als es nach einer Stunde der Fall war.

Die Übersichtsaufnahme von CoolCem P nach 24 Stunden unterscheidet sich kaum von der nach einer Stunde; die Porositätengröße hat noch leicht abgenommen, wodurch sich die Oberfläche weniger schwammartig und noch homogener darstellt.

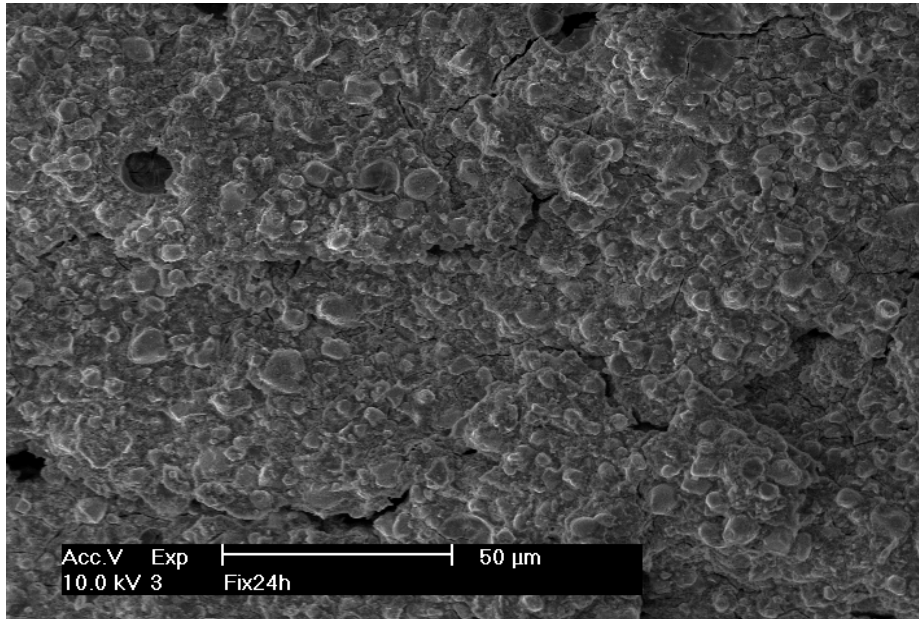


Abbildung 19: 600fache Vergrößerung, Fixodont nach 24 Stunden

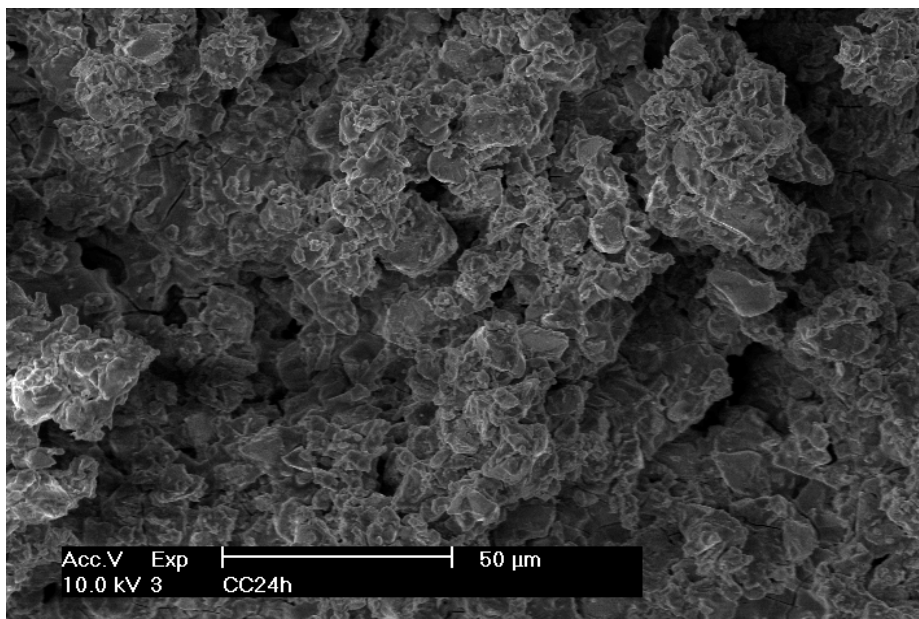


Abbildung 20: 600fache Vergrößerung, CoolCem P nach 24 Stunden

Nach 600facher Vergrößerung läßt sich dasgleiche feststellen wie zuvor; Fixodont und CoolCem P unterscheiden sich nunmehr kaum voneinander, besonders da in diesem Ausschnitt bei Fixodont keine Einschlüsse zu finden sind. Die Oberfläche von CoolCem P scheint noch feinstrukturierter geworden zu sein, nur mit dem Unterschied, daß diese wolkiger aussieht und nicht so glatt wie bei Fixodont.

5.3 Ergebnisse der Untersuchung zur Handhabbarkeit der verwendeten Zemente

5.3.1 Deskriptive Statistik

Zur Auswertung der Beurteilungsbögen über die Handhabbarkeit von Fixodont und CoolCem P mit den unterschiedlichen Anmischverfahren wurden zunächst die Mittelwerte für die jeweiligen Parameter getrennt nach Anwender gebildet. Die Ergebnisse sind in der unten stehenden Tabelle aufgelistet.

Anwender	Zement		Portion	Anmvg	Anmd	Konsis	Benetz	Abbzeit	Reinig	Übersch
Zahnarzt	Fixodont	Mittelwert	4,60	3,80	6,40	5,00	4,00	4,80	2,60	2,25
		N	5,00	5,00	5,00	5,00	4,00	5,00	5,00	4,00
	CoolCem	Mittelwert	1,00	1,60	4,60	7,20	3,75	4,40	1,80	2,25
		N	5,00	5,00	5,00	5,00	4,00	5,00	5,00	4,00
Helferin	Fixodont	Mittelwert	6,00	4,33	7,33	5,00	1,50	5,83	5,67	1,50
		N	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	4,00
	CoolCem	Mittelwert	1,50	2,00	4,83	6,33		5,00	1,50	
		N	6,00	6,00	6,00	6,00		6,00	6,00	
Gesamt	Fixodont	Mittelwert	5,36	4,09	6,91	5,00	2,50	5,36	4,27	1,88
		N	11,00	11,00	11,00	11,00	10,00	11,00	11,00	8,00
	CoolCem	Mittelwert	1,27	1,82	4,73	6,73	3,75	4,73	1,64	2,25
		N	11,00	11,00	11,00	11,00	4,00	11,00	11,00	4,00

Portion = Portionierung Anmvg = Anmischvorgang Anmd = Anmischdauer

Konsis = Konsistenz Benetz = Benetzungsfähigkeit Abbzeit = Abbindezeit

Reinig = Reinigungsfähigkeit Übersch = Überschußentfernung

Tabelle 7: Bewertung durch Anwender / Mittelwerte

Die Anzahl N der Anwender ist sowohl für den Bereich 'Zahnarzt' als auch für den Bereich 'Helferin' nicht in allen Punkten einheitlich, da unser Test nicht an Patienten durchgeführt worden ist und daher für die Punkte 'Benetzungsfähigkeit' und 'Überschußentfernung' auf eigene Erfahrung – sofern vorhanden – zurückgegriffen werden mußte. Daher fehlt bei den Zahnärzten einmal die Beurteilung dieser Parameter (N = 4) aufgrund fehlender Erfahrung. Von den Helferinnen konnten zwei die Überschußentfernung von Fixodont nicht beurteilen (N = 4) und keine die Benetzungsfähigkeit und Überschußentfernung von CoolCem P.

Desweiteren muß zur Auswertung der Tabelle angemerkt werden, daß für die Punkte 'Anmischdauer', 'Konsistenz' und 'Abbindezeit' nicht – wie es bei den anderen Punkten der Fall ist – die 1 als optimaler Wert gilt, mit zunehmend negativerer Bewertung bis zur 10, sondern die 5.

Kleinere Werte (Mittelwert < 5) bedeuten 'zu kurz' (im Bezug auf Anmischdauer und Abbindezeit) bzw. 'zu dünn' (Konsistenz), größere Werte (Mittelwert > 5) stehen für 'zu lang' (Anmischdauer und Abbindezeit) bzw. 'zu dick' (Konsistenz). Die Bewertung dieser Parameter anhand der Mittelwerte ist daher nur eingeschränkt möglich, da es zur Nivellierung der Abweichungen kommen kann.

Für den Bereich 'Portionierung' ist deutlich erkennbar, daß das in Kapseln vordosierte CoolCem P mit der Dosierhilfe für die Flüssigkeit mit einer 1,27 in der Gesamtbewertung weit vor Fixodont liegt, bei dem die Portionierung dem Gefühl des Anwenders überlassen wird und das nur mit einer 5,36 abschneidet. Eine starke Überlegenheit von CoolCem P in beiden Anwendergruppen zeigt sich auch bei der Beurteilung des Anmischvorganges und der Reinigungsfähigkeit (CoolCem P: 1,82 und 1,64 / Fixodont: 4,09 und 4,27). Bei der Benetzungsfähigkeit (Fixodont: 2,5 / CoolCem P: 3,75) und bei der Überschußentfernung (Fixodont: 1,88 / CoolCem P: 2,25) wird Fixodont insgesamt etwas besser bewertet als CoolCem P, dieser geringe Unterschied

sollte aber nicht zu stark gewichtet werden, da CoolCem P in beiden Bereichen aufgrund mangelnder Erfahrung der Anwender nur halb so oft bewertet werden konnte.

Die Dauer des Anmischens wird tendentiell von beiden Anwendergruppen bei Fixodont als zu lang und bei CoolCem P als zu kurz beurteilt. In puncto Konsistenz herrscht Einigkeit was Fixodont betrifft, sie wird in beiden Gruppen als optimal angesehen.

Die Abbindezeit ist der einzige Parameter, bei dem die Meinungen von Zahnärzten und Helferinnen auseinandergehen. Die Zahnärzte befinden die Abbindezeit von Fixodont und von CoolCem P im Mittel als zu kurz, die Helferinnen die von Fixodont als zu lang und von CoolCem P als optimal.

Um die Parameter 'Anmischdauer', 'Konsistenz' und 'Abbindezeit' nicht nur nach dem Mittelwert zu beurteilen, bei dem die Gefahr besteht daß Abweichungen vom Optimum durch Summierung und Division aus der Statistik herausgemittelt werden, wurde zusätzlich noch eine weitere Tabelle angelegt, in der die absolute Abweichung vom Optimum ersichtlich wird.

Anwender	Zement		Abwg.Anmd	Abwg.Konsistenz	Abwg.Abbzeit
Zahnarzt	Fixodont	Mittelwert	1,4	0	0,6
		N	5	5	5
	CoolCem	Mittelwert	0,4	2,2	0,6
		N	5	5	5
Helferin	Fixodont	Mittelwert	2,3	0	2,2
		N	6	6	6
	CoolCem	Mittelwert	0,2	1,2	0,3
		N	6	6	6

Abwg. = Abweichung Anmd = Anmischdauer Abbzeit = Abbindezeit

Tabelle 8: Absolute Abweichung vom Optimum

Im Bezug auf die Anmischdauer wird die Abweichung vom Optimum bei CoolCem P von beiden Anwendergruppen sehr viel geringer eingeschätzt als bei Fixodont. Dagegen steht bei der Konsistenz eine einheitlich klare Optimalbewertung für Fixodont, während CoolCem P in diesem Punkt starke Abweichungen aufweist. Die Abbindezeit wird von den Zahnärzten für beide Zemente gleich stark abweichend bewertet, die Helferinnen befanden Fixodont mit einer Abweichung von 2,2 als weniger ideal gegenüber CoolCem P mit 0,3 Abweichungswert.

5.3.2 Diagramme

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wurden Balkendiagramme erstellt. Wegen der unterschiedlichen Skalen sind die Parameter mit dem Optimum '5' von den anderen getrennt und in separate Diagramme versetzt worden.

Abbildung 21 zeigt die Bewertung der Zahnärzte für die Kriterien, bei denen die 1 als Optimum gilt. Die Balken für Fixodont und CoolCem P sind jeweils unterschiedlich eingefärbt.

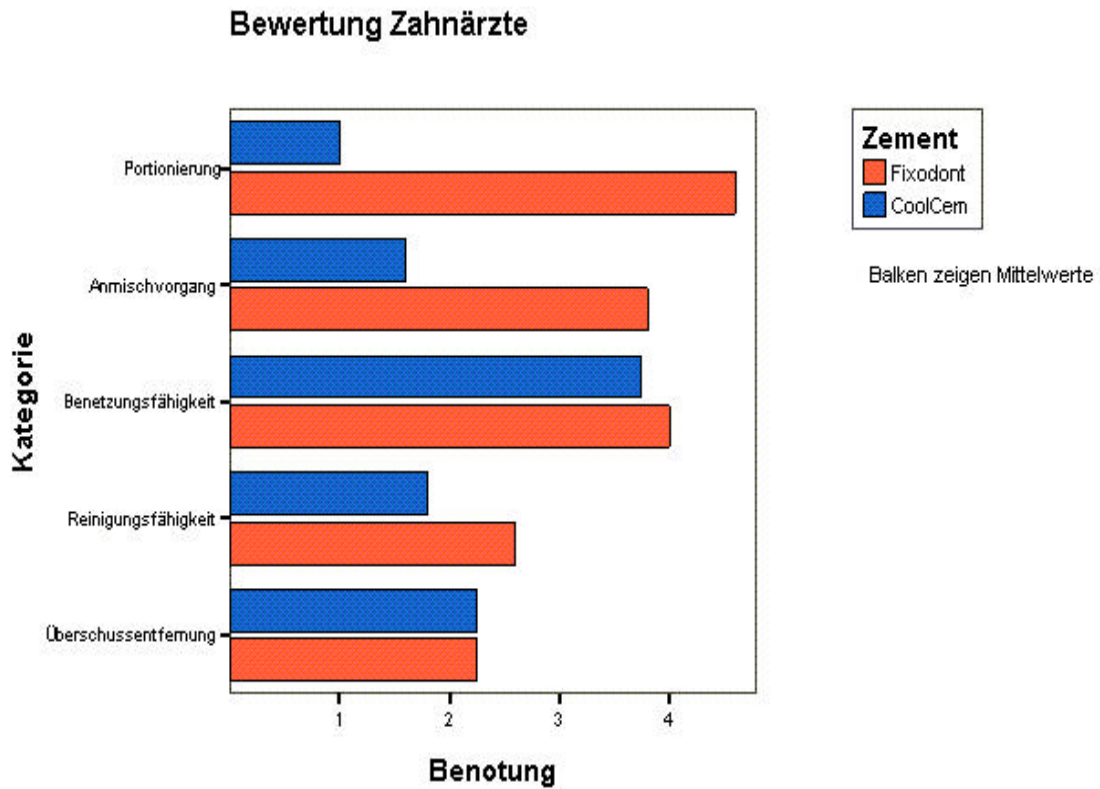


Abbildung 21: Bewertung Zahnärzte

Einfach zu erkennen an den kürzeren Balken ist die bessere Benotung für CoolCem P in allen Bereichen, mit Ausnahme der Überschussentfernung, wo Fixodont in der Benotung gleich gut abschneidet.

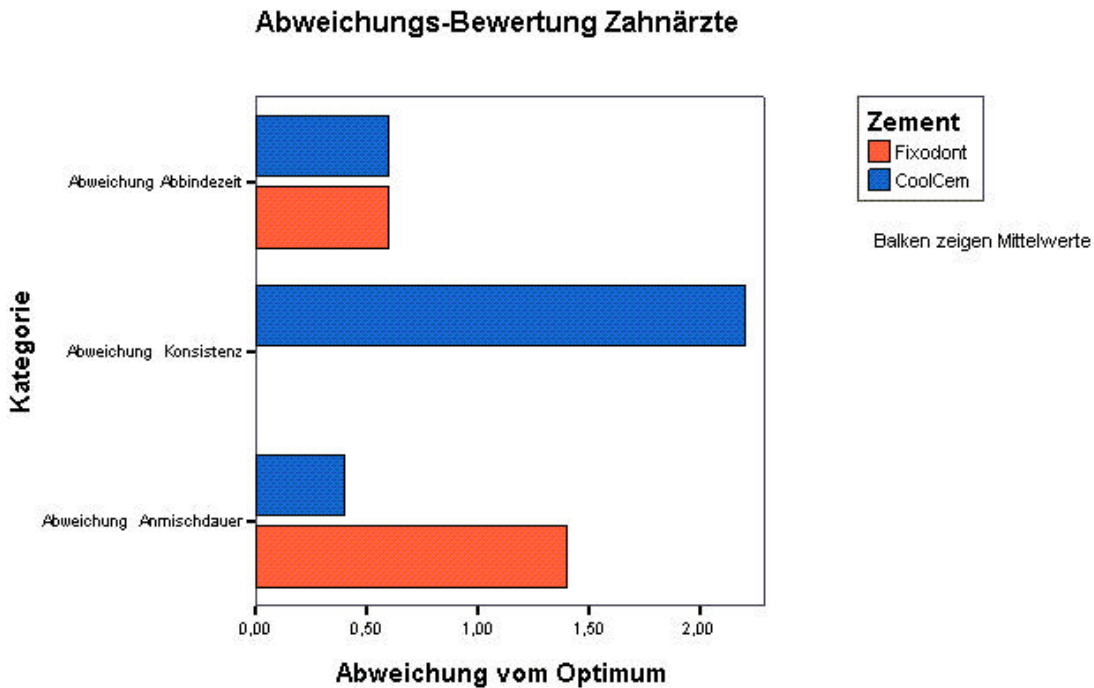


Abbildung 22: Abweichungs – Bewertung Zahnärzte

Um auch die Parameter grafisch darzustellen, deren Optimum in der Mitte der Analogskalen liegt, sind die Achsen der Balkendiagramme dahingehend modifiziert, daß die x – Achse nunmehr die Abweichung vom Optimum darstellt, d.h. man erkennt jetzt nicht mehr die Richtung der Bewertung, sondern nur noch die Tatsache daß eine Abweichung vorliegt und wie stark diese ist. Für die Gruppe der Zahnärzte sieht man also, daß die Anmischdauer von CoolCem P näher am Optimum liegt als Fixodont. Die Konsistenz von CoolCem P weicht dagegen relativ stark vom Idealwert ab, der Balken für Fixodont fehlt in diesem Fall ganz, da keine Abweichung vorliegt. Bei der Abbindezeit sind beide Zemente gleich stark vom Optimum entfernt.

Das Balkendiagramm für die Bewertung durch die Helferinnen ist etwas von dem der Zahnärzte abgewandelt, die Punkte Benetzungsfähigkeit und Überschussentfernung fehlen aufgrund fehlender Werte.

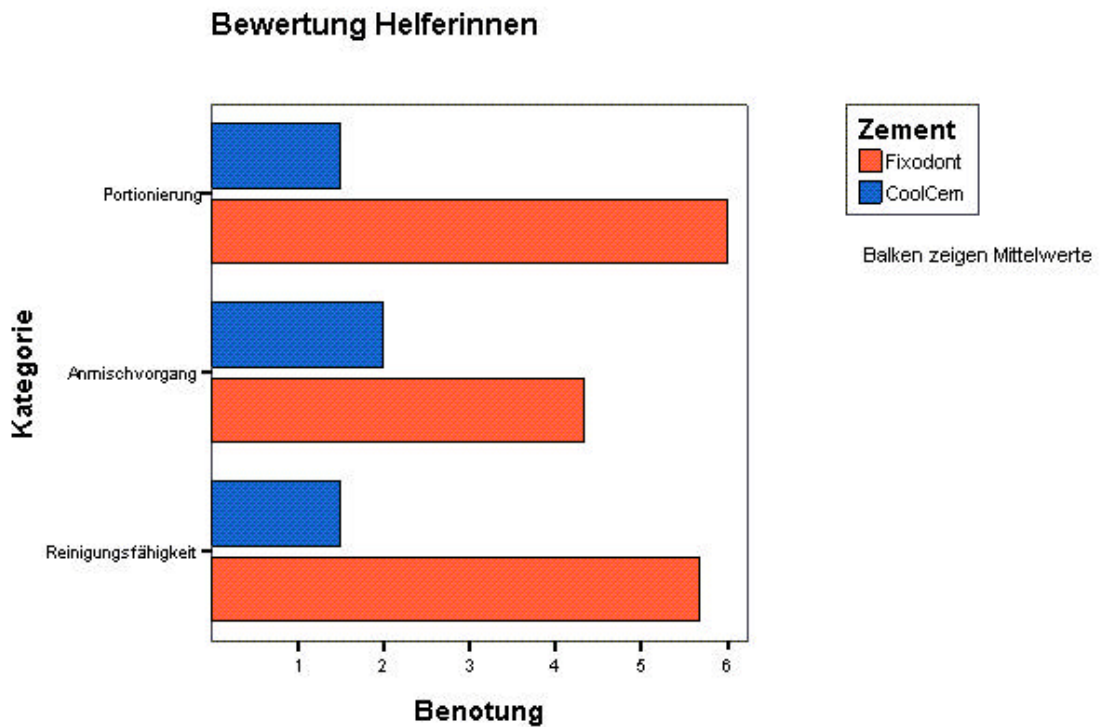


Abbildung 23: Bewertung Helferinnen

Wie bereits bei den Zahnärzten ersichtlich war sind die Balken von CoolCem P wesentlich kürzer als die von Fixodont, auch hier erfolgte einer bessere Benotung des Kapselzementes.

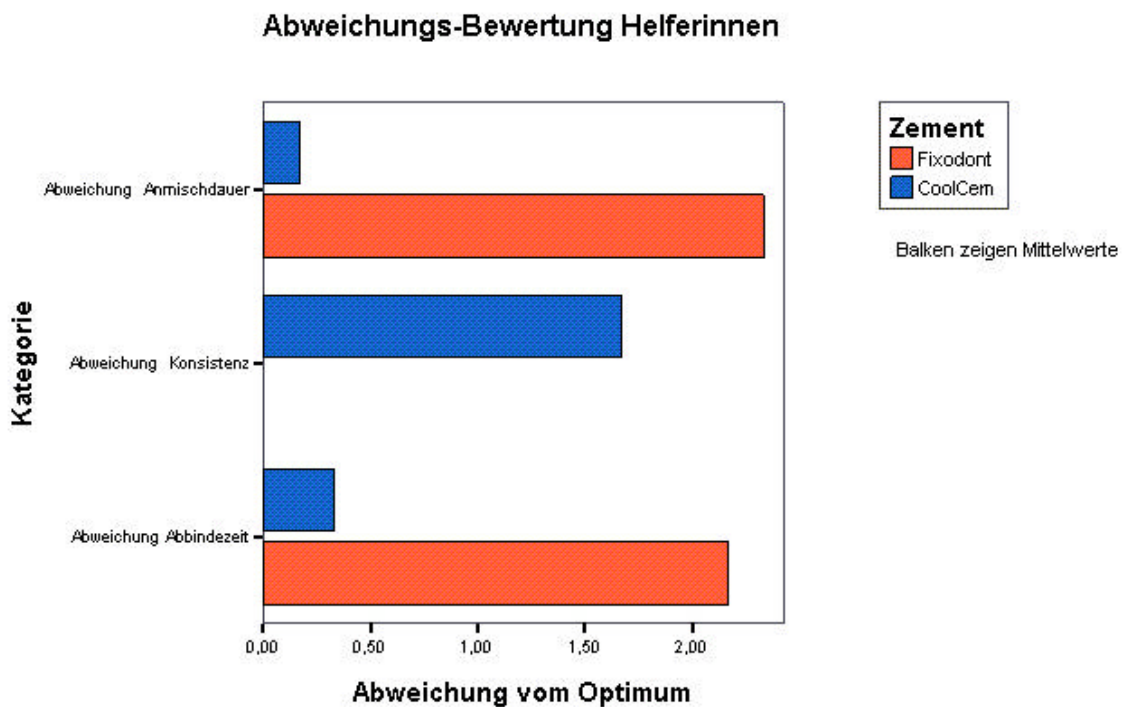


Abbildung 24: Abweichungs - Bewertung Helferinnen

Die Abweichung vom Optimum ist im Bezug auf die Anmischdauer anhand des langen Balkens bei Fixodont klar ersichtlich, bei CoolCem P eher gering. Bei der Beurteilung der Konsistenz verhält es sich wie zuvor im Balkendiagramm der Abbildung 22: CoolCem P weicht relativ stark vom Idealwert ab, während der fehlende Balken von Fixodont für eine optimale Bewertung durch die Helferinnen spricht. In puncto Abbindezeit ist für Fixodont ein langer Balken zu erkennen, CoolCem P schneidet mit einem nah am Optimum liegenden Balken wesentlich besser ab.

5.3.3 Anmischdauer in Sekunden / Diagramme

Das Kriterium 'Anmischdauer' sollte nicht nur subjektiv auf der Analogskala bewertet werden, sondern die Zeit vom Beginn bis Ende des Anmischvorganges wurde zusätzlich exakt in Sekunden gemessen. Daraus resultieren die in Histogrammen dargestellten Ergebnisse. Der Leser wird darauf hingewiesen, daß die Dimensionen der Achsen zum Zwecke der Verdeutlichung nicht miteinander übereinstimmen.

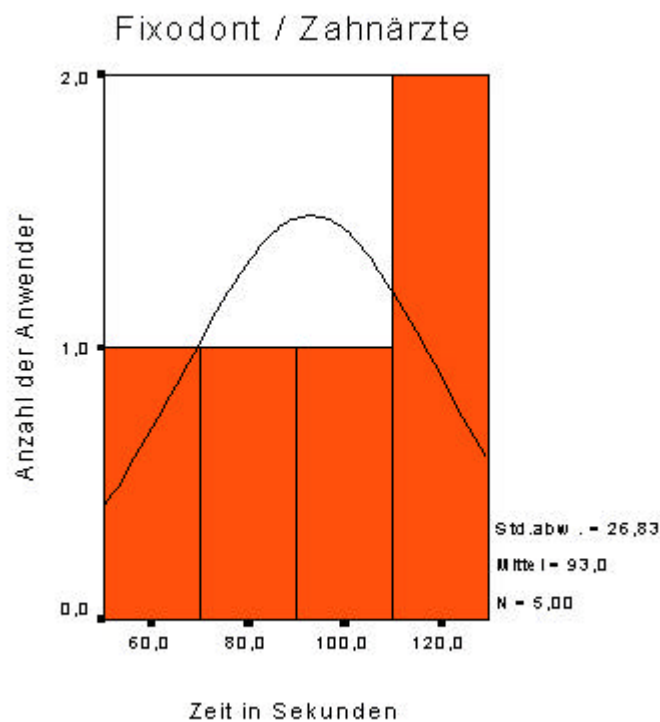


Abbildung 25: Anmischdauer Fixodont / Zahnärzte

Man kann erkennen, daß sich die Balken innerhalb einer Zeit von 60 Sekunden bis 120 Sekunden mit leichter Rechtsverschiebung bewegen. In Durchschnitt benötigten die Zahnärzte 93 Sekunden, um bei Fixodont eine ihrer Meinung nach optimale Konsistenz zu erreichen.

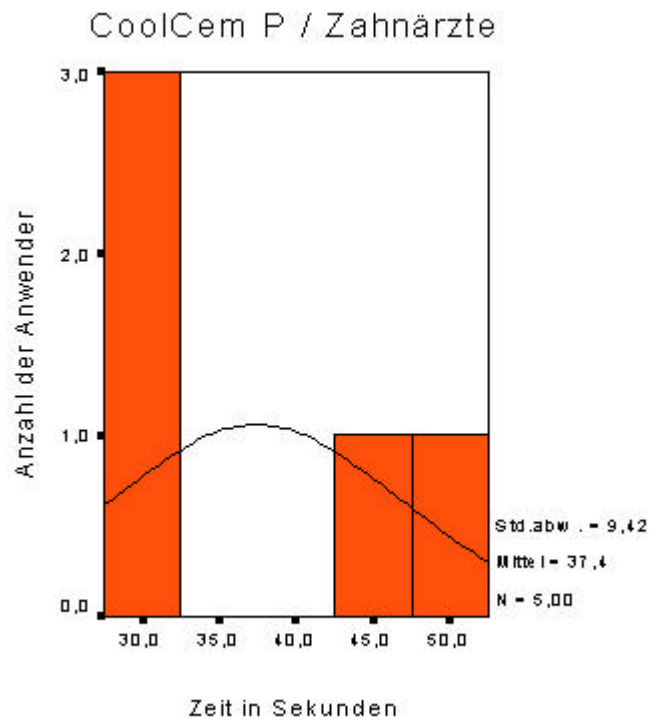


Abbildung 26: Anmischdauer CoolCem P / Zahnärzte

Bei Anmischen des Kapselzementes zeigt sich eine klare Polarisierung der gemessenen Zeiten. Drei Zahnärzte benötigten nur 30 Sekunden zum Anmischen von CoolCem P mit Hilfe des dentalCooly, bei den anderen beiden wurden jeweils Zeiten von 45 und 50 Sekunden gemessen. Trotz der inhomogenen Verteilung kann man aber doch deutlich feststellen, daß die Verarbeitung des Kapselzement mit im Durchschnitt 37,4 Sekunden Anmischzeit weniger als die Hälfte der Zeit in Anspruch genommen wurde als für Fixodont.

Betrachtet man die Ergebnisse der Helferinnen findet sich ein ähnliches Bild.

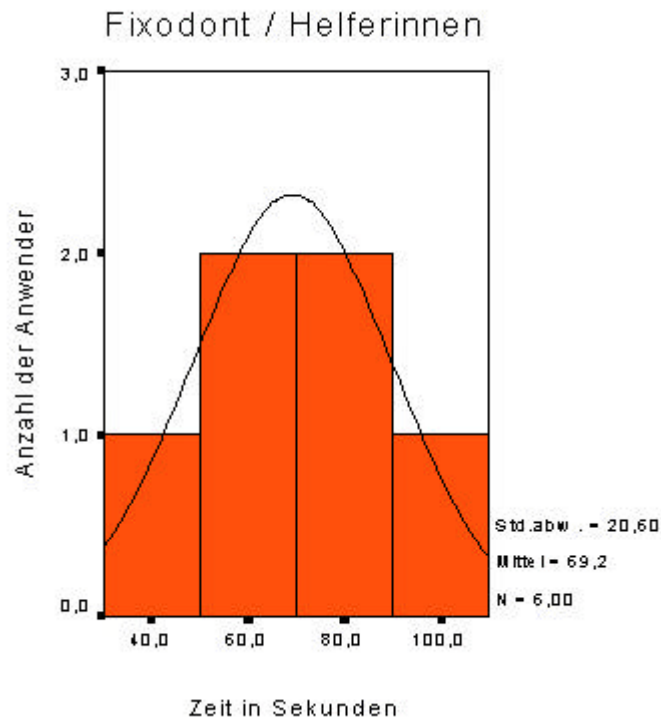


Abbildung 27: Anmischdauer Fixodont / Helferinnen

Der Bereich der gemessenen Zeiten für Fixodont liegt zwischen 40 und 100 Sekunden, die Balken entsprechen einer Normalverteilung mit einer durchschnittlichen Zeit von 69,2 Sekunden.

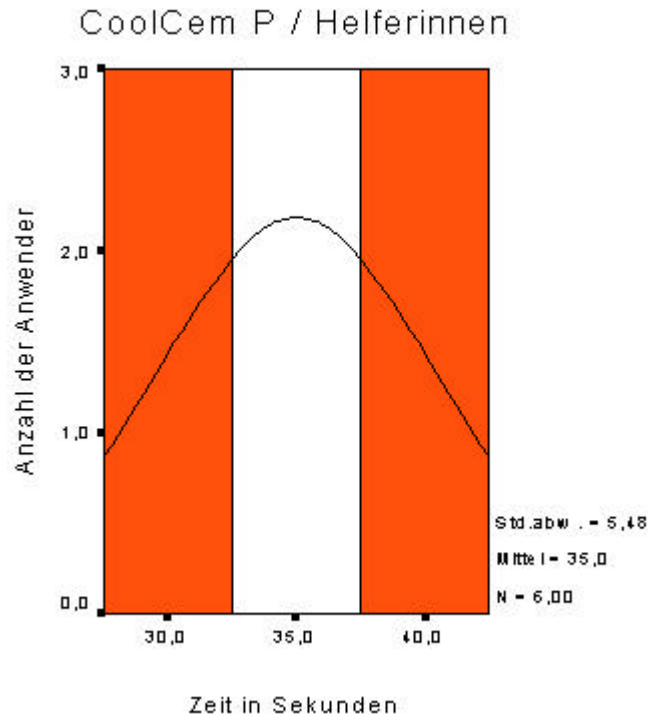


Abbildung 28: Anmischdauer CoolCem P / Helferinnen

Wenn nun dieselben Helferinnen CoolCem P anmischen ergibt sich ein völlig anderes Bild. Die Gruppe ist zweigeteilt; die eine Hälfte benötigt 30 Sekunden für den Anmischvorgang, die andere 40 Sekunden, das Mittel liegt also bei 35 Sekunden. Aber auch wenn die Grafik Inhomogenität suggeriert, muß man doch beachten, daß sich der Bereich der festgestellten Schwankungen bei CoolCem P nur innerhalb von 10 Sekunden bewegt und nicht wie bei Fixodont innerhalb von 60 Sekunden. Dazu kann man außerdem wieder feststellen, daß auch die Helferinnen – wie zuvor die Zahnärzte – für die Vorbereitung des Kapselzementes nur halb so viel Zeit wie für Fixodont benötigen.

6. Diskussion

Die durchgeführte Studie hatte zum Ziel, die Abhängigkeit der Retention von der Stumpfhöhe, dem verwendeten Zink – Phosphat – Zement mit dem Nebenkriterium Zeit, der Art des Anmischvorgangs und der künstlichen Alterung (Thermocycling) zu untersuchen. Als zusätzlicher Aspekt sollte noch die Handhabbarkeit der beiden unterschiedlichen Zemente mit den zugehörigen Anmischverfahren klinisch beurteilt werden.

6.1 Diskussion der Präparationshöhe

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen ist klar ersichtlich, daß die Präparationshöhe einen höchst signifikanten Einfluß auf die Abzugskraft ausübt ($p < 0,001$). Das zeigte sich nicht nur in der inhomogenen Varianzanalyse, sondern auch in der Kovarianzanalyse, in der die Höhe als metrische Variable ohne vorgegebene Unterteilung fungierte. In der zugehörigen Lowess – Regressionsgrafik kann man anhand der Linie 'Gesamt' den Anstieg der Kraft mit zunehmender Höhe sehen; der Anstieg ist zwar linear, aber nicht uniform proportional zu der steigenden Höhe, was vor allem im oberen Höhenbereich ersichtlich wird. Diese Ergebnisse korrelieren mit der These von *Kaufmann et al.* [17], deren Untersuchungen zwar auch einen positiven, aber nicht proportionalen Zusammenhang zwischen Höhe und Abzugskraft ergaben. So stieg in deren Versuch die Retention bei 5° Konvergenzwinkel von 4 mm auf 7 mm um 49% und von 7 mm auf 10 mm um 41%. Die Ursache dafür liegt laut *Kaufmann* [17] an der Tatsache, daß es sich um konvergierende Zylinder mit Abnahme des Durchmessers – und damit der Fläche – bei steigender Höhe handelt. Dafür spräche auch unser post – hoc – Test nach Games – Howell, bei

dem in den unteren Höhen noch höchst signifikante Unterschiede auftreten, die zu den oberen Höhen hin jedoch weniger bis gar nicht mehr signifikant werden. Aus den genauen Abmessungen der Untersuchungsstümpfe geht allerdings hervor, daß in deren Design der Basisdurchmesser mit zunehmender Höhe ebenfalls ansteigt, so daß der Durchmesser an der Spitze durchgehend vom 1 mm bis zum 10 mm Stumpf 10 mm beträgt. Die Oberfläche steigt nach der Berechnungsformel von *Gorodovsky und Zidan* [11] im Durchschnitt um $34,99 \text{ mm}^2$ pro Millimeter an und dieser Anstieg wird in den oberen Höhen im Vergleich zu den unteren nicht geringer (Tabelle 3, Kapitel 3). Folglich müßte auch der Retentionszuwachs gleichbleibend ansteigen, denn jede Flächeneinheit einer Präparation hat bei gleichem Konvergenzwinkel dieselbe Retentionskraft [17], dies trifft in unserem Fall aber nicht für alle Höhen gleichmäßig zu. Beispielsweise steigt die Haftkraft von 7 mm auf 8 mm Höhe nur um durchschnittlich 15 N, obwohl die Oberflächenzunahme dem durchschnittlichen Anstieg entspricht. Demnach müßten noch andere Ursachen für den inhomogenen Retentionszuwachs verantwortlich sein.

Dem abschließenden Resümée von *Kaufmann*, die Retentionszunahme sei weniger mit der Höhenzunahme gekennzeichnet, sondern linear ansteigend mit steigendem Durchmesser der Präparation, können wir uns trotz fehlender Variation im Durchmesser aufgrund der deutlichen Signifikanz des Faktors Höhe dennoch nicht anschließen.

Maxwell et al. [21] fanden in ihrer Studie heraus, daß es bis 3 mm Höhe zu einer Verdoppelung der Retention mit jedem Millimeter Höhenzunahme kommt. In unserem Test auf Untergruppenunterschiede nach Games – Howell zeigt sich sogar eine durchschnittliche Steigerung der Abzugskraft von 130% von 1 mm auf 2 mm Höhe, aber bereits beim Vergleich von 2 mm und 3 mm Höhe liegt die Steigerung nur noch bei 45%. Bei *Maxwell* ergab jedoch der Scheffé – Test zur Untersuchung von Untergruppenunterschieden trotz der Verdoppelung der Retention keine signifikanten Unterschiede zwischen der Gruppe 1 mm und

2 mm Präparationshöhe. Unser Testergebnis zeigt dagegen höchst signifikante Unterschiede zwischen allen Höhen bis 5 mm, die Signifikanz läßt erst im oberen Höhenbereich nach. *Maxwell* postuliert aufgrund der seiner Untersuchung nach signifikanten Steigerung der Retention ab 3 mm Höhe, daß diese Höhe die Mindestpräparationshöhe für eine adäquate Retention sei; damit läge die Mindestretentionskraft bei dem von ihm gemessenen Wert von $37 \pm 7,8$ kg. In Newton umgewandelt ergeben sich daraus circa 363 N. Dieser Wert entspricht in etwa den von uns ermittelten Abzugswerten von CoolCem P bei 3 mm Stumpfhöhe (Tabelle 11, Anhang); unter Anwendung der konventionellen Anmischtechnik erhielten wir einen Mittelwert von 352,29 N, mit dem dentalCooly wurde sogar ein durchschnittlicher Wert von 431,53 N erreicht. Bei Fixodont liegt die zum Abzug der Kappchen benötigte Kraft bei konventioneller Anmischtechnik mit im Mittel 331,29 N etwas unter dem von *Maxwell* geforderten Wert, mit dem dentalCooly steigt aber auch hier der Wert noch auf 355,68 N an. Wird zum Anmischen von CoolCem P das dentalCooly verwendet erfüllt der Kapselzement also die von *Maxwell* aufgestellte Forderung der Mindestretentionskraft, aber auch mit konventioneller Anmischtechnik ist die Differenz nicht von entscheidender Bedeutung. Die Werte von Fixodont sind zwar etwas niedriger, liegen aber zumindest bei Verwendung des dentalCooly noch in einem akzeptablen Rahmen. Trotzdem zumindest CoolCem P den Forderungen von *Maxwell* entspricht, ist aus unseren Ergebnissen dennoch keine genaue Festlegung einer Mindestpräparationshöhe möglich.

Willey [48] legt in seiner Arbeit zwar auch eine Mindestpräparationshöhe von 3 mm bei 20° Konvergenzwinkel fest, ein Vergleich zu unseren Ergebnissen ist aber aufgrund der unterschiedlichen Präparationswinkel und fehlender Angaben von Abzugswerten nicht möglich.

Im Gegensatz zu unseren Ergebnissen stehen Untersuchungen von *El – Mowafy et al.* [9], die unter anderem den Unterschied von 3 mm auf 5 mm Präparationshöhe testeten. Sie verzeichneten nur einen Anstieg der Retention um 45%, bei uns lag er mit 67% um die Hälfte höher.

Shillingburg et al.[41] führen die bessere Retentionsfähigkeit langer Präparationen gegenüber kürzeren nur teilweise auf die reine Oberflächenzunahme zurück, die Tatsache, daß die hinzugewonnene Oberfläche zum größten Teil eher unter Schub- als unter Zugspannung steht, spielt ihm zu Folge eine genauso große Rolle. Bereits 1980 bewies er, daß Retentionssteigerung nicht immer alleine durch Oberflächenzunahme erklärbar ist, da es in seinem Versuch zu einer Steigerung der Abzugskraft um 160% von $\frac{7}{8}$ Kronen auf Vollkronen kam und der Anstieg kaum im Verhältnis zur zugewonnenen Fläche stand. Ein reiner Oberflächenzuwachs – und dazu gehört auch die Steigerung der Präparationshöhe – reicht also nicht aus, um Retentionssteigerungen zu begründen.

6.2 Diskussion der Zink – Phosphat – Zemente unter dem Nebenkriterium Zeitabhängigkeit

In unserer Studie wurden der Kapselzement CoolCem P und der herkömmlich portionierte Zement Fixodont unter anderem auf Unterschiede im Widerstand gegenüber Abzugskräften getestet. Dabei stellte sich heraus, daß CoolCem P unabhängig von der Präparationshöhe, dem Anmischverfahren und Thermocycling durchgehend besser abschnitt als Fixodont. Die Zementsorte hat auch dem inhomogenen Varianztest zu Folge einen höchst signifikanten Einfluß auf die Abzugskraft ($p < 0,001$). Zusätzlich zur ohnehin schon festgestellten Signifikanz des Zementes an sich kam noch der erst nach Abschluß der Untersuchungen festgestellte, ebenfalls höchst signifikante Faktor Zeit, aus dem ersichtlich wurde, daß nach einer vierundzwanzig- statt einstündigen Wartezeit

bis zum Abziehen der Käppchen die Haftwerte bei beiden Zementen nochmals anstiegen, bei Fixodont allerdings deutlicher als bei CoolCem P (Abbildungen 11 und 12). In der zugehörigen Varianzanalyse wurden auch die höchst signifikanten Wechselwirkungen von Zeit und Höhe und Zeit und Zement ersichtlich ($p < 0,001$); die Kombination von allen drei Faktoren ist ebenfalls signifikant ($p < 0,05$).

Ein Test, der sich auf den Vergleich der Abzugskraft von einem Kapselzement und einem selbst dosierbaren Zink – Phosphat – Zement beschränkt, ist in der Literatur bisher nicht zu finden. In den meisten Fällen werden die unterschiedlichen Befestigungszemente wie z.B. Carboxylatzement oder Resinzement auf ihre mechanischen und physikalischen Fähigkeiten gegeneinander getestet, bei den Kapselzementen steht vor allem ihre Verarbeitbarkeit, Abbindezeit und resultierende Filmdicke im Vordergrund [5, 50]. In einer von *Eichner* [8] zusammengestellten Tabelle kann man die Anforderungen an Zink – Phosphat – Zemente ablesen. Sie beziehen sich für Druckfestigkeit, Filmdicke und Löslichkeit auf Normvorschriften, für die Zugfestigkeit ist ein Wert von $5 - 8 \text{ N} / \text{mm}^2$ angegeben. *Phillips* [30] veröffentlichte eine ähnliche Tabelle angelehnt an die ADA (American Dental Association) Spezifikation Nr.8; die Durchschnittsabzugskraft nach 24 Stunden ist nicht spezifiziert, aber nach allgemeinen Erfahrungswerten auf $5,5 \text{ N} / \text{mm}^2$ festgelegt worden. Daß diese Bezugswerte weit über unseren Ergebnissen liegen kann damit zusammenhängen, daß bei uns kein natives Zahnmaterial zur Verwendung kam und daher nur relative Aussagen bezüglich der Abzugskräfte möglich sind.

Um der Frage nach der Ursache für die Überlegenheit von CoolCem P nachzugehen, kann man zunächst die Elementanalyse betrachten, in der die genauen Zusammensetzungen der Zemente nach einer und nach 24 Stunden aufgelistet sind. Hieraus ergeben sich allerdings keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Zementen.

Bei beiden ist die Kohlenstoff- und die Fluorfraktion nach 24 Stunden niedriger als nach einer Stunde, die Fraktion an Sauerstoff, Zink, Magnesium, Aluminium, Silizium und Calcium ist höher. Lediglich die Phosphatfraktion, die zwar auch bei beiden nach 24 Stunden höher erscheint, ist bei CoolCem P auffällig größer gegenüber Fixodont. Diese Tatsache erklärt aber nicht die höhere Zugfestigkeit von CoolCem P. Die generelle Erhöhung derselben nach Ablauf eines Tages gründet darauf, daß die sekundäre Erhärtung des Abbindeprozesses erst nach 24 Stunden vollständig abgeschlossen ist [47]. Auch *Phillips* [30] sagt, daß 75% der maximalen Härte in der ersten Stunde nach dem Abbinden erreicht werden, eine weitere Zunahme von 25% nach einem Tag entspricht in etwa der Größenordnung unserer Beobachtungen an Fixodont (Abbildung 11).

Betrachtet man die elektronenmikroskopischen Aufnahmen der Zemente nach einer und nach 24 Stunden, so erkennt man klare Unterschiede. Bei CoolCem P findet man nach einer Stunde eine homogene Struktur mit etwas größerem Porenquerschnitt als bei Fixodont. Auf der Oberfläche von Fixodont unterbrechen dagegen große kreisrunde Einschlüsse die Strukturhomogenität. Poren entstehen durch überschüssiges Wasser, welches sich in Form von Globuli separiert, da es nicht aus dem Zement diffundieren kann bevor der Zement ausgehärtet ist. Bei einem höheren Flüssigkeits – Pulver – Verhältnis steigt die Zahl der Poren [37].

Die Einschlüsse bei Fixodont könnten z. B. Lufteinschlüsse sein oder nicht dissoziierte Phosphorsäure, welche den Verbund des Zementes unterbrechen und dadurch zu einer verminderten Haftfestigkeit führen. Bei *Jørgensen* [14] steht, daß beim Anmischen nur die Oberflächen der Pulverpartikel angelöst werden und eine Suspension von soliden Pulverpartikeln in einer Flüssigkeit entsteht. Ob es sich bei den im Fixodont erscheinenden runden Fragmenten jedoch um ungelöste Zinkoxidpartikel handelt bleibt allerdings fraglich,

da deren symmetrische und exakte Kreisform doch eher auf ein Gas oder eine Flüssigkeit hinweist.

Die rißartigen Einkerbungen, die man ebenfalls in der Oberfläche von Fixodont findet, könnten auch mitverantwortlich für die geringere Haftkraft des Zementes sein; solch eine These ist allerdings recht spekulativ, da sie auch herstellungsbedingt beim Anfertigen der Präparate entstanden sein können.

Nach 24 Stunden zeigen sich bei Fixodont weniger und kleinere Einschlüsse als zuvor, die Struktur erscheint noch feiner und homogener. Bei CoolCem P ist solch eine Entwicklung zwar auch erkennbar, nur wesentlich diskreter. Das erklärt auch die aus den Abbildungen 11 und 12 entnehmbaren Differenzen in der Größe der Retentionssteigerung; CoolCem P scheint innerhalb der ersten Stunde bereits weiter abgebunden zu sein als Fixodont, die Mediane der Boxplots nach 24 Stunden liegen im Schnitt nur gering höher als die Mediane nach einer Stunde. Bei Fixodont liegen die Mediane wesentlich klarer auseinander, die sekundäre Erhärtung vollzieht sich noch sichtbar über die erste Stunde hinaus. Die allgemeine Empfehlung, mit Zement eingegliederten Zahnersatz erst nach Ablauf eines Tages voll zu belasten, kann anhand unserer Ergebnisse also nur bestätigt werden, insbesondere wenn zur Befestigung Fixodont gewählt wird.

Das Argument, daß Kapselzemente reproduzierbare Mischungsverhältnisse ermöglichen und damit immer ein ideales Pulver – Flüssigkeits – Verhältnis ergeben [47] – von dem letztendlich die mechanischen und physikalischen Eigenschaften des Zementes abhängen – , wohingegen die nicht vordosierten Zemente großen Schwankungen unterliegen, weil jeder Anwender andere Mischungsverhältnisse als optimal erachtet, kann in dieser Form der Versuchsanordnung nicht der Grund für das bessere Abschneiden des Kapselzementes sein, da wir Fixodont nach Herstellerangaben abgewogen und immer genau gleich dosiert haben. Möglich wäre, daß es durch Öffnung der Pulver und Flüssigkeit enthaltenden Gefäße von Fixodont zu einer Anreicherung

von Kohlendioxid aus der Luft bzw. Wasseraufnahme durch die Phosphorsäure kam, was die Qualität des Zementes negativ beeinflusst hätte [8, 13, 30].

Bei CoolCem P kann dieses Problem, soweit es das Pulver betrifft, durch die vorportionierte Dosierung nicht auftreten. Eine andere Erklärung könnte eine unterschiedliche Korngrößenverteilung der Zementsorten sein. Jeder Zement ist zusammengesetzt aus feineren und gröberen Kornfraktionen, entscheidend ist das resultierende Mengenverhältnis; je feiner die Korngrößenverteilung, desto größer die Haftfestigkeit. Zur Untersuchung der Partikelgröße wäre eine modulare Teilchenanalyse wie bei *Patyk et al.* [28] nötig gewesen. Sie erhielten für Harvard Zemente eine Korngrößenverteilung zwischen 0,5 μm und 40 μm . Da uns eine derartige Untersuchung für Fixodont und CoolCem P getrennt nicht vorliegt, bleibt dieser Erklärungsansatz rein spekulativ.

6.3 Diskussion des Anmischvorgangs

Die Abbindereaktion der Zink – Phosphat – Zemente ist exotherm. Um diese zwecks verlängerter Verarbeitungszeit zu verlangsamen ohne dabei das Pulver – Flüssigkeits – Verhältnis negativ zu beeinflussen, bleibt nur die Möglichkeit des Anmischens auf einer gekühlten Fläche. Dazu kann man entweder eine im Kühlschrank oder Gefrierfach gelagerte Glasplatte benutzen [22, 8, 44, 10] oder ein sensorgesteuertes Kühlaggregat wie das dentalCooly. Bisher sind verschiedene Anmischtemperaturen und -techniken eher auf ihren Einfluß auf die Verarbeitungszeit, Konsistenz, Filmdicke, Druckfestigkeit und Löslichkeit getestet worden, weil die Kühlung einen höheren Pulveranteil in den Mischungen ermöglicht, was sich wiederum positiv auf die mechanischen und physikalischen Eigenschaften des Zementes auswirkt. Beispielsweise konnte in einer Untersuchung von *Fakiha* [10] bewiesen werden, daß es zu einer circa 60%igen Steigerung des Pulveranteils bei gleichbleibender Konsistenz durch Absenken der Temperatur auf -20°C zu sonst 18°C kam. Dabei spielte die

Anmischtechnik, also portionsweises Einmischen des Pulvers wie bei Fixodont oder Anmischen von Pulver und Flüssigkeit in einem Zug wie bei CoolCem P, keine entscheidende Rolle. Ähnlich steht es auch bei *Shepherd et al.* [38]: bei 6°C Temperatur der Anmischfläche wurde 49 – 70% mehr Pulver als bei Raumtemperatur für die gleiche Konsistenz benötigt, bei -10°C sogar 63 – 91%. Unterhalb der Raumtemperatur spielte die Anmischrate keine Rolle, bei Raumtemperatur verursachte die schnelle Anmischtechnik eine Abnahme der Abbindezeit. Ergebnisse von *Wacker et al.* [46] zeigen anhand von Abzugsversuchen an Stiften, wie wichtig ein adäquates Pulver – Flüssigkeitsverhältnis ist; einer Halbierung des Pulvergehaltes folgte eine nahezu Halbierung der Retention. In unserer Studie sollte untersucht werden, ob sich Auswirkungen auf die Zugfestigkeit der Zemente ergeben, wenn sie auf einer gekühlten Glasplatte bzw. auf dem dentalCooly angemischt werden, ohne dabei die Pulver – Flüssigkeits – Verhältnisse zu verändern. Aus der Varianzanalyse ergab sich aber klar, daß die Unterlage beim Anmischen hier keinen signifikanten Einfluß auf die Zugfestigkeit ausübt ($p > 0,05$).

Auch in Wechselwirkung mit der Höhe und dem Zement ergeben sich keine Signifikanzen für den Mischvorgang. Anders als bei uns erhöhte *Sheperd* [38] bei seinen Zugversuchen mit Zink – Phosphat – Zement bei niedrigeren Temperaturen den Pulvergehalt, um die Konsistenz konstant zu halten. Bei -10°C und 10% relativer Luftfeuchtigkeit stieg die Abzugskraft um 15 – 20% gegenüber Zementmischungen, die bei Raumtemperatur und 50% Luftfeuchtigkeit hergestellt wurden. *Newman* [24] verdoppelte in seinem Versuchsansatz mit gefrorener Anmischfläche auch den Pulvergehalt und beließ das Kondensationswasser, er verzeichnete eine Erhöhung der Druckfestigkeit um 22%. Bei *Myers et al.* [23] glich sich der Vorteil des höheren Pulveranteils durch Kondensationswasserbildung wieder gänzlich aus, so daß gar kein Anstieg der Druckfestigkeit erfolgte; die Abzugskraft wurde in beiden Fällen nicht getestet. *Kendizor et al.* [18] machten ähnliche Erfahrungen; sie erhöhten

den Pulveranteil mit sinkender Temperatur und beließen das Kondensationswasser, die Abzugskräfte variierten letztendlich nicht signifikant. *Norman et al.* [26] zeigten, daß eine Erhöhung des Wassergehalts von 10% in einer 30%igen Abnahme der Härte resultiert, basierend auf einem konstanten Pulver – Flüssigkeits – Verhältnis. Entgegen der meisten Untersuchungen fanden *Rosenstiel und Gegauff* [33] heraus, daß eine Steigerung des Pulveranteils um 25% mit durchschnittlich 160 N resultierender Retentionskraft keinen signifikanten Unterschied zu einer Absenkung des Pulvers um 25% machte, wo sogar 16 N mehr Retention gemessen wurden. Die Retentionskraft von Mischungen bei Raumtemperatur lag 58 N über den Ergebnissen von gefrorenen Anmischplatten, im Versuchsablauf ist allerdings auch keine Pulvererhöhung oder Kondensationswasserbeseitigung beschrieben, so daß die Beimengung von Kondensationswasser ohne Kompensation durch höheren Pulveranteil für den niedrigeren Wert verantwortlich sein könnte.

Ein alleiniges Absenken der Temperatur ohne dabei den Pulvergehalt zu erhöhen kann nach unseren Ergebnissen nicht zu Retentionssteigerungen führen. Annehmbar wäre eine homogenere Verteilung der Abzugskraft gewesen, da die konstante Kühlung der Anmischfläche ein vorzeitiges Abbinden verhindert, so daß beim Einzementieren immer die Sollposition erreicht wird. An der Abbildung 8 ist allerdings zu erkennen, daß die Streubreite bei Verwendung des dentalCooly noch zunimmt, insbesondere bei CoolCem P, wo sich auch die Mediane ab 5 mm Höhe erhöhen. Das könnte bedeuten, daß die Haftkraft von CoolCem P unter Benutzung des dentalCooly ansteigt, wobei dieser Effekt aber erst bei größeren Höhen ersichtlich wird, jedoch kann aufgrund der hohen Streubreite und nach Auswertung der Varianzanalyse nicht davon ausgegangen werden. Auf die Haftkraft von Fixodont scheint der Anmischvorgang auch den Abbildungen zu Folge keinen wesentlichen Einfluß zu haben, außer vielleicht daß die Vorhersagbarkeit des Erreichens bestimmter Haftwerte wegen der größeren Schwankungen bei Benutzung des dentalCooly eingeschränkt ist.

6.4 Diskussion des Thermocyclings

Um die thermischen Belastungen von heißen und kalten Speisen und Getränken, denen ein Befestigungszement in der Mundhöhle ausgesetzt ist, auch im Laborversuch zu simulieren, gibt es das Verfahren des Thermocyclings. Die Versuchsstümpfe wurden in 1000 Zyklen 5°C und 55°C ausgesetzt; anschließend erfolgten Abzugsversuche. Zwar sind Zink – Phosphat – Zemente in organischen Säuren viel löslicher als im destillierten Wasser unserer Versuchsanordnung [25], da im Labor jedoch orale Bedingungen ohnehin nicht vollständig repliziert werden können, wird destilliertes Wasser als Standard für Labortestmethoden allgemein akzeptiert [35,11].

Die Resultate unserer Untersuchung stehen im klaren Gegensatz zu den Ergebnissen anderer Versuche mit Thermocycling. Üblicherweise kommt es durch die unterschiedlichen Volumenänderungen durch thermale Expansion zu Belastungen auf die Zementfuge, die dann zu Mikrodefekten im Zementgefüge führen, was schließlich in einer Reduktion der Retention resultiert. So auch bei *Baldissara et al.* [2], wo Kronen mit Zink – Phosphat – Zement und temporären Befestigungszementen auf extrahierte Zähne zementiert und 250 Zyklen zwischen 5°C und 50°C ausgesetzt wurden, mit dem Ziel Mikrodefekte bzw. -verluste der Zementstruktur zu untersuchen. Es kam bei allen Zementen zu Mikrodefekten, wenn auch der Zink – Phosphat – Zement als definitiver Befestigungszement am besten abschnitt. Paradoxerweise zeigen unsere Ergebnisse aber statt geringerer Haftwerte noch einen – besonders bei CoolCem P – auffälligen Anstieg der Retention. So fällt dem Thermocycling in der Varianzanalyse zwar eine höchst signifikante Bedeutung zu ($p < 0,001$), dies aber nicht wie erwartet im negativen Sinne, sondern korrelierend mit steigenden Abzugswerten. In Abbildung 9 und aus der Tabelle 11 erkennt man anhand der Mittelwerte und der Mediane, daß das Thermocycling auf Fixodont erst ab

6 mm Präparationshöhe einen – wenn auch nur leicht – retentionssteigernden Einfluß ausübt. Für CoolCem P ergeben sich aber bereits ab einer Höhe von 2 mm höhere Werte, die bis zu 400 N über den Haftwerten ohne Thermocycling liegen. Der Anstieg der Haftkraft nach Thermocycling könnte damit zusammenhängen, daß in der Versuchsanordnung kein natives Zahnmaterial verwendet wurde, sondern Messing den präparierten Zahnstumpf darstellen sollte und dieser Zement – Messing Verbund unter Thermocycling chemisch reagiert, im Gegensatz zu Zement und Dentin. Generell kann jedoch nicht behauptet werden, daß Retentionsverluste nach Thermocycling nur entstehen wenn natürliches Zahnmaterial verwendet wird, denn auch in Versuchen von *Juntavee und Millstein* [16], wo Amalgam- und Compositeaufbauten mit Zink – Phosphat – Zement in einer speziellen Halterung befestigt wurden, reduzierte der Prozeß des Thermocyclings signifikant den Zusammenhalt zwischen Zement und Aufbau.

Trotz der unerwarteten Resultate, die im Kontrast zu bisherigen Kenntnissen über die gemeinhin als retentionsschwächend angesehene künstliche Alterung stehen, kann man relative Schlußfolgerungen daraus ziehen, nämlich daß CoolCem P auch nach wechselndem Temperatureinfluß höhere Haftwerte erzielt als Fixodont.

6.5 Diskussion der Handhabbarkeit

Das Pulver – Flüssigkeits – Verhältnis ist einer der wichtigsten Faktoren, mit dem sich die mechanischen und physikalischen Eigenschaften der Zink – Phosphat – Zemente positiv aber auch negativ beeinflussen lassen. Da die Anweisungen der Hersteller bezüglich optimaler Dosierungen meist unzureichend sind, wurden schon oft Forderungen nach standardisierten Anmischvorgaben und Dosierhilfsmitteln laut.

Ein Beispiel für die Notwendigkeit standardisierter Dosierungen ist die Untersuchung von *Savignac et al.* [35]. 31 Zahnärzte mit unterschiedlich langer Berufserfahrung sollten mehrmals Zink – Phosphat – Zement anmischen. Gemessen wurden die Pulver – Flüssigkeits – Verhältnisse und die Anmischzeit. Bei 168 Mischungen wurden Pulvermengen von 0,64 g bis 1,67 g pro 0,5 ml Flüssigkeit gemessen, die Standardabweichung betrug 18%. Die gemessenen Anmischzeiten lagen noch weiter auseinander, sie gingen von 41 Sekunden bis 196 Sekunden, hier lag die Standardabweichung bei 33%. Bei *Volland et al.* [43] fanden sich ähnliche Ergebnisse mit einer Standardabweichung von 13% für das Pulver – Flüssigkeits – Verhältnis. *Wijn et al.* [47] testeten Dosierhilfsmittel für Zink – Phosphat – Zemente. Auch wenn die Zahl der Anwender mit drei Personen statistisch nicht relevant war, so stimmten die Ergebnisse doch mit denen von *Savignac et al.* [35] und *Volland et al.* [43] überein; der Prozentsatz der Fehldosierungen reichte von 20% bis 41%, trotz Benutzung der Hilfsmittel. So folgte als Schlußfolgerung eine notwendige Verbesserung der Hilfsmittel auf ein angebrachtes Niveau, da die Verarbeitungsbreite dieses Werkstoffes sehr eng sei. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse von *Rosenstiel und Gegauff* [33]; 25%ige Schwankungen im Pulver – Flüssigkeits – Verhältnis führten zu keinen signifikanten Auswirkungen auf die Retention.

Unsere Untersuchung zur Handhabbarkeit der verwendeten Zemente unterstreicht die Forderung nach standardisierten Dosierungsangaben deutlich. Sowohl Zahnärzte als auch Helferinnen beurteilten die Abfüllung des Pulvers in Kapseln als nahezu optimal (1,27), das „Dosieren nach Gefühl“ bei Fixodont wurde nur mit einer 5,36 bewertet. Auch der problemlose Anmischvorgang von CoolCem P, bei dem Pulver und Flüssigkeit in einem Zug vermennt werden, ist nach Ansicht der Anwender vorteilhaft da weniger aufwendig und zeitintensiv als die sukzessive Anmischtechnik Fixodonts.

Der klare Vorteil von CoolCem P in puncto Anmischvorgang und auch Reinigungsfähigkeit (CoolCem P: 1,82 und 1,64 / Fixodont: 4,09 und 4,27) ist zudem auf den Gebrauch des dentalCooly zurückzuführen, welches die Abbindezeit des Zementes verlängert und daher auch eine verzögerte und einfachere Reinigung möglich macht. Die Punkte 'Benetzungsfähigkeit' und 'Überschußentfernung' liegen in etwa gleich, die Gewichtung dieser Parameter ist aber aufgrund mangelnder Erfahrung und fehlender Bewertung für CoolCem P ohnehin nur eingeschränkt möglich. Die Dauer des Anmischens wird tendentiell von beiden Anwendergruppen bei Fixodont als zu lang und bei CoolCem P als zu kurz beurteilt, was auf den unterschiedlichen Anmischtechniken und der fehlenden Gewohnheit im Umgang mit CoolCem P gründet. In puncto Konsistenz herrscht Einigkeit was Fixodont betrifft; daß sie in beiden Gruppen als optimal angesehen wird liegt an der dem Anwender überlassenen Entscheidung über das Mischungsverhältnis, er kann die Mischung selbstverantwortlich für sich optimal zusammenstellen. Auf der anderen Seite muß dieses Ergebnis nicht heißen, daß die letztendlich fertige Zementmischung auch den DIN – Normen entspricht und genügend Pulver enthält. Im Vergleich dazu fällt die Beurteilung von CoolCem P als zu dick aus (insgesamt: 6,73), weil der Anwender jetzt wegen der Vorportionierung des Herstellers keinen Einfluß mehr auf das Mischungsverhältnis hat, der Pulveranteil also zwecks Optimierung der mechanischen und physikalischen Eigenschaften wahrscheinlich höher liegt als bei den eigenen, auf ausreichend Fließfähigkeit ausgerichteten Mischungen.

Im Punkt 'Abbindezeit' sind die Beurteilungen in den beiden Anwendergruppen zwar nicht ganz konform, liegen aber vernachlässigbar gering am Optimalwert (± 1).

Die gemessenen Anmischzeiten korrelieren mit den Ergebnissen von *Savignac et al.* [35]. Die Spannbreite bei Fixodont ist groß und liegt insgesamt zwischen 40 und 120 Sekunden, die Helferinnen erzielten dabei mit im

Durchschnitt 69,2 Sekunden ein besseres Resultat als die Zahnärzte mit durchschnittlich 93 Sekunden.

Die homogene Verteilung bei den Helferinnen mit den im Mittel kürzeren Zeiten als wir sie bei den Zahnärzten finden ist nicht überraschend, da in der Praxis die Helferinnen den Zement vorbereiten, während der Zahnarzt den Arbeitsbereich trocken hält. Die Helferinnen haben also den Vorteil der Routine in der Verarbeitung dieses techniksensitiven Zementes. Die Streubreite in der Anmischdauer des Kapselzementes liegt im Gegensatz zum nicht vorportionierten Zement insgesamt nur zwischen 30 und 50 Sekunden und ist ein Zeichen dafür, daß die Forderungen nach standardisierten Dosierungen auch was die Verarbeitungszeit betrifft gerechtfertigt sind.

Die Ergebnisse dieser Studie sind insgesamt sehr zufällig und aufgrund der geringen Fallzahl nicht repräsentativ; dazu kommt auch die Tatsache, daß nicht gesichert ist ob die Qualität von Fixodont nach Abschluß des Anmischvorganges in allen Fällen gleich war. Es lassen sich also letztendlich nur Tendenzen erkennen, wie zum Beispiel die, daß sich CoolCem P mit dem dentalCooly insgesamt schneller verarbeiten läßt als Fixodont auf der gekühlten Glasplatte. Außerdem unterstreicht gerade die Zufälligkeit der Ergebnisse die Wichtigkeit der Forderung nach festgelegten Mengen- und Zeitvorgaben, damit sowohl die Pulver – Flüssigkeits – Verhältnisse und damit die Konsistenzen, als auch die Zeiten zur Vorbereitung eines Zementes insgesamt homogener werden.

7. Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung sollte die Retention von Kronen in Abhängigkeit von der Stumpfhöhe und dem verwendeten Zink – Phosphat – Zement untersucht werden. Dabei standen bezüglich des Zementes besonders die Haftwerte nach unterschiedlichem Anmischvorgang und Thermocycling im Vordergrund.

Zusätzliches Nebenkriterium war die Abhängigkeit der Abzugskraft von der Zeit nach dem Anmischen.

Eine Untersuchung zur Handhabbarkeit des konventionellen und des in Kapseln vorportionierten Zink – Phosphat – Zementes mit den zugehörigen Anmischverfahren diente der Beurteilung der Zemente in praxi.

Die Präparationshöhe hat einen höchst signifikanten Einfluß auf die Abzugskraft, allerdings kann anhand der Untersuchungsergebnisse keine genaue Aussage über die Mindesthöhe zwecks Erreichen einer adäquaten Retention gemacht werden. Es kann jedoch in Orientierung an der Forderung einer minimalen Präparationshöhe von 3 mm und der daraus resultierenden Mindestretentionskraft von 363 N [21] resümiert werden, daß insbesondere in den Fällen, in denen sich eine adäquate Retention nur schwer erreichen läßt, CoolCem P empfohlen werden sollte, da dieser Zement besonders in Verbindung mit dem dentalCooly die Forderung erfüllt bzw. noch übertrifft. Zu erschwerten Präparationsbedingungen gehören beispielsweise kurze Molaren oder auch endständige Brückenpfeiler im Unterkiefer, wo es aufgrund von Verwindungen zu einer starken Beanspruchung des Befestigungszementes kommt. Auch sollte in solchen Fällen von einer unnötigen Reduzierung der Höhe – z.B. für okklusale Verblendungen – abgesehen werden.

Insgesamt läßt sich schlußfolgern, daß die Signifikanz der Höhenunterschiede ab einem Höhenbereich von etwa 5 mm nachläßt.

Die Zementsorte ist ebenfalls höchst signifikant. Der Kapselzement CoolCem P erreichte in allen Versuchsserien höhere Haftwerte als Fixodont; die Vorteile dieses Zementes liegen also nicht nur in der standardisierten Dosierung, sondern auch in der besseren Retentionsfähigkeit. Außerdem schnitt CoolCem P in der Bewertung der Handhabbarkeit durch Zahnärzte und zahnärztliche Helferinnen in fast allen Bereichen besser ab als Fixodont; der einzige Nachteil im Punkt 'Konsistenz' basiert auf den unterschiedlichen Pulver – Flüssigkeits – Verhältnissen der Zemente aufgrund subjektiver Portionierung von Fixodont durch die Anwender.

Zusätzlich wurde eine Abhängigkeit der Retention von der Zeit nach dem Anmischen festgestellt. Nach 24 Stunden stiegen die Haftwerte besonders bei Fixodont noch einmal signifikant an, der Abbindeprozeß ist also erst nach Ablauf eines Tages vollständig abgeschlossen. Diese Feststellung unterstreicht nochmals die Empfehlung, gerade einzementierten Zahnersatz erst nach 24 Stunden voll zu belasten, damit ein dauerhafter Halt der Restauration gewährleistet werden kann.

Der Anmischvorgang hatte keinen signifikanten Einfluß auf die Abzugskraft. Die Verarbeitung des Zementes auf einer gekühlten Glasplatte oder dem dentalCooly bringt kaum Unterschiede bezüglich der Retention. Nach unseren Ergebnissen war die Streubreite der Werte bei Benutzung des dentalCooly sogar noch etwas größer als bei der gekühlten Glasplatte. In der praktischen Anwendung findet das dentalCooly hingegen größeren Zuspruch als die herkömmliche Anmischunterlage und gewährleistet durch konstantes Einhalten einer gewünschten Temperatur eine längere Verarbeitungszeit. Dieser Vorteil kann besonders bei der gleichzeitigen Eingliederung mehrerer Kronen oder in der Kieferorthopädie bei Bebänderungen überaus hilfreich sein.

Das Thermocycling wurde zwar als höchst signifikant eingestuft, hatte aber paradoxerweise keinen retentionsschwächenden sondern sogar -steigernden Einfluß, welcher bei CoolCem P noch stärker hervortrat als bei Fixodont. Dieses Ergebnis kann nicht auf die orale Situation übertragen werden, da es dort unter wechselnden thermischen Belastungen zu einer Abnahme der Haftwerte von Befestigungszementen kommt. Man kann aus dieser Versuchsserie nur schließen, daß CoolCem P auch unter Einfluß von Temperaturänderungen bessere Ergebnisse erzielt als Fixodont und damit durchaus als empfehlenswert erscheint.

Insgesamt kann nach unserer Studie resümiert werden, daß die Retention im großen Maße von der Präparationshöhe und dem verwendeten Zink – Phosphat – Zement abhängt und daß standardisierte Dosierungen und geeignete Dosierhilfsmitteln für diese Zementart als äußerst sinnvoll erscheinen.

8. Tabellarischer Anhang

Statistik	Fallzahl	Signifikanz
0,083	600	0,000

Tabelle 9: Ergebnisse des Kolmogorov – Smirnov Test ohne Korrektur; Versuchsserie 1 – 6

Statistik	Fallzahl	Signifikanz
0,075	596	0,000

Tabelle 10: Ergebnisse des Kolmogorov – Smirnov Test nach Ausreißerbeseitigung;
Versuchsserie 1 – 6

Tabelle 11: Deskriptive Auswertung der Zugversuche der Versuchsserien 1 bis 6; alle gemessenen Werte in Newton

Höhe	Mischvg.	Thermo	Zement	Mittelwert	Median	Stabwg.	N
1mm	konv.	kein Thermo	Fixodont	118,34	121,74	25,72	10
			CoolCem	126,16	133,71	40,35	10
	dCooly	kein Thermo	Fixodont	120,41	115,89	22,92	10
			CoolCem	138,02	137,55	37,40	10
		Thermo	Fixodont	76,38	100,15	59,78	10
			CoolCem	109,74	108,96	59,51	10
2mm	konv.	kein Thermo	Fixodont	264,33	257,42	41,70	10
			CoolCem	291,59	282,16	59,48	10
	dCooly	kein Thermo	Fixodont	216,77	220,37	34,73	10
			CoolCem	287,57	292,24	41,79	10
		Thermo	Fixodont	185,27	190,58	51,46	10
			CoolCem	344,21	337,49	39,60	10
3mm	konv.	kein Thermo	Fixodont	331,29	345,11	62,73	10
			CoolCem	352,29	356,35	62,31	10
	dCooly	kein Thermo	Fixodont	355,68	345,57	50,99	10
			CoolCem	431,53	420,05	51,93	10
		Thermo	Fixodont	297,32	288,14	66,05	10
			CoolCem	566,38	562,92	102,52	10
4mm	konv.	kein Thermo	Fixodont	419,06	438,88	117,39	10
			CoolCem	533,74	510,58	115,27	10
	dCooly	kein Thermo	Fixodont	449,91	435,04	97,04	10
			CoolCem	555,23	579,63	75,77	10
		Thermo	Fixodont	438,17	433,41	136,62	10
			CoolCem	678,22	661,20	146,15	10

Höhe	Mischvg.	Thermo	Zement	Mittelwert	Median	Stabwg.	N
5mm	konv.	kein Thermo	Fixodont	579,18	592,56	136,44	10
			CoolCem	619,92	635,88	93,48	10
	dCooly	kein Thermo	Fixodont	526,73	508,24	99,72	10
			CoolCem	650,11	644,07	105,62	10
		Thermo	Fixodont	579,10	556,66	189,92	10
			CoolCem	949,58	871,90	201,76	10
6mm	konv.	kein Thermo	Fixodont	651,14	627,95	154,94	10
			CoolCem	716,41	697,55	80,32	10
	dCooly	kein Thermo	Fixodont	595,15	631,62	102,14	10
			CoolCem	803,51	851,46	182,51	10
		Thermo	Fixodont	667,75	708,11	167,60	10
			CoolCem	1141,10	1159,18	219,44	10
7mm	konv.	kein Thermo	Fixodont	800,44	823,58	144,00	10
			CoolCem	892,97	900,34	136,37	10
	dCooly	kein Thermo	Fixodont	782,53	732,96	193,68	10
			CoolCem	963,12	999,58	192,78	10
		Thermo	Fixodont	860,60	909,30	213,74	10
			CoolCem	1280,02	1350,87	212,63	10
8mm	konv.	kein Thermo	Fixodont	799,39	807,64	166,58	10
			CoolCem	911,36	858,00	115,39	10
	dCooly	kein Thermo	Fixodont	759,12	773,05	179,91	10
			CoolCem	1016,36	981,70	203,93	10
		Thermo	Fixodont	924,93	949,22	205,38	10
			CoolCem	1293,42	1243,53	294,98	9
9mm	konv.	kein Thermo	Fixodont	923,54	876,62	265,90	10
			CoolCem	1072,90	1087,78	105,72	10
	dCooly	kein Thermo	Fixodont	857,77	882,07	248,32	10
			CoolCem	1097,05	1077,94	215,67	10
		Thermo	Fixodont	907,01	964,44	324,05	10
			CoolCem	1433,04	1443,66	220,66	9

Tabelle 11 (Fortsetzung): Deskriptive Auswertung der Zugversuche der Versuchsserien 1 bis 6; alle gemessenen Werte in Newton

Höhe	Mischvg.	Thermo	Zement	Mittelwert	Median	Stabwg.	N
10mm	konv.	kein Thermo	Fixodont	884,18	890,55	148,37	9
			CoolCem	1212,64	1207,51	152,68	10
	dCooly	kein Thermo	Fixodont	1097,20	1086,78	185,96	10
			CoolCem	1182,46	1164,17	174,39	10
		Thermo	Fixodont	994,79	1067,17	332,61	9
			CoolCem	1539,32	1484,09	214,20	10

Mischvg. = Mischvorgang Thermo = Thermocycling Stabwg. = Standardabweichung
 N = Anzahl konv. = konventionell dCooly = dentalCooly

Tabelle 11 (Fortsetzung): Deskriptive Auswertung der Zugversuche der Versuchsserien 1 bis 6; alle gemessenen Werte in Newton

F	Fallzahl	Signifikanz
5,257	596	,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

Tabelle 12: Ergebnis des Levene – Test; Versuchserie 1 – 6

Höhe	Vergleichshöhen	Signifikanz
1mm	2mm	0,000
	3mm	0,000
	4mm	0,000
	5mm	0,000
	6mm	0,000
	7mm	0,000
	8mm	0,000
	9mm	0,000
	10mm	0,000
2mm	1mm	0,000
	3mm	0,000
	4mm	0,000
	5mm	0,000
	6mm	0,000
	7mm	0,000
	8mm	0,000
	9mm	0,000
	10mm	0,000
3mm	1mm	0,000
	2mm	0,000
	4mm	0,000
	5mm	0,000
	6mm	0,000
	7mm	0,000
	8mm	0,000
	9mm	0,000
	10mm	0,000

Tabelle 13: Ergebnisse der Games – Howell Mehrfachvergleiche

Höhe	Vergleichshöhen	Signifikanz
4mm	1mm	0,000
	2mm	0,000
	3mm	0,000
	5mm	0,000
	6mm	0,000
	7mm	0,000
	8mm	0,000
	9mm	0,000
	10mm	0,000
5mm	1mm	0,000
	2mm	0,000
	3mm	0,000
	4mm	0,001
	6mm	0,146
	7mm	0,000
	8mm	0,000
	9mm	0,000
	10mm	0,000
6mm	1mm	0,000
	2mm	0,000
	3mm	0,000
	4mm	0,000
	5mm	0,146
	7mm	0,008
	8mm	0,004
	9mm	0,000
	10mm	0,000

Tabelle 13 (Fortsetzung): Ergebnisse der Games – Howell Mehrfachvergleiche

Höhe	Vergleichshöhen	Signifikanz
7mm	1mm	0,000
	2mm	0,000
	3mm	0,000
	4mm	0,000
	5mm	0,000
	6mm	0,008
	8mm	1,000
	9mm	0,433
	10mm	0,000
8mm	1mm	0,000
	2mm	0,000
	3mm	0,000
	4mm	0,000
	5mm	0,000
	6mm	0,004
	7mm	1,000
	9mm	0,670
	10mm	0,002
9mm	1mm	0,000
	2mm	0,000
	3mm	0,000
	4mm	0,000
	5mm	0,000
	6mm	0,000
	7mm	0,433
	8mm	0,670
	10mm	0,486

Tabelle 13 (Fortsetzung): Ergebnisse der Games – Howell Mehrfachvergleiche

Höhe	Vergleichshöhen	Signifikanz
10mm	1mm	0,000
	2mm	0,000
	3mm	0,000
	4mm	0,000
	5mm	0,000
	6mm	0,000
	7mm	0,000
	8mm	0,002
	9mm	0,486

Tabelle 13 (Fortsetzung): Ergebnisse der Games – Howell Mehrfachvergleiche

Höhe	N	Untergrp.	Untergrp.	Untergrp.	Untergrp.	Untergrp.	Untergrp.	Untergrp.
		1	2	3	4	5	6	7
1mm	60	114,839						
2mm	60		264,957					
3mm	60			389,08				
4mm	60				512,386			
5mm	60					650,768		
6mm	60					762,509		
7mm	60						929,947	
8mm	59						944,954	
9mm	59						1042,035	1042,035
10mm	58							1159,085

Untergrp. = Untergruppe

Tabelle 14: Ergebnisse der Untergruppen nach Games – Howell

F	Fallzahl	Signifikanz
7,108	593	,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

Tabelle 15: Ergebnisse des Levene – Tests für die Kovarianzanalyse

Statistik	Fallzahl	Signifikanz
0,078	396	0,000

Tabelle 16: Nebenkriterium Zeitabhängigkeit; Ergebnisse des Kolmogorov – Smirnov Test

F	Fallzahl	Signifikanz
2,730	396	0,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

Tabelle 17: Nebenkriterium Zeitabhängigkeit; Ergebnisse des Levene – Test

9. Literatur

1. Assif D.; Azoulay S.; Gorfil C.:
The degree of zinc phosphate cement coverage of complete crown preparations and its effect on crown retention
J. Prosth. Den.; 68(2), 275 – 278 (1992)

2. Baldissara P.; Comin G.; Martone F.; Scotti R.:
Comparative study of the marginal microleakage of six cements in fixed provisional crowns
J. Prosth. Dent.; 80(4), 417 – 422 (1998)

3. Binus W.; Buske I.:
Werkstoffkundliche Untersuchungen an einigen gebräuchlichen Zinkphosphatzementen
Dtsch.Stomat. 17; H.5 (1967)

4. Branco R.; Hegdahl T.:
Physical properties of some zinc phosphate and polycarboxylate cements
Acta. Odontol. Scand.; 41, 349 – 353 (1983)

5. Burckhardt R.:
Der Einfluß der Anmischtemperatur auf die Verarbeitungszeit von Befestigungszementen
ZMK; 10, 6 – 13 (1998)

6. Cramer:
Medizinische Dissertation Mainz (1995)

7. Darvenzia M.; Basford K.E.; Meek J.; Stevens L.:
The effects of surface roughness and surface area on the retention of crowns luted with zinc phosphate cement
Australian Dental Journal; 32(6), 446-57 (1987)

8. Eichner K.; Viohl J.:
Zahnärztliche Werkstoffkunde und ihre Verarbeitung; Zemente
Band 2, 1981

9. El – Mowafy O.M.; Fenton A.H.; Forrester N.; Milenkovic M.:
Retention of metal ceramic crowns cemented with resin cements: Effects of preparation taper and height
J. Prosth. Den.; 76(5), 524 – 529 (1996)

10. Fakiha Z.A.; Mueninghoff L.A.; Leinfelder K.F.:
Rapid mixing of zinc phosphate cement for fixed prosthodontic procedures
J. Prosth. Den.; 67(1), 52 – 58 (1992)

11. Gorodovsky S.; Zidan O.:
Retentive strength, disintegration, and marginal quality of luting cements
J. Prosth. Den.; 68(2), 269 – 274 (1992)

12. Henschel C.J.:
The effect of mixing surface temperature upon dental cementation
Jour. A. D. A.; 30 (1), 1583 – 1589 (1943)

13.Hondrum S.O.:

Storage stability of dental luting agents

J. Prosth. Den.; 81 (4), 464 – 468 (1999)

14.Jørgensen K.D.; Petersen G.F.:

The grain size of zinc phosphate cements

Acta. Odontol. Scand.; 21, 255 – 270 (1963)

15.Jørgensen K.D.:

Structure of the film of zinc phosphate cements

Acta. Odontol. Scand.; 18, 491 – 501 (1960)

16.Juntavee N.; Millstein P.L.:

Effect of surface roughness and cement space on crown retention

J. Prosth. Dent.; 68(3), 482 – 486 (1992)

17.Kaufmann E.G.; Coelho D.H.; Colin L.:

Factors influencing the retention of cemented gold castings

J. Prosth. Den.; 11(3), 487-502 (1961)

18.Kendzior, G.M.; Leinfelder, K.F.; Hershey, H.G.:

The effect of cold temperature mixing on the properties of zinc phosphate cement

Angle Orthod.; 46, 345 – 350 (1976)

19.Marker V.A.; Miller A.W.; Miller B.H.; Swepston H.J.:

Factors affecting the retention and fit of gold castings

J. Prosth. Den.; 57(4), 425 – 430 (1987)

20. Marxkors; Meiners:

Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde
Hanser Verlag (1993); 4. Auflage

21. Maxwell A.W.; Blank L.W.; Pelleu G.B.:

Effect of crown preparation height on the retention and resistance of gold
castings
General Dentistry/May – June, 200 - 202 (1990)

22. Meiners; Lehmann:

Klinische Materialkunde für Zahnärzte, Befestigungszemente
Hanser Verlag (1998)

23. Myers C.L.; Drake J.T.; Brantley W.A.:

A comparison of properties for zinc phosphate cements mixed on room
temperature and frozen slabs
J. Prosth. Dent.; 40(4), 409 – 412 (1978)

24. Newman M.S.:

Frozen – slab technique for mixing zinc phosphate cement for cast
restorations
J. Prosth. Dent.; 43(1), 46 – 49 (1980)

25. Norman, R.D.; Swartz, M.L.; Phillips, R.W.:

Studies on the solubility of certain dental materials
J. Dent. Research; 36 Dez. 977 (1957)

26. Norman, R.D.; Swartz, M.L.; Phillips, R.W.; Sears, C.R.:
Properties of cements mixed from liquids with altered water content
Prosth. Den.; 24, 410 – 418 (1970)
27. Parker M.H.; Malone K.H.; Trier A.C.; Striano T.S.:
Evaluation of resistance form for prepared teeth
J. Prosth. Den.; 66(6), 730 – 733 (1991)
28. Patyk A.; Hülsmann M.; Rinke S.:
Untersuchung zur Partikelgröße zahnärztliche Befestigungszemente
Dtsch. Zahnärztl. Z.; 48, 372 – 375 (1993)
29. Pfeifer/Schuchmann:
Datenanalyse mit SPSS für Windows
Oldenbourg Verlag GmbH München (1996)
30. Phillips R.W.:
Skinner's science of dental materials; 8th ed
WB Saunders Company; Dental cements for luting (1982)
31. Pilo R.; Cardash H.S.:
In vivo retrospective study of cement thickness under crowns
J. Prosth. Dent.; 79(6), 621 – 625 (1998)
32. Potts R.G.; Shillingburg H.T.; Duncanson M.G.:
Retention and resistance of preparations for cast restorations
J. Prosth. Den.; 43(3), 303 – 308 (1980)

33. Rosenstiel S.F.; Gegauff A.G.:

Mixing variables of zinc phosphate cement and their influences on the seating and retention of complete crowns

Int. J. Prosthodont.; 2, 138 – 142 (1989)

34. Rotgans J.:

Die Verwendung der Unitek – Mischplatte mit verlängerter Kühlzeit

ZWR, 87. Jahrg., Nr.23/24 (1978)

35. Savignac J.R.; Fairhurst C.W.; Ryge G.:

Strength, solubility and disintegration of zinc phosphate cement with clinically determined powder – liquid ratio

J. Prosth. Den.; 35(2), 126 – 130 (1965)

36. Schwartz I.S.:

A review of methods and techniques to improve the fit of cast restorations

J. Prosth. Den.; 56(3), 279 – 283 (1986)

37. Servais G.E.; Cartz L.:

Structure of zinc phosphate dental cement

J. Dent. Res.; 50(3), 613 – 620 (1971)

38. Shepherd W.B.; Leinfelder K.F.; Hershey H.G.:

The effect of mixing method, slab temperature, and humidity on the properties of zinc phosphate and zinc silicophosphate cement

J. Prosth. Den.; 48(3), 219 – 226 (1978)

39. Shillingburg; Hobo; Fisher:

Atlas der Kronenpräparation
Quintessenz Bibliothek, 1974

40. Shillingburg; Hobo; Whitsett:

Grundlagen der Kronen – und Brückenprothetik, Präparation stark zerstörter
Zähne
Quintessenz Bibliothek Verlag, 1977

41. Shillingburg; Jacobi; Brackett:

Grundlagen der Zahnpräparation
Quintessenz Verlags – GmbH, 1988

42. Tsuburaya T.; Kurosaki N.; Takatsu T.; Nakamura M.:

Surface adhesion and retentive force of cements
J. Prosth. Den.; 52(1), 57 – 60 (1984)

43. Volland, R.A., Paffenbarger, G.C., und Sweeney, W.T.:

A study of zinc phosphate cement by a group of practicing dentists under the
direction of the ADA Research Fellowship of NBS
J. Amer. Dent. Ass; 22, 1281 (1935)

44. Voß; Meiners:

Fortschritte der zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde
Hanser Verlag Band 1 (1980)

45. Voß; Meiners:

Fortschritte der zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde
Hanser Verlag Band 3 (1987)

46. Wacker D.R.; Tjan A.H.L.:

Effect of variation in powder – to – liquid ratio of zinc phosphate cement on
the retention of posts
J. Prosth. Dent.; 60(1), 49 – 52 (1988)

47. Wijn J.R.; Vrijhoef M.M.A.; Driessens F.C.M.:

Der Einfluß der Mischungsverhältnisse von Pulver zu Flüssigkeit auf einige
Eigenschaften von Zinkphosphatzement und Polykarboxylatzement
Dtsch. zahnärztl. Z.; 28, 665 – 670 (1973)

48. Willey R.L.:

Retention in the preparation of teeth for cast restorations
J. Prosth. Dent.; 35(5), 526 – 531 (1976)

49. Wilson P.R.:

Effect of increasing cement space on cementation of artificial crowns
J. Prosth. Dent.; 71(6), 560 – 564 (1994)

50. Wilson P.R.:

The effect of delayed placement of capsulated cements on crown seating
Australian Dental Journal; 39(4), 214 – 219 (1994)

10. Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. Paul Ferger, Leiter der prothetischen Abteilung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Justus – Liebig – Universität Gießen, für die Vergabe des Themas und seine freundliche Unterstützung bei der Verwirklichung der vorgelegten Arbeit.

Außerdem möchte ich Herrn Ulrich Heun für die Unterstützung bei der Durchführung der praktischen Versuche meinen herzlichen Dank aussprechen.

Danken möchte ich auch Herrn Marcus Schwarze für die Hilfe beim Programm Microsoft Word.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern für die fortwährende Unterstützung während meines Studiums.

12. Lebenslauf

Persönliche Angaben

Name	Ulrike Mendelin
Geburtstag und -ort	17. März 1977, Warstein
Familienstand	ledig
Eltern	Wilhelm und Beate Mendelin

Schulbildung

1983 – 1987	Grundschule Drewer
1987 – 1996	Friedrich – Spee – Gymnasium Rüthen
Mai 1996	Abitur

Studium

1996 – 2001	Zahnmedizinstudium an der JLU Gießen
Juli – Dezember 2001	Staatsexamen
06.12.2001	Approbation als Zahnärztin

Beruf

Seit 01.11.2002	Weiterbildungsassistentin Oralchirurgie
-----------------	--

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus – Liebig – Universität zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.