

AUS DEM LEHRSTUHL FÜR ZAHNÄRZTLICHE PROTHETIK
PROF. DR. GERHARD HANDEL
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**Untersuchung zur Objektivierung der Klebrigkeit von dentalen Kompositen
Eine Machbarkeitsstudie**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin**

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

**vorgelegt von
Sebastian Buczovsky**

2012

AUS DEM LEHRSTUHL FÜR ZAHNÄRZTLICHE PROTHETIK
PROF. DR. GERHARD HANDEL
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**Untersuchung zur Objektivierung der Klebrigkeit von dentalen Kompositen
Eine Machbarkeitsstudie**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin**

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

**vorgelegt von
Sebastian Buczovsky**

2012

Dekan: Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert
1. Berichterstatter: PD Dr. Martin Rosentritt
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Helmut Schweikl
Tag der mündlichen Prüfung: 21. September 2012

Die vorliegende Arbeit entstand in der Zeit von April 2009 bis Juni 2012 unter der Anleitung von PD Dr. Martin Rosentritt an der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Universität Regensburg.

Meiner Familie und Janina gewidmet

1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	2
2.1 Komposite	2
2.1.1 Definition	2
2.1.2 Zusammensetzung	2
2.1.3 Einteilungsmöglichkeiten und Klassifikation.....	4
2.2 Definition Rheologie	7
2.3 Definition Klebrigkeit	8
3. Zielsetzung	10
4. Material und Methoden	11
4.1 Aufgabenstellung	11
4.2 Materialauswahl	11
4.3 Versuchsdesign	11
4.4 Herstellung der Kavitäten	14
4.5 Versuchsdurchführung.....	17
4.5.1 Vorversuch	17
4.5.2 Versuch 1.....	18
4.5.3 Versuch 2.....	22
4.5.4 Versuch 3.....	24
4.6 Statistische Auswertung.....	28
5. Ergebnisse	30
5.1 Vorversuch	30
5.1.1 Ermittlung der mittleren maximalen Stopfkraft	30
5.1.2 Subjektive Beurteilung.....	32
5.2 Versuch 1	34
5.2.1 Admira LT6/25 bei KT25/37	34
5.2.2 Arabesk Top LT6/25 bei KT25/37	38
5.2.3 Grandio LT6/25 bei KT25/37	42
5.2.4 Polofil Molar L LT6/25 bei KT25/37	45

Inhaltsverzeichnis

5.2.5 Tetric EvoCeram LT6/25 bei KT25/37	49
5.3 Versuch 2	53
5.3.1 Admira Eintauchkraft 1N.....	53
5.3.2 Arabesk Top Eintauchkraft 1N	55
5.3.3 Grandio Eintauchkraft 1N	57
5.3.4 Polofil Molar L Eintauchkraft 1N.....	59
5.3.5 Tetric EvoCeram Eintauchkraft 1N.....	61
5.3.6 Eintauchkraft 2N	63
5.4 Versuch 3.....	64
5.4.1 Maximale Abzugskräfte	64
5.4.1.1 Admira.....	64
5.4.1.2 Arabesk Top	65
5.4.1.3 Grandio	67
5.4.1.4 Polofil Molar L.....	69
5.4.1.5.Tetric EvoCeram.....	71
5.4.2 Länge der Klebefahnen	73
5.4.2.1 Admira.....	73
5.4.2.2 Arabesk Top	75
5.4.2.3 Grandio	77
5.4.2.4 Polofil Molar L.....	79
5.4.2.5 Tetric EvoCeram.....	81
5.4.3 Abzugskraft und Klebefahne.....	83
5.4.3.1 Applikationskraft 1N, Typ der Kavität: PMMA.....	83
5.4.3.2 Applikationskraft 1N, Typ der Kavität: natürlicher Zahn	88
5.4.3.3 Applikationskraft 2N, Typ der Kavität: PMMA.....	92
5.4.3.4 Applikationskraft 2N, Typ der Kavität: natürlicher Zahn	96
5.4.4 Abzugsarbeit	100
5.4.4.1 Abzugsarbeit LT6/KT25	100
5.4.4.2 Abzugsarbeit LT25/KT25	102

5.4.4.3 Abzugsarbeit LT6/KT37	104
5.4.4.4 Abzugsarbeit LT25/KT37	105
5.4.5 Multivarianztest	108
6. Diskussion.....	110
6.1 Diskussion der Methode	110
6.1.1 Probenherstellung.....	111
6.1.2 Kavitätenauswahl.....	112
6.1.3 Instrumentenauswahl	113
6.1.4 Verfahrensprobleme.....	113
6.2 Diskussion der Ergebnisse.....	115
6.2.1 Vorversuch	115
6.2.2 Versuch 1.....	117
6.2.3 Versuch 2.....	119
6.2.4 Versuch 3.....	121
7. Zusammenfassung	124
8. Anhang	126
8.1 Abkürzungsverzeichnis.....	126
8.2 Tabellenverzeichnis.....	126
8.3 Abbildungsverzeichnis	128
9. Literaturverzeichnis.....	131
10. Danksagung	134

1. Einleitung

Dentale Komposite gehören in der heutigen Zeit ganz selbstverständlich zum Arbeitsmaterial eines jeden Zahnarztes. Trotz der großen Fülle an Produkten kristallisieren sich in der zahnärztlichen Gemeinschaft immer wieder Favoriten heraus, was sowohl in ihrem Preis, ihrer Qualität und maßgeblich in ihren Eigenschaften begründet ist. So spielt die Verarbeitbarkeit dentaler Werkstoffe bei der Kaufentscheidung immer wieder eine große Rolle. Ein wichtiges Kriterium für die Verarbeitbarkeit von Kompositen ist ihre Klebrigkeit. Sie entscheidet neben der Festigkeit darüber, ob ein Kunststoff als leicht oder schwer zu verarbeiten empfunden wird.

Bis heute gibt es weder im Dentalbereich noch anderswo eine befriedigende Definition der Klebrigkeit. Meistens wird versucht, sie über andere Parameter wie die Viskosität näher zu beschreiben, letztlich aber ist und bleibt die Klebrigkeit offenbar eine subjektive Empfindung. Erstaunlich jedoch ist, dass dieses Gefühl bei ausgewählten Personengruppen scheinbar immer wieder übereinstimmt. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Klebrigkeit dentaler Komposite über einen neuen, messbaren Parameter zu objektivieren, um damit unter anderem eine bessere Vergleichbarkeit der Kunststoffe untereinander sowie eine leichtere industrielle Optimierung möglich zu machen.

2. Literaturübersicht

2.1 Komposite

2.1.1 Definition

Unter Kompositen versteht man dem Wortsinn nach zusammengesetzte Werkstoffe. In der Zahnmedizin werden unter Kompositen zahnfarbene, plastische Füllungswerkstoffe verstanden, die nach Einbringen in einer Kavität chemisch oder durch Energiezufuhr aushärten. Moderne zahnärztliche Kompositmaterialien bestehen aus einer Vielzahl unterschiedlicher Komponenten, welche die Eigenschaften des Werkstoffs beeinflussen. Die drei Hauptbestandteile sind die organische Matrix, die disperse Phase (Füller) und die Verbundphase (Silane, Kopolymere) (Hellwig 2009).

2.1.2 Zusammensetzung

Organische Matrix

Die organische Matrix besteht aus Monomeren, Initiatoren, Stabilisatoren, Farbstoffen, Pigmenten und anderen Additiven. Bei den Monomeren handelt es sich meist um Di- oder Triester der Methacrylsäure mit hochmolekularen Alkohole (Janda 1988a; Janda 1988c; Peutzfeldt 1997). Die wichtigsten Monomere sind heute das von Bowen entwickelte Bis-GMA sowie UDMA (BOWEN 1963). Durch Verknüpfung einzelner Monomere entstehen Polymere. Dieser Vorgang wird als Polyreaktion bezeichnet. Man unterscheidet drei dieser Polyreaktionen: Polykondensation, Polyaddition und Polymerisation. Bei der Polymerisation verbinden sich ungesättigte Verbindungen zu kettenförmigen Makromolekülen ohne Entstehung von Nebenprodukten (Ludwig 2005). Diese Reaktion verläuft unter

2. Literaturübersicht

Volumenkontraktion, der sogenannten Polymerisationsschrumpfung, da sich der Abstand zwischen den Kohlenstoffatomen bei der Umsetzung einer Doppelbindung zu einer Einfachbindung reduziert (Eirich 1987; Venhoven, de Gee, and Davidson 1996). Um die Polymerisationsschrumpfung so gering wie möglich zu halten, werden hochmolekulare Monomere verwendet, da sich das Verhältnis des Molekulargewichts zur Anzahl der Doppelbindungen erhöht (Janda 1988a; Janda 1988b). Da sich in die sehr viskösen höhermolekularen Matrixharze nur eine relativ geringe Menge an anorganischen Füllstoffen einmischen lässt, müssen niedermolekulare Komonomere, wie TEGDMA, zur Verdünnung beigegeben werden. Dadurch lässt sich der Fülleranteil auf bis zu 85 Gew.% bei den modernen Feinpartikel-Hybridkompositen erhöhen (Heidemann 1999).

Disperse Phase

Durch Zugabe von Füllern werden die Eigenschaften von Kunststoffen optimiert. Dabei kommt es z.B. zur Erhöhung der Druckfestigkeit, der Verschleißresistenz und des Elastizitätsmoduls. Die thermische Expansion und die Polymerisationsschrumpfung werden verringert und die Ästhetik verbessert (Mitchell 2009). Als Füllkörper werden feinstteiliges Siliziumdioxid, auch als pyrogene Kieselsäure bekannt, Barium- oder Strontiumaluminiumborsilikatgläser und feingemahlener Quarz, verwendet. Um eine gewisse Röntgenopazität zu erreichen, werden Elemente mit hohen Atommassen, wie z.B. barium- oder strontiumhaltige Gläser, Yttrium- oder Ytterbiumtrifluorid, oder auch Zirkoniumdioxid, beigemischt, welche die Röntgenstrahlen stärker absorbieren (Janda 1988b; Watts 1987; Eichner and Kappert 2005).

Verbindung von organischer und anorganischer Komponente (Verbundphase)

Eine direkte Verbindung zwischen den beiden unterschiedlichen Phasen ist nicht möglich. Hierzu benötigt man ein „Kopplungsagens“, das sowohl hydrophil als auch hydrophob ist. Man verwendet für diesen Zweck i. d. Regel ein Silan (meist 3-Methacryloxypropyl-trimethoxysilan), das sich durch eine Esterreaktion chemisch mit dem Füller verbindet und über den hydrophoben Molekülteil in das Polymergeflecht der organischen Matrix eingebunden wird (Heidemann 1999).

2.1.3 Einteilungsmöglichkeiten und Klassifikation

1. Einteilung nach Lutz und Phillips

Einen sinnvollen Überblick über die Entwicklung und die Unterschiede der zahnärztlichen Komposite bietet die wahrscheinlich bekannteste Einteilung nach **LUTZ und PHILLIPS**, welche auf der Art der enthaltenen Füllstoffe als Charakteristikum basiert. Die Unterteilung erfolgt in Makrofüllerkomposite, homogene und inhomogene Mikrofüllerkomposite und Hybridkomposite (Lutz and Phillips 1983).

Makrofüllerkomposite

Traditionelle Makrofüller wurden durch mechanische Zerkleinerung hergestellt. Die Größe der Füllkörper war durch den damaligen Entwicklungsstand der Mahlprozesse vorgegeben. Die mittleren Füllkörpergrößen betragen anfänglich 0.1 bis 100µm, später konnten Füllkörpergrößen zwischen 5 und 30µm erreicht werden (Lutz and Phillips 1983; Craig 1981). Für die Füller verwendete Materialien waren Quarz, Glas und Keramik, welche gute physikalische Eigenschaften, wie eine hohe

Biegefestigkeit für die Komposite erreichten. Aufgrund der Größe der Füllkörper und deren schlechten Verbund mit der organischen Matrix, brachen diese häufig unter Kaubelastung aus. Damit verbunden kam es zum Höhenverlust und durch die Oberflächenrauigkeit zur vermehrten Plaqueakkumulation (Lutz and Phillips 1983; Hellwig 2009). Aus diesem Grund haben Makrofüllerkomposite heute meist nur noch historische Bedeutung und werden klinisch kaum eingesetzt (Leinfelder, Bayne, and Swift 1999).

Homogene/ inhomogene Mikrofüllerkomposite

Homogene mikrogefüllte Komposite enthalten feinste SiO_2 -Partikel (0,01-0,05 μm), die durch Pyrolyse organischer Siliziumverbindungen gewonnen werden. Der Anteil solcher Füllstoffe im Komposit beträgt 30-50 Massen% (ca. 50 Vol%). Homogene mikrogefüllte Komposite sind hochglanzpolierbar und bieten fast keine Ansatzfläche für Verschleißprozesse, sind aber sehr thixotrop und in der Praxis nicht verarbeitbar (Eirich 1987).

Inhomogene Mikrofüllerkomposite sollen die positiven Eigenschaften der homogenen Mikrofüllerkomposite aufgreifen und durch die Beimischung von Vorpolymerisaten (0,1-100 μm) werden die thixotropen Eigenschaften herabgesetzt. Die Vorpolymerisate sind splitterförmig, kugelförmig oder bestehen aus Füllkörperagglomeraten. Bei Zugabe von Mikrofüllern in eine organische Matrix erhöht sich die Viskosität rasch. Durch die Verwendung von Vorpolymerisaten wird ein akzeptabler Füllstoffgehalt von bis zu 75% Massenanteil erreicht, wodurch die Polymerisationsschrumpfung verringert, die Abrasionsstabilität erhöht und die mechanischen Eigenschaften verbessert werden (Kullmann 1990; Eirich 1987). Durch die gute Polierfähigkeit und ein geringeres Elastizitätsmodul eignen sich

2. Literaturübersicht

Mikrofüllerkomposite besonders für den Einsatz im Frontzahnggebiet und für Zahnhalsfüllungen (Janda 1988b; Ernst C.-P., and Willershausen B. 2003).

Hybridkomposite

Will man die positiven Eigenschaften beider Kompositsysteme miteinander verbinden, so muss man die Füllkörperpartikel in einem Material kombinieren. Dabei entstehen sog. Hybridkomposite. Bei diesen sind etwa 85-90 Gew.-% der Füllkörper Makrofüller und 10-15 Gew.-% Mikrofüller. Der Füllkörpergehalt des gesamten Materials lässt sich so auf bis zu 85% steigern. Die Hybridkomposite lassen sich röntgenopak gestalten und verfügen über hervorragende physikalische Eigenschaften (Hellwig 2009). Werden die Hybridkomposite nach der mittleren Füllkörpergröße der enthaltenen Makrofüllkörper klassifiziert, ist eine weitere Unterteilung möglich. Während bei dem Oberbegriff „Hybridkomposit“ mittlere Füllkörpergrößen bis zu 10µm enthalten sind, enthält ein „Feinpartikelhybridkomposit“ Füllkörper bis zu 5µm Korngröße, ein „Feinstpartikelhybridkomposit“ bis zu 3µm und ein „Submikrometerhybridkomposit“ eine mittlere Füllkörpergröße von unter 1µm (Ernst C.-P., and Willershausen B. 2003; Hellwig 2009).

Ormocere als Alternative zu Kompositen

Seit dem Jahr 1998 sind die sogenannten Ormocere, abgeleitet aus dem Englischen von *organically modified ceramics*, als Alternative zu herkömmlichen Füllungswerkstoffen erhältlich. Sie unterscheiden sich zu Kompositen im Aufbau ihrer Matrix. Besitzen Komposite nur eine rein organische Matrix, so sind Ormocere anorganisch-organische Hybridpolymere. Als anorganische, silanisierte Füllkörper werden Silikatgläser von ca. 0,7 µm sowie Mikrofüller aus pyrogenem Siliziumdioxid

2. Literaturübersicht

mit einer mittleren Größe von ca. 0,04 μm verwendet (Hennig et al. 2004). Die Polymerisation der Ormocere soll mit einer geringeren Schrumpfung erfolgen als bei herkömmlichen Kompositen, zusätzlich sollen sie eine gesteigerte Abriebfestigkeit besitzen (Bauer, Kunzelmann, and Hickel 1995; Fraunhofer-Institut).

2. Einteilung nach Ernst

Eine weitere Möglichkeit der Einteilung von Kompositen stellt die Kompositklassifikation nach **ERNST** dar. Er beschreibt drei grundsätzliche Einteilungsmöglichkeiten der Komposite: 1. nach ihrer Konsistenz, 2. nach ihren Füllern und 3. nach ihrer Matrix. Laut Ernst spielen alle 3 Komponenten zusammen und können daher nur schwer getrennt voneinander betrachtet werden. Nach der Konsistenz sind Komposite in „normale“, stopfbare, hochfeste und flowable-Komposites einzuteilen. Entsprechend ihrer enthaltenen Füllkörper nimmt Ernst eine Einteilung in Mikrofüllerkomposite, Hybridkomposite, Nanokomposite und nanooptimierte Hybridkomposite vor. Nach ihrer Matrix werden sie schließlich eingeteilt in bis-GMA-basierte Komposite, Kompomere, Ormocere und Silorane (Ernst 2011).

2.2 Definition Rheologie

Die zentrale Größe der Rheologie ist die Viskosität. Diese wird üblicherweise als Scherviskosität definiert: befindet sich eine viskose Flüssigkeit zwischen einer ruhenden und einer mit der Geschwindigkeit v_x bewegten Platte, so ist die Kraft pro Fläche, welche zum Ziehen der bewegten Platte benötigt wird, proportional zum Geschwindigkeitsgradient (Fuhrmann 2004).

Die Einheit der Viskosität ist 1 Pa s.

2. Literaturübersicht

Einfache Flüssigkeiten, bei denen die Viskosität unabhängig von der Scherrate ist, bezeichnet man als *Newtonsche Flüssigkeiten*.

Polymer- und Kolloidlösungen sind im allgemeinen nicht-Newtonsche Flüssigkeiten, d.h. die Viskosität hängt hier von der Schergeschwindigkeit ab. Die Begründung liegt in der komplexen Struktur der Materialien. Aus ihr leitet sich auch die Bezeichnung "Strukturviskosität" für nicht-Newtonsches Verhalten ab.

Man unterscheidet:

- Flüssigkeiten, deren Viskosität mit zunehmender Scherrate abnimmt: Scherverdünnung, Pseudoplastizität, eigentliche Strukturviskosität.
- Flüssigkeiten, deren Viskosität mit zunehmender Scherrate zunimmt: Scherverdickung, Dilatanz.

Desweiteren kann die Viskosität auch von der Zeit abhängen. Hier unterscheidet man:

- **Thixotropie**, hier nimmt die Viskosität bei konstanter Scherrate mit der Zeit ab, und
- **Rheopexie**, wo die Viskosität bei konstanter Scherrate mit der Zeit zunimmt (Meissner , Stephenson, Demarmels, Portman 1982).

2.3 Definition Klebrigkeit

Aus dem täglichen Sprachgebrauch sind zur Beschreibung klebender Substanzen verschiedene Ausdrücke, wie z.B. Leim, Kleister, Kleber oder sonstige Namen, die ihren Ursprung z.T. in alten Zunfttraditionen oder Anwendungsmöglichkeiten haben, bekannt. Ergänzend hierzu finden auch

2. Literaturübersicht

Begriffe Verwendung, die in Zusammenhang mit verarbeitungstechnischen Gesichtspunkten, z.B. Lösungsmittelklebstoff, Haftklebstoff, oder nach der auftretenden Verfestigungsart, z.B. Reaktionsklebstoff, Schmelzklebstoff gewählt werden. Als einheitlichen Oberbegriff, der die anderen gebräuchlichen Begriffe für die verschiedenen Klebstoffarten einschließt, definiert DIN EN 923 einen Klebstoff als einen „*nichtmetallischen Stoff, der Füge­teile durch Flächenhaftung und innere Festigkeit (Adhäsion und Kohäsion) verbinden kann*“. Unter Klebstoffen sind demnach Produkte zu verstehen, die gemäß ihrer jeweiligen chemischen Zusammensetzung und dem vorliegenden physikalischen Zustand zum Zeitpunkt des Auftragens auf die zu verbindenden Füge­teile oder während ihrer Erwärmung (z.B. Klebstofffolien) eine Benetzung der Oberflächen ermöglichen und in der Klebefuge die für die Kraftübertragung zwischen den Füge­teilen erforderliche Klebschicht ausbilden (Habenicht 2009).

In Bezug auf die Zahnmedizin ist die Klebrigkeit nicht exakt definiert. Die oben genannten Eigenschaften klebriger Stoffe treffen im Groben auch für dentale Kunststoffe im nicht ausgehärteten Zustand zu. Die Klebrigkeit eines Werkstoffes kann im zahnärztlichen Gebrauch je nach Einsatzgebiet erwünscht, notwendig, störend oder gar ein Ausschlusskriterium sein.

3. Zielsetzung

In der Forschung spielen zusätzlich zu den chemischen und physikalischen Eigenschaften die Verarbeitungseigenschaften eine entscheidende Rolle, wenn es darum geht, einen neuen zahnärztlichen Füllungswerkstoff für den klinischen Gebrauch zu entwickeln. Bisher werden, um die Verarbeitungseigenschaften zu testen, praktizierende Zahnärzte angehalten neue Füllungsmaterialien auszuprobieren und ihre damit gemachten Erfahrungen in einem Fragebogen zu dokumentieren. Diese ausschließlich subjektiven Daten werden ausgewertet und zur Verbesserung der Handlingeigenschaften herangezogen. Um dieses kostenintensive, langwierige und subjektive Procedere zur Perfektionierung eines zahnärztlichen plastischen Füllungsmaterials zu umgehen, war es Ziel dieser Arbeit, die Klebrigkeit als Verarbeitungseigenschaft über einen objektiven Parameter messbar zu machen.

4. Material und Methoden

4.1 Aufgabenstellung

Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich mit dem Vergleich von Materialien verschiedener Werkstoffklassen bezüglich ihrer Klebrigkeit und Applizierfähigkeit. Dabei sollte der Einfluss unterschiedlicher Faktoren wie die Lagerungstemperatur der Materialien, die Kavitätentemperatur beim Füllvorgang und die Verwendung verschiedener Kavitätenmaterialien berücksichtigt werden.

4.2 Materialauswahl

Bei den Versuchen wurden fünf verschiedene plastische Füllungswerkstoffe verwendet.

Tabelle 1: Verwendete Materialien

Hersteller	Material	Materialtyp
Voco GmbH	Admira	Ormocer
Voco GmbH	Arabesk Top	Micro-Hybrid-Komposit
Voco GmbH	Grandio	Nano-Hybrid-Komposit
Voco GmbH	Polofil Molar L	Micro-Hybrid-Komposit
Ivoclar-Vivadent	Tetric EvoCeram	Nano-Hybrid-Komposit

4.3 Versuchsdesign

Bei Versuchen mit plastischen und lichthärtenden Materialien mussten Versuchsbedingungen geschaffen werden, die eine identische Dimensionierung, gleiche Rahmenbedingungen und minimale Randeffekte gewährleisten. Dazu wurden die Versuche unter Gelblicht durchgeführt und

4. Material und Methoden

zusätzlich in der Versuchsanordnung Temperatursonden zur Steuerung und Kontrolle der Kavitätentemperatur eingebaut. Um eventuellen Einflüssen durch Temperatenausgleichsvorgänge in den Proben aus dem Kühlschrank vorzubeugen, wurden die Proben immer erst unmittelbar vor der Applikation aus dem Kühlschrank entnommen und danach auch sofort wieder darin aufbewahrt.

Die Versuchsreihe bestand aus einem Vorversuch und drei standardisierten Einzelversuchen.

Der **Vorversuch** wurde mit einer Klasse I- Kavität eines natürlichen Zahnes bei Tageslicht und künstlicher Beleuchtung durchgeführt. Die Kavitätentemperatur betrug im ersten 25° C und im zweiten Teil des Versuchs 37° C. Die Kraftmessung wurde mit dem Kraftaufnehmer 8523-50 der Fa. Burster durchgeführt.

Die **Versuche 1 und 2** wurden ebenfalls bei 25° C und 37° C durchgeführt. Hier wurden standardisierte Klasse I-Kavitäten aus PMMA verwendet.

In **Versuch 3** wurden die Klasse I-Kavitäten gegen PMMA-Plättchen und natürliche Zahnscheiben ausgetauscht. Die Temperatureinstellungen blieben gleich. Die Kraftmessung in den Versuchen 1, 2 und 3 erfolgte mit der Zwick Universalprüfmaschine 1446.

Die Versuche 1 bis 3 wurden ausschließlich unter Gelblicht durchgeführt. Bei den Versuchen wurden sowohl die Lagerbedingungen des Materials (Kühlschrank-, Raumtemperatur), als auch die Parameter Kavitätentemperatur, -material und -geometrie variiert.

4. Material und Methoden

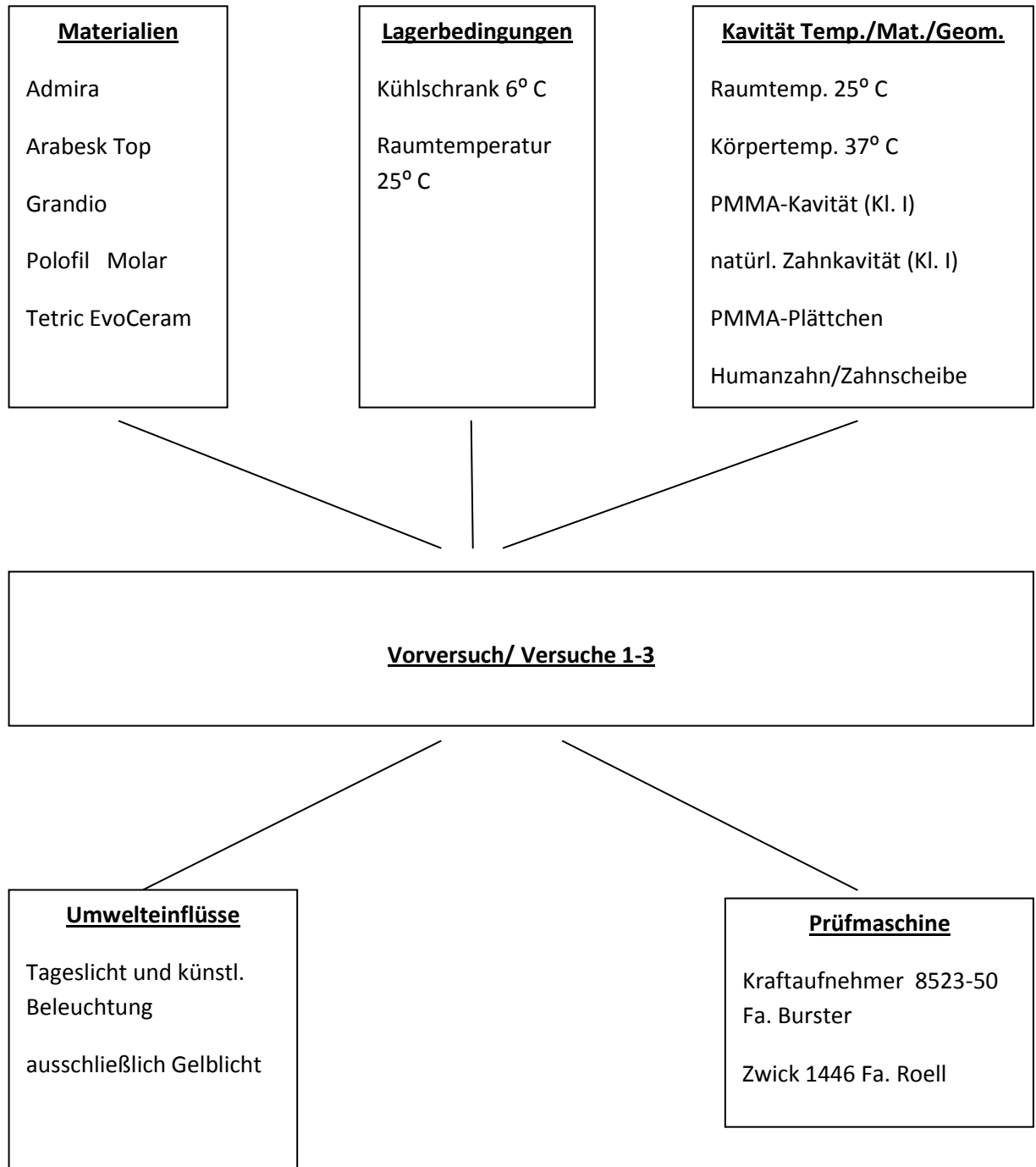


Abbildung 1: Übersicht Versuchsdurchführung

4. Material und Methoden

Mit folgenden Geräten wurden die in Abb. 1 dargestellten Versuche durchgeführt:

- zur Temperaturmessung wurden die Geräte Technoterm 9400 und eine Temperaturmesssonde K-Typ (NiCrNi) der Fa. B+B-Thermotechnik verwendet
- zur Kraftmessung im Vorversuch wurde der Kraftaufnehmer 8523-50 der Fa. Burster verwendet
- die Klebekraftmessung in den Versuchen 1-3 wurden in der Universal Prüfmaschine Zwick 1446 gemessen

4.4 Herstellung der Kavitäten

Für die Kavität, die im Vorversuch verwendet wurde, wurde eine Klasse I Kavität mit einem Durchmesser von 5,0mm und einer Tiefe von 4.0mm in einen humanen Molaren präpariert, die Wurzeln abgetrennt und die Zahnkrone auf eine Schraube (Gewinde M4) polymerisiert. Zusätzlich wurde die Krone zirkulär beschliffen und mit 13 Windungen Konstantandraht (100 Ω /m Drahtdurchmesser 0,08mm) umwickelt. Die Heizwindungen wurden anschließend mit Espe Sinfony abgedeckt. Der gemessene Widerstand der Heizwicklung betrug 47 Ω .

Um konstante 37⁰ C Kavitätentemperatur zu erhalten, wurde mittels dem VOLTCRAFT® PS-1152 A Labor-Netzgerät eine Heizspannung von 3,1 V angelegt. Zur Kontrolle der Temperatur wurde ein Temperaturmessgerät (Technoterm 9400) verwendet.

4. Material und Methoden

Für die Versuche 1 und 2 wurden als Kavitäten PMMA-Röhrchen mit Innendurchmesser 5,0mm, einer Höhe von 4,0mm hergestellt und mit PMMA-Plättchen als Boden verklebt.

Um in den Versuchen 1 und 2 die Körpertemperatur zu simulieren, wurden Halterungen entworfen, die es ermöglichten die Kavitäten auf die gewünschte Temperatur zu heizen. Dazu wurde ein Kupferrohr $\varnothing 10,0\text{mm}$ auf 28mm abgelängt, im oberen Drittel mit einer Bohrung $\varnothing 5,0\text{mm}$ versehen und mit einem Schrumpfschlauch ummantelt. Dieses wurde dann mit Konstantandraht ($100\Omega/\text{m}$, Drahtdurchmesser 0,08mm) umwickelt, mit Isolierband isoliert und in Kunststoff (Paladur Fa. Heraeus Kulzer) eingebettet. Zuvor wurde in die 5,0mm Bohrung eine Schraube eingedreht, deren Aufgabe es war den Probenhalter samt Temperatursonde in Position zu halten.

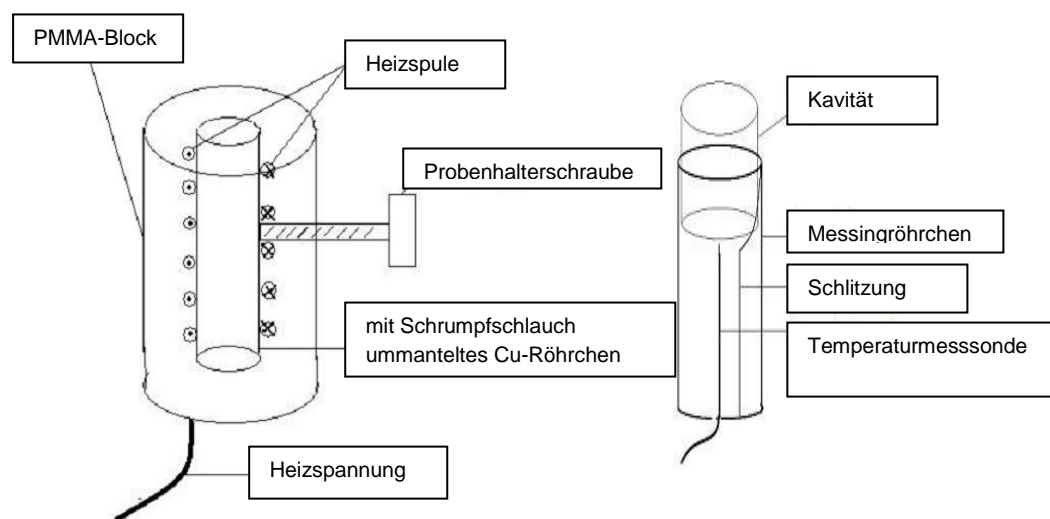


Abbildung 2: Heizblock und Probenhalter

4. Material und Methoden

Der Probenhalter bestand aus einem der Länge nach geschlitzten Messingröhrchen, welches exakt in das Kupferröhrchen des Heizblock passte und über die Schraube am Durchrutschen gehindert wurde. Außerdem konnte durch den Druck der Schraube die Prüfkavität festgeklemmt werden. Im Inneren des Probenhalterröhrchen wurde mit Knetsilikon (fifty-fifty Fa. Klasse IV) eine Temperaturmesssonde (B+B-Thermotechnik K-Typ (NiCrNi)) fixiert. Um die Kavität auf eine Temperatur von 37° C aufzuheizen, wurde das VOLTcraft® PS-1152 A Labor-Netzgerät verwendet und eine Spannung von 9,2V angelegt.

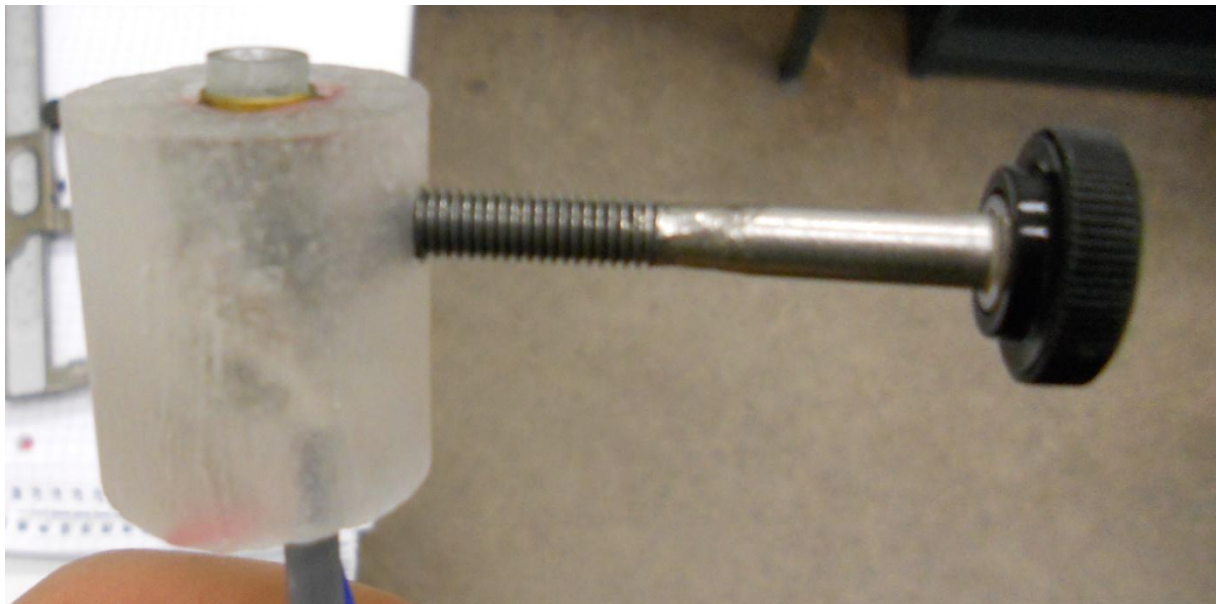


Abbildung 3: Heizblock mit Probenhalter, Kavität und Probenhalterschraube

In Versuch 3 wurden Zahnscheiben, mit einer Stärke von 1,5mm, die mit der Innenlochsäge (Leica SP 1600) geschnitten wurden und PMMA-Plättchen mit 1,5mm Stärke als Kavität verwendet. Um die Zahnscheiben herstellen zu können, wurden die ausgesuchten Zähne in Kunststoff (Paladur Fa. Heraeus Kulzer) eingebettet, damit sie beim späteren sägen nicht auseinanderfallen

konnten. Um auch hier 37° C zu erreichen, wurden die Zahnscheiben und die PMMA-Plättchen auf einer Heizplatte (Severin KP 1056 1500W) befestigt.

4.5 Versuchsdurchführung

4.5.1 Vorversuch

Bei diesem Versuch war das Ziel herauszufinden, mit welcher Kraft der Zahnarzt beim Füllen den Kunststoff in die präparierte Kavität drückt. Dies diente dazu, die Einstellungen bezüglich der verwendeten Kraft in den nachfolgenden Versuche so praxisnah wie möglich zu simulieren. Dafür wurden die während des Stopfvorgangs auftretenden maximalen Kräfte mit dem Kraftmesser 8523-50 der Fa. Burster aufgenommen. Es wurde bei 15 Probanden gemessen.

Die verwendeten Kunststoffe wurden zum einen bei Raumtemperatur und zum anderen im Kühlschrank gelagert. Appliziert wurden die Kunststoffe in eine Klasse I –Kavität eines natürlichen Molaren, der in der ersten Versuchsreihe ebenfalls Raumtemperatur hatte und in der zweiten Versuchsreihe auf 37°C Körpertemperatur aufgeheizt wurde. Der Durchmesser der Kavität betrug 5,0mm und die Tiefe 4,0mm. Die Versuche liefen bei normaler künstlicher Beleuchtung und Tageslicht ab. Die Probanden wurden so instruiert, die zu applizierende Menge Kunststoff so zu bemessen, als würden sie die erste Schicht in eine Klasse I-Kavität einbringen. Zum Einbringen des Kunststoffs wurde ein Planstopfer der Fa. Aesculap mit der Bezeichnung DE 295R (Ø 1,8mm) verwendet. Der Füllvorgang sollte dann beendet werden, wenn die eingebrachte Kunststoffschicht lichthärtefähig war. Außerdem sollten die Teilnehmer die Kunststoffe subjektiv auf ihre allgemeine Verarbeitbarkeit, ihre Festigkeit und auf ihre Klebrigkeit am Stopfer bewerten. Dafür wurde eine Skala von 1 bis 6

4. Material und Methoden

verwendet, wobei in Bezug auf die Festigkeit ,1 als sehr weich und 6 als sehr fest, in Bezug auf die Klebrigkeit am Instrument, 1 als nicht klebend und 6 als stark klebend, definiert wurde. Für die Applikationsfähigkeit wurden Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend) vergeben.

Folgende Tabelle fasst den Versuchsaufbau zusammen:

Tabelle 2: Versuchsaufbau zum Vorversuch

Material-lagerung	Kavität	Einstellungen/Umwelteinflüsse/Messgeräte	Auswertung
Kühlschrank (6°C)	natürl. Zahn-Kavität 5x4mm	Tageslicht mit zusätzlich künstlicher Beleuchtung	Eintauchkraft
Raumtemp. (25°C)	Raumtemp. (25°C) Körpertemp.(37°C)	Burster Sensor-Interface 9205 Kraftaufnehmer 8523-50 Fa. Burster	

4.5.2 Versuch 1

Dieser Versuch wurde mit der Universalprüfmaschine Zwick 1446 der Fa. Zwick/Roell durchgeführt. Unter Gelblichtbedingungen wurden die PMMA-Kavitäten (5x4mm) bis zum Rand gleichmäßig mit den fünf zu testenden Kunststoffen befüllt. Die Kavität mit dem zu prüfenden Kunststoff wurde im Probenhalter platziert und im Heizblock versenkt. Zusammen wurden Heizblock und Probenhalter in einer Haltevorrichtung der Zwick 1446 fixiert.

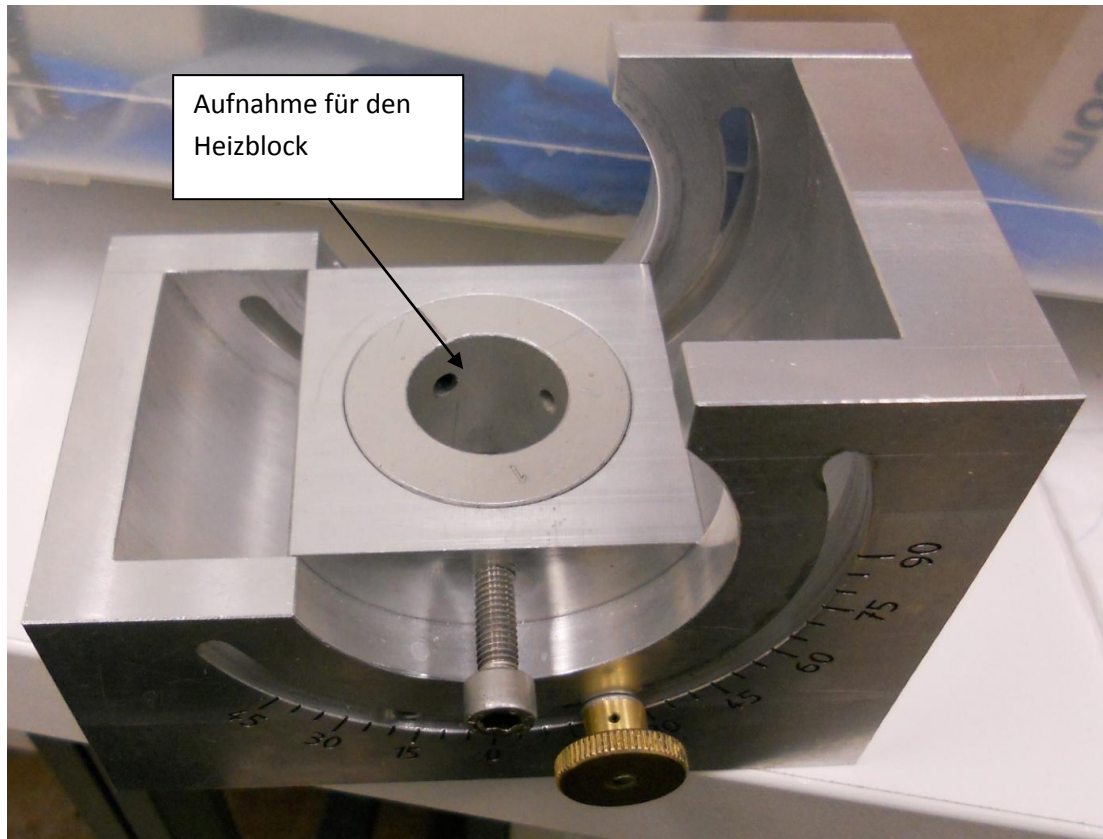


Abbildung 4: Haltevorrichtung Zwick 1446

Im zweiten Schritt fuhr ein Planstopfer ($\text{\O}1,8\text{mm}$, Fa. Aesculap DE 295R) mit konstanter Eindringtiefe (2mm) in die Probe. Dabei wurde die maximale Kraft beim Hineinfahren und die maximale Kraft beim Herausziehen gemessen. Die Fahrgeschwindigkeit des Planstopfers betrug sowohl beim Eintauchen als auch beim Herausziehen 250mm/min (= Stopfgeschwindigkeit). Ein Testzyklus bestand aus zehn Ein- und Ausfahrvorgängen und wurde pro Kunststoff fünfmal wiederholt.

Durch die unterschiedlichen Lagerungsbedingungen ($6^\circ/25^\circ\text{C}$) der Füllungswerkstoffe und der unterschiedlichen Kavitätentemperaturen ($25^\circ/37^\circ\text{C}$) ergaben sich vier verschiedene Versuchsreihen mit je fünf

4. Material und Methoden

verschiedenen Kunststoffen und je fünf Wiederholungen der einzelnen Testzyklen.

Begonnen wurde der Versuch mit dem Kunststoff Lagertemperatur 6° C und einer unbeheizten PMMA-Kavität (5x4mm) bei Raumtemperatur (25° C). In Teil 2 des Versuchs betrug sowohl die Lagertemperatur des Kunststoffs als auch die Kavitätentemperatur 25° C. Die Versuchsteile drei und vier unterschieden sich lediglich von den beiden ersten in der Temperatur der Kavität, welche nun mit 37° C auf Körpertemperatur eingestellt war. Dazu wurde mit dem VOLTcraft® PS-1152 A Labor-Netzgerät eine Spannung von 9,2V angelegt.

Um ein senkrechtes Eintauchen des Pluggers zu gewährleisten, wurde dieser auf einer extra dafür gefertigten Halterung aus einer Platte mit Seilklemmen (Art.-Nr. 0191768 DIN 741) der Fa. Stabilit befestigt. Diese konnte in der Spannzange an der Traverse der Prüfmaschine eingespannt werden.

4. Material und Methoden

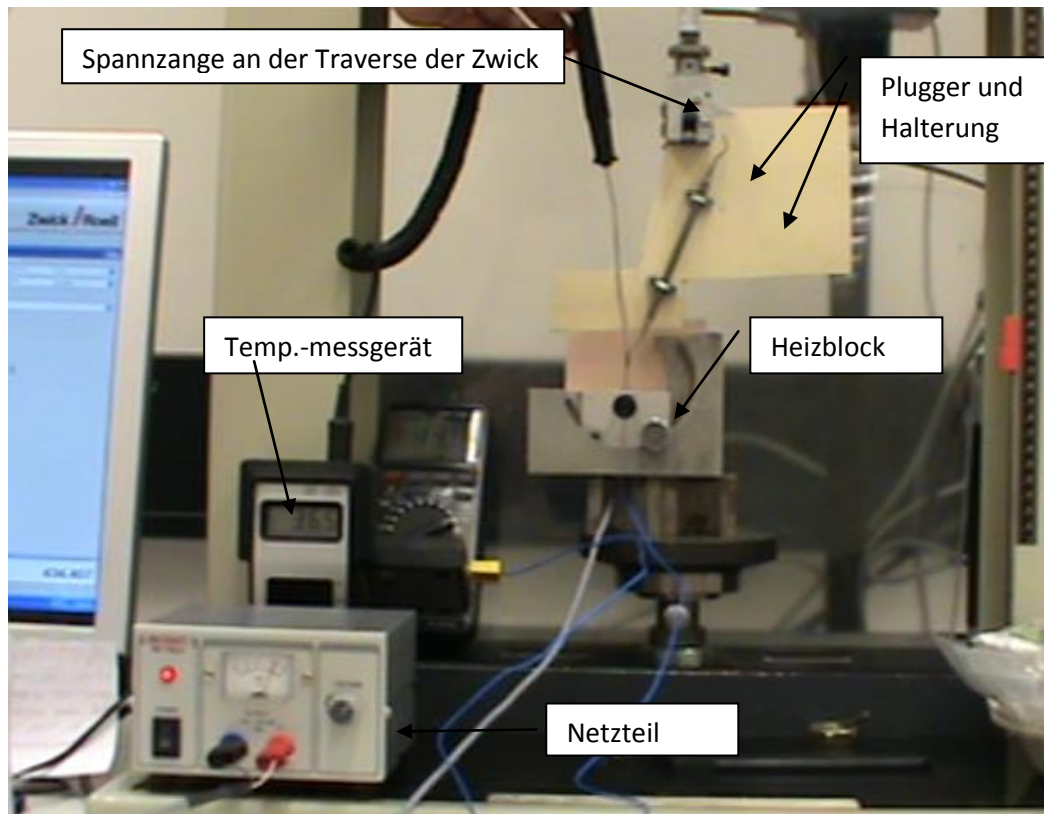


Abbildung 5: Versuchsaufbau zu Versuch 1

Tabelle 3: Versuchsaufbau zu Versuch 1

Material-lagerung	Kavität	Einstellungen/Umwelt-einflüsse/Messgeräte	Auswertung
Kühlschrank (6°C)	PMMA-Kavität (5x4mm)	Gelblicht	Eintauchkraft
Raumtemp. (25°C)	Raumtemp. (25°C)	Eintauchtiefe 2mm	Abzugskraft
	Körper-temp. (37°C)	Fahrgeschw. rein/raus 250mm/min	
		Zwick 1446 Fa. Zwick/Roell	

4.5.3 Versuch 2

Dieser Versuch wurde ebenfalls mit der Universalprüfmaschine Zwick 1446 durchgeführt. Unter Gelblichtbedingungen wurden die PMMA- Kavitäten (5x4mm) bis zum Rand gleichmäßig mit den fünf zu testenden Kunststoffen befüllt. Die Kavität mit dem zu prüfenden Kunststoff wurde im Probenhalter platziert und im Heizblock versenkt. Zusammen wurden Heizblock und Probenhalter in einer Haltevorrichtung der Zwick 1446 fixiert. Um eine möglichst praxisnahe Simulation des Füllvorgangs zu erreichen, wurden die im Vorversuch ermittelten Kräfte berücksichtigt. Da sich diese zwischen 0.5N und 2.5N bewegten, wurden die Prüfkräfte mit 1N und 2N festgelegt. Im nächsten Schritt fuhr ein Planstopfer (Ø1,8mm, Fa. Aesculap DE 295R) mit konstanter Kraft (1 und 2N) in die Probe. Die Maschine beendete den Eindringvorgang beim Erreichen der jeweilig eingestellten Maximalkraft, die zuerst 1N und im zweiten Durchgang 2N betrug. Beim Herausziehen aus der Probe wurde kontinuierlich die Kraft gemessen, bis der Planstopfer seine Startposition wieder erreicht hatte. Dieser Vorgang wurde zehnmal wiederholt und stellte so einen abgeschlossenen Zyklus dar. Für jeden Kunststoff wurde dieser Zyklus fünfmal wiederholt. So ergaben sich durch die unterschiedlichen Lagerungsbedingungen (6°/25°C) und die verschiedenen Kavitätentemperaturen (25°/ 37° C) 200 gefahrene Zyklen.

Um die gewonnenen Werte auch rechnerisch zu ermitteln, wurden aus den Messwerten der einzelnen Ein- und Ausfahrvorgänge zwei Punkte ermittelt:

- der Endpunkt des Eindringvorgangs, welcher definiert ist durch das Erreichen der eingestellten Eindringkraft (1 bzw. 2N) und die bis dahin vom Stopfer gefahrene Wegstrecke
- der Punkt der **maximalen Abzugskraft**, an dem die Klebefahne abgerissen ist und die bis dahin vom Stopfer gefahrene Wegstrecke

4. Material und Methoden

Bildet man die Differenz der beiden Wegstrecken, Fahrweg bis zum Erreichen der eingestellten Eindringkraft minus Fahrweg bis zur maximalen Kraft beim Ausfahren, ergibt das die **Länge der Klebefahne**.

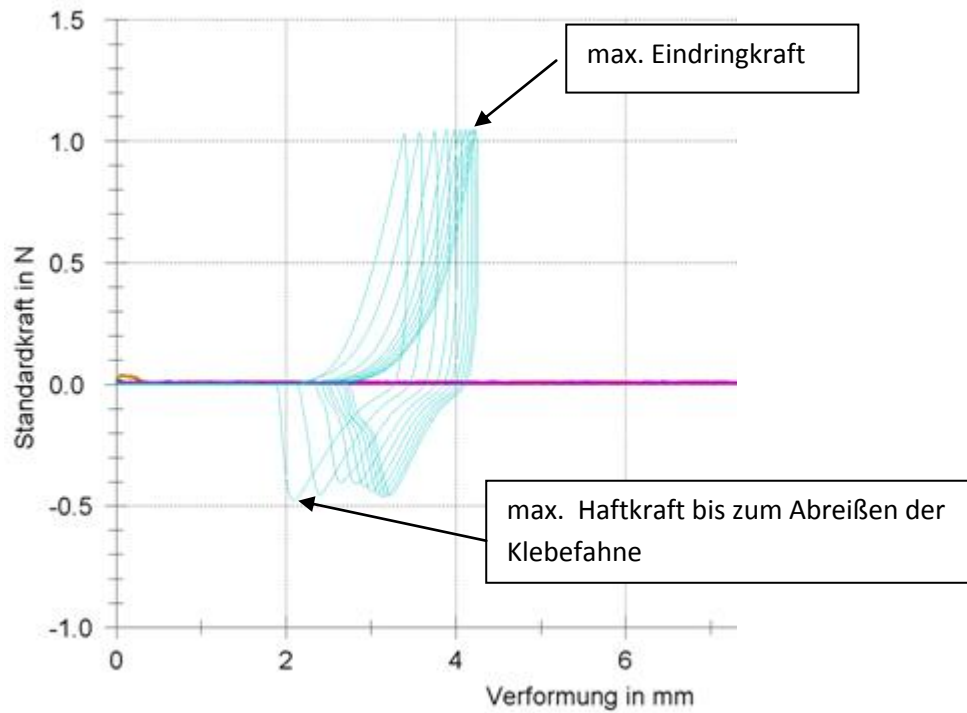


Abbildung 6: Zyklus mit zehn Ein- und Ausfahrvorgängen

Folgende Tabelle fasst den Versuchsaufbau zusammen:

Tabelle 4: Versuchsaufbau zu Versuch 2

Material-lagerung	Kavität	Einstellungen/Umwelteinflüsse/Messgeräte	Auswertung
Kühlschrank (6°C)	PMMA-Kavität (5x4mm)	Gelblicht	Abzugskraft
Raumtemp. (25°C)	Raumtemp. (25°C)	Eindringkraft 1 und 2N	Gefahrenre Wegstrecke (Länge der Klebefahne)
	Körpertemp. (37°C)	Fahrgeschw. rein/raus 35mm/min	
		Zwick 1446 Fa. Zwick/Roell	

4.5.4 Versuch 3

Für die Durchführung dieses Versuchs wurde der bisherige Versuchsaufbau abgeändert. Der Probenhalter einschließlich Heizblock wurde durch eine Heizplatte (Severin KP 1056 1500W), deren Temperatur stufenlos einstellbar war, ersetzt. Mittels einer Schraubzwinde wurde eine PMMA-Scheibe darauf fixiert. Die Temperaturmesssonde wurde auf die Oberfläche der PMMA-Scheibe mit einem Tropfen Kunststoff (Paladur Fa. Heraeus Kulzer) geklebt. Im zweiten Teil des Versuchs wurde die PMMA-Scheibe durch 1,5mm starke Zahnscheibenpräparate (Humanzahn, Zahn 48) ersetzt. Auch auf diesen wurde die Temperaturmesssonde mittels Kunststoff fixiert.

In diesem Versuch sollten Randeffekte wie z.B. das Anfließen und eine damit vergrößerte Benetzungsoberfläche des Kunststoffes an den Planstopfer, bei tiefem Eintauchen in die Kavität ausgeblendet werden, um so die reine Klebrigkeit zu ermitteln. Dazu wurde eine immer gleich große Portion (1,5mm x 2,0mm) des zu prüfenden Kunststoffes auf die Unterseite des

4. Material und Methoden

Stopfinstrumentes ($\varnothing 1,8\text{mm}$, Fa. Aesculap DE 295R) aufgebracht. Danach fuhr das Instrument mit 35mm/min und einer Kraft von 1 bzw. 2N auf die Kavitätenoberfläche und ebenfalls mit 35mm/min wieder in seine Ausgangsposition zurück. Beim Zurückfahren wurde wieder die maximale Abzugskraft gemessen. Dieses einmalige Auf- und Abfahren wurde für jeden Kunststoff, mit jeweils neuer Probe, fünfmal wiederholt. Bei fünf verschiedenen Kunststoffen, mit zwei unterschiedlichen Lagerungsbedingungen ($6^\circ/25^\circ\text{C}$), zwei unterschiedlichen Kräften (1 / 2N), zwei Kavitätenmaterialien (Humanzahn/PMMA) und zwei Kavitätentemperaturen ($25^\circ/37^\circ\text{C}$), ergab das 400 gefahrene Einzelmessungen.

Um effektiv zu arbeiten und durch Aufheiz- und Abkühlphasen keine Zeit zu verlieren, wurden zuerst die Versuchsdurchgänge durchgeführt, welche die Kavitätenscheiben bei Raumtemperatur vorgesehen hatten. Danach wurde die Heizplatte langsam bis auf 37°C aufgeheizt und mit der Temperaturmesssonde K-Typ (NiCrNi) der Fa. B+B-Thermotechnik ständig überprüft.

Damit immer gleich große Mengen an Kunststoff am Stopfer befestigt werden konnten, wurden die Testkunststoffe in Composite-Gun Tubes Art. No. 1915 der Fa. KerrHawe/ Schweiz umgefüllt. Aus diesen Tubes konnten dann mittels der Composite-Gun, ebenfalls Fa. KerrHawe, $1,5\text{mm}$ lange Kunststoffproben entnommen werden. Diese wurden mit einer Pinzette gehalten und am Stopfer befestigt.

Während der Messung wurde mit der Videokamera und einem im Hintergrund befestigten Millimeterpapier die Länge der Klebefahne aufgenommen.

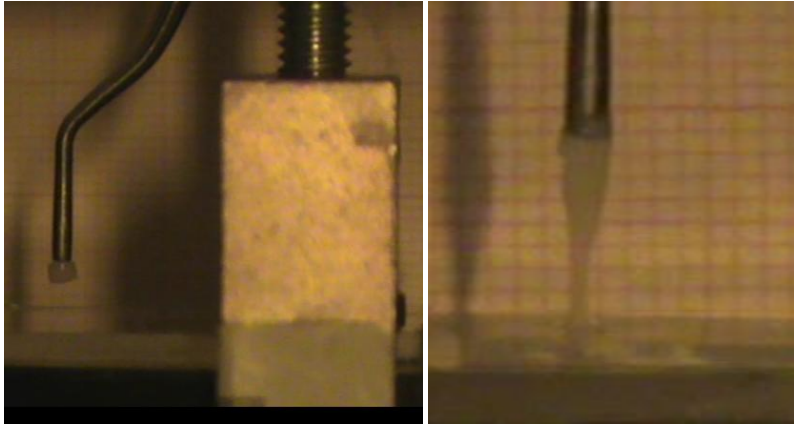


Abbildung 7: links: Am Stopfer befestigter Kunststoff und rechts: Klebefahne nach gefahrenem Zyklus

Im Rahmen dieses Versuches wurde anhand der gewonnenen Daten eines einzelnen Eintauch- und Abzugsvorgangs je ein Diagramm erstellt. Ein Beispiel ist in Abbildung 8 gezeigt. Unter Berücksichtigung der gefahrenen Wegstrecke und der aufgewendeten Kraft konnte nun hieraus die dabei verrichtete Abzugsarbeit ermittelt werden. Die Fläche *oberhalb* der x-Achse stellt die Eintaucharbeit dar. Für den vorliegenden Versuch war lediglich der Bereich *unterhalb* der x-Achse von Interesse, da dieser im Kraft-Weg-Diagramm der verrichteten Abzugsarbeit entspricht. Die Abzugsarbeit ergibt sich aus der Summe jeder einzeln verrichteten Arbeit (Kraft/N x Wegstrecke/mm) am jeweils zugehörigen Messpunkt beginnend am Punkt der Kraftumkehr bis hin zum Kraftwert 0. Für jeden Kunststoff, jede LT und KT, die Kavitätenbeschaffenheiten PMMA und Humanzahn sowie die Eindringkräfte 1 und 2N wurden aus 5 Messungen 5 Diagramme erstellt. Anschließend wurde jeweils die Abzugsarbeit errechnet und für alle Messungen gemittelt. Die zugehörigen Tabellen und Diagramme zeigen diese mittlere Abzugsarbeit (MAA) mit der jeweiligen Standardabweichung (s. Abb. 52-55) .

4. Material und Methoden

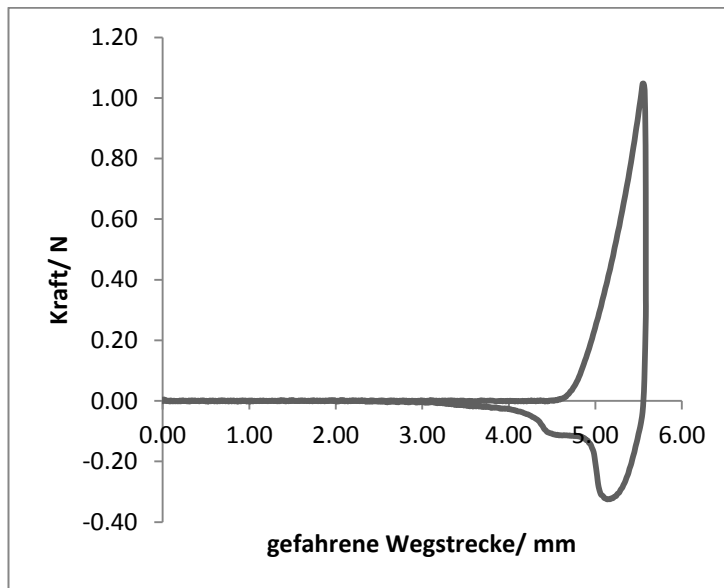


Abbildung 8: Beispieldiagramm zur Ermittlung der verrichteten Abzugsarbeit

Folgende Tabelle fasst den Versuchsaufbau zusammen

Tabelle 5: Versuchsaufbau zu Versuch 3

Material-lagerung	Kavität	Einstellungen/Umwelt-einflüsse/Messgeräte	Auswertung
Kühlschrank (6°C)	PMMA-Scheibe	Gelblicht	Abzugskraft
Raumtemp. (25°C)	Zahnscheibe	Eindringkraft 1 und 2N	Länge der Klebefahne (optisch mittels Video)
	Raumtemp. (25°C)	Fahrgeschw. rein/raus 35mm/min	
	Körper-temp.(37°C)	Zwick 1446 Fa. Zwick/Roell	Abzugsarbeit

4.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung und graphische Darstellung der gewonnenen Daten erfolgte mit dem Programm SPSS für Windows, Version 19.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) und dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel, Version 2007 (Microsoft, Redmond, WA, USA). Von den Einzelwerten wurden jeweils der Mittelwert (= arithmetisches Mittel) und die Standardabweichung berechnet und die Daten mithilfe der ein- bzw. multifaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) und paarweisen Mehrfachvergleichen im post-hoc Bonferroni-Test auf Signifikanz überprüft. Das Signifikanzniveau lag bei 5% ($\alpha=0,05$).

Aus den Daten der Eintauch- bzw. Abzugswerte wurde mit Hilfe von SPSS je eine Kurvenanpassung berechnet und der Korrelationskoeffizient (R^2) bestimmt, der über die Güte der Anpassung Auskunft gab.

In der nachfolgenden Tabelle werden alle Versuche mit deren Parametern im Überblick dargestellt.

4. Material und Methoden

Tabelle 6: Überblick der Versuche mit allen Parametern

	Kavität	Lagerung/Applikation	Umwelteinflüsse	Auswertung
Vorversuch	Klasse I Kavität Zahn 18	Lagerung: 6°/25°C Applikation: 25°/37°C 15 Zahnärzte manuell	Tageslicht und künstliche Beleuchtung	Kraft , subjektive Beurteilung Mittelwerte und Standardabw. ANOVA und Bonferroni-Test Signifikanzniveau $\alpha=0.05$
Versuch 1	PMMA 5x4mm	Lagerung: 6°/25°C Applikation: 25°/37°C Zwick 1446 maschinell Eindringtiefe 2mm v=250mm/min 10x Ein- und Ausfahren	Gelblicht	Eintauchkraft Abzugskraft
Versuch 2	PMMA 5x4mm	Lagerung: 6°/25°C Applikation: 25°/37°C Zwick 1446 maschinell Eintauchkraft 1N/2N v=35mm/min 10x Ein- und Ausfahren	Gelblicht	Abzugskraft Länge der Klebefahne (berechnet)
Versuch 3	PMMA-Scheibe Zahnscheibe Dicke 1,5mm	Lagerung: 6°/25°C Applikation: 25°/37°C Zwick 1446 maschinell Eintauchkraft 1N/2N v=35mm/min 1x Ein- und Ausfahren	Gelblicht	Abzugskraft Länge der Klebefahne (optisch) Abzugsarbeit Mittelwerte und Standardabw. ANOVA und Bonferroni-Test Signifikanzniveau $\alpha=0.05$

5. Ergebnisse

5.1 Vorversuch

5.1.1 Ermittlung der mittleren maximalen Stopfkraft

Die mittlere maximale Kraft (MMK) lag für alle untersuchten Materialien bei einer Lagerungs- und Kavitätentemperatur von 25° C (LT25/KT25) im Vergleich zu den anderen LT/KT am höchsten. Die Werte variierten bei LT25/KT25 zwischen 1.69N bei Tetric EvoCeram und 2.23N bei Admira. Der Einfluss der Lagerungs- und Kavitätentemperatur wirkte sich bei allen getesteten Materialien in gleicher Weise aus. D.h. bei LT25/KT25 waren die MMK am höchsten, die zweithöchsten Werte wurden bei LT6/KT25 zwischen 1.18N bei Grandio und 1.40N bei Polofil Molar L gemessen. Die dritthöchsten Werte wurden bei LT6/KT37 zwischen 0.80N bei Arabesk Top und Polofil Molar L und 1.01 bei Tetric EvoCeram gemessen. Die niedrigsten Werte wurden bei LT25/KT37 mit 0.67N bei Admira und 0.87N bei Grandio erzielt.

Folgende Tabelle zeigt die mittleren maximalen Kräfte mit der jeweiligen Standardabweichung

Tabelle 7: MMK und Standardabweichung

Kunststoff	Admira	Arabesk Top	Grandio	Polofil Molar L	Tetric EvoCeram	LT/KT
MMK	1.29	1.26	1.18	1.40	1.29	6/25
Stabw.	0.41	0.34	0.54	0.42	0.39	
MMK	0.81	0.80	0.92	0.80	1.01	6/37
Stabw.	0.24	0.30	0.33	0.25	0.32	
MMK	2.23	2.11	1.88	1.93	1.69	25/25
Stabw.	1.24	0.93	1.00	0.93	0.62	
MMK	0.67	0.72	0.87	0.58	0.78	25/37
Stabw.	0.21	0.30	0.33	0.31	0.20	

5. Ergebnisse

In der folgenden Abbildung werden die mittleren maximalen Stopfkkräfte in Abhängigkeit von der Lagerungs- und Kavitätentemperatur mit der jeweiligen Standardabweichung graphisch dargestellt. Darin ist das einheitliche Verhalten der Kräfte innerhalb der einzelnen Temperaturgruppen gut zu erkennen.

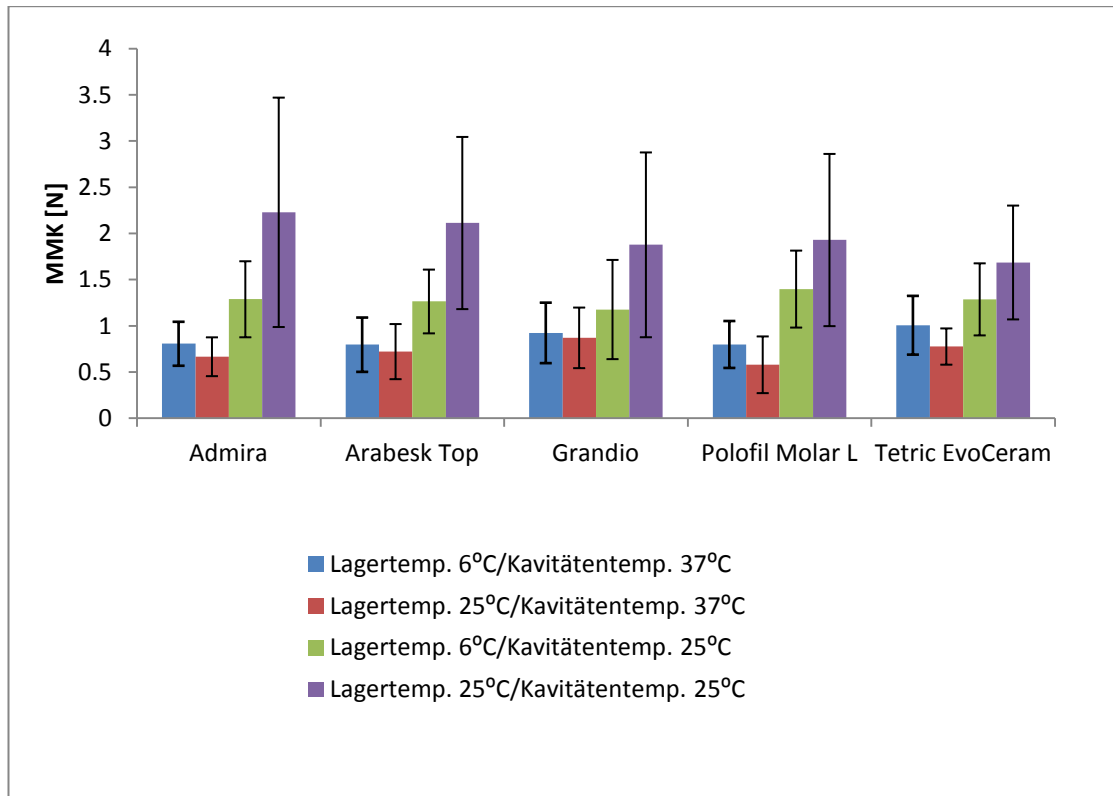


Abbildung 9: MMK in N

Im Gruppenvergleich der MMK-Werte zeigten sich signifikante Unterschiede sowohl für die Lager Temperatur als auch für die Kavitätentemperatur. Bei LT6 ($p=0.000$) bzw. LT25 ($p=0.000$) wurden signifikante Unterschiede zwischen den Kavitätentemperaturen ($25^{\circ}\text{C}/37^{\circ}\text{C}$) deutlich. Ebenfalls konnten bei KT25 ($p=0.006$) bzw. bei KT37 ($p=0.003$) signifikante Unterschiede zwischen den Lagerungstemperaturen ($6^{\circ}\text{C}/25^{\circ}\text{C}$) festgestellt werden.

5. Ergebnisse

Im internen Vergleich der Kunststoffe unterschieden sich die MMK-Werte nicht signifikant, weder bei LT6/KT25 ($p=0.723$), LT6/KT37 ($p=0.177$), LT25/KT25 ($p=0.461$) noch bei LT25/KT37 ($p=0.055$).

5.1.2 Subjektive Beurteilung

Die Festigkeit der verwendeten Kunststoffe wurden auf einer Skala von 1 bis 6, zwischen 3.0 ± 0.7 für Arabesk Top und 3.4 ± 1.0 für Tetric EvoCeram angegeben, wobei 1 als sehr weich und 6 als sehr fest definiert wurden.

Die Klebrigkeit wurde zwischen 2.0 ± 0.8 für Polofil Molar L und 3.2 ± 1.1 für Arabesk Top angegeben. Hier galt 1 als nicht klebend und 6 als stark klebend.

Die Applizierfähigkeit, wobei 1 sehr gut und 6 ungenügend bedeutete, wurde zwischen 2.1 ± 0.8 für Grandio und 2.8 ± 0.9 für Admira und 2.8 ± 0.7 für Arabesk Top angegeben.

Folgende Tabelle gibt die von den Probanden angegebenen, gemittelten Werte mit der jeweiligen Standardabweichung an.

Tabelle 8: Gemittelte Werte des Vorversuches mit Standardabweichung

Kunststoff	Festigkeit 1= sehr weich	Klebrigkeit 1= nicht klebend	Applizierfähigkeit 1= sehr gut
Admira	3.1 ± 1.1	3.1 ± 1.0	2.8 ± 0.9
Arabesk Top	3.0 ± 0.7	3.2 ± 1.1	2.8 ± 0.7
Grandio	3.2 ± 1.1	2.1 ± 1.1	2.1 ± 0.8
Polofil Molar L	3.3 ± 1.0	2.0 ± 0.8	2.2 ± 0.8
Tetric EvoCeram	3.4 ± 1.0	2.5 ± 0.8	2.4 ± 0.7

5. Ergebnisse

In der folgenden Abbildung ist zu erkennen, dass weniger klebende Kunststoffe wie Grandio (2.1 ± 1.1), Polofil Molar L (2.0 ± 0.8) und Tetric EvoCeram (2.5 ± 0.8) als besser zu applizieren beurteilt wurden als die stärker klebenden Admira (3.1 ± 1.0) und Arabesk Top (3.2 ± 1.1). Hingegen die Festigkeit eines Kunststoffes scheint eher als positive Handlungseigenschaft gesehen zu werden. Es wurden die weicheren und allerdings auch stärker klebenden Materialien Admira (3.1 ± 1.1) und Arabesk Top (3.0 ± 0.7) als schlechter applizierfähig bewertet als die festeren Materialien Grandio (3.2 ± 1.1), Polofil Molar L (3.3 ± 1.0) und Tetric EvoCeram (3.4 ± 1.0).

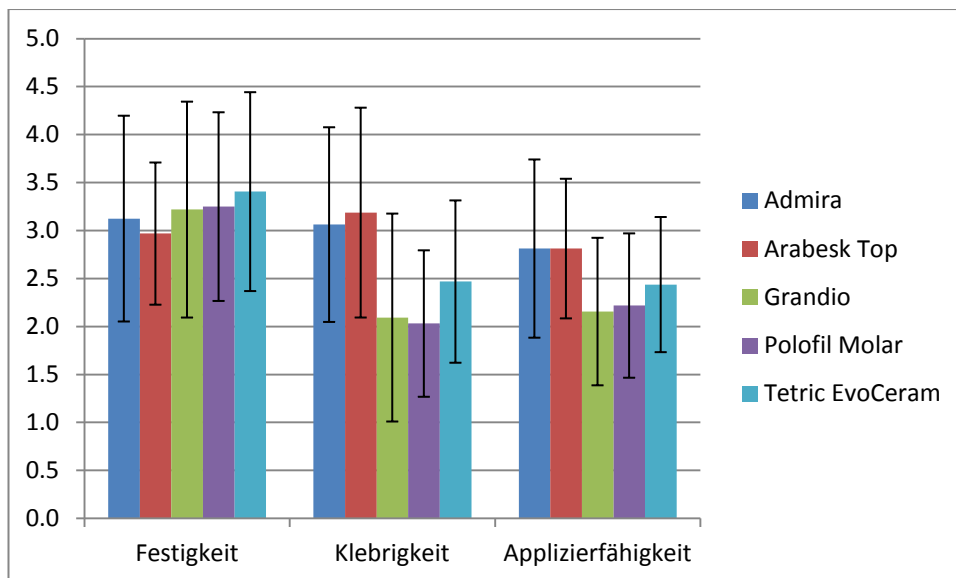


Abbildung 10: Subjektive Beurteilung

Im Gruppenvergleich zeigten sich für die Festigkeit ($p=0.000$) und die Applizierfähigkeit ($p=0.028$) keine signifikanten Unterschiede. Nur für die Klebrigkeit waren die Ergebnisse mit ($p=0.098$) signifikant unterschiedlich.

5.2 Versuch 1

Die durchgeführten Messungen mit der Universalprüfmaschine Zwick 1446 lieferten unter Berücksichtigung der Lagertemperatur (LT in °C) und Kavitätentemperatur (KT in °C) folgende Ergebnisse:

5.2.1 Admira LT6/25 bei KT25/37

Der höchste Eintauchwert wird bei LT6 mit $5.91 \pm 0.42\text{N}$ erreicht, bei LT25 liegt er mit $5.50 \pm 1.18\text{N}$ niedriger. Die beiden Eintauchwerte im zweiten Zyklus unterscheiden sich deutlich voneinander (LT6/ $2.30 \pm 0.15\text{N}$ und LT25/ $1.73 \pm 0.25\text{N}$). Ab dem dritten bzw. vierten Zyklus nähern sich die Werte an und erreichen im zehnten Zyklus beim Eintauchen für LT6 $0.52 \pm 0.04\text{N}$ und für LT25 $0.44 \pm 0.07\text{N}$. Die Abzugskräfte variierten zwischen $1.44 \pm 0.03\text{N}$ bei LT6 und $1.14 \pm 0.13\text{N}$ bei LT25 im ersten Zyklus und $0.58 \pm 0.05\text{N}$ bei LT6 und $0.50 \pm 0.08\text{N}$ bei LT25 im zehnten Zyklus.

Für das Ormocer Admira werden die Kräfte (Mittelwert und Standardabweichung) bei LT 6 und LT25 und KT25 in folgender Abbildung dargestellt.

5. Ergebnisse

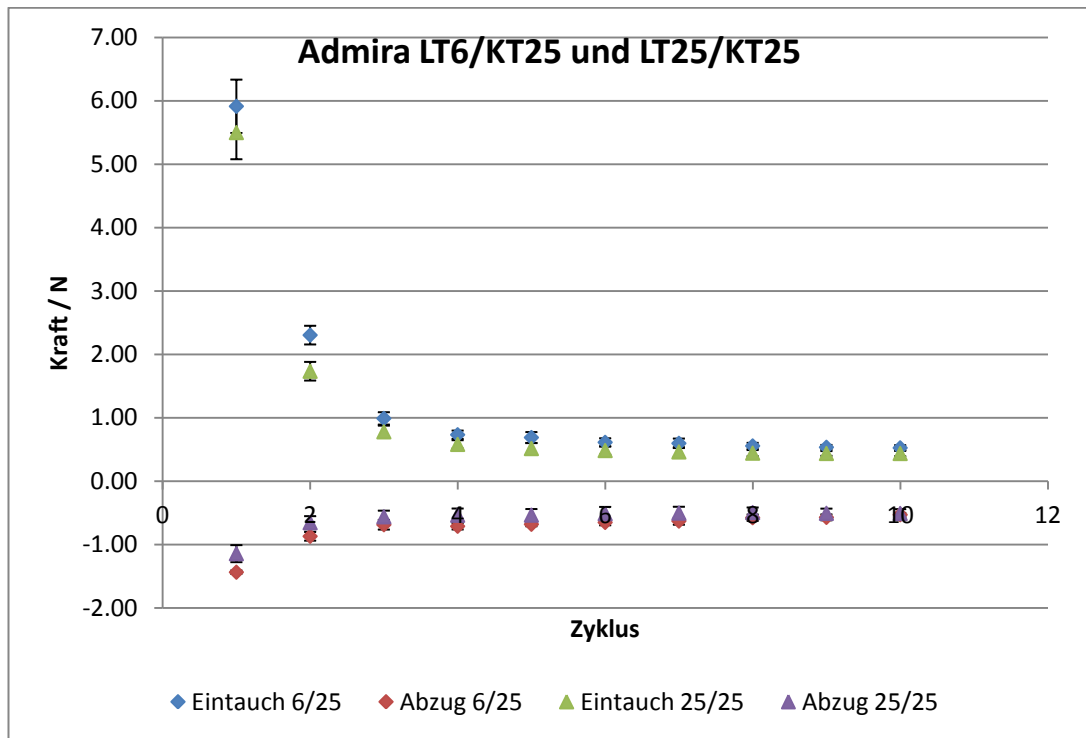


Abbildung 11: Eintauch- und Abzugskräfte für KT25

Zur besseren Übersicht werden die MMK und ihre Stabw in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 9: Eintauch- und Abzugskraft in N

Admira 6/25						Admira 25/25					
Eintauch			Abzug			Eintauch			Abzug		
5.91	±	0.42	-1.44	±	0.03	5.50	±	1.18	-1.14	±	0.13
2.30	±	0.15	-0.87	±	0.07	1.73	±	0.25	-0.66	±	0.10
0.99	±	0.10	-0.69	±	0.08	0.78	±	0.08	-0.56	±	0.10
0.73	±	0.07	-0.71	±	0.05	0.58	±	0.07	-0.54	±	0.11
0.69	±	0.09	-0.68	±	0.03	0.51	±	0.08	-0.54	±	0.10
0.61	±	0.06	-0.65	±	0.05	0.48	±	0.08	-0.51	±	0.11
0.60	±	0.07	-0.63	±	0.06	0.46	±	0.08	-0.50	±	0.10
0.56	±	0.05	-0.58	±	0.05	0.44	±	0.08	-0.50	±	0.08
0.53	±	0.04	-0.57	±	0.05	0.44	±	0.08	-0.51	±	0.07
0.52	±	0.04	-0.53	±	0.03	0.44	±	0.07	-0.51	±	0.07

5. Ergebnisse

Folgende Tabelle gibt die Parameter der Kurvenanpassung

($y = y_0 + ae^{-bx}$) für das Eintauchen und ($y = y_0 - ae^{-bx}$) für das Abziehen wieder.

Tabelle 10: Admira 6/25 und 25/25

Yo	a	b	R ²	LT/KT	Vorgang
0.94	25.99	2.5	0.72	6/25	Eintauch
1.28	17.96	2.45	0.73	25/25	
-1.55	0.99	0.86	0.68	6/25	Abzug
-3.12	2.61	1.42	0.82	25/25	

Deutlich niedrigere Werte wurden bei KT37 gemessen. Hier wurden im ersten Zyklus beim Eintauchen und Abziehen die höheren Werte bei LT6 mit $2.89 \pm 0.31\text{N}$ und $1.12 \pm 0.08\text{N}$ gemessen. Ab dem zweiten bzw. dritten Zyklus schneiden sich die Kurven und es werden höhere Eintauch- und Abziehkräfte bei LT25 erreicht.

5. Ergebnisse

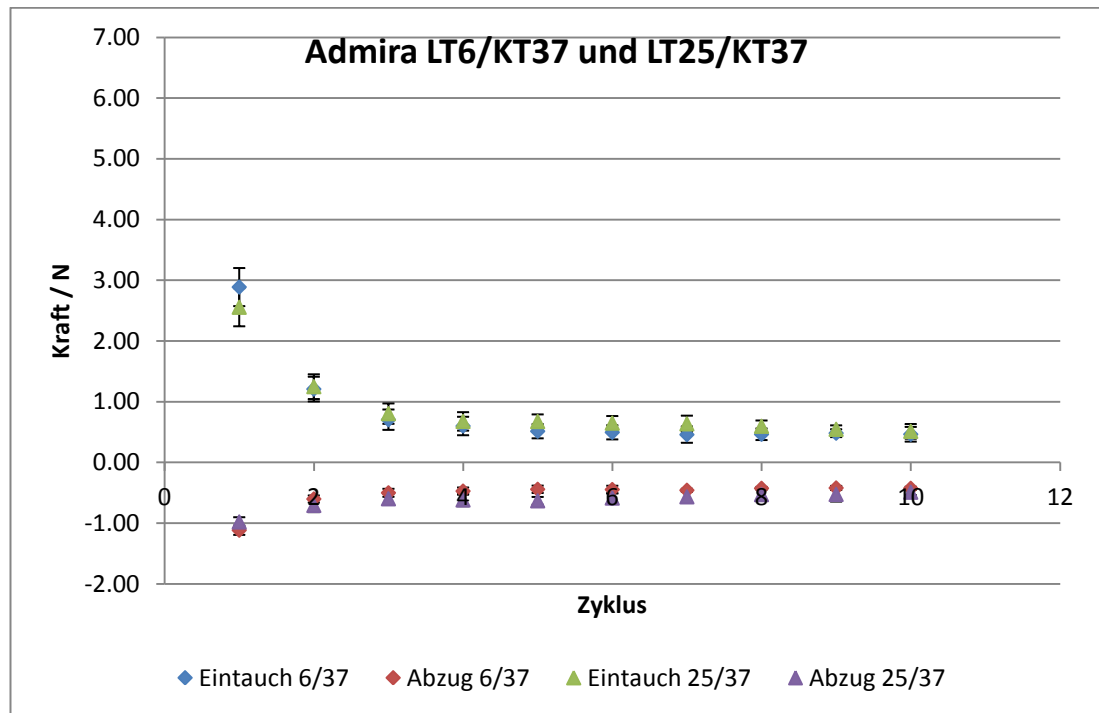


Abbildung 12: Eintauch- und Abzugskräfte für KT37

Folgende Tabelle führt die MMK und die Stabw auf.

Tabelle 11: Eintauch- und Abzugskräfte in N

Admira 6/37						Admira 25/37					
Eintauch			Abzug			Eintauch			Abzug		
2.89	±	0.31	-1.12	±	0.08	2.56	±	0.18	-0.98	±	0.08
1.21	±	0.20	-0.60	±	0.06	1.25	±	0.17	-0.71	±	0.11
0.70	±	0.17	-0.50	±	0.07	0.80	±	0.12	-0.60	±	0.08
0.60	±	0.15	-0.47	±	0.06	0.68	±	0.08	-0.62	±	0.10
0.51	±	0.12	-0.44	±	0.06	0.67	±	0.07	-0.63	±	0.06
0.50	±	0.12	-0.45	±	0.06	0.65	±	0.10	-0.59	±	0.08
0.46	±	0.13	-0.46	±	0.02	0.64	±	0.11	-0.57	±	0.09
0.46	±	0.10	-0.43	±	0.02	0.60	±	0.09	-0.53	±	0.10
0.48	±	0.06	-0.42	±	0.03	0.55	±	0.11	-0.53	±	0.12
0.46	±	0.12	-0.43	±	0.03	0.51	±	0.07	-0.49	±	0.05

5. Ergebnisse

Folgende Tabelle gibt die Parameter der Kurvenanpassung

($y = y_0 + ae^{-bx}$) für das Eintauchen und ($y = y_0 - ae^{-bx}$) für das Abziehen wieder.

Tabelle 12: Admira 6/37 und 25/37

Yo	a	b	R ²	LT/KT	Vorgang
1.48	39.21	3.31	0.86	6/37	Eintauch
0.54	12.53	1.48	0.58	25/37	
-2.97	2.36	1.06	0.94	6/37	Abzug
-3.05	2.61	1.35	0.94	25/37	

5.2.2 Arabesk Top LT6/25 bei KT25/37

Der erste Wert beim Eintauchen (LT6/KT25) war mit $3.04 \pm 1.20\text{N}$ der höchste in der Versuchsreihe mit Arabesk Top. LT25/KT25 lieferte im ersten Zyklus $1.95 \pm 0.77\text{N}$. Die Kräfte, sowohl beim Eintauchen wie auch beim Abziehen, nahmen mit der Zyklusanzahl ab und erreichten im zehnten Zyklus bei LT6/KT25 $0.37 \pm 0.09\text{N}$ und $0.41 \pm 0.11\text{N}$. Bei LT25/KT25 waren die Werte im letzten Zyklus $0.42 \pm 0.07\text{N}$ und $0.41 \pm 0.04\text{N}$.

Für das Micro-Hybrid-Komposit Arabesk Top werden die Kräfte (Mittelwert und Standardabweichung) in folgender Abbildung dargestellt.

5. Ergebnisse

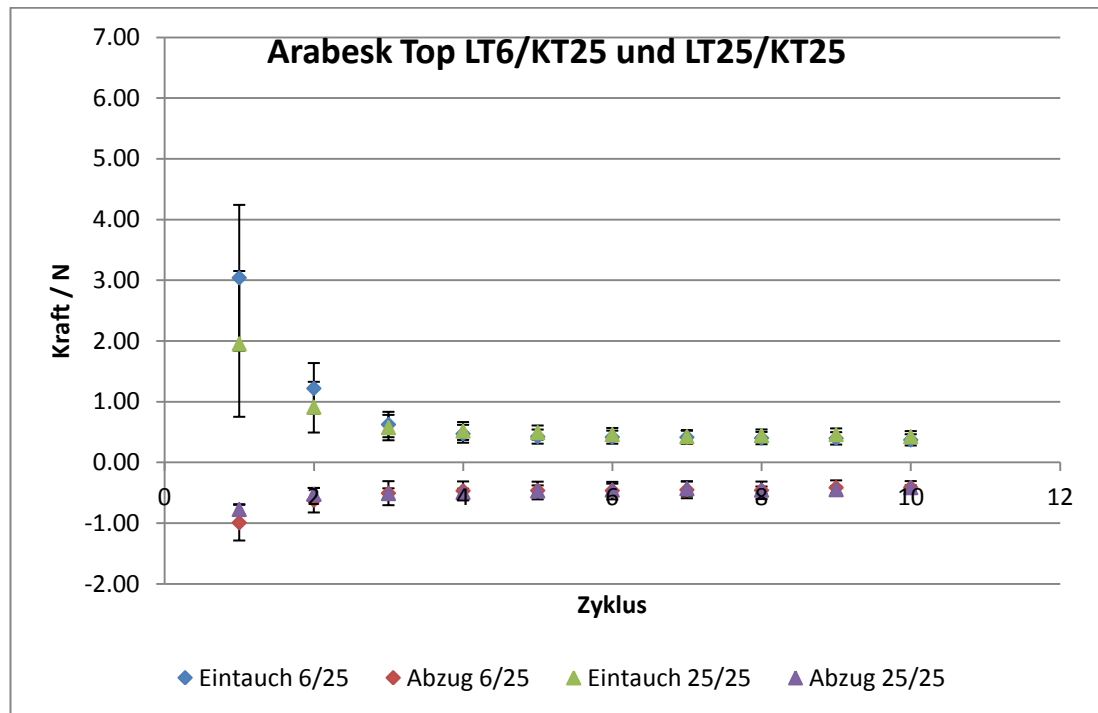


Abbildung 13: Eintauch- und Abzugskräfte für KT25

Folgende Tabelle führt die MMK und die Stabw auf.

Tabelle 13: Eintauch- und Abzugskraft in N

Arabesk Top 6/25					Arabesk Top 25/25						
Eintauch			Abzug		Eintauch			Abzug			
3.04	±	1.20	-0.99	±	0.29	1.95	±	0.41	-0.77	±	0.09
1.22	±	0.42	-0.62	±	0.20	0.91	±	0.12	-0.52	±	0.10
0.62	±	0.21	-0.51	±	0.20	0.57	±	0.10	-0.51	±	0.09
0.47	±	0.15	-0.47	±	0.15	0.52	±	0.06	-0.49	±	0.06
0.43	±	0.12	-0.46	±	0.15	0.49	±	0.05	-0.47	±	0.09
0.42	±	0.11	-0.46	±	0.14	0.46	±	0.06	-0.45	±	0.10
0.41	±	0.11	-0.45	±	0.14	0.42	±	0.10	-0.43	±	0.12
0.40	±	0.10	-0.46	±	0.14	0.44	±	0.09	-0.46	±	0.06
0.40	±	0.10	-0.42	±	0.12	0.46	±	0.08	-0.45	±	0.06
0.37	±	0.09	-0.41	±	0.11	0.42	±	0.07	-0.41	±	0.04

5. Ergebnisse

Folgende Tabelle gibt die Parameter der Kurvenanpassung

($y = y_0 + ae^{-bx}$) für das Eintauchen und ($y = y_0 - ae^{-bx}$) für das Abziehen wieder.

Tabelle 14: Arabesk Top 6/25 und 25/25

Yo	a	b	R ²	LT/KT	Vorgang
0.82	13.36	1.05	0.5	6/25	Eintauch
0.62	18.59	2.49	0.6	25/25	
-1.28	0.79	0.85	0.73	6/25	Abzug
-1.42	0.97	1.12	0.59	25/25	

Bei einer Kavitätentemperatur von 37° C wurden im ersten Zyklus beim Eintauchen und Abziehen bei LT6 2.49±0.29N und 0.94±0.11N und bei LT25 2.07±0.25N und 0.83±0.09N gemessen. Im zehnten Zyklus wurden bei LT6 beim Eintauchen 0.76±0.16N und beim Abziehen 0.59±0.05N erreicht. Bei LT25 wurden im zehnten Zyklus beim Eintauchen 0.59±0.07N und beim Abziehen 0.48±0.07N gemessen.

Folgende Abbildung und Wertetabelle macht dies deutlich.

5. Ergebnisse

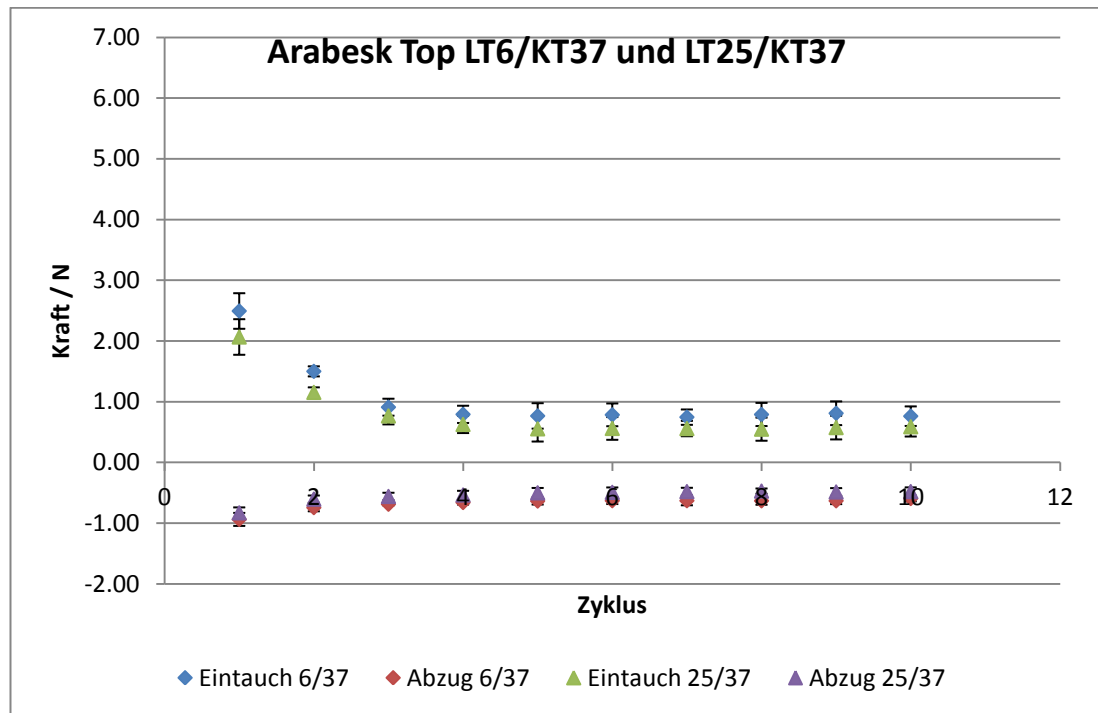


Abbildung 14: Eintauch- und Abzugskräfte für KT37

Tabelle 15: Eintauch- und Abzugskräfte in N

Arabesk Top 6/37						Arabesk Top 25/37					
Eintauch			Abzug			Eintauch			Abzug		
2.49	±	0.29	-0.94	±	0.11	2.07	±	0.25	-0.83	±	0.09
1.50	±	0.08	-0.74	±	0.06	1.15	±	0.24	-0.60	±	0.06
0.91	±	0.14	-0.69	±	0.02	0.77	±	0.20	-0.56	±	0.06
0.79	±	0.14	-0.66	±	0.03	0.63	±	0.17	-0.54	±	0.07
0.77	±	0.21	-0.64	±	0.06	0.55	±	0.10	-0.50	±	0.08
0.78	±	0.19	-0.63	±	0.06	0.56	±	0.13	-0.49	±	0.08
0.75	±	0.13	-0.63	±	0.08	0.56	±	0.12	-0.48	±	0.06
0.79	±	0.19	-0.63	±	0.07	0.55	±	0.09	-0.47	±	0.04
0.81	±	0.20	-0.63	±	0.05	0.57	±	0.05	-0.49	±	0.06
0.76	±	0.16	-0.59	±	0.05	0.59	±	0.07	-0.48	±	0.07

Folgende Tabelle gibt die Parameter der Kurvenanpassung ($y = y_0 + ae^{-bx}$) für das Eintauchen und ($y = y_0 - ae^{-bx}$) für das Abziehen wieder.

5. Ergebnisse

Tabelle 16: Arabesk Top 6/37 und 25/37

Yo	a	b	R²	LT/KT	Vorgang
0.54	10.44	1.36	0.53	6/37	Eintauch
2.06	13.8	0.63	0.46	25/37	
-2.07	1.63	1.09	0.53	6/37	Abzug
-1.35	0.72	0.85	0.74	25/37	

5.2.3 Grandio LT6/25 bei KT25/37

Anders als bisher werden bei Grandio höhere Eintauch- und Abzugswerte bei LT25 als bei LT6 in den ersten beiden Zyklen erreicht. Ab dem dritten Zyklus sind die Eintauch- und Abzugswerte bei LT25 niedriger.

Für das Nano-Hybrid-Komposit Grandio werden die Kräfte (Mittelwert und Standardabweichung) in folgender Abbildung und Wertetabelle dargestellt.

5. Ergebnisse

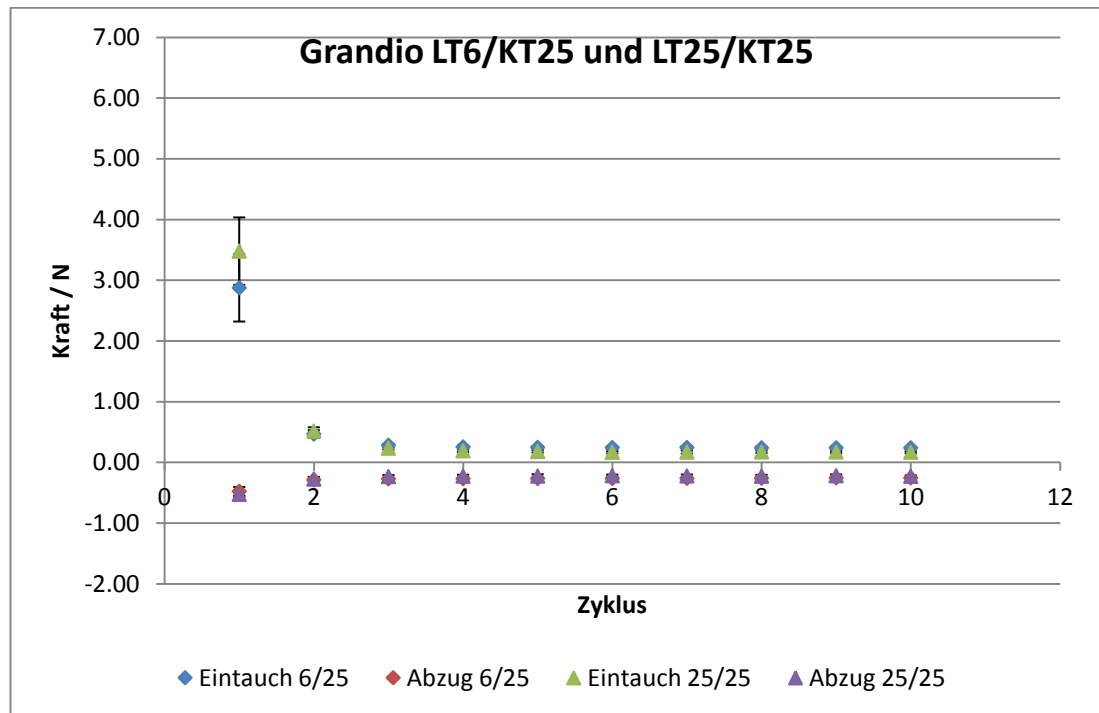


Abbildung 15: Eintauch- und Abzugskräfte für KT25

Tabelle 17: Eintauch- und Abzugskräfte in N

Grandio 6/25						Grandio 25/25					
Eintauch			Abzug			Eintauch			Abzug		
2.88	±	0.55	-0.48	±	0.07	3.48	±	0.73	-0.53	±	0.04
0.47	±	0.06	-0.29	±	0.01	0.52	±	0.06	-0.27	±	0.03
0.28	±	0.02	-0.27	±	0.01	0.24	±	0.03	-0.23	±	0.02
0.26	±	0.02	-0.27	±	0.02	0.19	±	0.03	-0.23	±	0.02
0.25	±	0.02	-0.26	±	0.01	0.18	±	0.02	-0.22	±	0.03
0.24	±	0.02	-0.26	±	0.02	0.17	±	0.02	-0.22	±	0.02
0.25	±	0.03	-0.26	±	0.01	0.17	±	0.02	-0.22	±	0.02
0.24	±	0.02	-0.26	±	0.01	0.17	±	0.02	-0.23	±	0.02
0.24	±	0.02	-0.25	±	0.02	0.17	±	0.02	-0.22	±	0.02
0.24	±	0.02	-0.26	±	0.01	0.17	±	0.02	-0.23	±	0.01

Folgende Tabelle gibt die Parameter der Kurvenanpassung

($y = y_0 + ae^{-bx}$) für das Eintauchen und ($y = y_0 - ae^{-bx}$) für das Abziehen wieder.

5. Ergebnisse

Tabelle 18: Grandio 6/25 und 25/25

Yo	a	b	R ²	LT/KT	Vorgang
0.66	19.3	3.83	0.51	6/25	Eintauch
1.14	19.57	7.19	0.62	25/25	
-0.79	0.46	0.83	0.65	6/25	Abzug
-2.01	1.79	1.78	0.94	25/25	

Im Versuch mit KT37 wird beim ersten Eintauchen bei LT25 mit $2.14 \pm 0.11\text{N}$ ein höherer Wert gemessen, als bei LT6 mit $1.95 \pm 0.09\text{N}$. Ab dem zweiten Zyklus verhalten sich die Werte wie bei den bisher anderen getesteten Kunststoffen. Je höher die Lagerungstemperatur, desto niedriger die Eintauch- und Abzugskräfte.

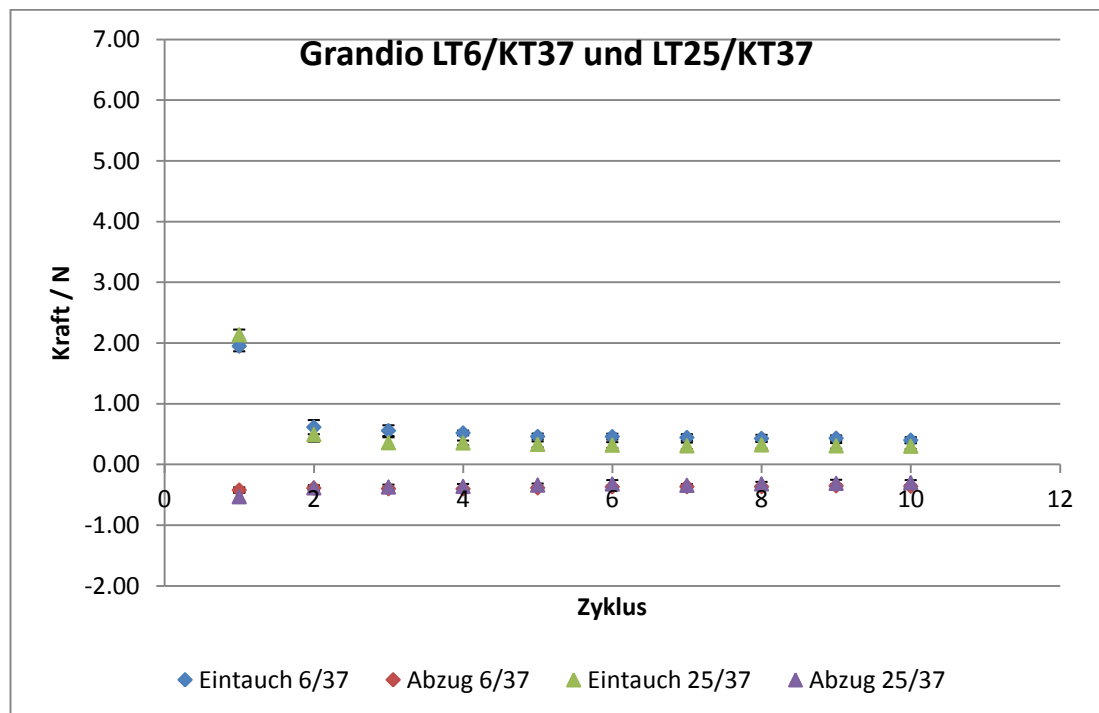


Abbildung 16: Eintauch- und Abzugskräfte für KT37

5. Ergebnisse

Folgende Tabelle führt die MMK und die Stabw auf.

Tabelle 19: Eintauch- und Abzugskraft in N

Grandio 6/37						Grandio 25/37					
Eintauch			Abzug			Eintauch			Abzug		
1.95	±	0.09	-0.42	±	0.04	2.14	±	0.11	-0.53	±	0.07
0.61	±	0.12	-0.39	±	0.02	0.49	±	0.06	-0.39	±	0.04
0.56	±	0.09	-0.40	±	0.02	0.36	±	0.06	-0.37	±	0.04
0.52	±	0.04	-0.40	±	0.01	0.35	±	0.06	-0.36	±	0.04
0.46	±	0.05	-0.39	±	0.01	0.33	±	0.04	-0.34	±	0.03
0.46	±	0.05	-0.37	±	0.02	0.32	±	0.03	-0.32	±	0.06
0.44	±	0.05	-0.37	±	0.03	0.31	±	0.06	-0.34	±	0.02
0.43	±	0.06	-0.37	±	0.02	0.32	±	0.04	-0.32	±	0.03
0.43	±	0.05	-0.35	±	0.03	0.31	±	0.04	-0.31	±	0.06
0.40	±	0.05	-0.36	±	0.02	0.30	±	0.05	-0.30	±	0.04

Folgende Tabelle gibt die Parameter der Kurvenanpassung ($y = y_0 + ae^{-bx}$) für das Eintauchen und ($y = y_0 - ae^{-bx}$) für das Abziehen wieder.

Tabelle 20: Grandio 6/37 und 25/37

Yo	a	b	R ²	LT/KT	Vorgang
1.01	44.6	8.45	0.59	6/37	Eintauch
0.71	32.94	3.92	0.6	25/37	
-1.98	1.72	2.08	0.88	6/37	Abzug
-0.43	0.13	0.08	0.43	25/37	

5.2.4 Polofil Molar L LT6/25 bei KT25/37

Bei KT25 wurden im ersten Zyklus beim Eintauchen und Abziehen bei LT6 $3.57 \pm 0.57\text{N}$ und $1.00 \pm 0.13\text{N}$ und bei LT25 $3.04 \pm 0.54\text{N}$ und $0.62 \pm 0.07\text{N}$ gemessen. Die gemessenen Werte für die Eintauch- und Abzugskraft nehmen mit zunehmender Zykluszahl ab, bis sie im zehnten Zyklus beim

5. Ergebnisse

Eintauchen bei LT6 noch $0.22\pm 0.01\text{N}$ und beim Abziehen noch $0.26\pm 0.02\text{N}$ erreichen. Bei LT25 im zehnten Zyklus ist die Eintauchkraft $0.17\pm 0.01\text{N}$ und die Abzugskraft $0.16\pm 0.02\text{N}$.

Für das Micro-Hybrid-Komposit Polofil Molar L werden die Kräfte (Mittelwert und Standardabweichung) bei LT6, LT25 und KT25 in folgender Abbildung dargestellt.

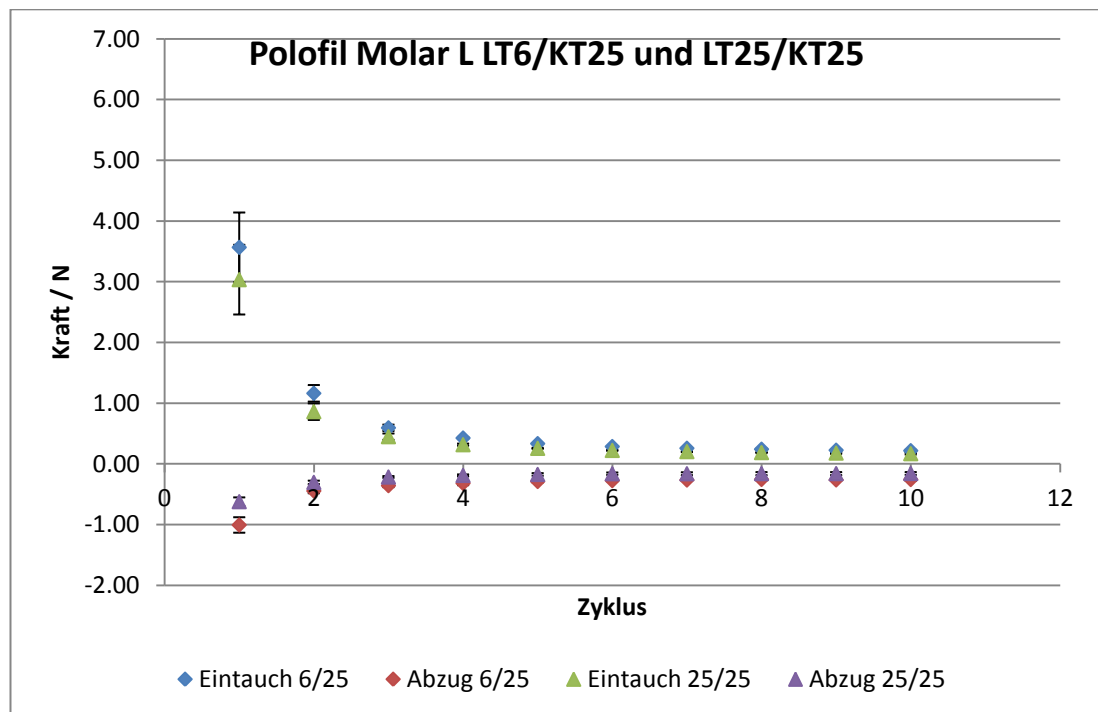


Abbildung 17: Eintauch- und Abzugskräfte für KT25

Zur besseren Übersicht werden die MMK und ihre Stabw in der folgenden Tabelle aufgeführt.

5. Ergebnisse

Tabelle 21: Eintauch- und Abzugskraft in N

Polofil Molar L 6/25						Polofil Molar L 25/25					
Eintauch			Abzug			Eintauch			Abzug		
3.57	±	0.57	-1.00	±	0.13	3.04	±	0.54	-0.62	±	0.07
1.16	±	0.14	-0.44	±	0.04	0.86	±	0.07	-0.30	±	0.03
0.60	±	0.05	-0.36	±	0.03	0.45	±	0.03	-0.21	±	0.02
0.43	±	0.02	-0.32	±	0.03	0.32	±	0.02	-0.19	±	0.02
0.34	±	0.01	-0.29	±	0.02	0.26	±	0.01	-0.17	±	0.02
0.29	±	0.01	-0.27	±	0.01	0.22	±	0.01	-0.16	±	0.02
0.26	±	0.01	-0.26	±	0.02	0.20	±	0.01	-0.16	±	0.02
0.24	±	0.01	-0.25	±	0.02	0.19	±	0.01	-0.16	±	0.02
0.23	±	0.01	-0.26	±	0.01	0.18	±	0.01	-0.16	±	0.02
0.22	±	0.01	-0.26	±	0.02	0.17	±	0.01	-0.16	±	0.02

Folgende Tabelle gibt die Parameter der Kurvenanpassung

($y = y_0 + ae^{-bx}$) für das Eintauchen und ($y = y_0 - ae^{-bx}$) für das Abziehen wieder.

Tabelle 22: Polofil Molar L 6/25 und 25/25

Yo	a	b	R ²	LT/KT	Vorgang
1.49	90.64	5.63	0.94	6/25	Eintauch
1.63	28.68	7.89	0.95	25/25	
-3.82	3.4	1.29	0.98	6/25	Abzug
-1.57	1.41	1.13	0.96	25/25	

Die höchste Eintauchkraft wird bei LT25 und KT37 mit 4.11 ± 0.27 N gemessen. Bei dieser Versuchsreihe erreicht die Eintauchkraft im letzten Zyklus 0.43 ± 0.02 N. Bei LT6 und KT37 variieren die Eintauch- und Abzugskräfte vom ersten zum zehnten Zyklus für den Eintauchvorgang von 3.05 ± 0.1 N bis 0.36 ± 0.03 N und für den Abzugsvorgang von 1.03 ± 0.05 N bis 0.36 ± 0.06 N.

5. Ergebnisse

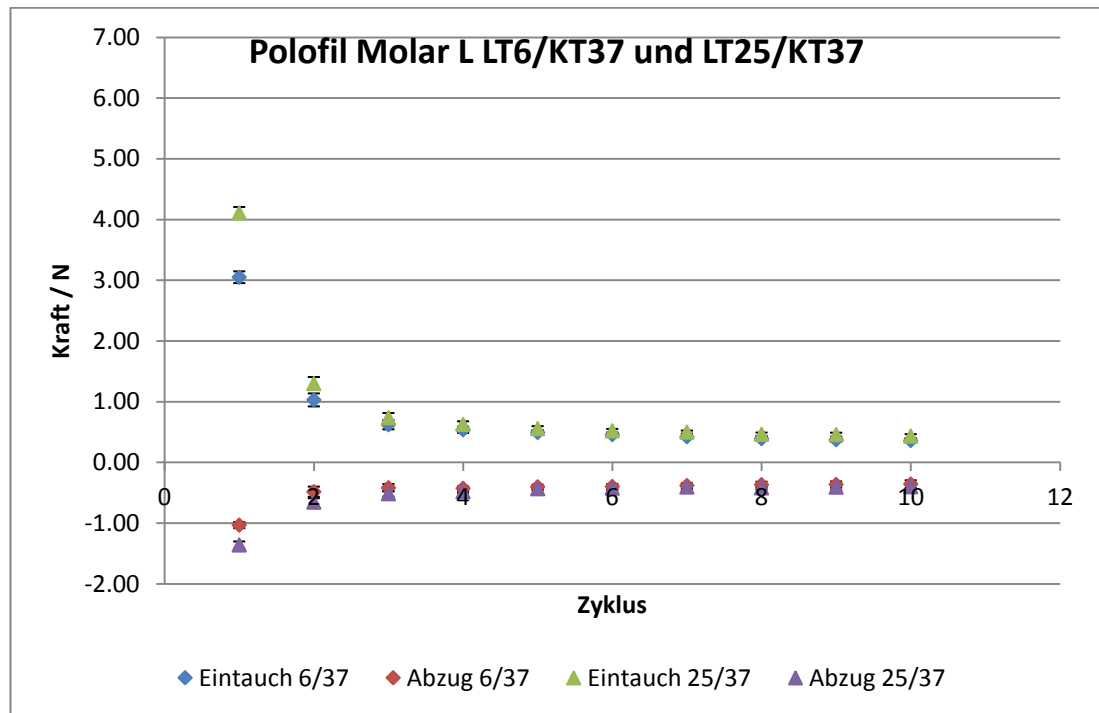


Abbildung 18: Eintauch- und Abzugskräfte für KT37

Folgende Tabelle führt die MMK und die Stabw auf.

Tabelle 23: Eintauch- und Abzugskraft in N

Polofil Molar L 6/37					Polofil Molar L 25/37						
Eintauch			Abzug		Eintauch			Abzug			
3.05	±	0.1	-1.03	±	0.05	4.11	±	0.27	-1.36	±	0.06
1.03	±	0.11	-0.48	±	0.08	1.30	±	0.15	-0.65	±	0.06
0.62	±	0.08	-0.42	±	0.06	0.74	±	0.05	-0.51	±	0.05
0.54	±	0.05	-0.43	±	0.03	0.63	±	0.04	-0.48	±	0.02
0.49	±	0.04	-0.40	±	0.04	0.56	±	0.04	-0.43	±	0.02
0.46	±	0.03	-0.40	±	0.04	0.52	±	0.03	-0.42	±	0.04
0.42	±	0.03	-0.38	±	0.04	0.50	±	0.04	-0.40	±	0.04
0.39	±	0.03	-0.37	±	0.05	0.46	±	0.03	-0.42	±	0.03
0.37	±	0.03	-0.36	±	0.05	0.46	±	0.02	-0.41	±	0.04
0.36	±	0.03	-0.36	±	0.06	0.43	±	0.02	-0.40	±	0.05

5. Ergebnisse

Folgende Tabelle gibt die Parameter der Kurvenanpassung

($y = y_0 + ae^{-bx}$) für das Eintauchen und ($y = y_0 - ae^{-bx}$) für das Abziehen wieder.

Tabelle 24: Polofil Molar L 6/37 und 25/37

Yo	a	b	R ²	LT/KT	Vorgang
1.73	31.27	6.51	0.96	6/37	Eintauch
1.26	47.14	4.99	0.91	25/37	
-2.98	2.71	1.31	0.96	6/37	Abzug
-4.35	3.96	1.81	0.93	25/37	

5.2.5 Tetric EvoCeram LT6/25 bei KT25/37

Im direkten Vergleich der Eintauchkräfte zwischen LT6 und LT25 bei KT25 ist zu erkennen, dass bei LT6 die Werte im gesamten Zyklus höher liegen. Beispielfhaft in Zyklus eins mit $3.71 \pm 0.22\text{N}$ bei LT6 und $2.66 \pm 0.27\text{N}$ bei LT25 und in Zyklus zehn mit $0.24 \pm 0.03\text{N}$ bei LT6 und $0.23 \pm 0.04\text{N}$ bei LT25. Anders als die Abzugskräfte, welche sich genau andersherum verhalten. D.h. die höheren Abzugskräfte sind auch bei höheren Kavitätentemperaturen zu finden. In diesem Fall allerdings mit Ausnahme des ersten Zyklus in dem die Abzugskraft mit 0.88 ± 0.05 bei LT6 höher liegt als mit $0.77 \pm 0.12\text{N}$ bei LT25. Bei den nachfolgenden Zyklen ist die Abzugskraft bei LT25 höher als bei LT6.

Für das Nano-Hybrid-Komposit Tetric EvoCeram werden die Kräfte (Mittelwert und Standardabweichung) bei LT6, LT25 und KT25 in folgender Abbildung dargestellt.

5. Ergebnisse

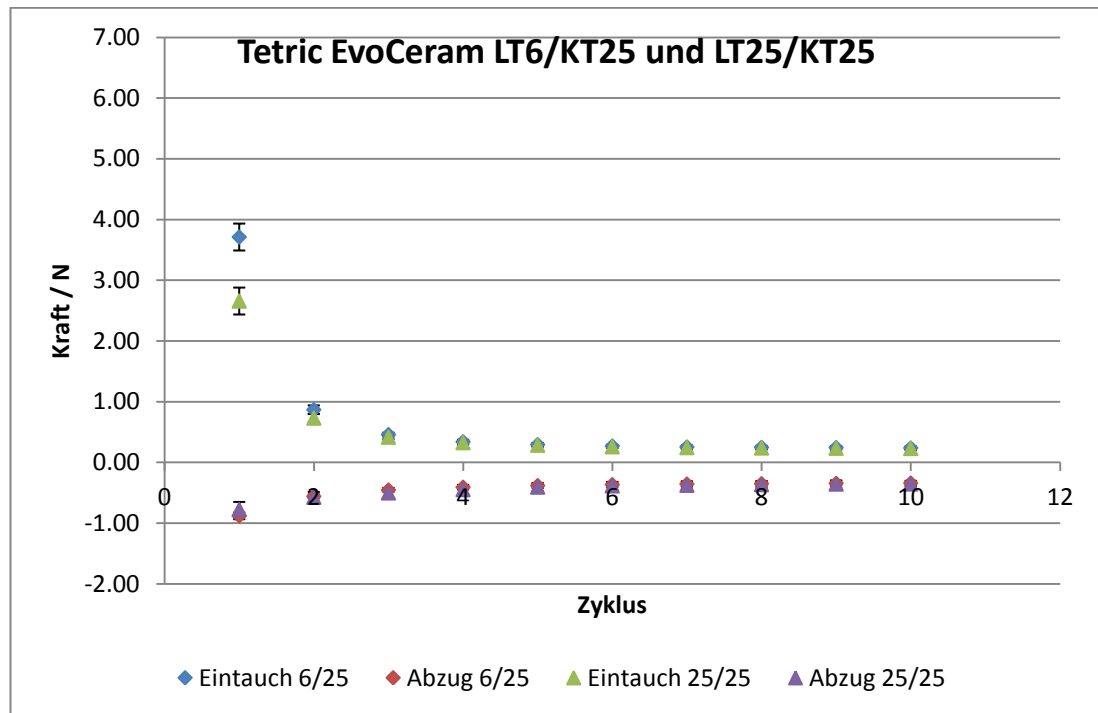


Abbildung 19: Eintauch- und Abzugskräfte für KT25

Zur besseren Übersicht werden die MMK und ihre Stabw in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 25: Eintauch- und Abzugskräfte in N

Tetric EvoCeram 6/25						Tetric EvoCeram 25/25					
Eintauch			Abzug			Eintauch			Abzug		
3.71	±	0.22	-0.88	±	0.05	2.66	±	0.27	-0.77	±	0.12
0.87	±	0.07	-0.56	±	0.03	0.73	±	0.07	-0.57	±	0.09
0.46	±	0.03	-0.45	±	0.03	0.42	±	0.05	-0.50	±	0.08
0.34	±	0.03	-0.41	±	0.04	0.33	±	0.05	-0.45	±	0.07
0.29	±	0.03	-0.38	±	0.04	0.28	±	0.04	-0.41	±	0.06
0.27	±	0.02	-0.37	±	0.04	0.26	±	0.04	-0.39	±	0.07
0.25	±	0.03	-0.36	±	0.04	0.24	±	0.04	-0.38	±	0.06
0.25	±	0.03	-0.35	±	0.04	0.24	±	0.04	-0.37	±	0.06
0.24	±	0.03	-0.34	±	0.04	0.23	±	0.04	-0.36	±	0.06
0.24	±	0.03	-0.34	±	0.04	0.23	±	0.04	-0.35	±	0.05

5. Ergebnisse

Folgende Tabelle gibt die Parameter der Kurvenanpassung

($y = y_0 + ae^{-bx}$) für das Eintauchen und ($y = y_0 - ae^{-bx}$) für das Abziehen wieder.

Tabelle 26: Tetric EvoCeram 6/25 und 25/25

Yo	a	b	R ²	LT/KT	Vorgang
0.66	189.88	4.45	0.83	6/25	Eintauch
0.99	17.75	4.34	0.75	25/25	
-1.04	0.25	0.38	0.45	6/25	Abzug
-1.06	0.7	0.54	0.78	25/25	

Bei KT37 können keiner Lagerungstemperatur konstant höhere Eintauchkräfte zugeordnet werden wie es bei den anderen getesteten Kunststoffen der Fall war. Hingegen ist aber zu erkennen, dass die Abzugskräfte bei LT25 höher liegen als bei LT6.

Folgende Abbildung veranschaulicht dies noch einmal.

5. Ergebnisse

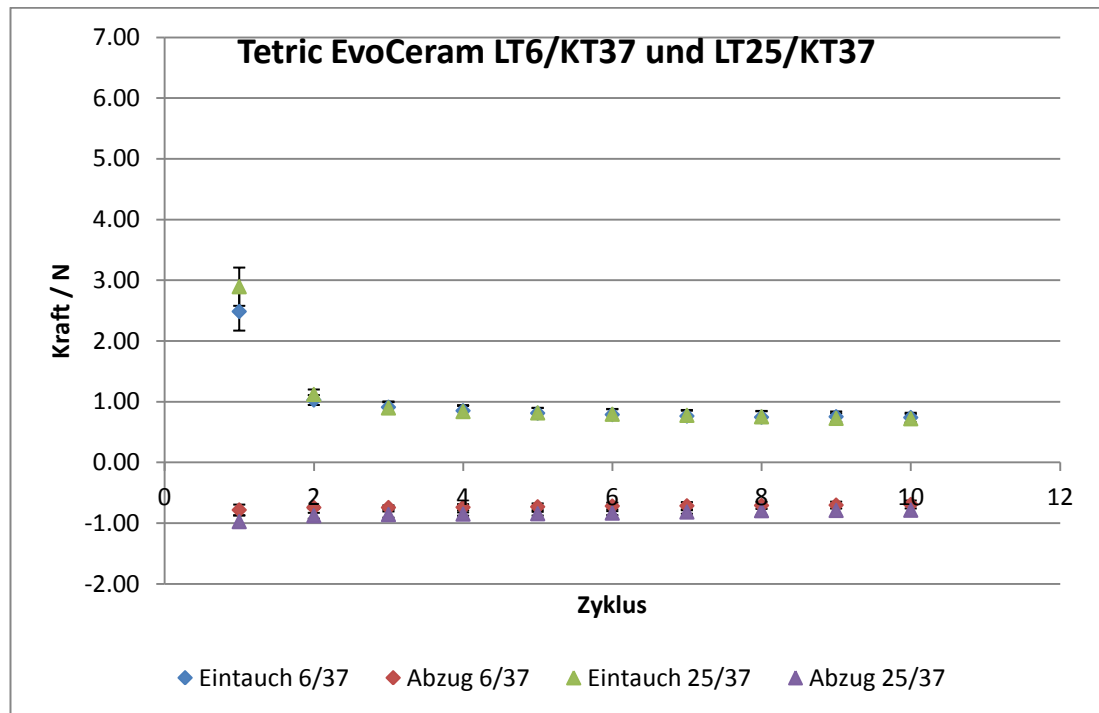


Abbildung 20: Eintauch- und Abzugskräfte für KT37

Folgende Tabelle führt die MMK und die Stabw auf.

Tabelle 27: Eintauch- und Abzugskräfte in N

Tetric EvoCeram 6/37					Tetric EvoCeram 25/37						
Eintauch			Abzug		Eintauch			Abzug			
2.49	±	0.32	-0.78	±	0.09	2.89	±	0.3	-0.97	±	0.1
1.03	±	0.08	-0.74	±	0.02	1.12	±	0.06	-0.88	±	0.05
0.91	±	0.09	-0.74	±	0.04	0.90	±	0.01	-0.86	±	0.05
0.85	±	0.09	-0.74	±	0.05	0.84	±	0.03	-0.85	±	0.03
0.81	±	0.08	-0.73	±	0.06	0.82	±	0.03	-0.84	±	0.03
0.79	±	0.09	-0.72	±	0.06	0.79	±	0.02	-0.83	±	0.03
0.76	±	0.09	-0.71	±	0.06	0.78	±	0.03	-0.82	±	0.03
0.75	±	0.1	-0.71	±	0.06	0.75	±	0.02	-0.79	±	0.08
0.75	±	0.09	-0.70	±	0.06	0.73	±	0.04	-0.79	±	0.08
0.74	±	0.08	-0.69	±	0.07	0.72	±	0.06	-0.79	±	0.08

5. Ergebnisse

Folgende Tabelle gibt die Parameter der Kurvenanpassung

($y = y_0 + ae^{-bx}$) für das Eintauchen und ($y = y_0 - ae^{-bx}$) für das Abziehen wieder.

Tabelle 28: Tetric EvoCeram 6/37 und 25/37

Yo	a	b	R ²	LT/KT	Vorgang
1.39	31.61	6.52	0.84	6/37	Eintauch
0.54	38.15	2.41	0.57	25/37	
-1.58	1.23	0.85	0.95	6/37	Abzug
-0.79	0.12	0.16	0.18	25/37	

5.3 Versuch 2

5.3.1 Admira Eintauchkraft 1N

Abzugskraft:

Temperaturunabhängig liegen die Abzugskräfte aller LT/KT-Varianten im ersten Zyklus bei 0.43N. Die Abzugskräfte für LT6/KT25 und LT25/KT25 bleiben bis zum Ende auf gleichem Niveau. Wobei ab Zyklus fünf geringere Werte für LT25/KT25 gemessen werden, als für LT6/KT25. Im Verlauf der Serie nehmen die Werte für LT6/KT37 und LT25/KT37 bis 0.59N zu.

Länge der Klebefahne:

Die Klebefahnenlängen liegen im ersten Zyklus zwischen 1.19mm und 1.50mm. Die Werte nehmen bis zum zehnten Zyklus ab, wo sie noch 0.83mm und 1.37mm erreichen. Dabei zeigen die Kurven für LT25/KT25 und LT25/KT37 einen ähnlichen Verlauf. Die Klebefahnen für LT6/KT25 nehmen von 1.42mm im Ersten, mit kurzzeitigem Anstieg auf 1.53mm im Sechsten, bis auf 1.16mm im letzten Zyklus ab.

5. Ergebnisse

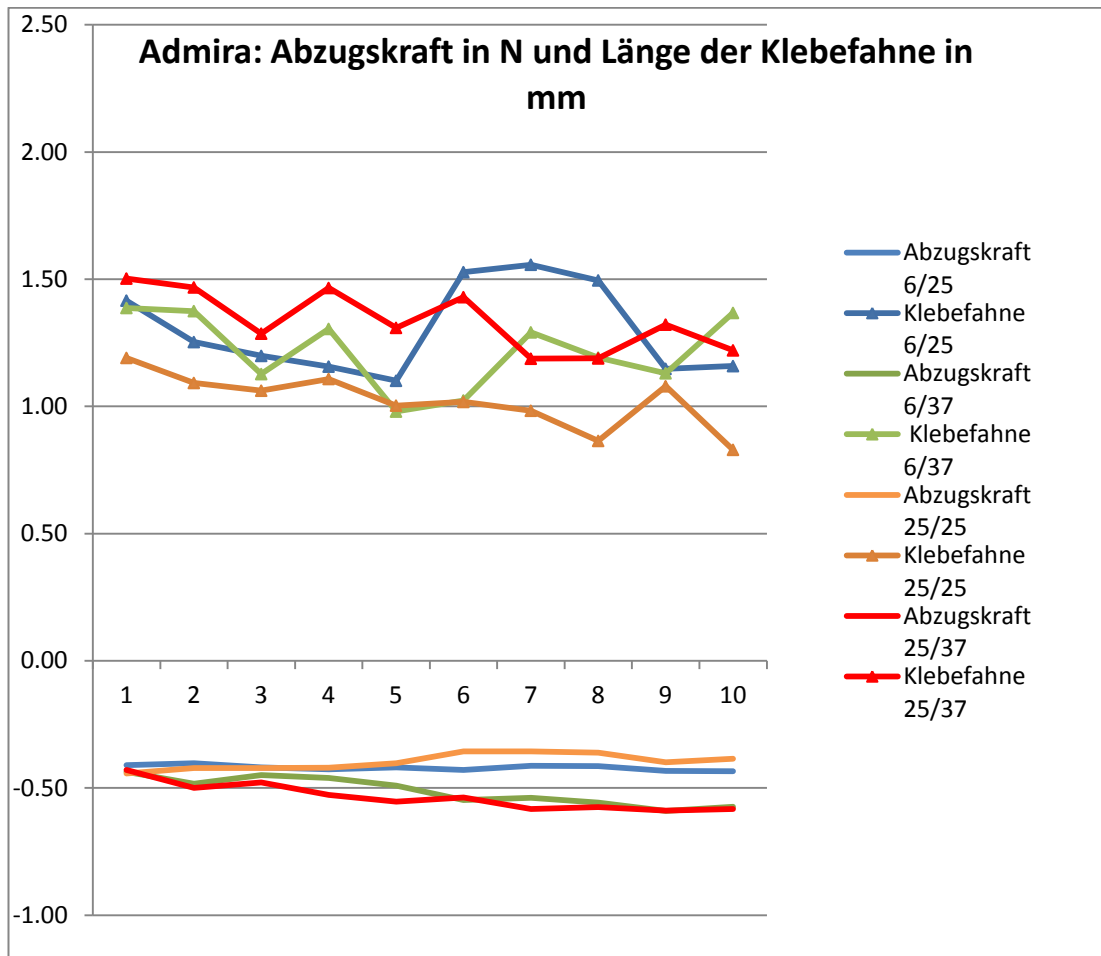


Abbildung 21: Abzugskräfte in N und Klebefahnenlängen in mm des Ormocers Admira

Folgende Tabelle enthält alle Werte der Versuchsreihe mit Admira.

5. Ergebnisse

Tabelle 29: Abzugskraft in N und Klebefahne in mm für Admira

Abzugskraft in N	Klebefahne in mm	LT/KT	Abzugskraft in N	Klebefahne in mm	LT/KT
-0.41 ± 0.07	1.42 ± 0.07	6/25	-0.44 ± 0.03	1.39 ± 0.25	6/37
-0.40 ± 0.01	1.25 ± 0.04		-0.48 ± 0.03	1.37 ± 0.10	
-0.42 ± 0.06	1.20 ± 0.08		-0.45 ± 0.07	1.13 ± 0.26	
-0.43 ± 0.03	1.16 ± 0.05		-0.46 ± 0.10	1.30 ± 0.37	
-0.42 ± 0.05	1.10 ± 0.07		-0.49 ± 0.04	0.98 ± 0.10	
-0.43 ± 0.06	1.53 ± 0.60		-0.55 ± 0.05	1.02 ± 0.14	
-0.41 ± 0.08	1.56 ± 0.46		-0.54 ± 0.05	1.29 ± 0.57	
-0.41 ± 0.07	1.50 ± 0.35		-0.56 ± 0.06	1.19 ± 0.38	
-0.43 ± 0.05	1.15 ± 0.30		-0.59 ± 0.05	1.13 ± 0.06	
-0.43 ± 0.06	1.16 ± 0.40		-0.57 ± 0.04	1.37 ± 0.60	
-0.44 ± 0.06	1.19 ± 0.05	25/25	-0.43 ± 0.04	1.50 ± 0.07	25/37
-0.42 ± 0.06	1.09 ± 0.08		-0.50 ± 0.05	1.47 ± 0.14	
-0.42 ± 0.07	1.06 ± 0.05		-0.48 ± 0.06	1.29 ± 0.24	
-0.42 ± 0.10	1.11 ± 0.27		-0.53 ± 0.06	1.47 ± 0.40	
-0.40 ± 0.07	1.00 ± 0.12		-0.55 ± 0.06	1.31 ± 0.37	
-0.36 ± 0.03	1.02 ± 0.22		-0.54 ± 0.03	1.43 ± 0.54	
-0.36 ± 0.05	0.98 ± 0.25		-0.58 ± 0.07	1.19 ± 0.17	
-0.36 ± 0.06	0.86 ± 0.08		-0.57 ± 0.09	1.19 ± 0.26	
-0.40 ± 0.05	1.08 ± 0.51		-0.59 ± 0.10	1.32 ± 0.43	
-0.39 ± 0.03	0.83 ± 0.32		-0.58 ± 0.09	1.22 ± 0.08	

5.3.2 Arabesk Top Eintauchkraft 1N

Abzugskraft:

Die Abzugskräfte liegen zwischen 0.37N und 0.39N im ersten Zyklus und 0.45N und 0.53N im Zehnten. Dabei verlaufen LT6/KT25, LT25/KT25 und LT6/KT37 und LT25/KT37 getrennt voneinander bis Zyklus vier. Ab Zyklus fünf bleiben die Abzugskräfte von LT6/KT25, LT6/37 und LT25/KT36 auf gleichem Niveau von 0.48N. Lediglich die Werte für LT25/KT25 nehmen bis 0.60N im neunten Zyklus zu.

5. Ergebnisse

Länge der Klebefahne:

Die Längen der Klebefahnen für LT6/KT37 nehmen im Verlauf der Serie von 1.40mm auf 1.03mm, mit einer kurzzeitigen Zunahme auf 1.67mm im vierten Zyklus, ab. Ebenfalls verkürzen sich die Längen für LT6/KT25 von 1.38mm im Ersten auf 0.85mm im letzten Zyklus. Die Klebefahnen für LT25/KT25 verkürzen sich in den ersten acht Zyklen von 1.53mm auf 1.08mm um dann in Zyklus neun und zehn wieder bis auf 1.66mm anzusteigen. Die Klebefahnen für LT25/KT37 haben bis einschließlich Zyklus fünf annähernd gleiche Länge (1.60mm). In Zyklus neun ist in dieser Serie mit 1.13mm die Klebefahne am kürzesten und in Zyklus zehn mit 1.93mm am längsten.

Folgende Abbildung gibt einen Überblick.

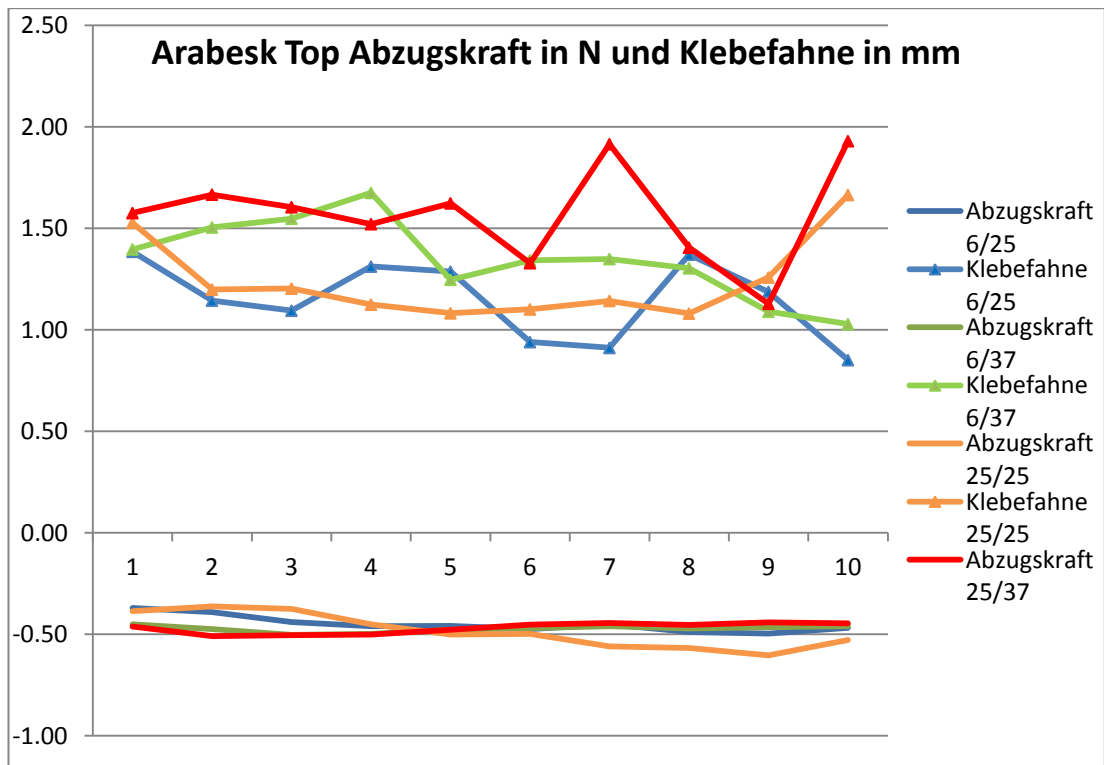


Abbildung 22: Abzugskräfte in N und Klebefahnenlängen in mm des Micro-Hybrid-Komposit Arabesk Top

5. Ergebnisse

Folgende Tabelle enthält alle Werte der Versuchsreihe mit Arabesk Top.

Tabelle 30: Abzugskraft in N und Klebefahne in mm für Arabesk Top

Abzugskraft in N	Klebefahne in mm	LT/KT	Abzugskraft in N	Klebefahne in mm	LT/KT
-0.37 ± 0.04	1.38 ± 0.12	6/25	-0.45 ± 0.03	1.40 ± 0.10	6/37
-0.39 ± 0.04	1.14 ± 0.14		-0.47 ± 0.04	1.50 ± 0.14	
-0.44 ± 0.07	1.09 ± 0.13		-0.50 ± 0.05	1.55 ± 0.28	
-0.46 ± 0.11	1.31 ± 0.64		-0.50 ± 0.03	1.67 ± 0.22	
-0.46 ± 0.10	1.29 ± 0.69		-0.48 ± 0.02	1.25 ± 0.44	
-0.48 ± 0.10	0.94 ± 0.14		-0.47 ± 0.02	1.34 ± 0.50	
-0.45 ± 0.07	0.91 ± 0.09		-0.46 ± 0.03	1.35 ± 0.76	
-0.49 ± 0.09	1.37 ± 0.46		-0.47 ± 0.03	1.30 ± 0.33	
-0.50 ± 0.09	1.19 ± 0.30		-0.47 ± 0.02	1.09 ± 0.44	
-0.47 ± 0.03	0.85 ± 0.34		-0.46 ± 0.02	1.03 ± 0.42	
-0.39 ± 0.04	1.53 ± 0.06	25/25	-0.46 ± 0.02	1.58 ± 0.17	25/37
-0.36 ± 0.02	1.20 ± 0.22		-0.51 ± 0.02	1.67 ± 0.27	
-0.37 ± 0.07	1.20 ± 0.53		-0.50 ± 0.03	1.60 ± 0.16	
-0.45 ± 0.05	1.12 ± 0.29		-0.50 ± 0.03	1.52 ± 0.16	
-0.50 ± 0.02	1.08 ± 0.05		-0.48 ± 0.03	1.62 ± 0.28	
-0.50 ± 0.07	1.10 ± 0.16		-0.45 ± 0.03	1.33 ± 0.52	
-0.56 ± 0.03	1.14 ± 0.13		-0.44 ± 0.01	1.91 ± 0.56	
-0.57 ± 0.04	1.08 ± 0.13		-0.45 ± 0.02	1.41 ± 0.30	
-0.60 ± 0.05	1.26 ± 0.22		-0.44 ± 0.02	1.13 ± 0.42	
-0.53 ± 0.09	1.66 ± 0.51		-0.45 ± 0.02	1.93 ± 0.75	

5.3.3 Grandio Eintauchkraft 1N

Abzugskraft:

Die Abzugskräfte für LT6/KT37 und LT25/KT37 liegen bis einschließlich Zyklus vier auf gleichem Niveau (0.32N). Danach teilen sich die Kurven, wobei die Abzugskräfte für LT25/KT37 im Durchschnitt um 11% niedriger sind als für LT6/KT37. Die Abzugskräfte für LT6/KT25 und LT25/KT25 variieren zwischen 0.35N und 0.41N.

5. Ergebnisse

Länge der Klebefahne:

Die Längen der Klebefahnen, bezogen auf Zyklus eins und zehn, bewegen sich für LT25/KT37 zwischen 0.90mm und 0.83mm, für LT25/KT25 zwischen 1.33mm und 1.61mm, für LT6/KT25 zwischen 1.21mm und 1.16mm und für LT6/KT37 zwischen 1.13mm und 1.40mm.

Folgende Abbildung gibt einen Überblick.

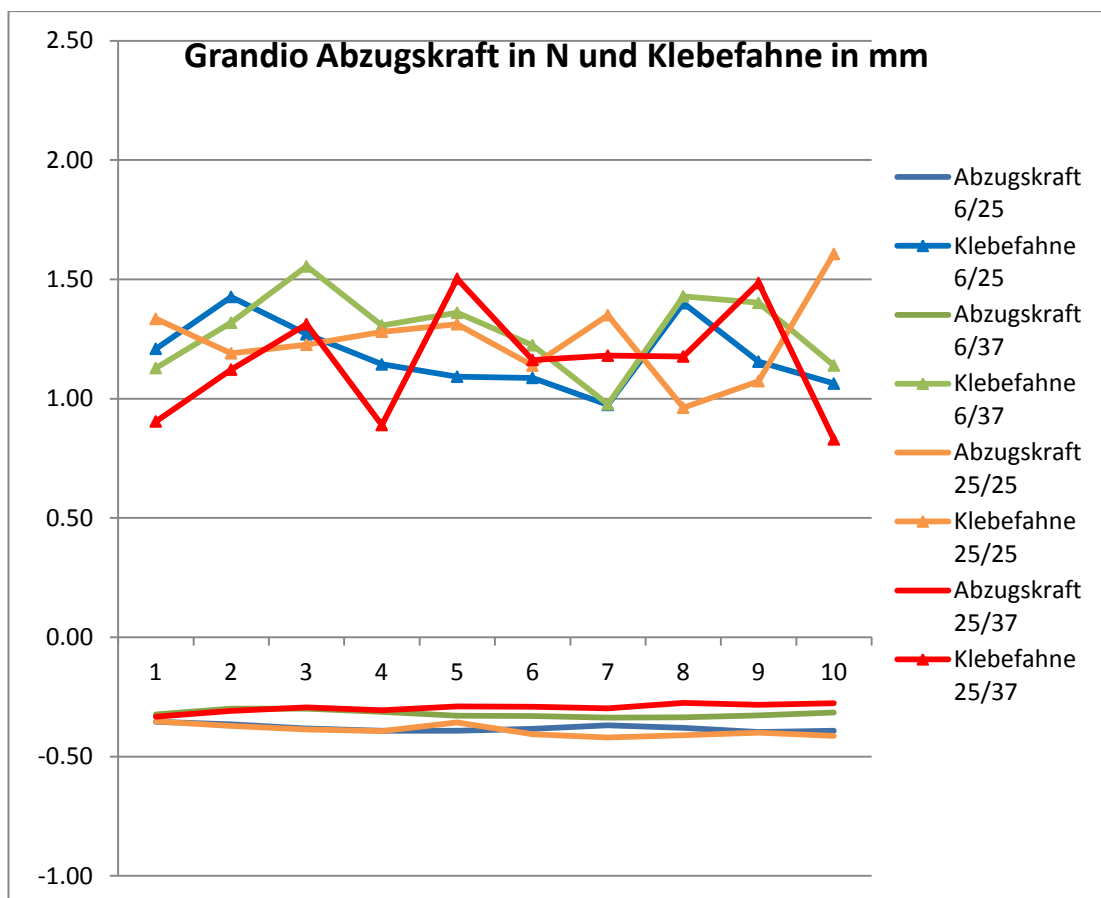


Abbildung 23: Abzugskräfte in N und Klebefahnenlängen in mm des Nano-Hybrid-Komposit Grandio

Folgende Tabelle enthält alle Werte der Versuchsreihe mit Grandio.

5. Ergebnisse

Tabelle 31: Abzugskraft in N und Klebefahne in mm für Grandio

Abzugskraft in N	Klebefahne in mm	LT/KT	Abzugskraft in N	Klebefahne in mm	LT/KT
-0.35 ± 0.03	1.21 ± 0.14	6/25	-0.32 ± 0.02	1.13 ± 0.20	6/37
-0.37 ± 0.02	1.43 ± 0.46		-0.30 ± 0.02	1.32 ± 0.49	
-0.38 ± 0.02	1.27 ± 0.20		-0.30 ± 0.03	1.55 ± 0.79	
-0.39 ± 0.02	1.14 ± 0.07		-0.31 ± 0.02	1.31 ± 0.36	
-0.39 ± 0.01	1.09 ± 0.12		-0.33 ± 0.01	1.36 ± 0.54	
-0.38 ± 0.03	1.09 ± 0.16		-0.33 ± 0.01	1.22 ± 0.17	
-0.37 ± 0.04	0.97 ± 0.18		-0.34 ± 0.03	0.98 ± 0.18	
-0.38 ± 0.04	1.40 ± 0.79		-0.34 ± 0.03	1.43 ± 0.45	
-0.40 ± 0.02	1.16 ± 0.25		-0.33 ± 0.01	1.40 ± 0.56	
-0.39 ± 0.02	1.06 ± 0.14		-0.31 ± 0.02	1.14 ± 0.39	
-0.35 ± 0.06	1.33 ± 0.21	25/25	-0.33 ± 0.02	0.90 ± 0.18	25/37
-0.37 ± 0.03	1.19 ± 0.18		-0.31 ± 0.01	1.12 ± 0.27	
-0.39 ± 0.03	1.23 ± 0.30		-0.29 ± 0.02	1.31 ± 0.81	
-0.39 ± 0.02	1.28 ± 0.50		-0.31 ± 0.02	0.89 ± 0.21	
-0.36 ± 0.06	1.31 ± 0.27		-0.29 ± 0.03	1.50 ± 0.51	
-0.41 ± 0.02	1.14 ± 0.40		-0.29 ± 0.03	1.16 ± 0.75	
-0.42 ± 0.02	1.35 ± 0.73		-0.30 ± 0.03	1.18 ± 0.36	
-0.41 ± 0.01	0.96 ± 0.09		-0.28 ± 0.03	1.18 ± 0.58	
-0.40 ± 0.04	1.07 ± 0.33		-0.28 ± 0.02	1.48 ± 0.54	
-0.41 ± 0.02	1.61 ± 0.78		-0.28 ± 0.03	0.83 ± 0.32	

5.3.4 Polofil Molar L Eintauchkraft 1N

Abzugskraft:

Die Abzugskräfte für LT6/KT25 und LT25/KT25 nehmen von 0.31N im Ersten, mit einem kurzzeitigen Abfall auf 0.24N im vierten Zyklus, auf 0.40N im zehnten Zyklus zu. Während sich die Abzugskräfte für LT6/KT37 im Verlauf der Serie wenig ändern, nehmen die Werte für LT25/KT37 vom Anfang (0.35N) bis Ende (0.47N) zu.

5. Ergebnisse

Länge der Klebefahne:

Sehr gleichmäßig lange Klebefahnen werden mit LT6/KT25 erreicht. Diese variieren zwischen 0.77mm und 0.68mm. Bei LT25/KT25 werden die Klebefahnen im Verlauf vom Ersten zum zehnten Zyklus von 0.86mm auf 0.72mm kürzer. Mit kurzzeitigem Anstieg auf 0.90mm im vierten Zyklus sind die Längen der Klebefahnen für LT25/KT37 konstant um 0.69mm. Für LT6/KT25 liegen die Anfangs- und Endwerte bei 0.92mm, allerdings zeigt die Kurve einen unregelmäßigen Verlauf.

Folgende Abbildung gibt einen Überblick.

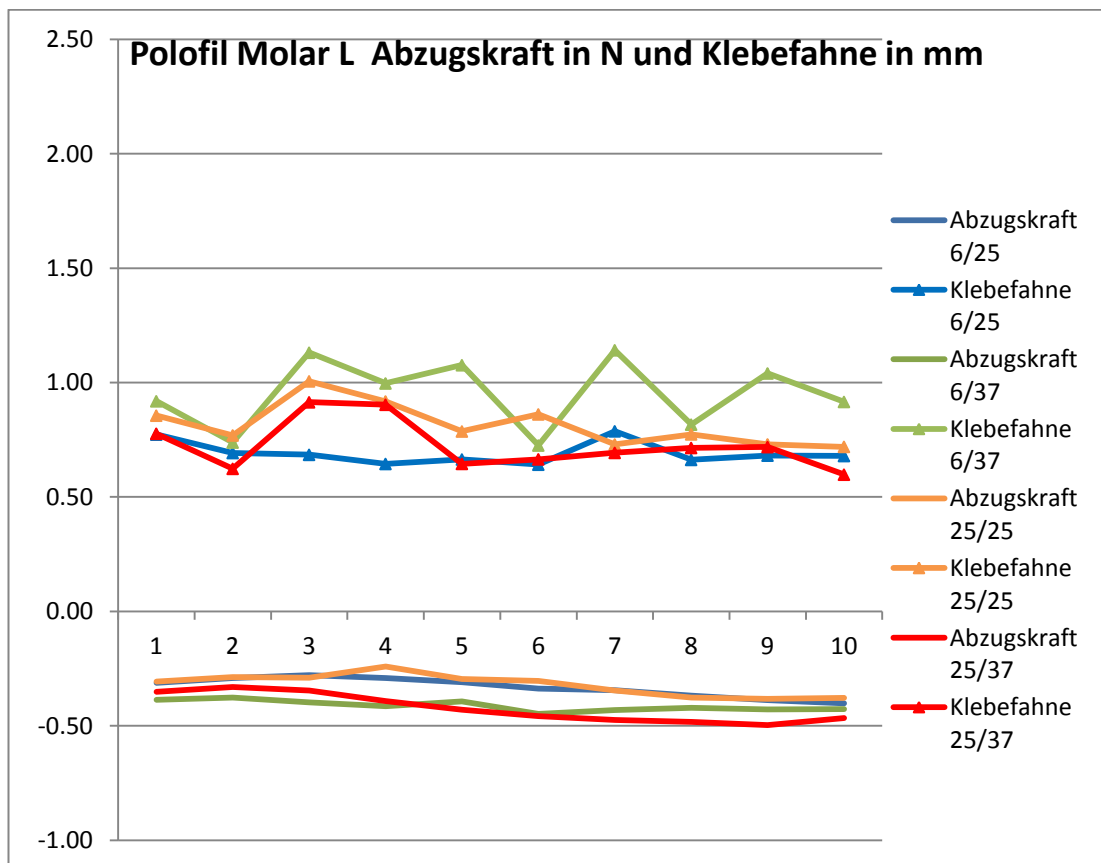


Abbildung 24: Abzugskräfte in N und Klebefahnenlängen in mm des Micro-Hybrid-Komposit Polofil Molar L

5. Ergebnisse

Folgende Tabelle enthält alle Werte der Versuchsreihe mit Polofil Molar L.

Tabelle 32: Abzugskraft in N und Klebefahne in mm für Polofil Molar L

Abzugskraft in N	Klebefahne in mm	LT/KT	Abzugskraft in N	Klebefahne in mm	LT/KT
-0.31 ± 0.05	0.77 ± 0.10	6/25	-0.39 ± 0.02	0.92 ± 0.20	6/37
-0.29 ± 0.03	0.69 ± 0.07		-0.38 ± 0.05	0.74 ± 0.13	
-0.28 ± 0.04	0.68 ± 0.09		-0.40 ± 0.03	1.13 ± 0.48	
-0.29 ± 0.06	0.64 ± 0.18		-0.41 ± 0.04	1.00 ± 0.44	
-0.31 ± 0.02	0.66 ± 0.08		-0.39 ± 0.04	1.08 ± 0.34	
-0.34 ± 0.03	0.64 ± 0.03		-0.45 ± 0.05	0.73 ± 0.27	
-0.34 ± 0.04	0.79 ± 0.33		-0.43 ± 0.08	1.14 ± 0.48	
-0.37 ± 0.03	0.66 ± 0.04		-0.42 ± 0.07	0.82 ± 0.34	
-0.39 ± 0.02	0.68 ± 0.08		-0.43 ± 0.08	1.04 ± 0.17	
-0.40 ± 0.02	0.68 ± 0.07		-0.43 ± 0.08	0.92 ± 0.41	
-0.31 ± 0.04	0.86 ± 0.08	25/25	-0.35 ± 0.04	0.78 ± 0.05	25/37
-0.29 ± 0.02	0.77 ± 0.03		-0.33 ± 0.03	0.62 ± 0.06	
-0.29 ± 0.02	1.01 ± 0.20		-0.35 ± 0.03	0.91 ± 0.44	
-0.24 ± 0.04	0.92 ± 0.47		-0.39 ± 0.05	0.90 ± 0.46	
-0.30 ± 0.03	0.79 ± 0.25		-0.43 ± 0.05	0.65 ± 0.08	
-0.30 ± 0.06	0.86 ± 0.39		-0.46 ± 0.05	0.66 ± 0.08	
-0.35 ± 0.02	0.73 ± 0.06		-0.47 ± 0.05	0.69 ± 0.06	
-0.38 ± 0.04	0.77 ± 0.09		-0.48 ± 0.05	0.71 ± 0.03	
-0.38 ± 0.04	0.73 ± 0.07		-0.50 ± 0.04	0.72 ± 0.12	
-0.38 ± 0.09	0.72 ± 0.21		-0.47 ± 0.05	0.60 ± 0.12	

5.3.5 Tetric EvoCeram Eintauchkraft 1N

Abzugskraft:

Während die Abzugskräfte für LT6/KT37 und LT25/KT37 mit 0.47N auf einem Niveau bleiben und einen sehr homogenen Verlauf aufweisen, nehmen sie für LT6/KT25 und LT25/KT25 im Verlauf der Serie von 0.35N auf 0.53N zu. Wobei sich die Kurven für LT6/KT25 und LT25/KT25 ab dem siebten Zyklus aufspalten.

5. Ergebnisse

Länge der Klebefahne:

Während der ganzen Serie konstant gleichbleibend lange Klebefahnen werden mit LT6/KT25 und LT25/KT25 erreicht. Diese haben Längen zwischen 0.83mm und 0.77mm. Für LT6/KT37 ergeben sich Längen um 1.20mm mit kurzzeitigem Abfall der Länge auf 0.85mm im vierten Zyklus. Für LT25/KT37 haben 70% der Klebefahnen eine Länge um 0.95mm, hingegen 30% liegen über 1.10mm.

Folgende Abbildung gibt einen Überblick.

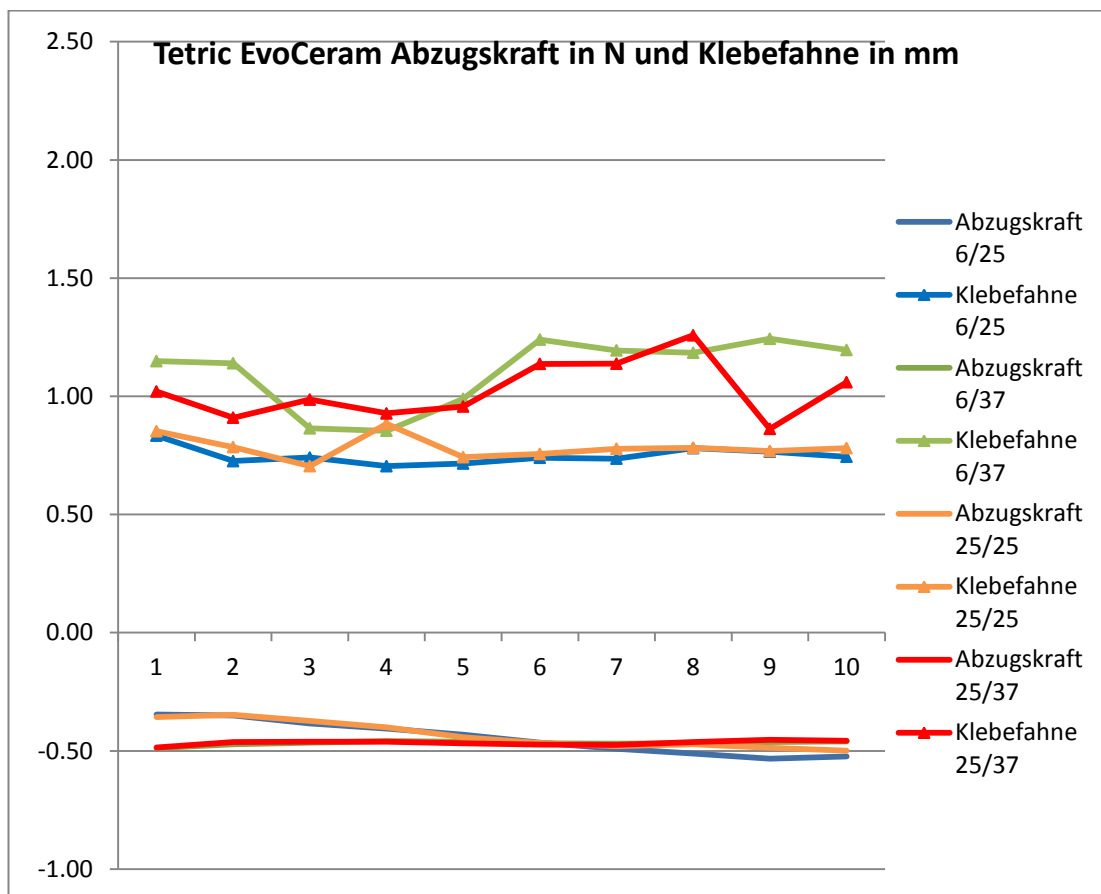


Abbildung 25: Abzugskräfte in N und Klebefahnenlängen in mm des Nano-Hybrid-Komposit Tetric EvoCeram

5. Ergebnisse

Folgende Tabelle enthält alle Werte der Versuchsreihe mit Tetric EvoCeram.

Tabelle 33: Abzugskraft in N und Klebefahne in mm für Tetric EvoCeram

Abzugskraft in N	Klebefahne in mm	LT/KT	Abzugskraft in N	Klebefahne in mm	LT/KT
-0.35 ± 0.06	0.83 ± 0.10	6/25	-0.49 ± 0.02	1.15 ± 0.19	6/37
-0.35 ± 0.05	0.73 ± 0.09		-0.47 ± 0.02	1.14 ± 0.29	
-0.38 ± 0.05	0.74 ± 0.11		-0.47 ± 0.02	0.86 ± 0.08	
-0.41 ± 0.03	0.70 ± 0.08		-0.46 ± 0.01	0.85 ± 0.12	
-0.43 ± 0.04	0.72 ± 0.10		-0.46 ± 0.01	0.99 ± 0.15	
-0.47 ± 0.03	0.74 ± 0.09		-0.47 ± 0.02	1.24 ± 0.15	
-0.49 ± 0.02	0.74 ± 0.08		-0.47 ± 0.01	1.19 ± 0.28	
-0.51 ± 0.02	0.78 ± 0.12		-0.47 ± 0.02	1.18 ± 0.19	
-0.53 ± 0.02	0.77 ± 0.03		-0.46 ± 0.01	1.24 ± 0.53	
-0.52 ± 0.03	0.74 ± 0.04		-0.46 ± 0.02	1.20 ± 0.28	
-0.36 ± 0.02	0.85 ± 0.07	25/25	-0.49 ± 0.02	1.02 ± 0.09	25/37
-0.35 ± 0.03	0.79 ± 0.18		-0.46 ± 0.02	0.91 ± 0.14	
-0.37 ± 0.03	0.70 ± 0.08		-0.46 ± 0.02	0.99 ± 0.22	
-0.40 ± 0.03	0.88 ± 0.38		-0.46 ± 0.01	0.93 ± 0.25	
-0.44 ± 0.02	0.74 ± 0.05		-0.47 ± 0.01	0.96 ± 0.21	
-0.47 ± 0.02	0.76 ± 0.04		-0.47 ± 0.01	1.14 ± 0.30	
-0.48 ± 0.02	0.78 ± 0.03		-0.47 ± 0.01	1.14 ± 0.22	
-0.47 ± 0.03	0.78 ± 0.05		-0.46 ± 0.01	1.26 ± 0.48	
-0.49 ± 0.01	0.77 ± 0.04		-0.45 ± 0.03	0.86 ± 0.24	
-0.50 ± 0.01	0.78 ± 0.05		-0.46 ± 0.04	1.06 ± 0.39	

5.3.6 Eintauchkraft 2N

Die Versuche mit 2N Eintauchkraft konnten nicht ausgewertet werden, da bevor die 2N erreicht wurden bereits der Planstopfer am Kavitätenboden anstieß und damit die Prüfmaterialien zur Gänze verdrängt hatte. Deshalb war eine Messung der Abzugskraft nicht möglich.

5.4 Versuch 3

5.4.1 Maximale Abzugskräfte

5.4.1.1 Admira

Die Kräfte liegen zwischen 0.31N und 0.54N. Auf die mittlere maximale Abzugskraft (MAK) hat LT keine Auswirkung. Dagegen nimmt die MAK bei KT37 ab. Mit steigender Applikationskraft nimmt die MAK ebenfalls zu. Tendenziell höhere MAKs sind bei den **Zahn**-Kavitäten gemessen worden.

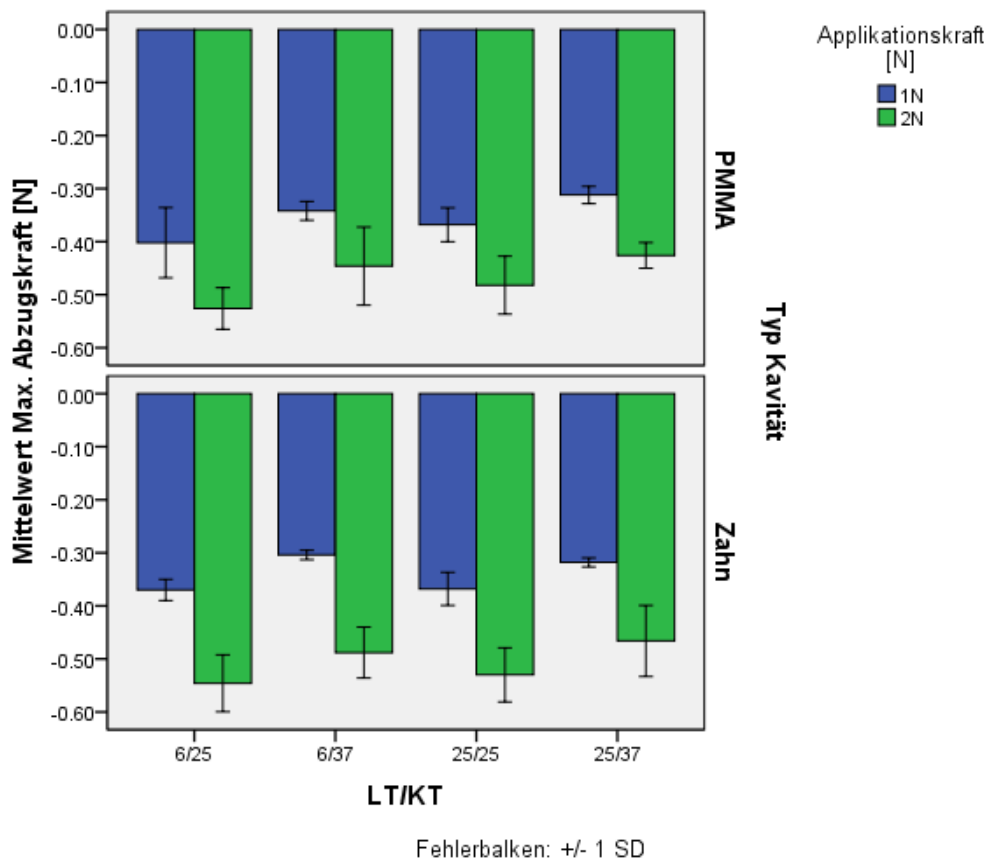


Abbildung 26: MAKs [N] über LT/KT und Typ der Kavität, Admira

5. Ergebnisse

Folgende Tabelle enthält die MAK-Werte der Versuchsreihe mit Admira.

Tabelle 34: MAK-Werte der Versuchsreihe mit Admira

MAK [N]	LT/KT	Belastung	Kavität
-0.40	6/25	1N	PMMA
-0.53	6/25	2N	PMMA
-0.34	6/37	1N	PMMA
-0.45	6/37	2N	PMMA
-0.37	25/25	1N	PMMA
-0.48	25/25	2N	PMMA
-0.31	25/37	1N	PMMA
-0.43	25/37	2N	PMMA
-0.37	6/25	1N	Zahn
-0.54	6/25	2N	Zahn
-0.31	6/37	1N	Zahn
-0.49	6/37	2N	Zahn
-0.37	25/25	1N	Zahn
-0.53	25/25	2N	Zahn
-0.32	25/37	1N	Zahn
-0.47	25/37	2N	Zahn

5.4.1.2 Arabesk Top

Für die **PMMA**-Kavität und einer Applikationskraft von 2N liegen die MAKs zwischen 0.49N und 0.61N. Für 1N Applikationskraft variieren die Werte zwischen 0.32N und 0.34N. Kavitätenunabhängig werden bei 1N Applikationskraft geringere Kräfte gemessen als bei 2N. Bei der **Zahn**-Kavität liegen diese zwischen 0.28N und 0.32N bei 1N, dagegen bei 2N zwischen 0.48N und 0.5N. Bei 2N Applikationskraft und LT25/KT25 wurde die höchste MAK mit 0.61N in der **PMMA**-Kavität gemessen.

5. Ergebnisse

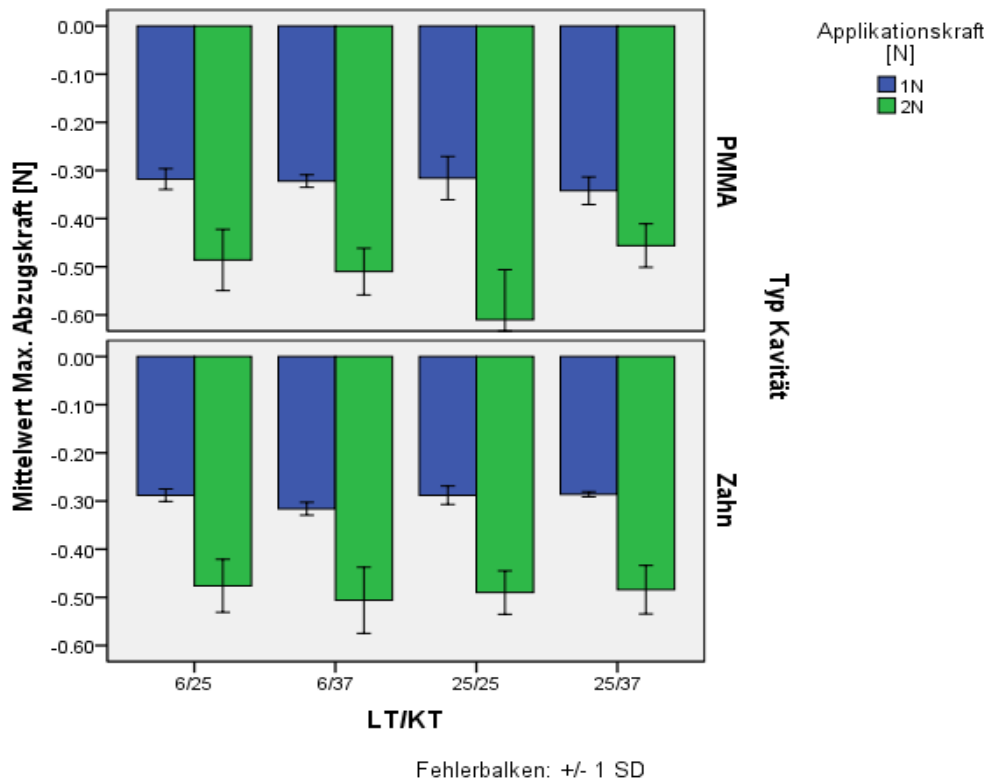


Abbildung 27: MAKs [N] über LT/KT und Typ der Kavität, Arabesk Top

Folgende Tabelle enthält die MAK-Werte der Versuchsreihe mit Arabesk Top.

Tabelle 35: MAK-Werte der Versuchsreihe mit Arabesk Top

MAK [N]	LT/KT	Belastung	Kavität
-0.32	6/25	1N	PMMA
-0.49	6/25	2N	PMMA
-0.32	6/37	1N	PMMA
-0.51	6/37	2N	PMMA
-0.32	25/25	1N	PMMA
-0.61	25/25	2N	PMMA
-0.34	25/37	1N	PMMA
-0.46	25/37	2N	PMMA

5. Ergebnisse

-0.29	6/25	1N	Zahn
-0.48	6/25	2N	Zahn
-0.32	6/37	1N	Zahn
-0.50	6/37	2N	Zahn
-0.29	25/25	1N	Zahn
-0.49	25/25	2N	Zahn
-0.28	25/37	1N	Zahn
-0.49	25/37	2N	Zahn

5.4.1.3 Grandio

Für die **PMMA**-Kavität und einer Applikationskraft von 2N liegen die MAKs zwischen 0.31N und 0.34N. Für 1N Applikationskraft variieren die Werte zwischen 0.16N und 0.24N. Bei der **Zahn**-Kavität werden bei 1N Applikationskraft geringere Kräfte gemessen als bei 2N. Diese liegen zwischen 0.17N und 0.22N bei 1N, dagegen bei 2N zwischen 0.24N und 0.33N. In der Temperaturgruppe LT6/KT37 unterscheiden sich die MAKs zwischen 1 und 2N Applikationskraft nur sehr gering.

5. Ergebnisse

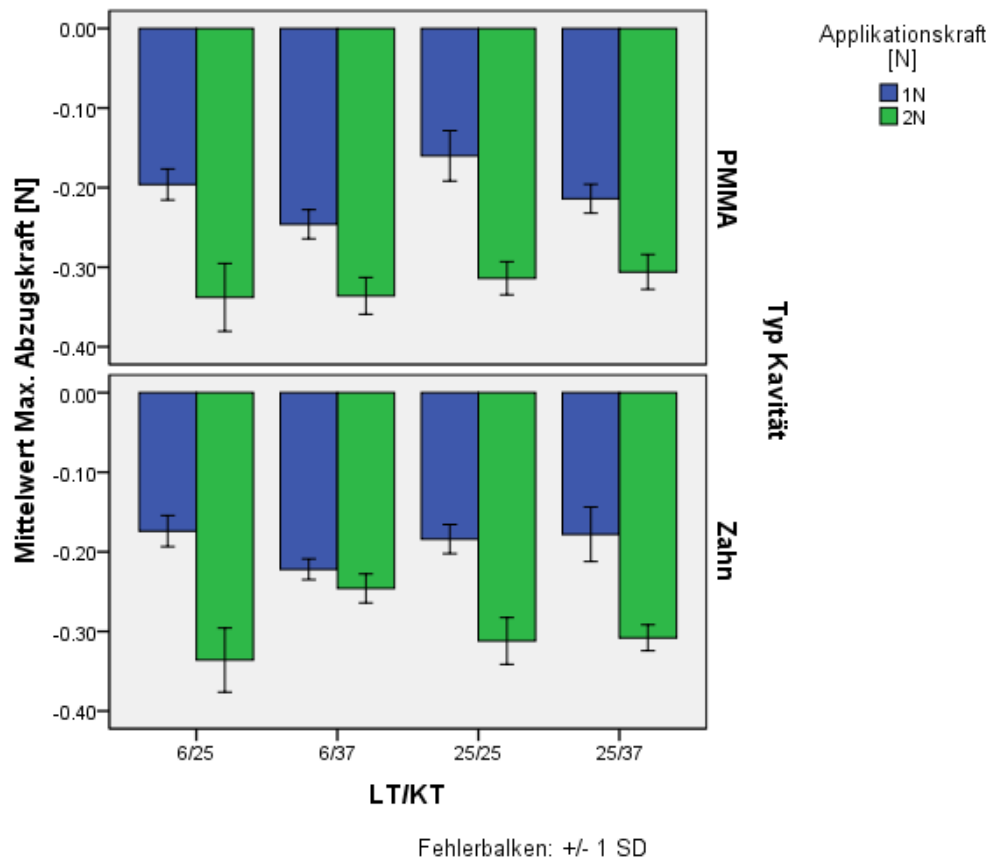


Abbildung 28: MAKs [N] über LT/KT und Typ der Kavität, Grandio

Folgende Tabelle enthält die MAK-Werte der Versuchsreihe mit Grandio.

Tabelle 36: MAK-Werte der Versuchsreihe mit Grandio

MAK [N]	LT/KT	Belastung	Kavität
-0.20	6/25	1N	PMMA
-0.34	6/25	2N	PMMA
-0.24	6/37	1N	PMMA
-0.34	6/37	2N	PMMA
-0.16	25/25	1N	PMMA
-0.31	25/25	2N	PMMA
-0.21	25/37	1N	PMMA
-0.31	25/37	2N	PMMA

5. Ergebnisse

-0.17	6/25	1N	Zahn
-0.33	6/25	2N	Zahn
-0.22	6/37	1N	Zahn
-0.24	6/37	2N	Zahn
-0.19	25/25	1N	Zahn
-0.31	25/25	2N	Zahn
-0.18	25/37	1N	Zahn
-0.31	25/37	2N	Zahn

5.4.1.4 Polofil Molar L

Die Kräfte variieren zwischen 0.29N und 0.36N für 1N Applikationskraft und 0.34N und 0.50N für 2N Applikationskraft. Für LT6/KT37 und der **Zahn-**Kavität sind die MAKs unabhängig von der Applikationskraft annähernd gleich groß bei 0.31N. Die MAKs liegen innerhalb der Applikationskraftgruppen auf sehr ähnlichem Niveau.

5. Ergebnisse

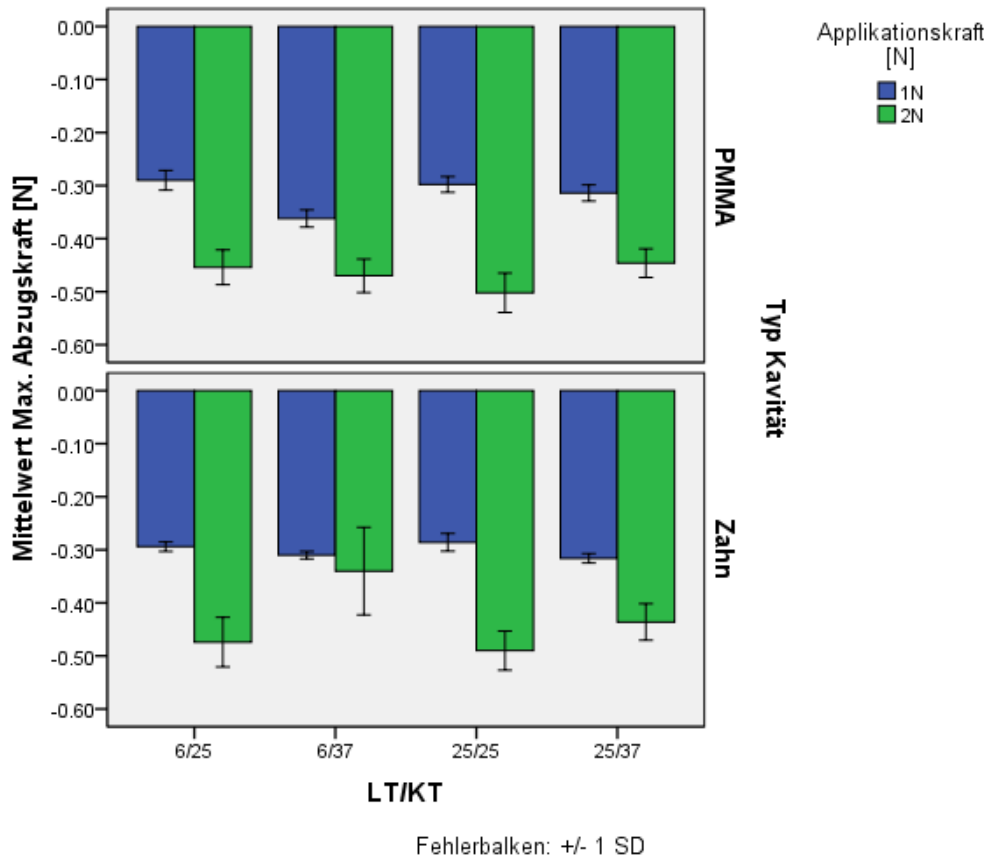


Abbildung 29: MAKs [N] über LT/KT und Typ der Kavität, Polofil Molar L

Folgende Tabelle enthält die MAK-Werte der Versuchsreihe mit Polofil Molar L.

Tabelle 37: MAK-Werte der Versuchsreihe mit Polofil Molar L

MAK [N]	LT/KT	Belastung	Kavität
-0.29	6/25	1N	PMMA
-0.45	6/25	2N	PMMA
-0.36	6/37	1N	PMMA
-0.47	6/37	2N	PMMA
-0.30	25/25	1N	PMMA
-0.50	25/25	2N	PMMA
-0.31	25/37	1N	PMMA
-0.45	25/37	2N	PMMA

5. Ergebnisse

-0.29	6/25	1N	Zahn
-0.47	6/25	2N	Zahn
-0.31	6/37	1N	Zahn
-0.34	6/37	2N	Zahn
-0.29	25/25	1N	Zahn
-0.49	25/25	2N	Zahn
-0.31	25/37	1N	Zahn
-0.44	25/37	2N	Zahn

5.4.1.5.Tetric EvoCeram

Für die **PMMA**-Kavität wurden bei einer Applikationskraft von 1N Abzugskräfte zwischen 0.32N und 0.35N gemessen. Bei den verschiedenen LT/KT konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Bei einer Applikationskraft von 2N waren die Werte für LT6/KT37 und LT25/KT37 mit 0.45N gleich. Für LT6/KT25 und LT25/KT25 waren sie mit 0.51N und 0.55N annähernd auf gleichem Niveau.

Bei der **Zahn**-Kavität konnten keine Unterschiede innerhalb der gleichen Applikationskraftgruppe festgestellt werden. LT/KT beeinflussen die MAKs nicht. Die Werte liegen für 1N Applikationskraft bei 0.30N und für 2N bei 0.48N.

5. Ergebnisse

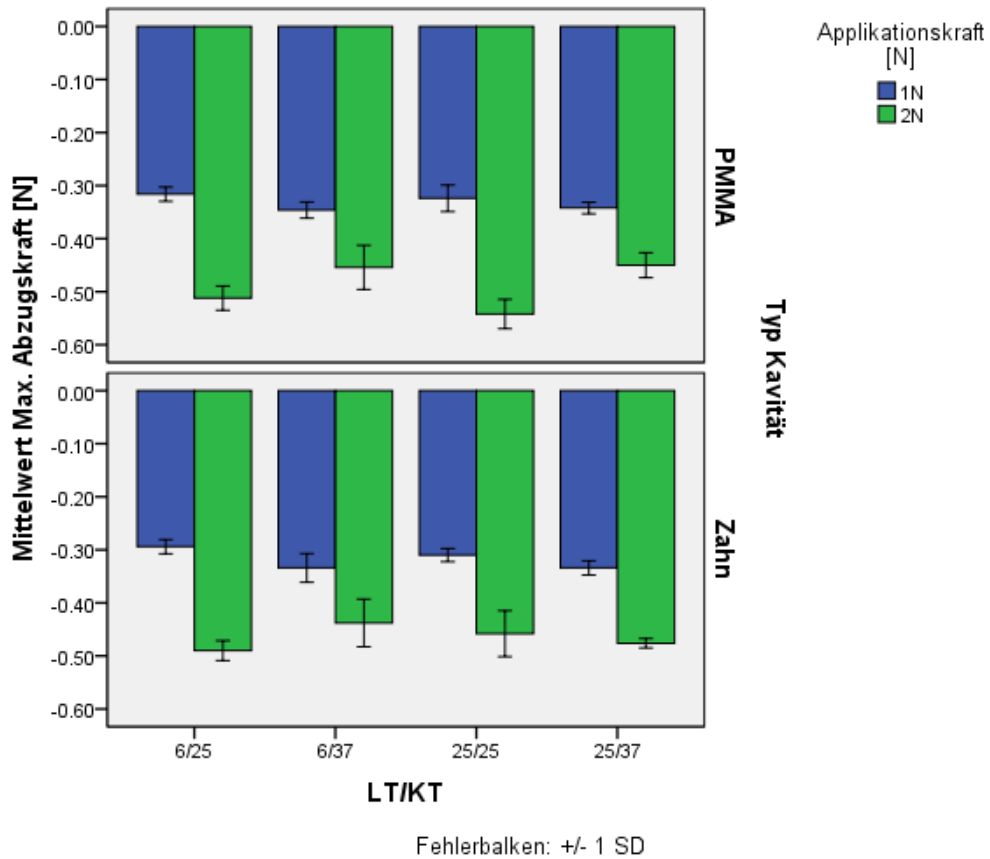


Abbildung 30: MAKs [N] über LT/KT und Typ der Kavität, Tetric EvoCeram

Folgende Tabelle enthält die MAK-Werte der Versuchsreihe mit Tetric EvoCeram.

Tabelle 38: MAK-Werte der Versuchsreihe mit Tetric EvoCeram

MAK [N]	LT/KT	Belastung	Kavität
-0.32	6/25	1N	PMMA
-0.51	6/25	2N	PMMA
-0.35	6/37	1N	PMMA
-0.45	6/37	2N	PMMA
-0.33	25/25	1N	PMMA
-0.55	25/25	2N	PMMA
-0.34	25/37	1N	PMMA
-0.45	25/37	2N	PMMA

5. Ergebnisse

-0.29	6/25	1N	Zahn
-0.49	6/25	2N	Zahn
-0.33	6/37	1N	Zahn
-0.44	6/37	2N	Zahn
-0.31	25/25	1N	Zahn
-0.46	25/25	2N	Zahn
-0.34	25/37	1N	Zahn
-0.48	25/37	2N	Zahn

5.4.2 Länge der Klebefahnen

5.4.2.1 Admira

Für die **PMMA**-Kavität und einer Applikationskraft von 1N ergab bei LT6/KT25 und LT25/KT25 die Länge der Klebefahne 0.57mm und 0.60mm. Mit 2N Applikationskraft wurden Längen von 0.39mm und 0.42mm gemessen. Bei LT6/KT37 und LT25/KT37 waren die Längen der Klebefahnen für 1N 0.49mm und 0.52mm, für 2N 0.10mm und 0.08mm.

Für die **Zahn**-Kavität, einer Applikationskraft von 1N, LT6/KT25 und LT25/KT25 wurden Längen von 0.70mm und 0.67mm gemessen. Bei 2N Applikationskraft waren die Klebefahnen 0.17mm und 0.15mm lang. Für LT6/KT37 und LT25/KT37 wurden bei 1N 0.51mm und bei 2N 0.06mm Klebefahnenlänge gemessen.

5. Ergebnisse

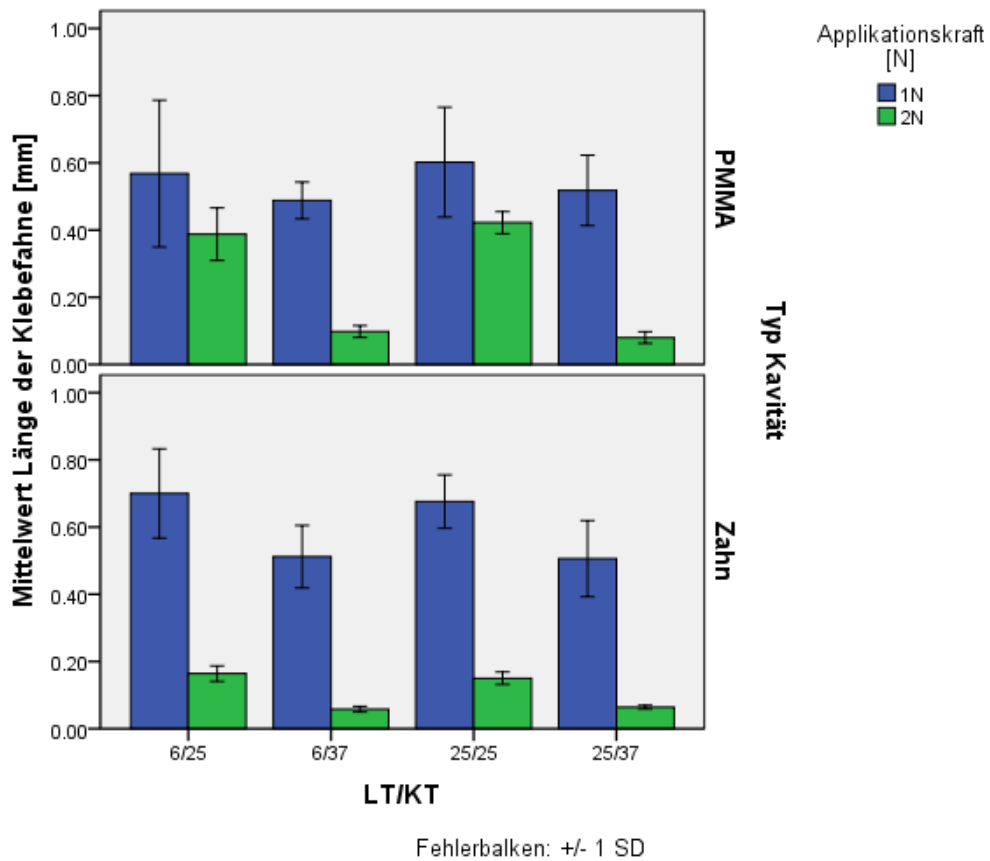


Abbildung 31: Länge der Klebefahne [mm] über LT/KT und Typ der Kavität, Admira

Folgende Tabelle enthält die Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreihe mit Admira.

Tabelle 39: Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreihe mit Admira

Klebefahne[mm]	LT/KT	Belastung	Kavität
0.57	6/25	1N	PMMA
0.39	6/25	2N	PMMA
0.49	6/37	1N	PMMA
0.10	6/37	2N	PMMA
0.60	25/25	1N	PMMA
0.42	25/25	2N	PMMA
0.52	25/37	1N	PMMA
0.08	25/37	2N	PMMA

5. Ergebnisse

0.70	6/25	1N	Zahn
0.17	6/25	2N	Zahn
0.51	6/37	1N	Zahn
0.06	6/37	2N	Zahn
0.67	25/25	1N	Zahn
0.15	25/25	2N	Zahn
0.51	25/37	1N	Zahn
0.06	25/37	2N	Zahn

5.4.2.2 Arabesk Top

Für die **PMMA**-Kavität und einer Applikationskraft von 1N ergab bei LT6/KT25 und LT25/KT25 die Länge der Klebefahne 0.61mm und 0.71mm. Mit 2N Applikationskraft wurden Längen von 0.22mm und 0.16mm gemessen. Bei LT6/KT37 und LT25/KT37 waren die Längen der Klebefahnen für 1N 0.19mm und 0.07mm, für 2N 0.11mm und 0.05mm.

Für die **Zahn**-Kavität, einer Applikationskraft von 1N, LT6/KT25 und LT25/KT25 wurden Längen von 0.67mm und 0.59mm gemessen. Bei 2N Applikationskraft waren die Klebefahnen 0.08mm lang. Für LT6/KT37 und LT25/KT37 wurden bei 1N 0.19mm und 0.43mm und bei 2N 0.05mm Klebefahnenlänge gemessen.

5. Ergebnisse

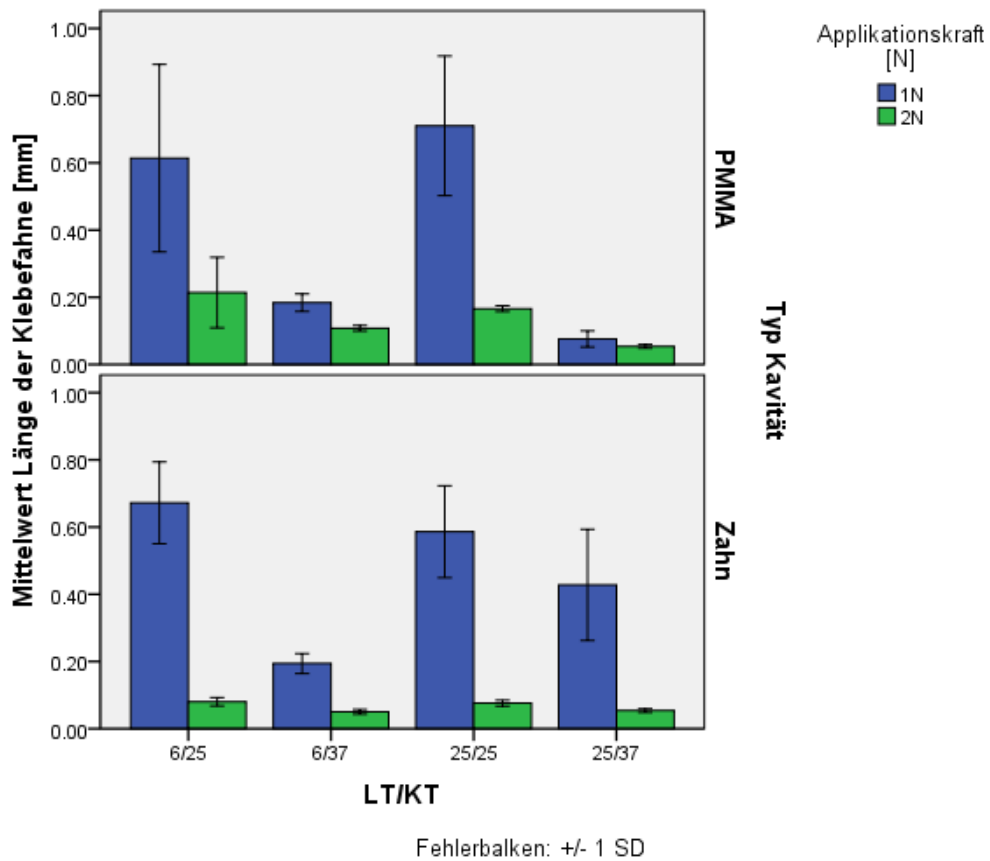


Abbildung 32: Länge der Klebefahne [mm] über LT/KT und Typ der Kavität, Arabesk Top

Folgende Tabelle enthält die Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreihe mit Arabesk Top.

Tabelle 40: Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreihe mit Arabesk Top

Klebefahne[mm]	LT/KT	Belastung	Kavität
0.61	6/25	1N	PMMA
0.22	6/25	2N	PMMA
0.19	6/37	1N	PMMA
0.11	6/37	2N	PMMA
0.71	25/25	1N	PMMA
0.16	25/25	2N	PMMA
0.07	25/37	1N	PMMA
0.05	25/37	2N	PMMA

5. Ergebnisse

0.67	6/25	1N	Zahn
0.08	6/25	2N	Zahn
0.19	6/37	1N	Zahn
0.05	6/37	2N	Zahn
0.59	25/25	1N	Zahn
0.08	25/25	2N	Zahn
0.43	25/37	1N	Zahn
0.05	25/37	2N	Zahn

5.4.2.3 Grandio

Für die **PMMA**-Kavität und einer Applikationskraft von 1N ergab bei LT6/KT25 und LT25/KT25 die Länge der Klebefahne 0.29mm und 0.36mm. Mit 2N Applikationskraft wurden Längen von 0.12mm gemessen. Bei LT6/KT37 und LT25/KT37 waren die Längen der Klebefahnen für 1N 0.11mm und 0.15mm, für 2N 0.09mm und 0.04mm.

Für die **Zahn**-Kavität, einer Applikationskraft von 1N, LT6/KT25 und LT25/KT25 wurden Längen von 0.24mm und 0.23mm gemessen. Bei 2N Applikationskraft waren die Klebefahnen 0.05mm lang. Für LT6/KT37 und LT25/KT37 wurden bei 1N 0.09mm und 0.17mm und bei 2N 0.11mm und 0.04mm Klebefahnenlänge gemessen.

5. Ergebnisse

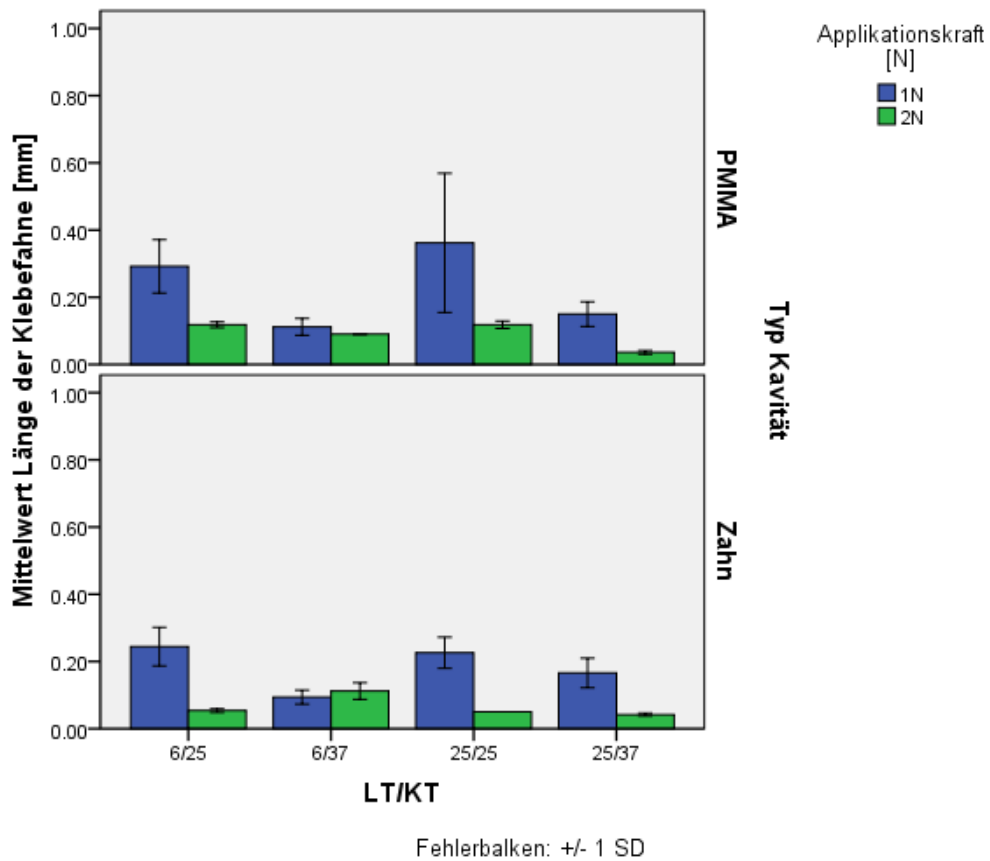


Abbildung 33: Länge der Klebefahne [mm] über LT/KT und Typ der Kavität, Grandio

Folgende Tabelle enthält die Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreihe mit Grandio.

Tabelle 41: Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreihe mit Grandio

Klebefahne[mm]	LT/KT	Belastung	Kavität
0.29	6/25	1N	PMMA
0.12	6/25	2N	PMMA
0.11	6/37	1N	PMMA
0.09	6/37	2N	PMMA
0.36	25/25	1N	PMMA
0.12	25/25	2N	PMMA
0.15	25/37	1N	PMMA
0.04	25/37	2N	PMMA

5. Ergebnisse

0.24	6/25	1N	Zahn
0.05	6/25	2N	Zahn
0.09	6/37	1N	Zahn
0.11	6/37	2N	Zahn
0.23	25/25	1N	Zahn
0.05	25/25	2N	Zahn
0.17	25/37	1N	Zahn
0.04	25/37	2N	Zahn

5.4.2.4 Polofil Molar L

Für die **PMMA**-Kavität und einer Applikationskraft von 1N ergab bei LT6/KT25 und LT25/KT25 die Länge der Klebefahne 0.24mm und 0.21mm. Mit 2N Applikationskraft wurden Längen von 0.13mm gemessen. Bei LT6/KT37 und LT25/KT37 waren die Längen der Klebefahnen für 1N 0.22mm und 0.19mm, für 2N 0.11mm und 0.05mm.

Für die **Zahn**-Kavität, einer Applikationskraft von 1N, LT6/KT25 und LT25/KT25 wurden Längen von 0.22mm und 0.25mm gemessen. Bei 2N Applikationskraft waren die Klebefahnen 0.06mm lang. Für LT6/KT37 und LT25/KT37 wurden bei 1N 0.16mm und 0.26mm und bei 2N 0.06mm Klebefahnenlänge gemessen.

5. Ergebnisse

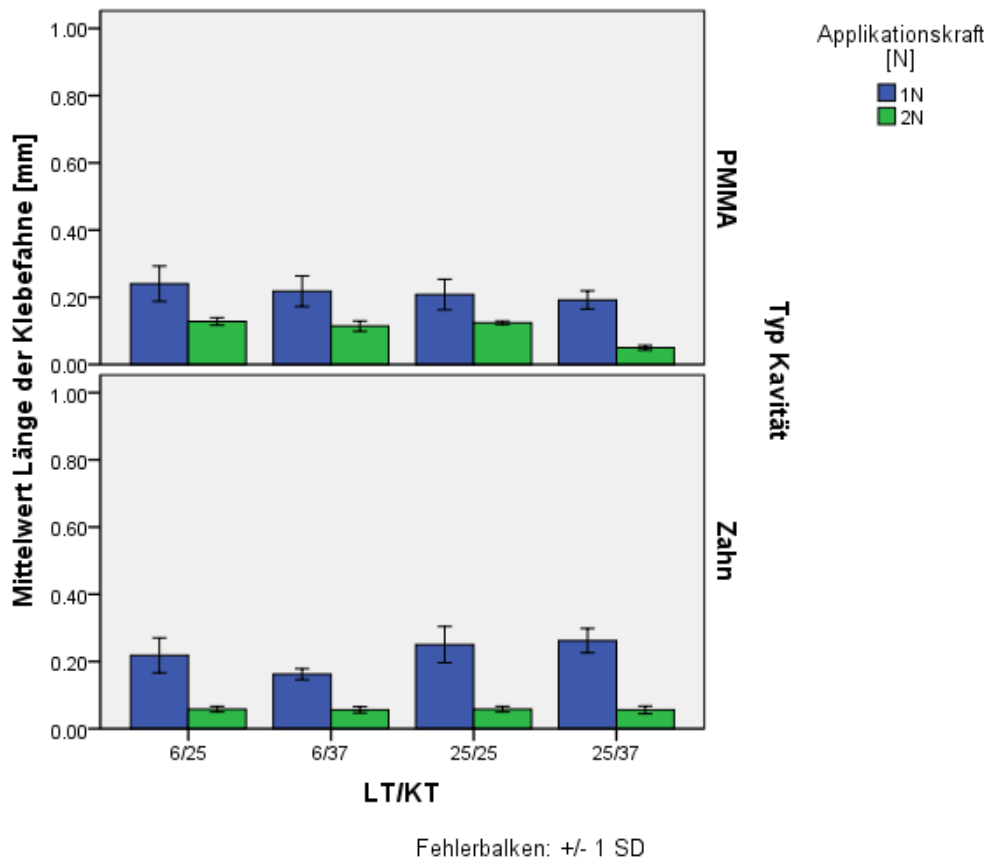


Abbildung 34: Länge der Klebefahne [mm] über LT/KT und Typ der Kavität, Polofil Molar L

Folgende Tabelle enthält die Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreihe mit Polofil Molar L.

Tabelle 42: Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreihe mit Polofil Molar L

Klebefahne[mm]	LT/KT	Belastung	Kavität
0.24	6/25	1N	PMMA
0.13	6/25	2N	PMMA
0.22	6/37	1N	PMMA
0.11	6/37	2N	PMMA
0.21	25/25	1N	PMMA
0.13	25/25	2N	PMMA
0.19	25/37	1N	PMMA
0.05	25/37	2N	PMMA

5. Ergebnisse

0.22	6/25	1N	Zahn
0.06	6/25	2N	Zahn
0.16	6/37	1N	Zahn
0.06	6/37	2N	Zahn
0.25	25/25	1N	Zahn
0.06	25/25	2N	Zahn
0.26	25/37	1N	Zahn
0.06	25/37	2N	Zahn

5.4.2.5 Tetric EvoCeram

Für die **PMMA**-Kavität und einer Applikationskraft von 1N ergab bei LT6/KT25 und LT25/KT25 die Länge der Klebefahne 0.23mm und 0.22mm. Mit 2N Applikationskraft wurden Längen von 0.14mm und 0.13mm gemessen. Bei LT6/KT37 und LT25/KT37 waren die Längen der Klebefahnen für 1N 0.11mm und 0.07mm, für 2N 0.11mm und 0.04mm.

Für die **Zahn**-Kavität, einer Applikationskraft von 1N, LT6/KT25 und LT25/KT25 wurden Längen von 0.18mm und 0.20mm gemessen. Bei 2N Applikationskraft waren die Klebefahnen 0.05mm lang. Für LT6/KT37 und LT25/KT37 wurden bei 1N 0.07mm und 0.09mm und bei 2N 0.05mm Klebefahnenlänge gemessen.

5. Ergebnisse

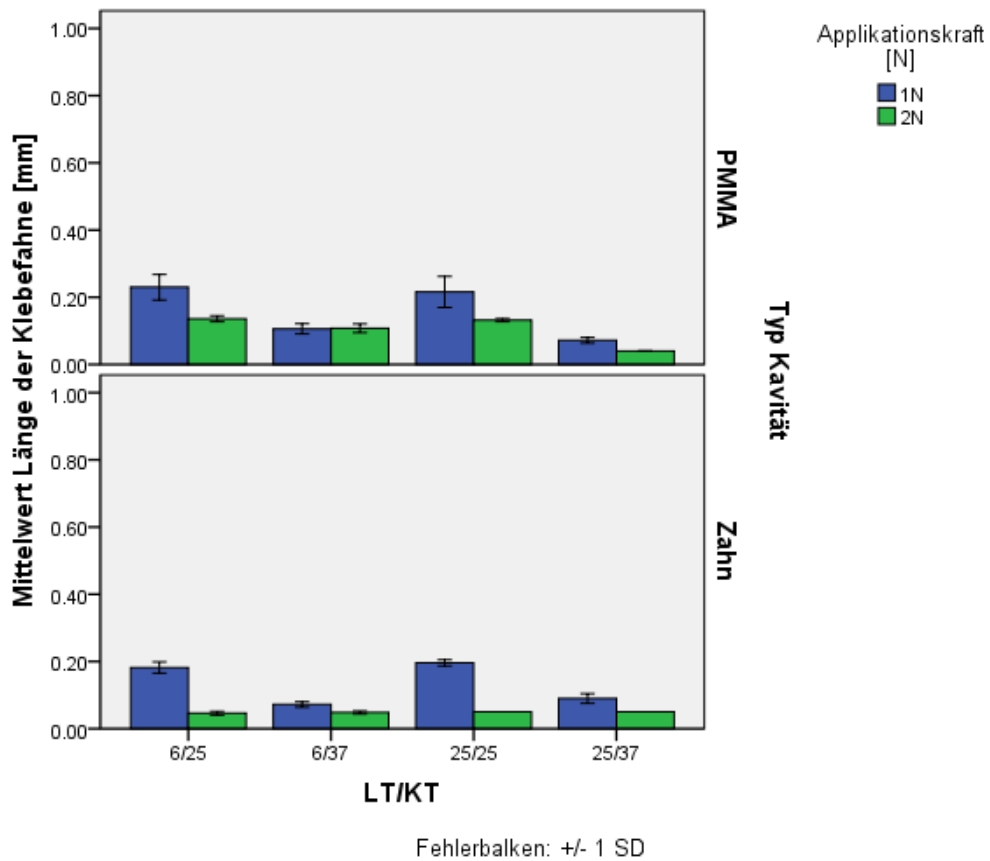


Abbildung 35: Länge der Klebefahne [mm] über LT/KT und Typ der Kavität, Tetric EvoCeram

Folgende Tabelle enthält die Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreihe mit Tetric EvoCeram.

Tabelle 43: Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreihe mit Tetric EvoCeram

Klebefahne[mm]	LT/KT	Belastung	Kavität
0.23	6/25	1N	PMMA
0.14	6/25	2N	PMMA
0.11	6/37	1N	PMMA
0.11	6/37	2N	PMMA
0.22	25/25	1N	PMMA
0.13	25/25	2N	PMMA
0.07	25/37	1N	PMMA
0.04	25/37	2N	PMMA

5. Ergebnisse

0.18	6/25	1N	Zahn
0.05	6/25	2N	Zahn
0.07	6/37	1N	Zahn
0.05	6/37	2N	Zahn
0.20	25/25	1N	Zahn
0.05	25/25	2N	Zahn
0.09	25/37	1N	Zahn
0.05	25/37	2N	Zahn

5.4.3 Abzugskraft und Klebefahne

5.4.3.1 Applikationskraft 1N, Typ der Kavität: PMMA

LT6/KT25: Grandio, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram zeigten bei ca. 0,25mm langen Klebefahnen unterschiedliche MAKs zwischen 0.20N (Grandio), 0.29N (Polofil Molar L) und 0.32N (Tetric EvoCeram). Arabesk Top und Tetric EvoCeram zeigten gleiche MAK (0,32N), waren in der Länge der Klebefahne mit 0.61mm (Arabesk Top) und 0.23mm (Tetric EvoCeram) allerdings deutlich verschieden. Mit einer MAK von 0.40N und einer Klebefahne von 0.57 mm hatte Admira in dieser Temperaturgruppe die höchste MAK.

5. Ergebnisse

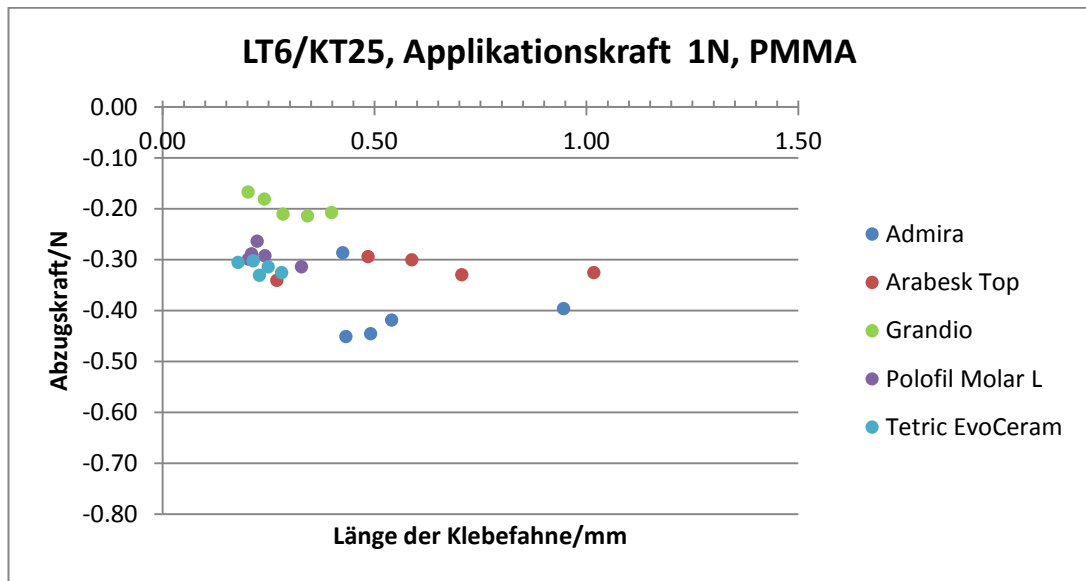


Abbildung 36: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/25, 1N, PMMA

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 44: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/25, 1N, PMMA

MAK [N]	Klebefahne[mm]	
-0.40 ± 0.07	0.57 ± 0.22	Admira
-0.32 ± 0.02	0.61 ± 0.28	Arabesk Top
-0.20 ± 0.02	0.29 ± 0.08	Grandio
-0.29 ± 0.02	0.24 ± 0.05	Polofil Molar L
-0.32 ± 0.01	0.23 ± 0.04	Tetric EvoCeram

5. Ergebnisse

LT25/KT25: Arabesk Top, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram zeigten bei ca. 0.3N hohen MAKs unterschiedlich lange Klebefahnen zwischen 0.71mm (Arabesk Top), 0.21mm (Polofil Molar L) und 0.22mm (Tetric EvoCeram). Mit 0.37N und einer Klebefahne von 0.60mm hatte Admira in dieser Temperaturgruppe die höchste MAK und Grandio mit 0.16N und 0.36mm die niedrigste.

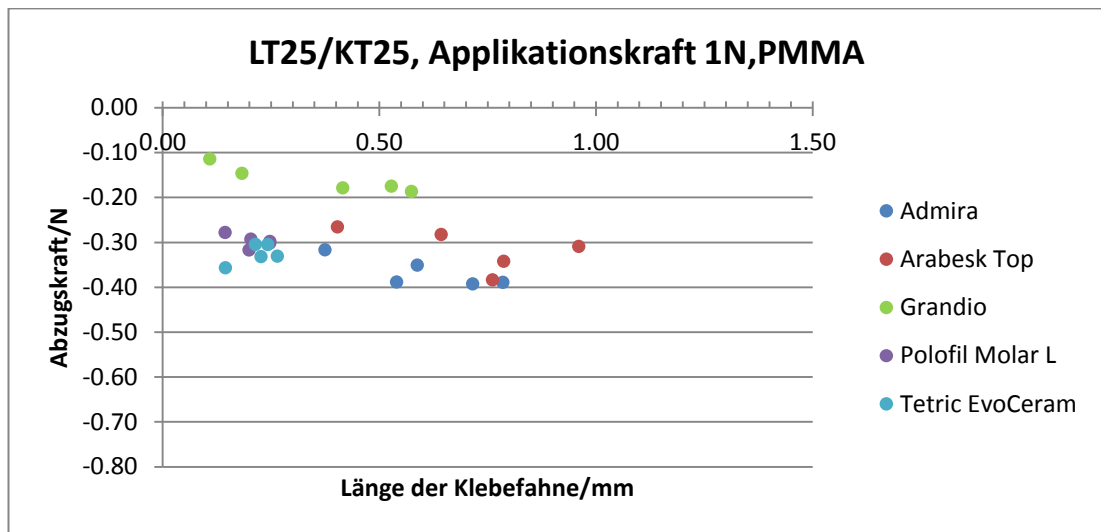


Abbildung 37: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/25, 1N, PMMA

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 45: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/25, 1N, PMMA

MAK [N]	Klebefahne [mm]	
-0.37 ± 0.03	0.60 ± 0.16	Admira
-0.32 ± 0.05	0.71 ± 0.21	Arabesk Top
-0.16 ± 0.03	0.36 ± 0.21	Grandio
-0.30 ± 0.01	0.21 ± 0.04	Polofil Molar L
-0.33 ± 0.02	0.22 ± 0.05	Tetric EvoCeram

5. Ergebnisse

LT6/KT37: Admira, Arabesk Top, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram zeigten ähnliche MAKs (0.34N). Arabesk Top und Polofil Molar L wiesen in der Länge der Klebefahne mit ca. 0.20mm ebenfalls ähnliche Werte auf. Admira mit 0.49mm und Tetric EvoCeram mit 0.11mm Klebefahne waren deutlich unterschiedlich. Niedrigste MAK und kürzeste Fahne wurden mit Grandio erreicht (0.24N,0.11mm).

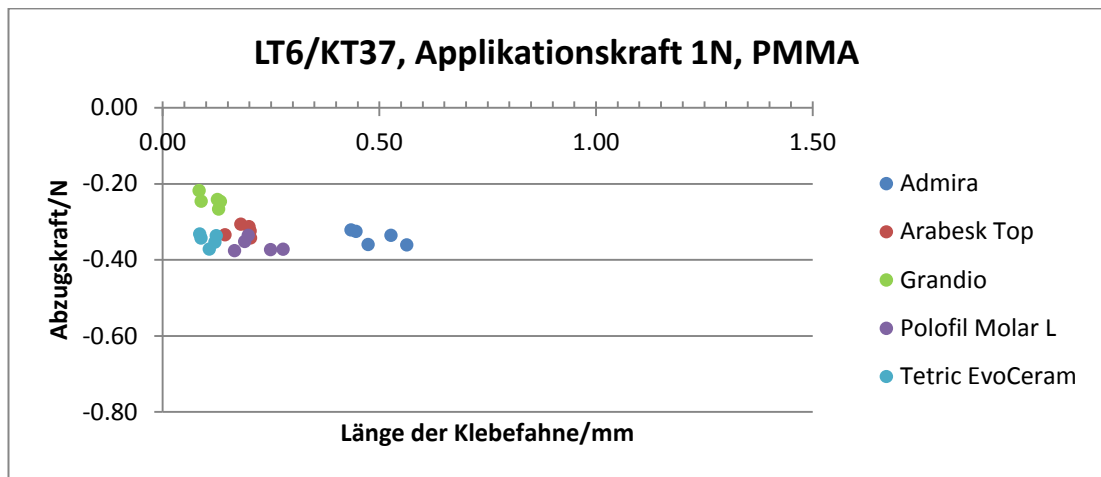


Abbildung 38: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/37, 1N, PMMA

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 46: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/37, 1N, PMMA

MAK [N]	Klebefahne [mm]	
-0.34 ± 0.02	0.49 ± 0.05	Admira
-0.32 ± 0.01	0.19 ± 0.03	Arabesk Top
-0.24 ± 0.02	0.11 ± 0.02	Grandio
-0.36 ± 0.02	0.22 ± 0.05	Polofil Molar L
-0.35 ± 0.02	0.11 ± 0.02	Tetric EvoCeram

5. Ergebnisse

LT25/KT37: Arabesk Top und Tetric EvoCeram wiesen sowohl gleiche MAK (0.34N), als auch gleiche Länge der Klebefahne (0.07mm) auf. Admira und Polofil Molar L zeigten mit 0.31N gleiche MAK, unterschieden sich aber in der Länge der Klebefahne mit 0.52mm (Admira) und 0.19mm (Polofil Molar L) deutlich. Die niedrigsten Werte erreicht Grandio mit 0.21N und 0.15mm.

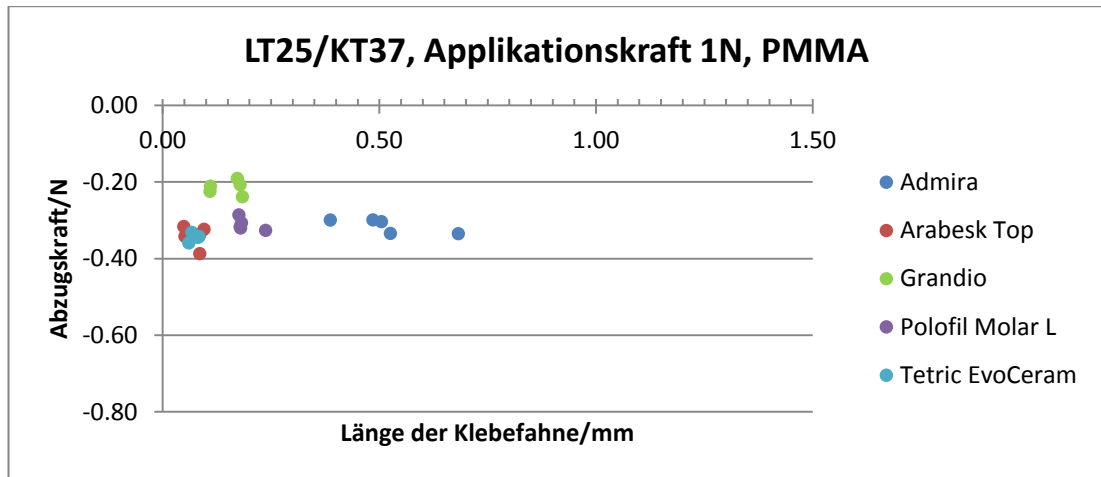


Abbildung 39: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/37, 1N, PMMA

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 47: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/37, 1N, PMMA

MAK [N]	Klebefahne [mm]	
-0.31 ± 0.02	0.52 ± 0.11	Admira
-0.34 ± 0.03	0.07 ± 0.02	Arabesk Top
-0.21 ± 0.02	0.15 ± 0.04	Grandio
-0.31 ± 0.02	0.19 ± 0.03	Polofil Molar L
-0.34 ± 0.01	0.07 ± 0.01	Tetric EvoCeram

5.4.3.2 Applikationskraft 1N, Typ der Kavität: natürlicher Zahn

LT6/KT25: Arabesk Top, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram zeigten mit 0.29N die gleiche MAK. Polofil Molar L und Tetric EvoCeram wiesen mit ca. 0.20mm die gleiche Länge der Klebefahne auf. Arabesk Top unterschied sich mit 0.67mm deutlich. Höchste MAK (0.37N) und Klebefahne (0.70mm) erreichte Admira, die niedrigste MAK (0.17N) Grandio.

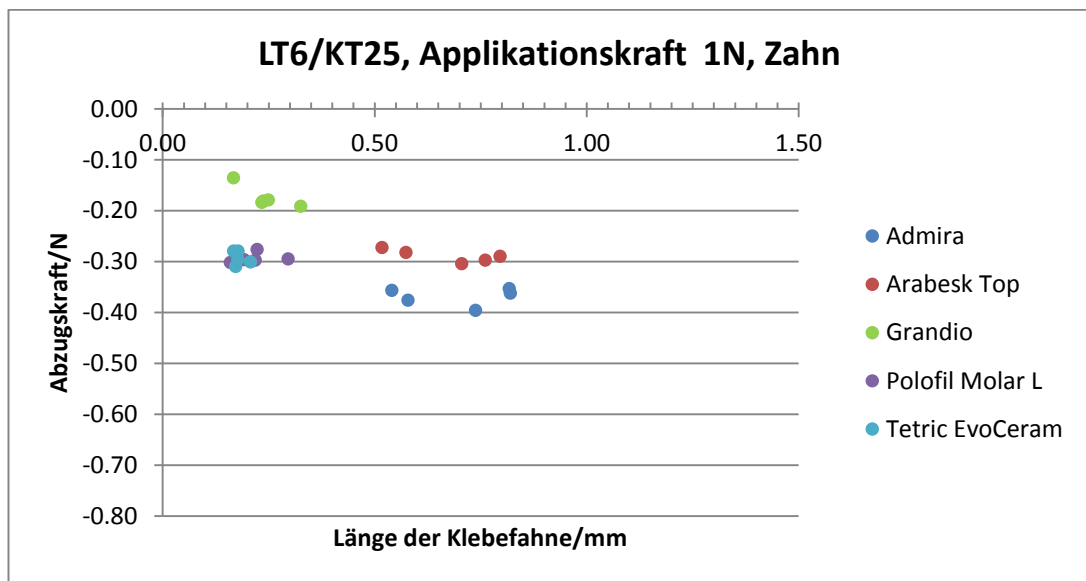


Abbildung 40: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/25, 1N, Zahn

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 48: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/25, 1N, Zahn

MAK [N]	Klebefahne[mm]	
-0.37 ± 0.02	0.70 ± 0.13	Admira
-0.29 ± 0.01	0.67 ± 0.12	Arabesk Top
-0.17 ± 0.02	0.24 ± 0.06	Grandio
-0.29 ± 0.01	0.22 ± 0.05	Polofil Molar L
-0.29 ± 0.01	0.18 ± 0.02	Tetric EvoCeram

5. Ergebnisse

LT25/KT25: Grandio, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram zeigten mit ca. 0.23mm gleiche Längen der Klebefahnen, hatten aber unterschiedlich hohe MAKs (Grandio 0.19N, Polofil Molar L 0.29N und Tetric EvoCeram 0.31N). Deutlich längere Klebefahnen hatten Admira (0.67mm) und Arabesk Top (0.59mm). Diese wiesen MAK von 0.37N (Admira) und 0.29N (Arabesk Top) auf.

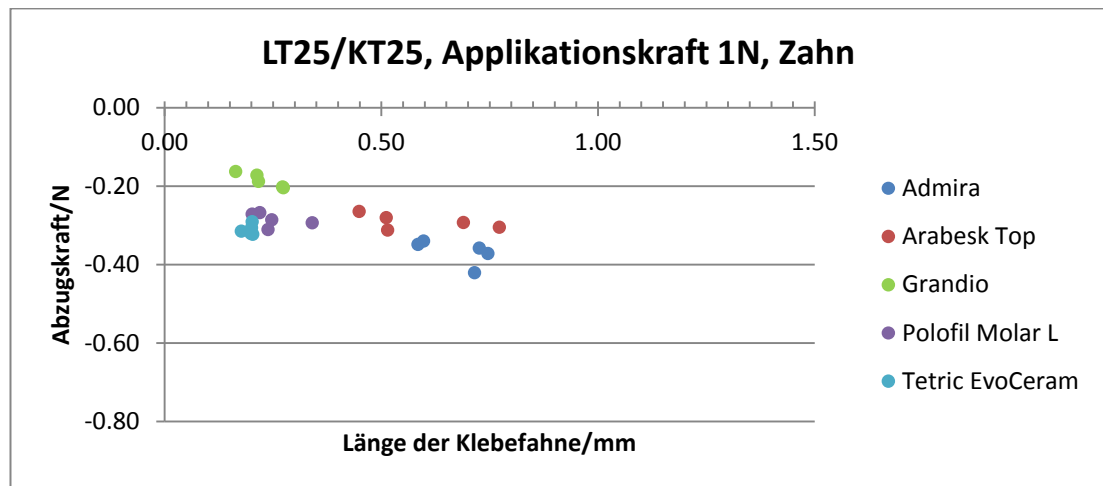


Abbildung 41: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/25, 1N, Zahn

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 49: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/25, 1N, Zahn

MAK [N]	Klebefahne [mm]	
-0.37 ± 0.03	0.67 ± 0.08	Admira
-0.29 ± 0.02	0.59 ± 0.14	Arabesk Top
-0.19 ± 0.02	0.23 ± 0.05	Grandio
-0.29 ± 0.02	0.25 ± 0.05	Polofil Molar L
-0.31 ± 0.01	0.20 ± 0.01	Tetric EvoCeram

5. Ergebnisse

LT6/KT37: Admira, Arabesk Top, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram zeigten mit ca. 0.31N gleiche MAKs. Die Längen der Klebefahnen variierten zwischen 0.07mm (Tetric EvoCeram) und 0.51mm (Admira) deutlich. Bei Arabesk Top und Polofil Molar L waren sie mit 0.19mm und 0.16mm annähernd gleich lang. Grandio erreichte eine MAK von 0.22N und eine Klebefahne von 0.09mm.

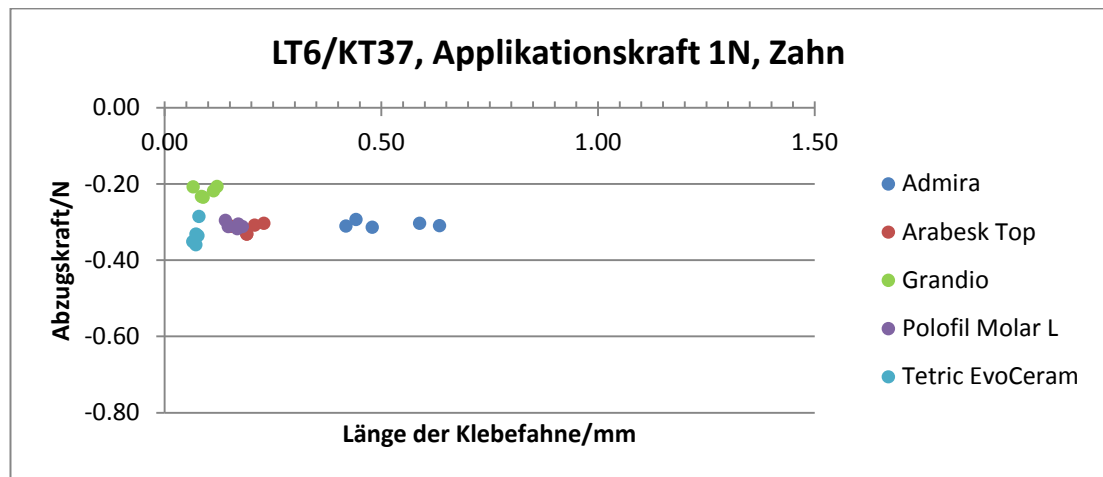


Abbildung 42: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/37, 1N, Zahn

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 50: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/37, 1N, Zahn

MAK [N]	Klebefahne [mm]	
-0.31 ± 0.01	0.51 ± 0.09	Admira
-0.32 ± 0.01	0.19 ± 0.03	Arabesk Top
-0.22 ± 0.01	0.09 ± 0.02	Grandio
-0.31 ± 0.01	0.16 ± 0.02	Polofil Molar L
-0.33 ± 0.03	0.07 ± 0.01	Tetric EvoCeram

5. Ergebnisse

LT25/KT37: Admira, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram zeigten mit ca. 0.32N gleiche MAKs. Die Längen der Klebefahne variierten von 0.09mm (Tetric EvoCeram) bis 0.51mm (Admira). Polofil Molar wies eine Klebefahne von 0.26mm auf. Die geringste MAK erreichte Grandio mit 0.18N und einer Klebefahne von 0.17mm. Die zweitlängste Klebefahne in dieser Temperaturgruppe wies Arabesk Top mit 0.43mm bei einer MAK von 0.28N auf.

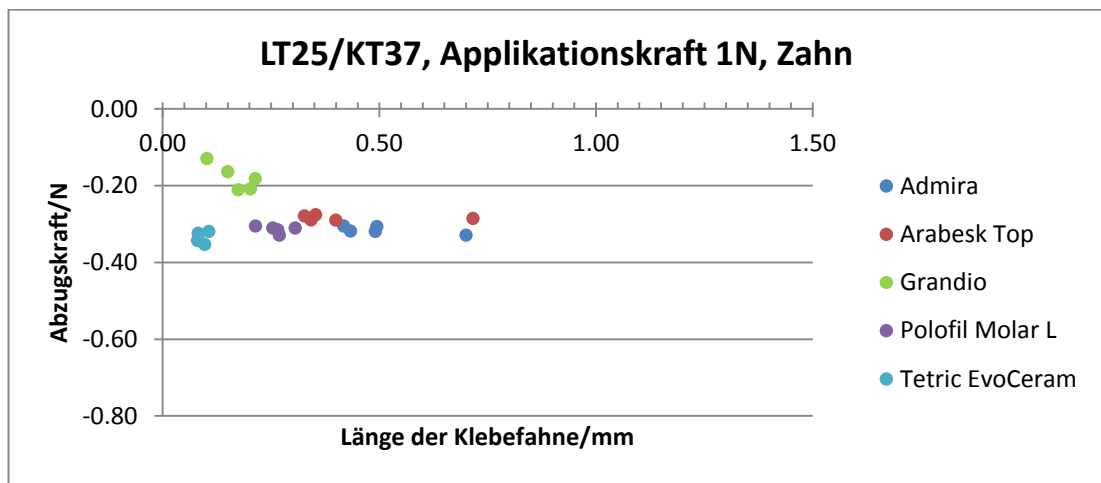


Abbildung 43: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/37, 1N, Zahn

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 51: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/37, 1N, Zahn

MAK [N]	Klebefahne [mm]	
-0.32 ± 0.01	0.51 ± 0.11	Admira
-0.28 ± 0.01	0.43 ± 0.16	Arabesk Top
-0.18 ± 0.03	0.17 ± 0.04	Grandio
-0.31 ± 0.01	0.26 ± 0.03	Polofil Molar L
-0.34 ± 0.01	0.09 ± 0.01	Tetric EvoCeram

5.4.3.3 Applikationskraft 2N, Typ der Kavität: PMMA

LT6/KT25: Grandio, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram zeigten bei ca. 0.13mm langen Klebefahnen unterschiedliche MAKs zwischen 0.34N (Grandio), 0.45N (Polofil Molar L) und 0,51N (Tetric EvoCeram). Admira und Tetric EvoCeram wiesen bei annähernd gleicher MAK (0.50N) deutliche Unterschiede in der Länge der Klebefahne (0.39mm Admira und 0.14mm Tetric EvoCeram) auf. Arabesk Top erreichte mit einer MAK von 0,49N eine 0.22mm lange Klebefahne.

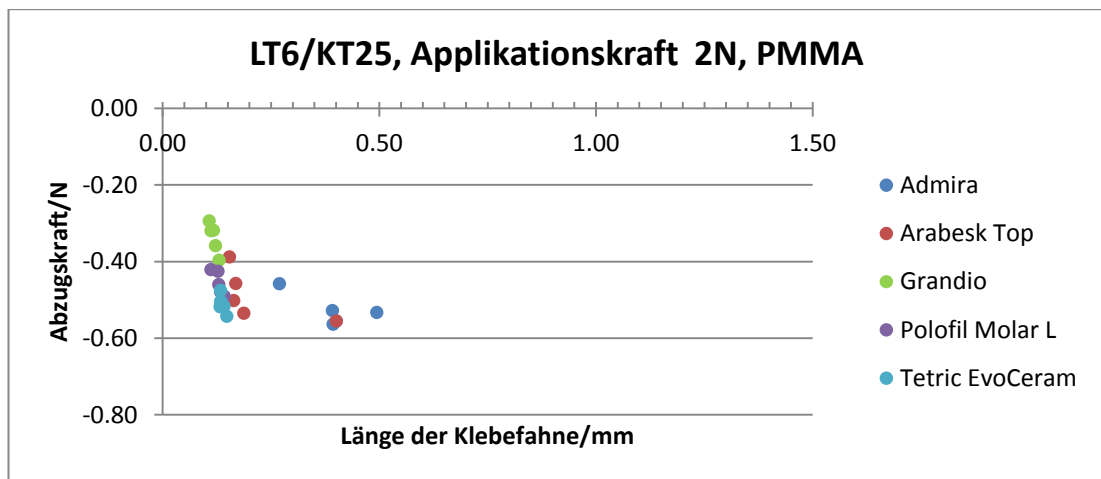


Abbildung 44: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/25, 2N, PMMA

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 52: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/25, 2N, PMMA

MAK [N]	Klebefahne [mm]	
-0.53 ± 0.04	0.39 ± 0.08	Admira
-0.49 ± 0.07	0.22 ± 0.10	Arabesk Top
-0.34 ± 0.04	0.12 ± 0.01	Grandio
-0.45 ± 0.03	0.13 ± 0.01	Polofil Molar L
-0.51 ± 0.02	0.14 ± 0.01	Tetric EvoCeram

5. Ergebnisse

LT25/KT25: Die Länge der Klebefahne ist bei Arabesk Top, Grandio, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram mit ca. 0.15mm gleich. Die MAKs wiesen mit 0.61N (Arabesk Top), 0.31N (Grandio), 0.50N (Polofil Molar L) und 0.55N (Tetric EvoCeram) Unterschiede auf. Der klebrigste Kunststoff in dieser Temperaturgruppe war Admira mit 0.48N und 0.42mm.

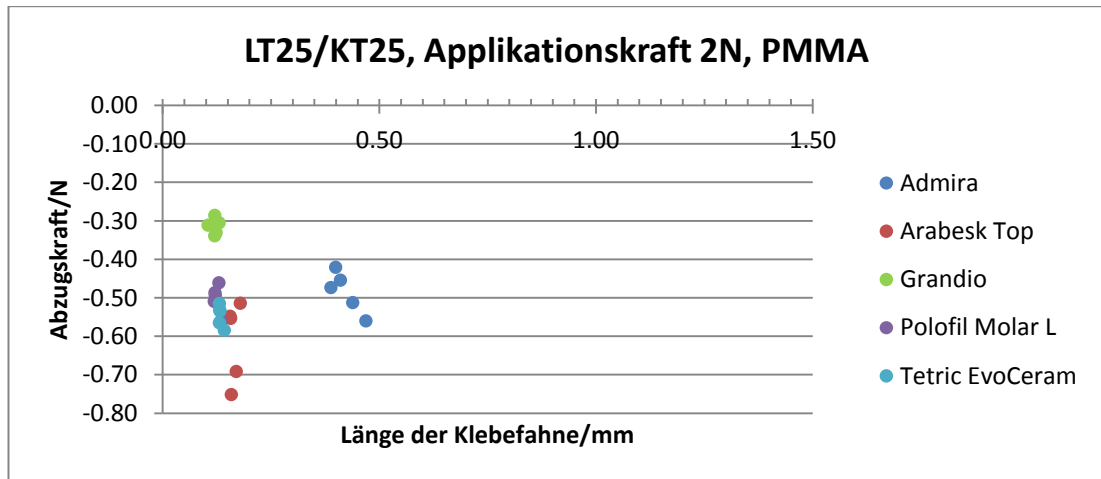


Abbildung 45: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/25, 2N, PMMA

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 53: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/25, 2N, PMMA

MAK [N]	Klebefahne [mm]	
-0.48 ± 0.05	0.42 ± 0.03	Admira
-0.61 ± 0.10	0.16 ± 0.01	Arabesk Top
-0.31 ± 0.02	0.12 ± 0.01	Grandio
-0.50 ± 0.04	0.13 ± 0.01	Polofil Molar L
-0.55 ± 0.03	0.13 ± 0.00	Tetric EvoCeram

5. Ergebnisse

LT6/KT37: War bei allen Materialien die Länge der Klebefahne mit ca. 0.10mm gleich, wiesen die MAKs mit 0.45N (Admira), 0.51N (Arabesk Top), 0.34N (Grandio), 0.47N (Polofil Molar L) und 0.45N (Tetric EvoCeram) Unterschiede auf.

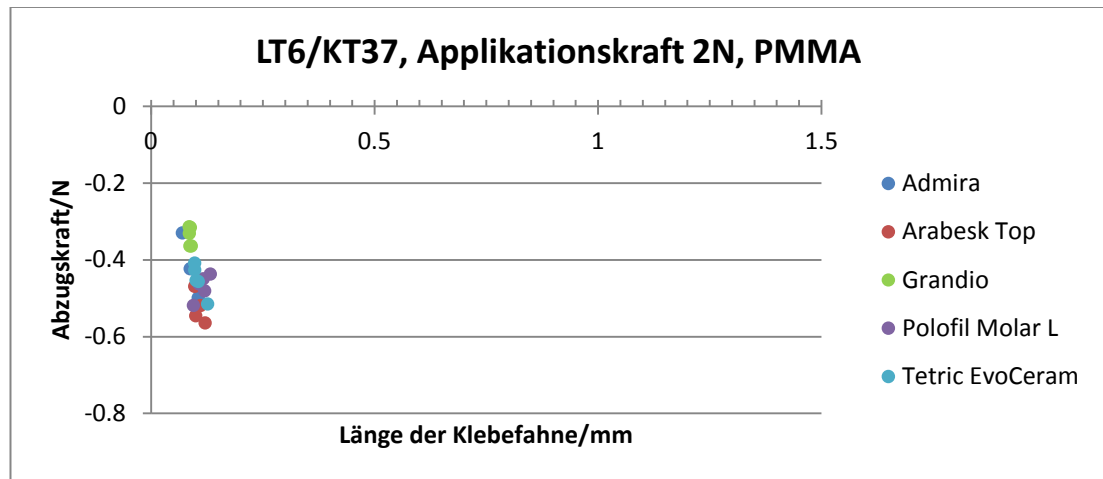


Abbildung 46: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/37, 2N, PMMA

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 54: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/37, 2N, PMMA

MAK [N]	Klebefahne [mm]	
-0.45 ± 0.07	0.10 ± 0.02	Admira
-0.51 ± 0.05	0.11 ± 0.01	Arabesk Top
-0.34 ± 0.02	0.09 ± 0.00	Grandio
-0.47 ± 0.03	0.11 ± 0.01	Polofil Molar L
-0.45 ± 0.04	0.11 ± 0.01	Tetric EvoCeram

5. Ergebnisse

LT25/KT37: Mit MAKs zwischen 0.43N (Admira), 0.45N (Polofil Molar L und Tetric EvoCeram) und 0.46N (Arabesk Top) und Klebefahnenlängen um 0.05mm sind die Materialien in dieser Temperaturgruppe nicht zu unterscheiden. Lediglich Grandio differierte mit einer MAK von 0.31N.

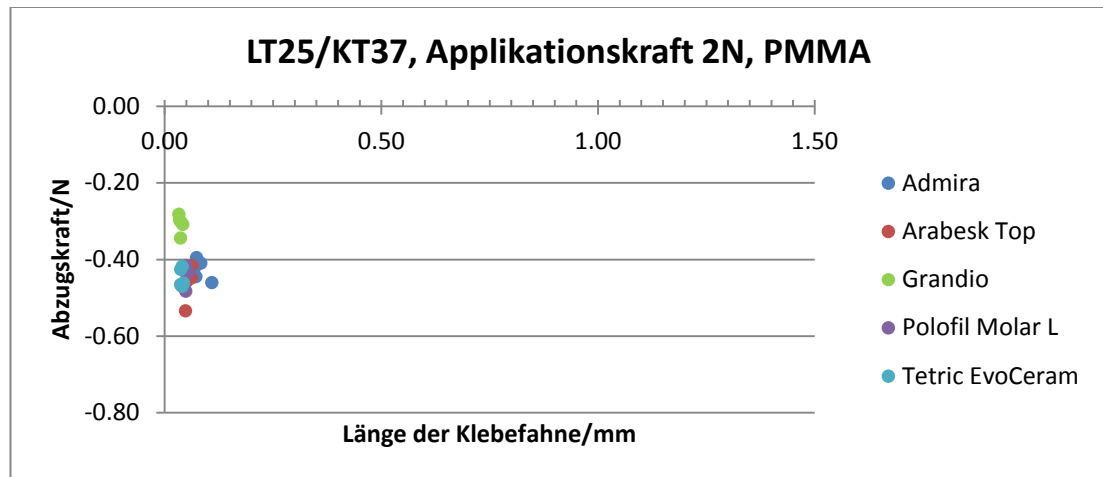


Abbildung 47: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/37, 2N, PMMA

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 55: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/37, 2N, PMMA

MAK [N]	Klebefahne [mm]	
-0.43 ± 0.03	0.08 ± 0.02	Admira
-0.46 ± 0.05	0.05 ± 0.01	Arabesk Top
-0.31 ± 0.02	0.04 ± 0.00	Grandio
-0.45 ± 0.03	0.05 ± 0.01	Polofil Molar L
-0.45 ± 0.02	0.04 ± 0.00	Tetric EvoCeram

5.4.3.4 Applikationskraft 2N, Typ der Kavität: natürlicher Zahn

LT6/KT25: Arabesk Top, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram liesen sich mit einer MAK von ca. 0.48N und einer Klebefahnenlänge von 0.06mm kaum unterscheiden. Deutliche Unterschiede wiesen Admira und Grandio mit MAKs von 0.54N (Admira) und 0.33N (Grandio) und einer Länge der Klebefahne von 0.17mm (Admira) und 0.05mm (Grandio) auf.

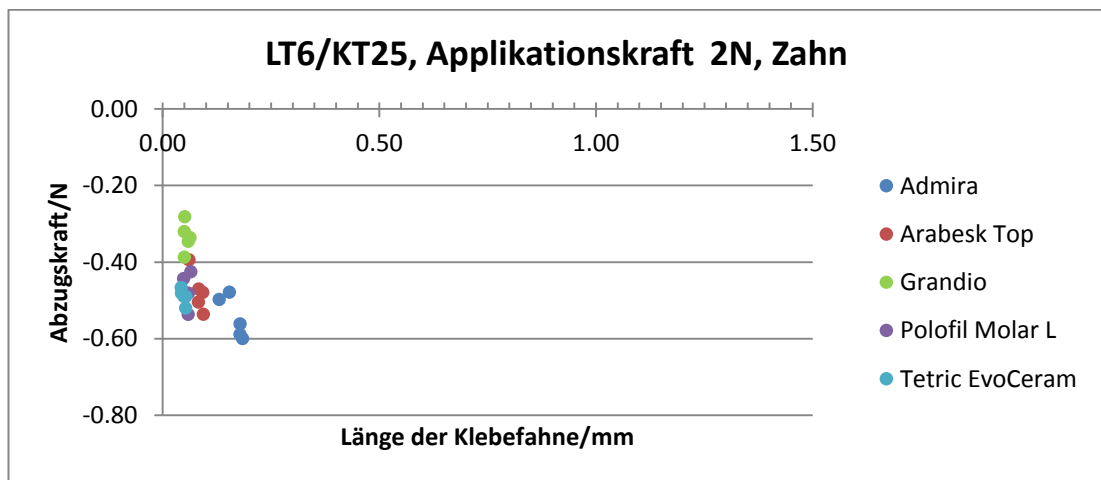


Abbildung 48: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/25, 2N, Zahn

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 56: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/25, 2N, Zahn

MAK [N]	Klebefahne [mm]	
-0.54 ± 0.05	0.17 ± 0.02	Admira
-0.48 ± 0.05	0.08 ± 0.01	Arabesk Top
-0.33 ± 0.04	0.05 ± 0.01	Grandio
-0.47 ± 0.04	0.06 ± 0.01	Polofil Molar L
-0.49 ± 0.02	0.05 ± 0.01	Tetric EvoCeram

5. Ergebnisse

LT25/KT25: Arabesk Top, Grandio, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram zeigten bei einer Länge der Klebefahne von ca. 0.06mm keine Unterschiede. Bei Arabesk Top, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram waren die MAKs mit ca. 0.49N gleich. Lediglich Grandio war durch die MAK von 0.31N von den anderen zu unterscheiden. Admira war mit einer MAK von 0.53N und einer Klebefahne von 0.15mm das klebrigste Material.

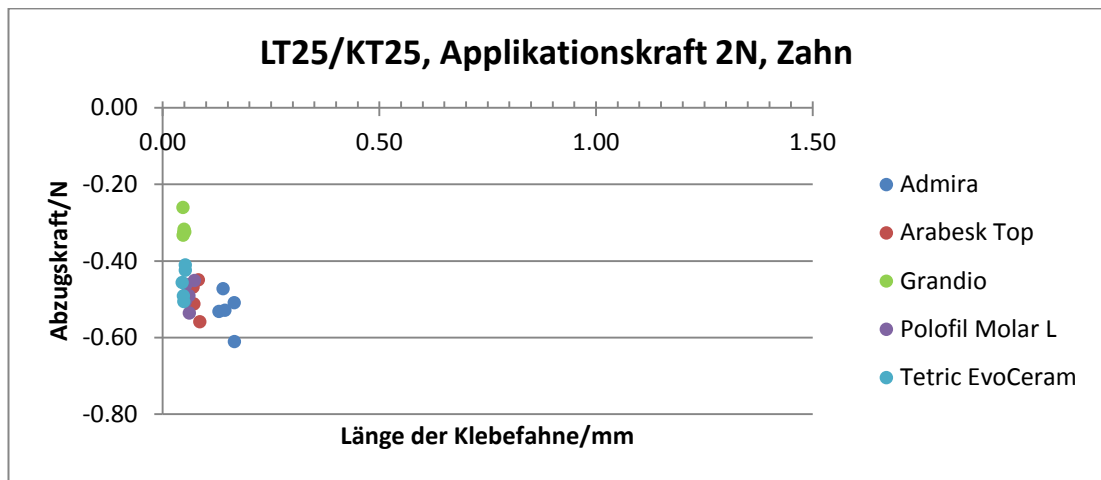


Abbildung 49: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/25, 2N, Zahn

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 57: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/25, 2N, Zahn

MAK [N]	Klebefahne [mm]	
-0.53 ± 0.05	0.15 ± 0.02	Admira
-0.49 ± 0.05	0.08 ± 0.01	Arabesk Top
-0.31 ± 0.03	0.05 ± 0.00	Grandio
-0.49 ± 0.03	0.06 ± 0.01	Polofil Molar L
-0.46 ± 0.04	0.05 ± 0.00	Tetric EvoCeram

5. Ergebnisse

LT6/KT37: Durch die Länge der Klebefahne von 0.11mm konnte Grandio von Admira, Arabesk Top, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram, die eine Klebefahne von 0.06mm aufwiesen, unterschieden werden. Die MAKs der Materialien betragen 0.49N (Admira), 0.50N (Arabesk Top), 0.24N (Grandio), 0.34N Polofil Molar L und 0.44N Tetric EvoCeram.

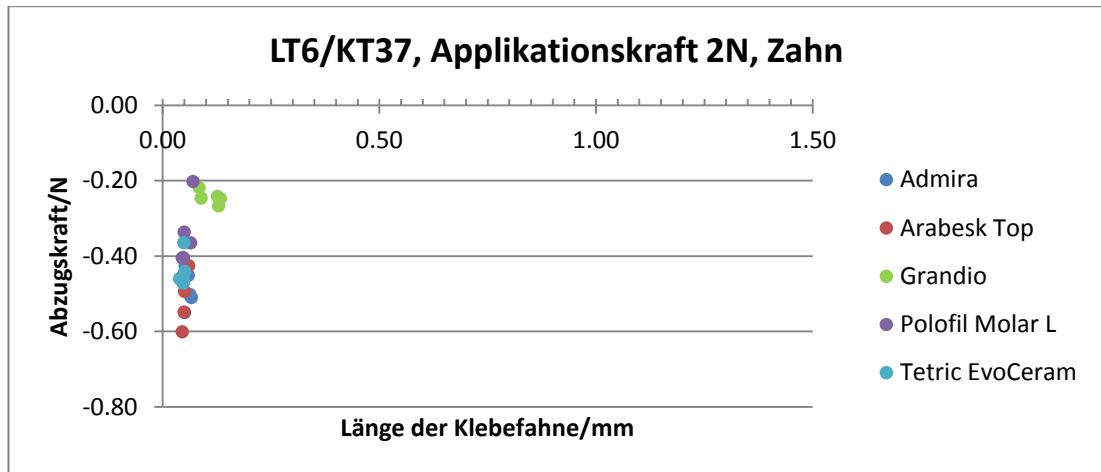


Abbildung 50: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/37, 2N, Zahn

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 58: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/37, 2N, Zahn

MAK [N]	Klebefahne [mm]	
-0.49 ± 0.05	0.06 ± 0.01	Admira
-0.50 ± 0.07	0.05 ± 0.01	Arabesk Top
-0.24 ± 0.02	0.11 ± 0.02	Grandio
-0.34 ± 0.08	0.06 ± 0.01	Polofil Molar L
-0.44 ± 0.04	0.05 ± 0.00	Tetric EvoCeram

5. Ergebnisse

LT25/KT37: Admira, Arabesk Top und Tetric EvoCeram wiesen weder Unterschiede in der Länge der Klebefahne (0.06mm) noch bei der MAK (0.48N) auf. Grandio und Polofil Molar L zeigten bei ca. 0.05mm langen Klebefahnen unterschiedliche MAKs zwischen 0.31N (Grandio) und 0.44N (Polofil Molar L).

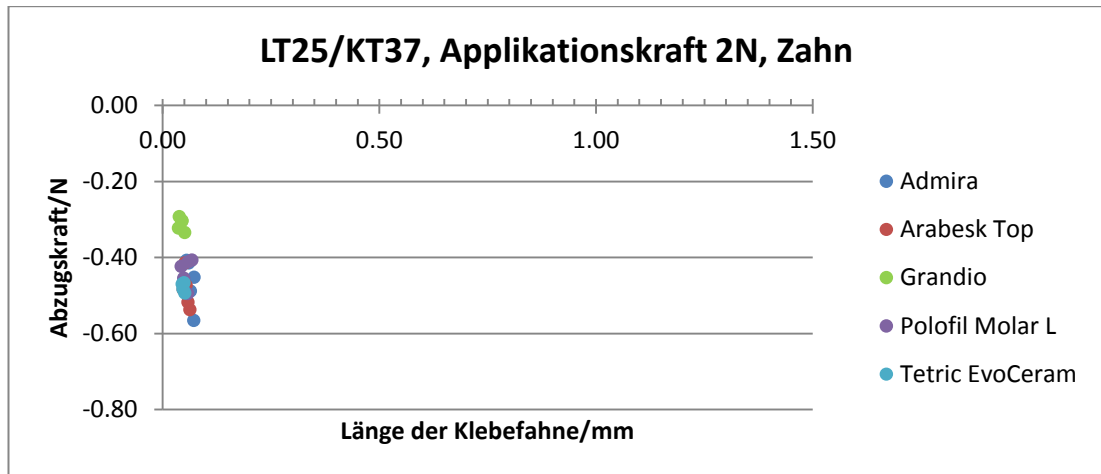


Abbildung 51: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/27, 2N, Zahn

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in N und die mittlere Länge der Klebefahne.

Tabelle 59: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/37, 2N, Zahn

MAK [N]	Klebefahne [mm]	
-0.47 ± 0.06	0.06 ± 0.01	Admira
-0.49 ± 0.05	0.05 ± 0.01	Arabesk Top
-0.31 ± 0.02	0.04 ± 0.01	Grandio
-0.44 ± 0.04	0.06 ± 0.01	Polofil Molar L
-0.48 ± 0.01	0.05 ± 0.00	Tetric EvoCeram

5. Ergebnisse

Die Signifikanzwerte von Abzugskraft und Klebefahne sind unter Berücksichtigung von Applikationskraft, Kavitätenmaterial, Lagerungs- und Kavitätentemperatur in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 60: Signifikanzwerte der Abzugskraft und Klebefahne (p=0.05)

		Abzugskraft	Klebefahne
Applikationskraft		0.000	0.000
Kavität		0.140	0.176
Lagerungs- und Kavitätentemp.		0.455	0.000
Lagerung 6°/25 °C	KT25	0.878	0.960
	KT37	0.624	0.996
Kavitätentemp. 25°/37°C	LT6	0.411	0.000
	LT25	0.176	0.000

5.4.4 Abzugsarbeit

Im Rahmen des dritten Versuches wurde anhand der gewonnenen Daten eines einzelnen Eintauch- und Abzugsvorgangs je ein Diagramm erstellt. Ein Beispiel ist in Abbildung 8 gezeigt. Unter Berücksichtigung der gefahrenen Wegstrecke und der aufgewendeten Kraft konnte nun hieraus die dabei verrichtete Abzugsarbeit ermittelt werden.

5.4.4.1 Abzugsarbeit LT6/KT25

Admira und Arabesk Top zeigten bei LT6/KT25 und bei den Belastungen 1 und 2N mit Werten zwischen 14.43 und 25.98Nmm die höchsten MAA. Die geringste MAA wurde bei Polofil Molar L mit 4.52Nmm mit der Humanzahnkavität und 2N Belastung gemessen. Grandio, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram wiesen Werten zwischen 4.52 und 8.51Nmm auf.

5. Ergebnisse

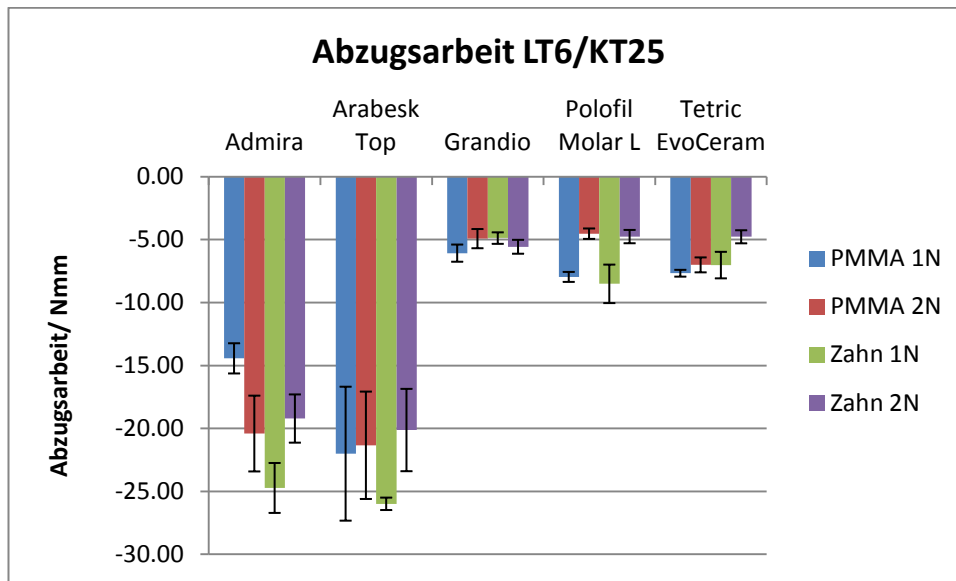


Abbildung 52: MAA für LT6/KT25

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in Nmm mit der jeweiligen Standardabweichung.

Tabelle 61: Mittlere Abzugsarbeit und Standardabweichung für LT6/KT25

Kunststoff	MAA[Nmm]	Stabw	Kavität/Belastung
Admira	-14.43 ± 1.20		PMMA 1N
Arabesk Top	-22.00 ± 5.32		
Grandio	-6.07 ± 0.68		
Polofil Molar L	-7.96 ± 0.40		
Tetric EvoCeram	-7.67 ± 0.27		
Admira	-20.40 ± 3.01		PMMA 2N
Arabesk Top	-21.33 ± 4.27		
Grandio	-4.92 ± 0.76		
Polofil Molar L	-4.52 ± 0.41		
Tetric EvoCeram	-7.00 ± 0.59		

5. Ergebnisse

Admira	-24.72 ± 1.98	Zahn 1N
Arabesk Top	-25.98 ± 0.49	
Grandio	-4.87 ± 0.46	
Polofil Molar L	-8.51 ± 1.53	
Tetric EvoCeram	-7.02 ± 1.05	
Admira	-19.21 ± 1.92	Zahn 2N
Arabesk Top	-20.12 ± 3.27	
Grandio	-5.56 ± 0.55	
Polofil Molar L	-4.75 ± 0.53	
Tetric EvoCeram	-4.77 ± 0.52	

5.4.4.2 Abzugsarbeit LT25/KT25

Die geringsten MAA erreichte Grandio mit Werten zwischen 3.20 und 6.23Nmm. Polofil Molar L und Tetric EvoCeram waren mit Werten zwischen 3.78 und 7.96Nmm kaum zu unterscheiden. Die höchste MAA erreichte Admira bei der Humanzahnkavität und 1N Belastung mit 26.60Nmm. Für Arabesk Top konnten für alle Belastungen und Kavitäten MAAs um 20Nmm gemessen werden.

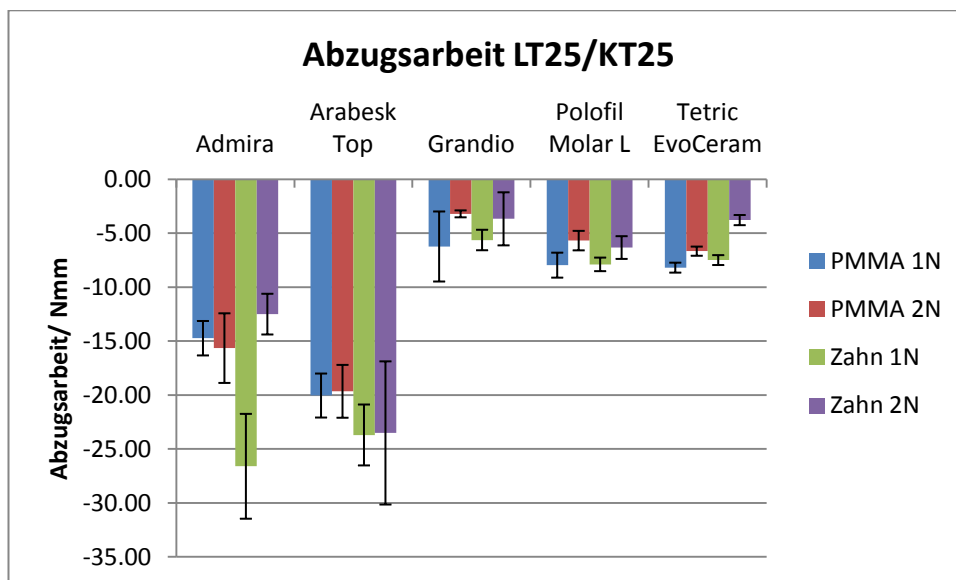


Abbildung 53: MAA für LT25/KT25

5. Ergebnisse

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in Nmm mit der jeweiligen Standardabweichung.

Tabelle 62: Mittlere Abzugsarbeit und Standardabweichung für LT25/KT25

Kunststoff	MAA[Nmm]	Stabw	Kavität/Belastung
Admira	-14.73 ± 1.60		PMMA 1N
Arabesk Top	-20.04 ± 2.04		
Grandio	-6.23 ± 3.25		
Polofil Molar L	-7.96 ± 1.16		
Tetric EvoCeram	-8.19 ± 0.46		
Admira	-15.65 ± 3.23		PMMA 2N
Arabesk Top	-19.65 ± 2.45		
Grandio	-3.20 ± 0.32		
Polofil Molar L	-5.68 ± 0.90		
Tetric EvoCeram	-6.66 ± 0.42		
Admira	-26.60 ± 4.86		Zahn 1N
Arabesk Top	-23.70 ± 2.82		
Grandio	-5.63 ± 0.95		
Polofil Molar L	-7.89 ± 0.63		
Tetric EvoCeram	-7.49 ± 0.46		
Admira	-12.50 ± 1.89		Zahn 2N
Arabesk Top	-23.51 ± 6.63		
Grandio	-3.66 ± 2.46		
Polofil Molar L	-6.33 ± 1.05		
Tetric EvoCeram	-3.78 ± 0.47		

5.4.4.3 Abzugsarbeit LT6/KT37

Admira und Arabesk Top zeigten bei den Belastungen 1 und 2N mit Werten zwischen 16.28 und 37.83Nmm die höchste MAA. Die geringste MAA wurde bei Tetric EvoCeram mit 3.49Nmm mit der Humanzahnkavität und 2N Belastung gemessen. Grandio und Polofil Molar L wiesen Werten zwischen 5.42 und 12.63Nmm auf.

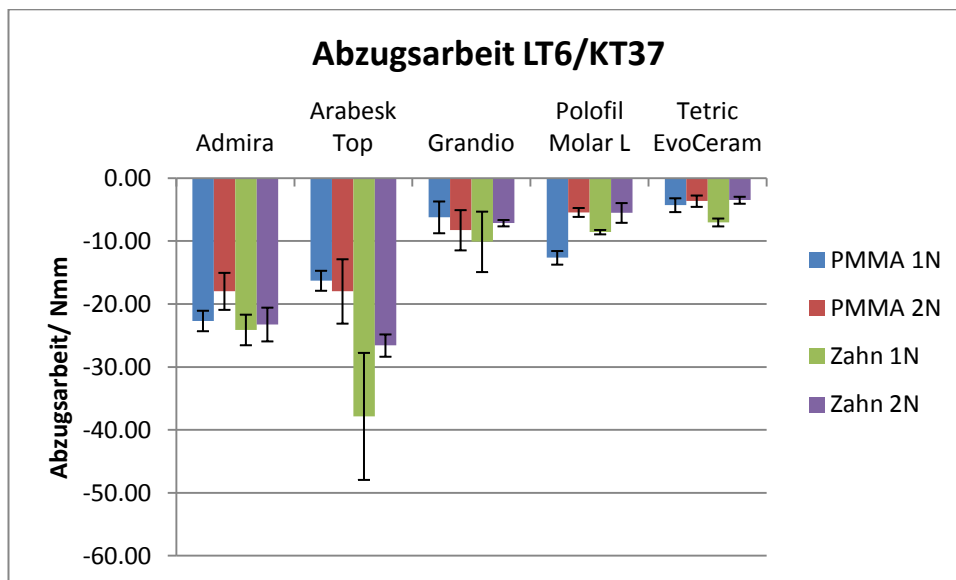


Abbildung 54: MAA für LT6/KT37

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in Nmm mit der jeweiligen Standardabweichung.

5. Ergebnisse

Tabelle 63: Mittlere Abzugsarbeit und Standardabweichung für LT6/KT37

Kunststoff	MAA[Nmm]	Stabw	Kavität/Belastung
Admira	-22.67 ± 1.63		PMMA 1N
Arabesk Top	-16.28 ± 1.59		
Grandio	-6.21 ± 2.52		
Polofil Molar L	-12.63 ± 1.08		
Tetric EvoCeram	-4.27 ± 1.10		
Admira	-17.97 ± 2.94		PMMA 2N
Arabesk Top	-17.98 ± 5.11		
Grandio	-8.25 ± 3.20		
Polofil Molar L	-5.42 ± 0.71		
Tetric EvoCeram	-3.64 ± 0.90		
Admira	-24.10 ± 2.43		Zahn 1N
Arabesk Top	-37.83 ± 10.09		
Grandio	-10.10 ± 4.80		
Polofil Molar L	-8.56 ± 0.35		
Tetric EvoCeram	-7.02 ± 0.62		
Admira	-23.23 ± 2.68		Zahn 2N
Arabesk Top	-26.58 ± 1.77		
Grandio	-7.13 ± 0.51		
Polofil Molar L	-5.50 ± 1.57		
Tetric EvoCeram	-3.49 ± 0.55		

5.4.4.4 Abzugsarbeit LT25/KT37

Bei Arabesk Top waren die MAA um 28Nmm am höchsten. Bei Admira schwankten die Werte je nach Belastung zwischen 10.0 und 26.92Nmm. Die niedrigste MAA erreichte Grandio bei 2N Belastung am Humanzahn mit 4.0Nmm. Die geleistete Abzugsarbeit bei Polofil Molar L betrug im Mittel ca. 8Nmm und bei Tetric EvoCeram ca. 6Nmm.

5. Ergebnisse

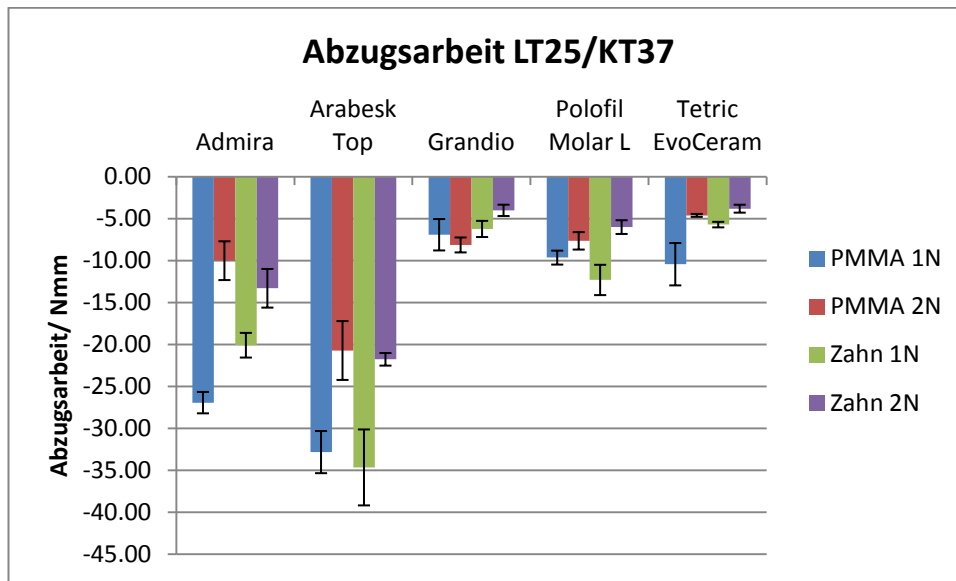


Abbildung 55: MAA für LT25/KT37

Folgende Tabelle enthält die mittlere Abzugskraft in Nmm mit der jeweiligen Standardabweichung.

Tabelle 64: Mittlere Abzugsarbeit und Standardabweichung für LT25/KT37

Kunststoff	MAA[Nmm]	Stabw	Kavität/Belastung
Admira	-26.92 ± 1.27	PMMA 1N	
Arabesk Top	-32.81 ± 2.51		
Grandio	-6.91 ± 1.87		
Polofil Molar L	-9.64 ± 0.83		
Tetric EvoCeram	-10.42 ± 2.52		
Admira	-10.00 ± 2.31	PMMA 2N	
Arabesk Top	-20.71 ± 3.51		
Grandio	-8.13 ± 0.89		
Polofil Molar L	-7.64 ± 1.04		
Tetric EvoCeram	-4.60 ± 0.17		

5. Ergebnisse

Admira	-20.08 ± 1.47	Zahn 1N
Arabesk Top	-34.64 ± 4.53	
Grandio	-6.22 ± 0.96	
Polofil Molar L	-12.30 ± 1.81	
Tetric EvoCeram	-5.70 ± 0.33	
Admira	-13.29 ± 2.30	Zahn 2N
Arabesk Top	-21.75 ± 0.75	
Grandio	-4.00 ± 0.68	
Polofil Molar L	-6.00 ± 0.82	
Tetric EvoCeram	-3.80 ± 0.47	

Die Signifikanzwerte der Abzugsarbeit sind unter Berücksichtigung der Applikationskraft, Kavitätenmaterial, Lagerungs- und Kavitätentemperatur in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 65: Signifikanzwerte der Abzugsarbeit (p=0.05)

		Abzugsarbeit
Applikationskraft		0.000
Kavität		0.237
Lagerung 6°/25 °C	KT25	0.726
	KT37	0.926
Kavitätentemp. 25°/37°C	LT6	0.405
	LT25	0.286

5.4.5 Multivarianztest

Folgende Tabelle fasst die Signifikanzwerte (**p=0.05**) des Versuchs 3 zusammen.

Die Tabelle ist wie folgt zu lesen:

Beispiel 1: vergleicht man die Abzugskraft mit den beiden Varianten Kunststoff und Lagertemperatur so ergibt sich eine signifikante (**p=0.03**) Abhängigkeit.

Beispiel 2: vergleicht man die Klebefahne mit den Varianten Lagertemperatur, Kavitätentemperatur und Applikationskraft so ergibt sich keine signifikante (**p=0.442**) Abhängigkeit.

5. Ergebnisse

Tabelle 66: Übersicht Multivarianztest

Kunststoff	Lagertemp.	Kavitätentemp.	Applikationskraft	Kavitätenmaterial	Abzugskraft	Klebefahne	Abzugsarbeit
x					0.000	0.000	0.000
	x				0.867	0.281	0.300
			x		0.000	0.000	0.000
		x			0.000	0.000	0.000
				x	0.002	0.006	0.000
x	x				0.030	0.788	0.000
x			x		0.000	0.000	0.000
x		x			0.000	0.000	0.000
x				x	0.197	0.320	0.000
	x		x		0.053	0.012	0.001
	x	x			0.867	0.258	0.599
	x			x	0.189	0.697	0.001
		x	x		0.000	0.000	0.000
			x	x	0.426	0.000	0.005
		x		x	0.404	0.000	0.806
x	x		x		0.260	0.260	0.000
x	x	x			0.749	0.758	0.037
x	x			x	0.192	0.028	0.018
x		x	x		0.006	0.000	0.005
x			x	x	0.094	0.000	0.099
x		x		x	0.001	0.087	0.000
	x	x	x		0.384	0.442	0.036
	x		x	x	0.867	0.775	0.075
	x	x		x	0.015	0.002	0.000
		x	x	x	0.985	0.442	0.087
x	x	x	x		0.194	0.787	0.036
x	x		x	x	0.175	0.529	0.046
x	x	x		x	0.189	0.116	0.000
x		x	x	x	0.071	0.000	0.000
	x	x	x	x	0.016	0.078	0.269
x	x	x	x	x	0.555	0.031	0.109

6. Diskussion

Das Platzieren von plastischen Füllungswerkstoffen in Kavitäten mit dem nachfolgenden Zurückziehen des Instrumentes führt manchmal dazu, dass das eingebrachte Material wieder mit herausgezogen wird. Dieser Sachverhalt wird von jedem Behandler beim Legen einer Füllung als störend empfunden. Solche Füllungswerkstoffe, obwohl sie sonst hervorragende Materialeigenschaften besitzen, gelten zwangsläufig als schlecht zu verarbeiten. Die Bewertung der Verarbeitungseigenschaften wurde bisher entweder durch indirekte Messungen wie die Bestimmung der Konsistenz vorgenommen oder durch erfahrene Behandler subjektiv bestimmt (Dentsply DeTrey 2005). Eine eigens für die Klebrigkeit der Füllungsmaterialien entwickelte Messmethode könnte diese Bewertung objektivieren.

6.1 Diskussion der Methode

Das Prinzip des Druck-Zug-Versuches untersucht die Klebrigkeit des Probenmaterialies so, wie sie der Zahnarzt am Patienten erfährt. Im Patientenmund wird zunächst das Füllungsmaterial – beim Applizieren – durch das Instrument auf Druck belastet und dann einer Zugbelastung – Loslösen des Instruments – ausgesetzt. Der Versuchsaufbau vollzieht somit die grundsätzlichen Bewegungsabläufe nach und ist damit sehr realitätsnah. Zusätzlich können die wichtigsten Parameter wie Eintauch-, Abzugsgeschwindigkeit und Eintauchtiefe, ohne großen Aufwand variiert werden.

6.1.1 Probenherstellung

Die Probenherstellung war Handarbeit. Wie in 4.5.2 erläutert, wurden die Kavitäten bis zum Rand hin mit Kunststoff gefüllt, wie bereits in ähnlicher Weise in Studien von Al-Sharaa und Watts beschrieben worden ist (Al-Sharaa and Watts 2003). Der gesamte Vorgang fand unter Gelblichtbedingungen statt, was ein vorzeitiges Polymerisieren verhinderte. Das Probenmaterial wurde nach der Entnahme aus den Originalbehältnissen mit einem Metallspatel in die Prüfkavität gepresst. Somit war der Materialzustand, im Vergleich zur direkten Entnahme aus der Karpule, verändert. Diese Kompression des Füllungswerkstoffes kann Einfluss auf die Eintauchtiefe bzw. auf die Eintauchkraft in den Versuchen 1 und 2 genommen haben. Ein großer Vorteil dieses Verfahren hingegen war, dass die durchsichtigen PMMA- Kavitäten optisch auf Fehlstellen wie z.B. Lufteinschlüsse oder zum Teil polymerisiertes Material geprüft und damit mögliche Fehler im Vorfeld bereits eliminiert werden konnten.

In Versuch 3 wurden die Probenportionen mittels Composite-Gun Tubes der Fa. KerrHawe/ Schweiz hergestellt. Dadurch konnte die Manipulation mit Metallspateln umgangen und homogenere Proben hergestellt werden. Diese Proben wiesen nach dem Entnehmen aus den Tubes eine zylindrische Form auf. Sie wurden seitlich mit einer Pinzette gefasst und direkt an dem im Versuch verwendeten Planstopfer befestigt. Auf diese Weise wurden die eigentlichen Klebeflächen nicht berührt und verblieben in ihrem Originalzustand, sodass es möglich wurde, Proben mit gleich guter Qualität herzustellen. Die Probenqualität konnte optisch auf ebene und glatte Oberflächen geprüft und gegebenenfalls verworfen werden.

6.1.2 Kavitätenauswahl

Im Verlauf der Versuche gestaltete es sich als schwierig, die Kavitäten so zu säubern, dass für jeden Versuch die Oberflächenbeschaffenheit der Kavität gleich blieb. Dabei fiel auf, dass sich die PMMA-Kavitäten leichter reinigen ließen als die Zahnscheiben, bei welchen die Dentintubuli immer wieder mit Komposit verklebten. Außerdem musste hier nach jeder Kunststoffprobe die auf der Kavität entstandene Schmierschicht entfernt werden. Somit bietet sich an, in Folgeversuchen der Reproduzierbarkeit halber PMMA-Scheiben zu verwenden. Auf Grund der unterschiedlichen Oberflächenenergien der Kavitätenmaterialien PMMA und Humanzahn und der damit verbundenen unterschiedlichen Oberflächenbenetzbarkeit muss zuvor gewährleistet sein, dass die Messwerte vergleichbar sind (Pospiech, P 2004; Ruyter, I.E 1995; Jendresen, M. D.; Glantz, P. O. 1981). Dazu müssen Äquivalenztests durchgeführt werden.

Um eine noch praxisnähere Simulation des Füllvorganges zu erreichen, sollten die in nachfolgenden Versuchen verwendeten Zahnscheiben oder Zahnkavitäten mit Säure-Ätz-Technik vorbehandelt und mit Bonding versehen werden (Ertl et al. 2010).

Bei Versuchen, welche speziell eine Aussage über die Klebrigkeit von Kunststoffen treffen sollen, empfiehlt es sich, Kavitäten als Scheibe oder Plättchen zu verwenden, da nur hier ein Auseinanderfließen möglich ist und ein Anhaften an der Kavitätenwand vermieden werden kann.

6.1.3 Instrumentenauswahl

Im Rahmen aller Versuche wurde ein Planstopfer der Fa. Aesculap mit der Bezeichnung DE 295R (\varnothing 1,8mm) verwendet. Bei diesem Plugger handelt es sich um ein Instrument, welches generell für alle plastische Füllungsmaterialien geeignet ist (Fa. Braun 2011). Aufgrund der Klebrigkeit der Komposite am Füllungsinstrument wurden im Laufe der Zeit Oberflächenbeschichtungen entwickelt, welche das Anhaften der Kunststoffe an den Arbeitsenden der Instrumente minimieren sollten. Hierzu zählen Titan-Nitrid-Beschichtungen, Goldbeschichtungen und Titanoxidbeschichtungen mit nanokristalliner Oberflächenstruktur (Carl Martin 2012).

In weiterführenden Versuchen könnte der Einfluss solcher Instrumentenbeschichtungen auf die Klebrigkeit (Abzugsarbeit) genauer untersucht werden. Zusätzlich kann die Stopfergeometrie variiert werden.

6.1.4 Verfahrensprobleme

Wie der Name schon sagt, ist die Universalprüfmaschine vielseitig einsetzbar und wird in der Regel von vielen Parteien genutzt. Bei der großen Zahl an Messungen, die sich naturgemäß über einen längeren Zeitraum erstrecken, war ein häufiges Auf- und Abbauen des Versuchsaufbaus unumgänglich, um die Prüfmaschine für andere zugänglich zu machen. Der Aufbau und das Justieren wurden zwar immer wieder mit der größten Sorgfalt durchgeführt, trotzdem gab es hier sicherlich ein gewisses Fehlerpotential.

Um genau reproduzierbare Messwerte zu generieren, muss der Prüfstempel exakt planparallel sein. Andernfalls kann er nicht so justiert werden, dass er senkrecht zur Probenoberfläche und diese parallel zu seiner Stirnseite ist. Ist

er falsch ausgerichtet, so kommt es vor, dass er beim Eintauchen mit einer Seite zuerst d.h. ungleichmäßig eintaucht und/ oder sich ungleichmäßig beim Abziehen löst. Dieses Problem könnte in nachfolgenden Versuchen durch die Verwendung anderer Halterungsmaterialien wie z.B. Plexiglas gelöst werden, da dieses sich, anders als das in den vorliegenden Versuchen verwendete Sperrholz, durch die Aufnahme von Luftfeuchtigkeit oder Austrocknung nicht verformt.

Eine Schwäche der Maschine ist ihre Trägheit. Leider war es nicht möglich, die Versuche mit einer einheitlichen Eintauch- und Abzugsgeschwindigkeit durchführen. Ein Problem war in Versuch 2, dass die Eintauchkraft mit 1 bzw. 2N vorgegeben war. Diese konnte jedoch mit der Fahrgeschwindigkeit wie in Versuch 1 mit 250mm/min nicht erreicht werden. Der Abbremsweg war zu lang. Deshalb konnte die Eintauchkraft nicht exakt eingestellt werden. Durch eine Verlangsamung der Eintauch- und Abzugsgeschwindigkeit auf 35mm/min konnte das Problem schließlich behoben werden.

Die mittleren Stopfkräfte wurden im Vorversuch zwischen 0.58N und 2.23N bestimmt und dadurch die Eintauchkräfte mit 1N und 2N für die Versuche 1-3 festgelegt. In Versuch 2 allerdings hat sich herausgestellt (vgl. 5.3.6), dass mit 2N Eintauchkraft der Versuch nicht auswertbar war, weil der Plugger die Probe bis auf den Kavitätenboden durchdrückte. Aus diesem Grund sollten zukünftige Versuche mit niedrigeren Eintauchkräften durchgeführt werden.

Insbesondere bei Versuch 1 stellte sich heraus, dass ein zu tiefes Eintauchen des Stopfers in die Probe die Werte hinsichtlich der reinen Klebrigkeit verfälschen kann, da Materialeigenschaften wie z.B. das Fließverhalten der Kunststoffe zum Tragen kommen, wobei sich das Material um das Instrument herum anlagert. Ein vernünftiges Maß der Eindringtiefe sollte demnach 0.5 bis 1.0mm nicht übersteigen.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit sollte die Klebrigkeit nicht ausgehärteter dentaler Kunststoffe näher untersucht werden. Zu dieser Aufgabenstellung gibt es kaum Literatur, auf die zurückgegriffen werden kann.

Bis heute ist die Klebrigkeit nur eine subjektive Einschätzung, „ein Gefühl“ des sie verwendenden Zahnarztes, welches noch nicht näher charakterisiert ist. Befragt man jedoch Praktiker nach ihrem Auswahlkriterium für Kunststoffe, so wird die Verarbeitbarkeit in der Regel in einem Zug mit anderen Kriterien wie Qualität, Haltbarkeit und optischen Eigenschaften genannt. Ziel war es folglich, in einer definierten Versuchsabfolge die Klebrigkeit verschiedener dentaler Kunststoffe als eigenständigen Parameter genauer zu beschreiben.

6.2.1 Vorversuch

Im Vorversuch (s. 4.5.1) sollte ein Überblick über die verwendeten dentalen Kunststoffe und ihre Klebrigkeit gewonnen werden. Ausschließlich in diesem Versuch war die subjektive Einschätzung, „das Gefühl“ entscheidend, welche zur Annäherung an tatsächliche Messgrößen immer unverzichtbar war.

Probanden waren dazu angehalten, die 5 zu untersuchenden Kunststoffe Admira, Arabesk Top, Grandio, Polofil Molar L und Tetric EvoCeram anhand ihrer Festigkeit, Klebrigkeit und des Gesamteindrucks unter verschiedenen Lagerungs- und Kavitätenbedingungen (Zahnkavität, Kavitätentemperatur (25°/37°) und Lagerungstemperatur des Kunststoffs (6°/25°)) mit Schulnoten zu bewerten. Zusätzlich wurde die Stopfkraft gemessen, mit welcher der Kunststoff in die Kavität eingebracht wurde.

Bei der Ermittlung dieser mittleren maximalen Stopfkraft (MMK) konnte gezeigt werden, dass innerhalb der einzelnen Temperaturgruppen zwischen den verschiedenen Materialien kaum ein Unterschied besteht. D.h. aus seiner Erfahrung heraus, wohlwissentlich der Klebrigkeit, behandelt der Zahnarzt alle plastischen Füllungsmaterialien auf PMMA-Basis gleich. Er versucht die Kraft so zu wählen, dass er mit seinem Instrument das Material an der Kavitätenwand adaptieren kann. Dabei drückt er nur so fest, dass das Instrument nicht in den Kunststoff eindringt und dieser womöglich mit ihm wieder herausgezogen wird.

Anders hingegen verhielten sich die Materialien bei unterschiedlichen Lagerungs- bzw. Kavitätentemperaturen. Es konnte gezeigt werden, dass sich ein und das selbe Material durch verschiedene Lagerungstemperaturen mit unterschiedlichen Stopfkraften verarbeiten ließ. D.h. die Kräfte der Probanden waren so angepasst, dass auch hier der Plugger den Kunststoff nicht penetrierte, sondern ebenfalls nur oberflächlich berührte. Die MMK aber für die verschiedenen Lagerungs- und Kavitätentemperaturen variierten. Es kann also die Materialeigenschaft *Festigkeit* in kleinen Bereichen durch die Lagerungstemperatur beeinflusst werden.

Die subjektive Bewertung der 3 gesuchten Eigenschaften zeigte, dass diejenigen 3 Materialien, welche als tendenziell fester auch als weniger klebrig empfunden wurden (Grandio, Polofil Molar L, Tetric EvoCeram). Gleichzeitig wurde jene Gruppe auch als am Besten verarbeitbar eingestuft (s. Abb. 10). Dieser Sachverhalt lässt die Vermutung zu, dass Festigkeit und Klebrigkeit miteinander korrelieren: zu weich wird bald als klebrig empfunden; zu fest als schlecht verarbeitbar. Die mittlere maximale Stopfkraft bewegte sich im Bereich zwischen ca. 0,5 und 2,5 N.

Tabelle 67: subjektive Einschätzung der Kunststoffe

Festigkeit (absteigend)	Klebrigkeit (aufsteigend)	Applikationsfähigkeit (absteigend)
Tetric EvoCeram	Polofil Molar L	Grandio
Polofil Molar L	Grandio	Polofil Molar L
Grandio	Tetric EvoCeram	Tetric EvoCeram
Admira	Admira	Admira
Arabesk Top	Arabesk Top	Arabesk Top

6.2.2 Versuch 1

In Versuch 1 (s. 4.5.2) wurden die Eintauch- und Abzugskraft des Instrumentes in N gemessen. Die Wegstrecke des Pluggers in eine komplett mit Kunststoff gefüllte PMMA-Kavität betrug jeweils 2 mm bei 10 Zyklen. Variabel waren die Kavitätentemperatur (25°/37°) und die Lagerungstemperatur des Kunststoffs (6°/25°). Bei allen gemessenen Versuchsreihen konnte festgestellt werden, dass über die Eintauchkraft in N scheinbar eine Aussage sowohl über die Festigkeit des Kunststoffs als auch über seine Standfestigkeit (rheologische Eigenschaften) getroffen werden kann. Dabei zeigt der erste Wert des jeweiligen Graphen (1. Zyklus) in der Regel den Absolutwert der Festigkeit. Je stärker der Abfall der Kurve in den darauffolgenden Zyklen ist, desto größer ist die Standfestigkeit des jeweiligen Kunststoffes, da er nicht mehr oder nur wenig in die Impression des Pluggers zurückfließt. So geht die gemessene Eintauchkraft schneller gegen null, wenn auf der vorgegebenen Wegstrecke wenig bis kein Kunststoff mehr verdrängt werden muss (s. Abb. 11-20).

6. Diskussion

Die für die Kurvenanpassung verwendete Funktion für den Eintauchvorgang ($y = y_0 + ae^{-bx}$) beschreibt mit ihrer Konstanten b in erster Linie die negative Steigung der Kurve. Ist diese negative Steigung, d.h. der Wert für b , groß, so geht die Eintauchkraft in den ersten gefahrenen Zyklen bereits sehr schnell gegen Null. Das bedeutet, dass der Kunststoff nicht oder nur sehr langsam wieder in die vom Plugger geformte Impression zurück fließt. Demnach besitzen eben diese Kunststoffe mit einer großen negativen Steigung im Graphen eine hohe Standfestigkeit.

Tabelle 67 zeigt, dass sich hinsichtlich der Standfestigkeit eine eindeutige Einteilung der Kunststoffe vornehmen lässt. Übereinstimmend mit der subjektiven Beurteilung der Festigkeit lassen sie sich in zwei Gruppen einteilen: Grandio – Polofil Molar L – Tetric EvoCeram mit hoher sowie Admira und Arabesk Top mit niedrigerer Standfestigkeit.

Tabelle 68: Werte für Parameter b der Kurvenanpassung, eine Aussage über die Standfestigkeit der Materialien

LT/KT	6/25	25/25	6/37	25/37
Admira	2.5	2.45	3.31	1.48
Arabesk Top	1.05	2.49	1.36	0.63
Grandio	3.83	7.19	8.45	3.92
Polofil Molar L	5.63	7.89	6.51	4.99
Tetric EvoCeram	4.45	4.34	6.52	2.41

Die zweite gemessene Kraft, die Abzugskraft, beschreibt diejenige Kraft, die aufgewendet werden musste, um das Instrument aus der kunststoffgefüllten Kavität wieder herauszuziehen. Es konnte vermutet werden, dass diese Kraft allein oder in Verbindung mit einem weiteren Parameter der Klebrigkeit entspricht. Im Laufe der Versuchsreihen stellte sich allerdings heraus, dass es, bedingt durch die jeweilige Festigkeit des Probenmaterials, nach dem

Eindringen des Pluggers zu einer Anhäufung des Kunststoffes um das Instrument kam. So entsprach die gemessene Abzugskraft nicht mehr der reinen Kraft, die es bedarf, um den Kunststoff von der unteren Fläche des Pluggers zu lösen. Allerdings, wie im Vorversuch beschrieben, wird die subjektive Klebrigkeit nur über ebendiese Fläche definiert, da der Zahnarzt in der Regel mit seinem Instrument nur oberflächlich in den Kunststoff eindringt. Somit kann mit Hilfe des Versuches 1 eine Aussage über Festigkeit und Standfestigkeit der Probe getroffen werden. Um jedoch über die Abzugskraft die reine Klebrigkeit zu definieren reicht er nicht aus.

Aus diesem Grund wurde der Versuchsaufbau in Versuch 2 den neuen Erkenntnissen angepasst.

6.2.3 Versuch 2

In Versuch 2 (s. 4.5.3) wurde nun ausschließlich die Abzugskraft des Instrumentes bei definierten Eintauchkräften in N gemessen. Die Versuchsreihe erstreckte sich erneut über 10 Zyklen bei komplett gefüllter PMMA-Kavität. Variabel waren die Kavitätentemperatur (25°/37°) und die Lagerungstemperatur des Kunststoffes (6°/25°). Die Eintauchkräfte wurden analog der Ergebnisse des Vorversuches ausgewählt, wo die Probanden im Mittel Kräfte von 0,5 – 2,5 N zum Stopfen des Kunststoffes aufwendeten. Im vorliegenden Versuch wurden demnach Kräfte von 1 und 2 N verwendet. Zusätzlich erfolgte die Bestimmung der Länge der Klebefahne beim Herausziehen des Instrumentes aus der Kavität. Die Versuchsreihen mit einer Eintauchkraft von 2 N konnten jedoch nicht ausgewertet werden, da die weicheren Kunststoffe Admira und Arabesk Top bereits bei dieser Belastung komplett durchgedrückt wurden.

6. Diskussion

Anders als im vorherigen Versuch kam es in Versuch 2 nun zu einem deutlich geringeren Anfließen des Probenmaterials an den Stopfer. Die zugehörigen Graphen zeigen für jede Probe individuelle Werte, die die Klebrigkeit näher beschreiben könnten. Für ihre Auswertung sollten nur die ersten 3-4 Zyklen betrachtet werden, da sich mit wiederholtem Eindringen die Abzugskräfte tendenziell erhöhen. Dieses Verhalten lässt sich vermutlich auf negativ thixotrope Eigenschaften der Kunststoffe zurückführen.

Tabelle 69: Abzugskraft [N] und Klebefahne [mm]

Material	Admira	Arabesk Top	Grandio	Polofil Molar L	Tetric EvoCeram
Abzugskraft/N	0.5	0.5	0.3	0.3-0.4	0.4-0.5
Klebefahne/mm	1.1-1.5	1.3-1.7	0.9-1.3	0.7-1.0	0.8-1.1

Die Auswertung der gewonnenen Ergebnisse zeigt, dass weder die Abzugskraft noch die Klebefahne allein ausreichen können, um die Klebrigkeit eines Kunststoffs zu beschreiben, da jeweils nur marginale Unterschiede bestehen. Diese Erkenntnis legt die Vermutung nahe, dass die „gefühlte“ und offensichtlich sehr eindeutig differenzierbare Klebrigkeit durch beide Parameter gleichermaßen charakterisiert werden könnte. Tabelle 69 zeigt, dass sich über die Länge der Klebefahne und die Abzugskraft in Kombination erneut deutlich die Gruppe der drei subjektiv am Besten bewerteten Kunststoffe (Grandio - Polofil Molar L - Tetric EvoCeram) von den beiden Letztplatzierten (Admira - Arabesk Top) abgrenzen lässt.

6.2.4 Versuch 3

In Versuch 3 sollten nun die letzten Störgrößen im Bezug auf die Abzugskraft ausgeschaltet werden. Der Versuchsaufbau wurde so weit verändert, dass Rheologie, Thixotropie und Rheopexie kaum noch eine Rolle spielten. Um das Anfließen des Kunststoffes an den Stopfer zu vermeiden, wurde nur noch eine definierte Portion direkt am planen Ende angebracht. Die Kavitäten wurden gegen Zahn- bzw. PMMA-Scheiben ausgetauscht, um ein Auseinanderfließen des Probenmaterials zu ermöglichen. Es wurde lediglich ein Zyklus durchgeführt, die Eintauchkräfte blieben mit 1 und 2 N konstant.

Im Vergleich zu Versuch 2 konnte gezeigt werden, dass insgesamt alle Abzugskräfte niedriger sowie alle Klebefahnen kürzer waren. Innerhalb des dritten Versuchs wurden bei einer Stopfkraft von 2 N höhere Abzugskräfte als bei 1 N gemessen. Die Klebefahnen hingegen waren bei 2 N kürzer, was vermutlich durch die geringe Restschichtstärke des fast oder komplett durchgedrückten Kunststoffes bedingt war.

Tabelle 69 zeigt die gemessenen Werte gemittelt und im Vergleich zwischen beiden Versuchen.

Tabelle 70: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm], Vergleich zwischen Versuch 2 und 3

Material	Admira	Arabesk Top	Grandio	Polofil Molar L	Tetric EvoCeram	
Abzugskraft /N	0.5	0.5	0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	Versuch 2
Klebefahne/mm	1.1-1.5	1.3-1.7	0.9-1.3	0.7-1.0	0.8-1.1	
Abzugskraft/N	0.4-0.5	0.3-0.45	0.2-0.3	0.25-0.4	0.3-0.45	Versuch 3
Klebefahne/mm	0.6	0.6-0.7	0.2-0.3	0.2-0.25	0.2-0.25	

Trägt man Abzugskraft und Klebefahne in einem Diagramm auf (s. Abb. 36 – 51), so ist erneut die subjektive Beurteilung aus dem Vorversuch erkennbar. Dabei wird der Kunststoff analog seiner Position im Diagramm von oben nach unten und von links nach rechts zunehmend als klebriger sowie schlechter verarbeitbar eingestuft. Somit wurde auch hier wieder deutlich, dass Abzugskraft und Klebefahne gleichermaßen zur Empfindung „Klebrigkeit“ beitragen. Nun wurde versucht ein Parameter zu finden, der beide Eigenschaften in sich vereint. Bereits in den in diesem Abschnitt der Arbeit erstellten Diagrammen ließ sich die Abzugsarbeit ablesen, welche definiert ist als Kraft x Weg oder genauer Abzugskraft x Klebefahne.

Um die Abzugsarbeit genau darzustellen, wurden die gemessenen Kräfte während des Abzugsvorgangs solange aufsummiert, bis die Abzugskraft wieder den Wert Null erreicht hatte. Die dazugehörigen Diagramme zeigen die Abbildungen 52 bis 55.

Tabelle 70 macht deutlich, dass mit der Abzugsarbeit ein einziger Wert ausreicht, um die Klebrigkeit näher zu beschreiben. Auch hier lassen sich erneut die beiden bekannten Kunststoffgruppen klar voneinander abgrenzen.

Tabelle 71: Mittlere Abzugsarbeit (MAA) [Nmm]

LT/KT	6/25	25/25	6/37	25/37
Admira	19.7	17.4	22.0	17.6
Arabesk Top	22.4	21.7	24.7	27.5
Grandio	5.4	4.7	7.9	6.3
Polofil Molar L	6.4	7.0	8.0	8.9
Tetric EvoCeram	6.6	6.5	4.6	6.1

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Abzugsarbeit als einzelner, Arbeit und Klebefahne vereinender Parameter wohl die Klebrigkeit am besten darstellt beziehungsweise sie am genauesten beschreiben kann. Mit der Abzugsarbeit wurde ein Parameter gefunden, der sowohl leicht zu ermitteln wie auch leicht zu vergleichen ist.

Grundsätzlich zeigte sich, dass die subjektiven Einschätzungen der Klebrigkeit mit den durchgeführten Versuchen zwar in der Tendenz, nicht aber immer in gleicher Reihenfolge übereinstimmend dargestellt werden konnten. So konnten die Messwerte immer mit großem Abstand die subjektiv bessere Gruppe von der schlechteren unterscheiden, nicht aber zuverlässig die Abfolge innerhalb der Gruppen wiedergeben. Dieses mag daran liegen, dass sich die Kunststoffe innerhalb ihrer Gruppe sehr ähnlich waren bzw. sich zwischen ihnen keine großen messbaren Unterschiede zeigten. Zusätzlich bleibt zu bedenken, ob es den Probanden tatsächlich immer möglich ist, selbst solche feinen Unterschiede zu spüren und zuverlässig und richtig zu bewerten. Darum bleibt abzuwarten, ob auch in einer größer angelegten Studie die subjektiven Ergebnisse innerhalb der beiden Gruppen immer eindeutig wären. Um eine gröbere Einteilung dentaler Kunststoffe vorzunehmen eignet sich die Abzugsarbeit somit zunächst in jedem Fall.

7. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit sollte derjenige Parameter ermittelt werden, welcher die Klebrigkeit darstellt. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass sich die Umwandlung eines Gefühls in greifbare Messwerte als unerwartet schwierig darstellte. Da diesem vermeintlich unscheinbaren Gefühl bei dentalen Werkstoffen bezüglich einer Vorliebe, Kaufentscheidung oder Weiterempfehlung großes Gewicht zukommt, sollte sich in der vorliegenden Arbeit über mehrere Versuche an seine Charakterisierung gewagt werden.

Im Vorversuch sollte mithilfe von Probanden zunächst herausgefunden werden, mit welcher Kraftaufwendung der Zahnarzt im Mittel seine Kavitäten füllt. Die hier ermittelten Kräfte dienten in den späteren Versuchen der praxisnahen Simulation. Eine subjektive Bewertung der Kunststoffe nach dem Stopfvorgang bezüglich Festigkeit, Klebrigkeit sowie genereller Applizierfähigkeit diente als Referenz für die in der Arbeit erhobenen Daten.

In Versuch 1 sollte über einen Druck-Zug-Versuch die Klebrigkeit zunächst über die gemessene Abzugskraft ermittelt werden. Diese wurde gemeinsam mit der Eintauchkraft über eine definierte Eindringtiefe gemessen. Es stellte sich heraus, dass der Versuchsaufbau lediglich dazu ausreichte, die Festigkeit und Standfestigkeit der Probenmaterialien zu ermitteln.

Aus diesem Grund wurden nun in Versuch 2 die im Vorversuch ermittelten Applikationskräfte verwendet. Zusätzlich wurde beim Abziehen zur Abzugskraft auch die Länge der Klebefahne bestimmt. So sollte herausgefunden werden, ob es die Klebefahne ist, welche die Klebrigkeit genauer beschreiben kann. Es stellte sich jedoch heraus, dass weder Abzugskraft noch Klebefahne als alleinige Werte ausreichen, um die Klebrigkeit zu definieren. Allerdings fiel auf, dass durch eine Kombination

7. Zusammenfassung

beider gewonnenen Messwerte nun die Probenkunststoffe übereinstimmend mit der subjektiven Beurteilung aus dem Vorversuch in zwei Gruppen unterschieden werden konnten.

In Versuch 3 wurde nun versucht, aus den Parametern Abzugskraft und Länge der Klebefahne einen einzelnen aussagekräftigen Wert zu erhalten. Um Kraft und Weg zu kombinieren, sollte die Abzugsarbeit ermittelt werden.

Mit dieser Abzugsarbeit konnte schließlich ein aussagekräftiger Parameter gefunden werden, welcher es ermöglicht, die Kunststoffe so zu charakterisieren, wie es auch die Probanden in ihrer subjektiven Beurteilung angegeben hatten. So liegt die Vermutung nahe, dass die Klebrigkeit dentaler Kunststoffe am ehesten mit der Abzugsarbeit beschrieben werden kann.

8. Anhang

8.1 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Bis-GMA	Bisphenol-A-Glycidyl-Methacrylat
UDMA	Urethandiemethacrylat
TEGDMA	Triethylenglycoldimethacrylat
Gew. %	Gewichtsprozent
i.d.R.	in der Regel
Vol.	Volumen
ca.	circa
i.A.	im Allgemeinen
z.T.	zum Teil
z.B.	zum Beispiel
d.h.	das heißt
DIN	deutsches Institut für Normierung
DIN EN	deutsche Übernahme einer europäischen Norm
PMMA	Polymethylmethacrylat
Art.-Nr.	Artikelnummer
bzw.	beziehungsweise
sog.	sogenannt
LT	Lagertemperatur
KT	Kavitätentemperatur
MMK	mittlere maximale Kraft
Stabw	Standardabweichung
MAK	mittlere maximale Abzugskraft
MAA	mittlere Abzugsarbeit

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Materialien	11
Tabelle 2: Versuchsaufbau zum Vorversuch	18
Tabelle 3: Versuchsaufbau zu Versuch 1	21
Tabelle 4: Versuchsaufbau zu Versuch 2	24

8. Anhang

Tabelle 5: Versuchsaufbau zu Versuch 3	27
Tabelle 6: Überblick der Versuche mit allen Parametern	29
Tabelle 7: MMK und Standardabweichung	30
Tabelle 8: Gemittelte Werte des Vorversuches mit Standardabweichung	32
Tabelle 9: Eintauch- und Abzugskraft in N.....	35
Tabelle 10: Admira 6/25 und 25/25.....	36
Tabelle 11: Eintauch- und Abzugskräfte in N.....	37
Tabelle 12: Admira 6/37 und 25/37.....	38
Tabelle 13: Eintauch- und Abzugskraft in N.....	39
Tabelle 14: Arabesk Top 6/25 und 25/25.....	40
Tabelle 15: Eintauch- und Abzugskräfte in N.....	41
Tabelle 16: Arabesk Top 6/37 und 25/37.....	42
Tabelle 17: Eintauch- und Abzugskräfte in N.....	43
Tabelle 18: Grandio 6/25 und 25/25	44
Tabelle 19: Eintauch- und Abzugskraft in N.....	45
Tabelle 20: Grandio 6/37 und 25/37	45
Tabelle 21: Eintauch- und Abzugskraft in N.....	47
Tabelle 22: Polofil Molar L 6/25 und 25/25	47
Tabelle 23: Eintauch- und Abzugskraft in N.....	48
Tabelle 24: Polofil Molar L 6/37 und 25/37	49
Tabelle 25: Eintauch- und Abzugskräfte in N.....	50
Tabelle 26: Tetric EvoCeram 6/25 und 25/25	51
Tabelle 27: Eintauch- und Abzugskräfte in N.....	52
Tabelle 28: Tetric EvoCeram 6/37 und 25/37	53
Tabelle 29: Abzugskraft in N und Klebefahne in mm für Admira	55
Tabelle 30: Abzugskraft in N und Klebefahne in mm für Arabesk Top.....	57
Tabelle 31: Abzugskraft in N und Klebefahne in mm für Grandio.....	59
Tabelle 32: Abzugskraft in N und Klebefahne in mm für Polofil Molar L	61
Tabelle 33: Abzugskraft in N und Klebefahne in mm für Tetric EvoCeram	63
Tabelle 34: MAK-Werte der Versuchsreife mit Admira	65
Tabelle 35: MAK-Werte der Versuchsreife mit Arabesk Top	66
Tabelle 36: MAK-Werte der Versuchsreife mit Grandio.....	68
Tabelle 37: MAK-Werte der Versuchsreife mit Polofil Molar L.....	70
Tabelle 38: MAK-Werte der Versuchsreife mit Tetric EvoCeram.....	72
Tabelle 39: Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreife mit Admira	74
Tabelle 40: Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreife mit Arabesk Top	76
Tabelle 41: Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreife mit Grandio	78
Tabelle 42: Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreife mit Polofil Molar L	80
Tabelle 43: Länge der mittleren Klebefahne der Versuchsreife mit Tetric EvoCeram.....	82
Tabelle 44: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/25, 1N, PMMA	84
Tabelle 45: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/25, 1N, PMMA	85
Tabelle 46: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/37, 1N, PMMA	86
Tabelle 47: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/37, 1N, PMMA	87
Tabelle 48: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/25, 1N, Zahn	88
Tabelle 49: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/25, 1N, Zahn	89

8. Anhang

Tabelle 50: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/37, 1N, Zahn	90
Tabelle 51: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/37, 1N, Zahn	91
Tabelle 52: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/25, 2N, PMMA	92
Tabelle 53: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/25, 2N, PMMA	93
Tabelle 54: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/37, 2N, PMMA	94
Tabelle 55: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/37, 2N, PMMA	95
Tabelle 56: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/25, 2N, Zahn	96
Tabelle 57: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/25, 2N, Zahn	97
Tabelle 58: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 6/37, 2N, Zahn	98
Tabelle 59: MAK [N] und Klebefahnenlänge [mm] für 25/37, 2N, Zahn	99
Tabelle 60: Signifikanzwerte der Abzugskraft und Klebefahne ($p=0.05$)	100
Tabelle 61: Mittlere Abzugsarbeit und Standardabweichung für LT6/KT25	101
Tabelle 62: Mittlere Abzugsarbeit und Standardabweichung für LT25/KT25	103
Tabelle 63: Mittlere Abzugsarbeit und Standardabweichung für LT6/KT37	105
Tabelle 64: Mittlere Abzugsarbeit und Standardabweichung für LT25/KT37	106
Tabelle 65: Signifikanzwerte der Abzugsarbeit ($p=0.05$)	107
Tabelle 66: Übersicht Multivarianztest	109
Tabelle 67: subjektive Einschätzung der Kunststoffe	117
Tabelle 68: Werte für Parameter b der Kurvenanpassung, eine Aussage über die Standfestigkeit der Materialien	118
Tabelle 69: Abzugskraft [N] und Klebefahne [mm]	120
Tabelle 70: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm], Vergleich zwischen Versuch 2 und 3	121
Tabelle 71: Mittlere Abzugsarbeit (MAA) [Nmm].....	122

8.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht Versuchsdurchführung.....	13
Abbildung 2: Heizblock und Probenhalter	15
Abbildung 3: Heizblock mit Probenhalter, Kavität und Probenhalterschraube	16
Abbildung 4: Haltevorrichtung Zwick 1446.....	19
Abbildung 5: Versuchsaufbau zu Versuch 1	21
Abbildung 6: Zyklus mit zehn Ein- und Ausfahrvorgängen	23
Abbildung 7: links: Am Stopfer befestigter Kunststoff und rechts: Klebefahne nach gefahrenem Zyklus.....	26
Abbildung 8: Beispieldiagramm zur Ermittlung der verrichteten Abzugsarbeit.....	27
Abbildung 9: MMK in N	31
Abbildung 10: Subjektive Beurteilung	33
Abbildung 11: Eintauch- und Abzugskräfte für KT25.....	35
Abbildung 12: Eintauch- und Abzugskräfte für KT37	37

8. Anhang

Abbildung 13: Eintauch- und Abzugskräfte für KT25.....	39
Abbildung 14: Eintauch- und Abzugskräfte für KT37.....	41
Abbildung 15: Eintauch- und Abzugskräfte für KT25.....	43
Abbildung 16: Eintauch- und Abzugskräfte für KT37.....	44
Abbildung 17: Eintauch- und Abzugskräfte für KT25.....	46
Abbildung 18: Eintauch- und Abzugskräfte für KT37.....	48
Abbildung 19: Eintauch- und Abzugskräfte für KT25.....	50
Abbildung 20: Eintauch- und Abzugskräfte für KT37.....	52
Abbildung 21: Abzugskräfte in N und Klebefahnenlängen in mm desOrmocers Admira	54
Abbildung 22: Abzugskräfte in N und Klebefahnenlängen in mm des Micro-Hybrid-Komposit Arabesk Top.....	56
Abbildung 23: Abzugskräfte in N und Klebefahnenlängen in mm des Nano-Hybrid-Komposit Grandio.....	58
Abbildung 24: Abzugskräfte in N und Klebefahnenlängen in mm des Micro-Hybrid-Komposit Polofil Molar L	60
Abbildung 25: Abzugskräfte in N und Klebefahnenlängen in mm des Nano-Hybrid-Komposit Tetric EvoCeram	62
Abbildung 26: MAKs [N] über LT/KT und Typ der Kavität, Admira.....	64
Abbildung 27: MAKs [N] über LT/KT und Typ der Kavität, Arabesk Top.....	66
Abbildung 28: MAKs [N] über LT/KT und Typ der Kavität, Grandio.....	68
Abbildung 29: MAKs [N] über LT/KT und Typ der Kavität, Polofil Molar L	70
Abbildung 30: MAKs [N] über LT/KT und Typ der Kavität, Tetric EvoCeram	72
Abbildung 31: Länge der Klebefahne [mm] über LT/KT und Typ der Kavität, Admira.....	74
Abbildung 32: Länge der Klebefahne [mm] über LT/KT und Typ der Kavität, Arabesk Top ..	76
Abbildung 33: Länge der Klebefahne [mm] über LT/KT und Typ der Kavität, Grandio	78
Abbildung 34: Länge der Klebefahne [mm] über LT/KT und Typ der Kavität, Polofil Molar L	80
Abbildung 35: Länge der Klebefahne [mm] über LT/KT und Typ der Kavität, Tetric EvoCeram	82
Abbildung 36: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/25, 1N, PMMA.....	84
Abbildung 37: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/25, 1N, PMMA.....	85
Abbildung 38: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/37, 1N, PMMA.....	86
Abbildung 39: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/37, 1N, PMMA.....	87
Abbildung 40: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/25, 1N, Zahn.....	88
Abbildung 41: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/25, 1N, Zahn.....	89
Abbildung 42: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/37, 1N, Zahn.....	90
Abbildung 43: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/37, 1N, Zahn.....	91
Abbildung 44: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/25, 2N, PMMA.....	92
Abbildung 45: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/25, 2N, PMMA.....	93
Abbildung 46: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/37, 2N, PMMA.....	94
Abbildung 47: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/37, 2N, PMMA.....	95
Abbildung 48: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/25, 2N, Zahn.....	96
Abbildung 49: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm]für 25/25, 2N, Zahn.....	97
Abbildung 50: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 6/37, 2N, Zahn.....	98
Abbildung 51: Abzugskraft [N] und Länge der Klebefahne [mm] für 25/27, 2N, Zahn.....	99
Abbildung 52: MAA für LT6/KT25	101

8. Anhang

Abbildung 53: MAA für LT25/KT25	102
Abbildung 54: MAA für LT6/KT37	104
Abbildung 55: MAA für LT25/KT37	106

9. Literaturverzeichnis

Al-Sharaa, Khaldoun A, and David C Watts. 2003. "Stickiness Prior to Setting of Some Light Cured Resin-composites." *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials* 19 (3) (May): 182–187.

Bauer, C.M., K-H. Kunzelmann, and R Hickel. 1995. "Simulierter Nahrungsabrieb Von Kompositen Und Ormoceren" *Dtsch Zahnärztl Z* (50): 635.

BOWEN, R L. 1963. "Properties of a Silica-reinforced Polymer for Dental Restorations." *Journal of the American Dental Association* (1939) 66 (January): 57–64.

Carl Martin. 2012. "CM-Katalog_2012-2014_gesamt_150dpi_74.pdf". Katalog. http://catalog.carlmartin.de/cmwebcat_opf_files/pdfs/CM-Katalog_2012-2014_gesamt_150dpi_74.pdf.

Craig, R G. 1981. "Chemistry, Composition, and Properties of Composite Resins." *Dental Clinics of North America* 25 (2) (April): 219–239.

Dentsply DeTrey. 2005. "Showfile.aspx." <http://www.dentsply.eu/bausteine.net/file/showfile.aspx?downdaid=7697&sp=D&domid=1042&fd=2>.

Eichner, Karl, and Heinrich F. Kappert, eds. 2005. *Zahnärztliche Werkstoffe Und Ihre Verarbeitung; Band 1: Grundlagen Und Verarbeitung*. 8., unveränd. Aufl. Stuttgart [u.a.] Thieme.

Eirich, F. R. 1987. "Degradation of Dental Polymers, by Jean-Francois Roulet, Karger, Basel, Switzerland, 1987, 228 Pp. Price: \$110.00." *Journal of Polymer Science Part C: Polymer Letters* 25 (July): 303–304. doi:10.1002/pol.1987.140250707.

Ernst C.-P.,, and Willershausen B. 2003. "Eine aktuelle Standortbestimmung zahnärztlicher Füllungskomposite" (7): 30–42.

Ernst, C-P. 2011. "Update Komposite: Einführung – Teil 1-3 | ZMK-aktuell.de | Zahnheilkunde." <http://www.zmk-aktuell.de/zahnheilkunde/zahnerhaltung/story/update-komposite-einfuehrung-teil-1.html>.

Ertl, Kathrin, Alexandra Graf, David Watts, and Andreas Schedle. 2010. "Stickiness of Dental Resin Composite Materials to Steel, Dentin and Bonded Dentin." *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials* 26 (1) (January): 59–66. doi:10.1016/j.dental.2009.08.006.

Fa. Braun. 2011. "Aesculap_Dental_Preservation.pdf". Produktkatalog. http://www.aesculap-dental.de/images/content/de/d11511_preservation.pdf.

9. Literaturverzeichnis

Fraunhofer-Institut. "ORMOCER Dentale Anwendungen."

http://www.ormocer.de/kompakte_werkstoffe/dentale_anwendungen/index.jsp.

Habenicht, Gerd. 2009. *Kleben Grundlagen, Technologien, Anwendungen*. Berlin: Springer.

<http://public.eblib.com/EBLPublic/PublicView.do?ptilID=417849>.

Heidemann, Detlef. 1999. *Kariologie Und Füllungstherapie*. Studienausg. der 4. Aufl. 1999. München [u.a.]: Elsevier Urban & Fischer.

Hellwig, Elmar. 2009. *Einführung in Die Zahnerhaltung : Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie Und Parodontologie : Mit 60 Tabellen*. 5., überarb. und erw. Aufl. Köln: Dt. Zahnärzte-Verl.

Hennig, A Christiane, E Barbara Helbig, Eva Haufe, Gert Richter, and H Wolfgang Klimm. 2004. "[Restoration of Class V Cavities with theOrmocer-based Filling System Admira]." *Schweizer Monatsschrift Für Zahnmedizin = Revue Mensuelle Suisse D'odonto-Stomatologie = Rivista Mensile Svizzera Di Odontologia E Stomatologia / SSO* 114 (2): 104–114.

Janda, R. 1988a. "[State of Development of Dental Filling Materials (I)]." *Die Quintessenz* 39 (6) (June): 1067–1073.

———. 1988b. "[Position of Development in the Area of Dental Restorative Materials (II)]." *Die Quintessenz* 39 (7) (July): 1243–1253.

———. 1988c. "[Position of Development in the Area of Dental Restorative Materials (III)]." *Die Quintessenz* 39 (8) (August): 1393–1398.

Jendresen, M. D.; Glantz, P. O. 1981. "Mikrotopography and Clinical Adhesiveness of an Acid Etched Tooth Surface" *Acta Odontol Scand* 39: 47–53.

Kullmann, Werner. 1990. *Atlas Der Zahnerhaltung Mit Glas-Ionomer-Zementen Und Komposit-Kunststoffen*. München: Carl Hanser.

Leinfelder, K F, S C Bayne, and E J Swift Jr. 1999. "Packable Composites: Overview and Technical Considerations." *Journal of Esthetic Dentistry* 11 (5): 234–249.

Ludwig, Klaus. 2005. *Lexikon Der Zahnmedizinischen Werkstoffkunde*. Berlin: Quintessenz.

Lutz, F, and R W Phillips. 1983. "A Classification and Evaluation of Composite Resin Systems." *The Journal of Prosthetic Dentistry* 50 (4) (October): 480–488.

Meissner, J., and S.E. Stephenson, A. Demarmels, P. Portman. 1982. "Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics" Volume 11, Issues 3-4.

Mitchell, Laura. 2009. *Oxford Handbook of Clinical Dentistry*. 5th ed. Oxford ;New York: Oxford University Press.

9. Literaturverzeichnis

PD Dr. Thomas Fuhrmann. 2004. "Einführung in Die Polymer- Und Kolloidwissenschaften."
<http://www.chemie.uni-kassel.de/mmc/pub/vl-polymer-kolloid-wiss-06-rheologie.pdf>.

Peutzfeldt, A. 1997. "Resin Composites in Dentistry: The Monomer Systems." *European Journal of Oral Sciences* 105 (2) (April): 97–116.

Pospiech, P. 2004. "Lava_Kompendium_Pospiech.pdf." *Keramik-Vollkeramik*.
http://www.zirkonpoint.de/cms/upload/PDF/Lava_Kompendium_Pospiech.pdf.

Ruyter, I.E. 1995. "Die Chemischen Grundlagen Dentaler Adhäsivsysteme." In *Die Chemischen Grundlagen Dentaler Adhäsivsysteme*, Phillip J 12:481–488.

Watts, D C. 1987. "Radiopacity Vs. Composition of Some Barium and Strontium Glass Composites." *Journal of Dentistry* 15 (1) (February): 38–43.

10. Danksagung

Herrn PD Dr. Dipl.-Ing. (FH) Martin Rosentritt möchte ich für die freundliche Überlassung des Themas, die Bereitstellung der Arbeitsmaterialien und Einrichtungen der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik zur Durchführung der Studie sowie die abschließende Korrektur der Dissertation sehr herzlich danken.

Ohne ihn und seine hervorragende und engagierte Betreuung wäre diese Arbeit nicht zu realisieren gewesen.

Ein herzliches Dankeschön auch meiner Freundin Janina und meiner Familie, die mich immer wieder motivierten und immer für mich da waren.