

**Aus der Poliklinik  
für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde  
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität  
Düsseldorf  
Kommissarischer Direktor: Univ.-Prof. Dr. Dr. Thomas Beikler**

Untersuchung der Polymerisationsschrumpfung und Quellung moderner  
Seitenzahnkomposite in Abhängigkeit von der Polymerisationszeit

**Dissertation**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der  
Zahnmedizin  
Der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität  
Düsseldorf

vorgelegt von  
Sören Krüger

2009

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der  
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.: Univ.-Prof. Dr. med. Joachim Windolf

Dekan

Referent: Prof. Dr. rer. nat. Janda

Korreferent: Prof. Dr. Hugger

Für meine Eltern und Astrid



# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1. Einleitung</b>	8
<b>2. Literaturübersicht</b>	10
2.1 Klassifizierung zahnfarbener plastischer Füllungsmaterialien	10
2.2 Zusammensetzung zahnfarbener plastischer Füllungsmaterialien	13
2.2.1 Die Grundstruktur von Kompositen	13
2.2.1.1 Monomere	13
2.2.1.2 Füllkörper	14
2.2.1.3 Silanisierung	15
2.2.2 Konventionelle Komposite (Makrofüllerkomposite)	16
2.2.3 Homogen / inhomogene Mikrofüllerkomposite	16
2.2.4 Hybridkomposite	17
2.2.5 Fließfähige Komposite („Flowables“)	18
2.2.6 Stopfbare Komposite („Condensables“ oder „Packables“)	18
2.2.7 Nanotechnologie-modifizierte Komposite	19
2.2.8 Kompomere	20
2.2.9 Ormocere	20
2.2.10 Silorane	21
2.3 Eigenschaften zahnfarbener plastischer Füllungsmaterialien	22
2.3.1 Allgemeines	22
2.3.2 Polymerisationsschrumpfung	22
2.3.3 Quellung und Wasseraufnahme	24
2.3.4 Löslichkeit	26
2.3.5 Biegefestigkeit und E-Modul	27
2.3.6 Härte und Druckfestigkeit	28
2.3.7 Abrasion	29
<b>3. Problemstellung</b>	30
<b>4. Material und Methode</b>	31
4.1 Übersicht über die Versuche und Testreihen	31
4.2 Materialien	32
4.2.1 Komposite	32
4.2.2 Geräte	34
4.3 Bestimmung der Polymerisationsschrumpfung	36
4.4 Bestimmung der Quellung	37
4.5 Bestimmung der Wasseraufnahme und Löslichkeit	38
4.6 Statistische Analyse	39

<b>5. Resultate</b>	41
5.1 Polymerisationsschrumpfung	41
5.1.1 Vergleich der einzelnen Kompositmaterialien	41
5.1.2 Einfluss der Polymerisationszeit	42
5.1.3 Einfluss der Zusammensetzung	42
5.2 Quellung und Wasseraufnahme	43
5.2.1 Vergleich der einzelnen Kompositmaterialien	43
5.2.2 Einfluss der Lagerungszeit	45
5.2.3 Einfluss der Polymerisationszeit	46
5.2.4 Einfluss der Zusammensetzung	46
5.2.5 Einfluss der Wasseraufnahme auf die Quellung	47
5.3 Löslichkeit	49
5.3.1 Vergleich der einzelnen Kompositmaterialien	49
5.3.2 Einfluss der Polymerisationszeit	49
5.3.3 Einfluss der Zusammensetzung	50
5.3.4 Einfluss der Löslichkeit auf die Quellung	51
<b>6. Diskussion</b>	52
6.1 Material und Methode	52
6.1.1 Vergleich mit anderen Methoden	52
6.1.2 Vergleich zu Kompositen früherer Generation	53
6.1.3 Vergleich mit Siloranen	54
6.2 Resultate	54
6.2.1 Einfluss der Polymerisationszeit auf die Polymerisationsschrumpfung	54
6.2.2 Einfluss des Füllstoffes auf die Polymerisationsschrumpfung	55
6.2.3 Einfluss der Matrix auf die Polymerisationsschrumpfung	56
6.2.4 Einfluss der Wasseraufnahme auf die Quellung	57
6.2.5 Einfluss der Löslichkeit auf die Quellung	57
6.2.6 Einfluss der Matrix auf die Quellung	58
6.2.7 Einfluss der Füllkörper auf die Quellung	60
6.2.8 Verhältnis zwischen Polymerisationsschrumpfung und Quellung	60
6.3 Schlussfolgerungen	60
<b>7. Zusammenfassung</b>	63
<b>8. Literaturverzeichnis</b>	66

## **9. Anhang**

9.1 Messwertprotokolle	73
9.2 Danksagung	89
9.3 Curriculum vitae	90
9.4 Eidesstattliche Versicherung	91

## 1. Einleitung

1962 entwickelte Bowen das Additionsprodukt eines Epoxidharzes und der Methylmethacrylsäure als Matrix für ein neuartiges Füllungsmaterial in der Zahnheilkunde, das sogenannte Bowen-Monomer oder Bis-GMA. Der Entwicklung neuer Kompositmaterialien mit verbesserten Eigenschaften kommt bis zur heutigen Zeit eine große Bedeutung zu. 1963 wurden die ersten Kompositmaterialien mit Quarzfüllstoffen entwickelt, um den thermischen Expansionskoeffizienten und die Polymerisationsschrumpfung zu reduzieren und gleichzeitig die Festigkeit des Materials zu erhöhen. Ab dem Jahre 1970 wurden erste Experimente zur Polymerisation mittels Licht durchgeführt, bis 1977 die ersten lichthärtenden Kompositmaterialien kommerziell verfügbar waren. Mikrogefüllte Kompositmaterialien kamen ab 1974 zum Einsatz. Diese Materialien sind dauerhaft polierbar. Ab 1980 wurden Experimente mit Hybrid-Kompositmaterialien durchgeführt, die ihre Markteinführung im Jahre 1985 hatten, und die guten Eigenschaften von makro- und mikrogefüllten Produkten vereinigten. 1993 hielten die Kompomere und 1998 die Ormocere Einzug in die Zahnheilkunde (1-3). Seit 2007 ist ein weiteres neu entwickeltes Produkt auf dem Markt, die sogenannten Silorane, deren Matrix nicht wie bisher aus Dimethacrylaten besteht, sondern aus Siloxane und Oxirane (zwei Ringmoleküle) hergestellt ist (39).

Die neusten Seitenzahnkompositmaterialien sind die so genannten „Condensables“ oder „Packables“, die durch eine Erhöhung des Füllstoffanteils verbesserte Eigenschaften aufweisen sollten und eine deutlich höhere Viskosität besitzen. Mit diesen Materialien erhoffte man sich, die Polymerisationsschrumpfung reduzieren zu können, so dass die zeitintensive Inkrementtechnik der Vergangenheit angehören würde (4-6). Die Begriffe „Condensables“ oder „Packables“ sind von der Industrie genutzte, rein werbetechnische Ausdrücke, die verdeutlichen sollen, dass es mit diesen Kompositen möglich ist Kavitäten in einem Polymerisationsvorgang zu füllen ohne eine überaus große Polymerisationsschrumpfung hervorzurufen. Weiterhin suggerieren diese beiden Begriffe, dass diese Materialien ähnlich wie Amalgam zu verarbeiten sind.

Obwohl die Kompositmaterialien in Bezug auf ihre Ästhetik und mechanischen Eigenschaften sehr gut untersucht worden sind, weist diese Materialgruppe bis zum heutigen Tage immer noch große Defizite bezüglich ihrer Polymerisationsschrumpfung auf (4, 7-10). Durch die Volumenkontraktion kommt es zu Spannungen im Randbereich zwischen Restauration und Kavitätenwand. Ist die Haftung größer als die Schrumpfkraft, treten Spannungen im Material auf, ist die Haftung kleiner, wird der Verbund zwischen Zahn und Restauration zerstört wodurch Randspalten entstehen und so die Bildung von Sekundärkaries provoziert wird. Aber nicht nur die Sekundärkaries sondern auch postoperative Sensitivitäten und Randverfärbungen treten durch die Zerstörung des Verbundes zwischen Zahn und Restauration auf. Neben der Fraktur von Füllungen und das Lösen kleinerer Anteile ist die Sekundärkaries einer der Hauptgründe für den Austausch von Kompositfüllungen (11-14).

Mit bestimmten Methoden versucht man die Polymerisationsschrumpfung zu reduzieren, darunter zu nennen ist die Inkrementtechnik, und damit verbunden ist auch ein geringer C-Faktor (configuration factor). Der C-Faktor ist das Verhältnis von gebundenen zu ungebundenen Oberflächen des Kompositmaterials in einer Kavität. Je geringer der C-Faktor umso geringer ist die Spannungen auf das Material bei der Polymerisation, weil von den ungebundenen Flächen Material nachfließen kann. Weitere Methoden sind die Erhöhung des Füllstoffanteils und die verschiedenen Arten der Lichtpolymerisation, darunter zu nennen sind der Softstartmodus und der Pulsaktivationsmodus (14-22). In der Fachliteratur wird berichtet, dass die Quellung im Zusammenhang mit der Wasseraufnahme die Ausmaße der Polymerisationsschrumpfung aufheben bzw. verringern soll (22-24). Jedoch ist dabei zu beachten, dass mit der Wasseraufnahme gleichzeitig negative Beeinflussungen der Materialeigenschaften auftreten, Wasser eine Weichmachereffekte besitzt und unpolymerisierte Anteile des Kompositmaterials in Lösung gehen (24-26). Sollte das Kompositmaterial zu stark quellen, können auch Spannungen und Frakturen im restaurierten Zahn auftreten.

Ziel dieser Untersuchung ist es, die Effekte auf die Polymerisationsschrumpfung, Wasseraufnahme, Quellung und Löslichkeit moderner Seitenzahnkomposite in Abhängigkeit von der Polymerisationszeit bei konstanter Bestrahlung zu untersuchen. Weiterhin soll untersucht werden, ob die Quellung die Polymerisationsschrumpfung ausgleichen kann.

## 2. Literaturübersicht

### 2.1 Klassifizierung zahnfarbener plastischer Füllungsmaterialien

Eine aktuelle Einteilung der plastischen Füllungsmaterialien wird in der europäischen Norm EN ISO 4049 vorgenommen. Dort werden die restaurativen Kunststoffe in die folgenden Typen eingeteilt:

- a) Typ 1: Füllungs- und restaurative Kunststoffe, für die der Hersteller die Eignung zur Wiederherstellung von Okklusalflächen beansprucht
- b) Typ 2: alle übrigen Füllungs- und restaurativen Kunststoffe

Die drei Klassen zahnärztlicher Füllungs-, restaurativer und Befestigungskunststoffe sind folgende:

- Klasse 1: Kunststoffe, deren Abbinden durch Mischen eines Initiators und eines Aktivators erfolgt („selbsthärtende“ Kunststoffe).
- Klasse 2: Kunststoffe, deren Abbindung durch Einwirken von Energie aus einer äußeren Quelle wie blaues Licht oder Wärme erfolgt („strahlungshärtende“ oder „lichthärtende“ Kunststoffe). Sie werden wie folgt unterteilt:
  - 1) Gruppe 1: Kunststoffe, bei deren Verwendung die Energie intraoral zugeführt wird
  - 2) Gruppe 2: Kunststoffe, bei deren Verwendung die Energie extraoral zugeführt wird. Werden diese Kunststoffe angewendet, muss die Füllung oder Restauration anschließend mit einem Befestigungskunststoff befestigt werden.
- Klasse 3: Kunststoffe, die durch Einwirken äußerer Energie gehärtet werden und gleichzeitig selbsthärtende Eigenschaften aufweisen („dualhärtende“ Kunststoffe).

Eine weitere Einteilung nahmen Hickel et al. (58) 1998 vor. Sie unterteilten zum einen in die direkt zu verarbeitenden, zahnfarbenen, plastischen Füllungsmaterialien und zum anderen in die Materialien für die indirekte Restauration. Weiterhin wurden die Materialien auch nach ihrer Ästhetik unterteilt.

Material	direkte Füllung (plastisch bearbeitbar)	indirekte Restauration (Inlay/Teilkrone/Krone)
zahnfarben	Mikrofüllerkomposite Hybridkomposite carboxylat-modifizierte Kompo- site / Kompomere Kompomere Kunststoffmodifizierte GIZ Konventionelle GIZ Hochvisköse GIZ Ormocere	Komposite Ceromere Polyglas (Polymerglas) Keramik Glaskeramik Verblend-Metallkeramik
metallfarben	Amalgam Stopfgold metallverstärkte GIZ Galliumlegierung Silber-Zinn-Legierung	hochgoldhaltige Legierungen hochgoldreduzierte Legierungen Nichtedelmetalllegierungen Palladium-Basis-Legierungen Titan

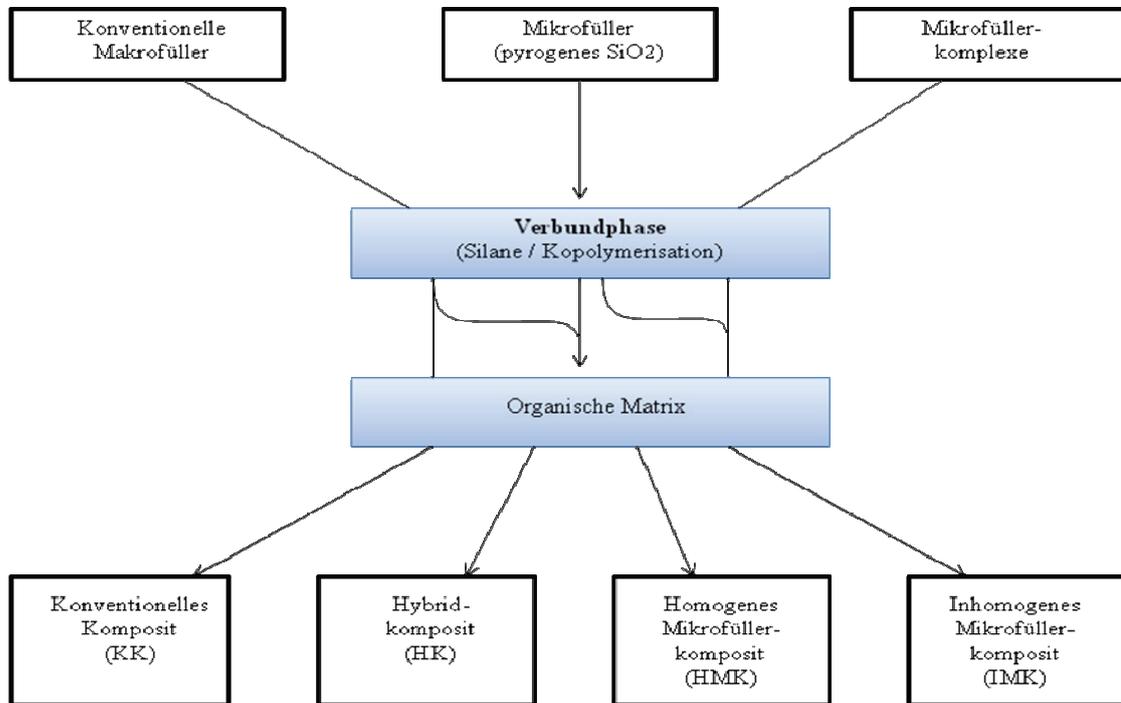
**Tab. 2.1** Einteilung der Füllungsmaterialien nach Hickel et al.

Um einen generellen Überblick zu erhalten, haben Hickel et al. (58) die zahnfarbenen, plastischen Füllungsmaterialien in zwei Gruppen, mit den jeweiligen Untergruppen, unterteilt. Die Klassifikation der Hauptgruppen basiert auf dem Wassergehalt und dem Reaktionsmechanismus der Materialien. Es wird zwischen einer Säure-Base-Reaktion und einer Photopolymerisation unterschieden. Die Untergruppen sind dann durch ihren Füllkörperanteil und die Zusammensetzung der Matrix charakterisiert.

Glasionomerzemente (GIZ) Säure-Base-Reaktion (wasserhaltig)	Komposite Photopolymerisation (wasserfrei)
Konventionelle GIZ metallverstärkte GIZ Hochvisköse GIZ Kunststoffmodifizierte GIZ	Konventionelle Komposite Mikrofüllerkomposite Hybridkomposite Kompomere

**Tab. 2.2** Untergruppen der zahnfarbenen, plastischen Füllungsmaterialien nach Hickel et al.

Zusätzlich zu den oben genannten Einteilungen können die Komposite weiterhin nach der Art der Füllkörper unterteilt werden. Unter diesem Gesichtspunkt haben Hellwig et al. (59) in Anlehnung an Lutz et al. (60) folgende Einteilung vorgenommen:



**Abb. 2.1** Einteilung der Komposite nach Art der Füllkörper.

Diese Einteilung berücksichtigt jedoch nicht, dass die Hybridkomposite in den letzten Jahren weiterentwickelt wurden. Daher müssten sie noch weiter unterteilt werden und zwar in fließfähige Komposite, sogenannte „Flowables“ mit reduziertem Füllstoffanteil, und in stopfbare Komposite, sogenannte „Condensables“ oder „Packables“ mit erhöhtem Füllstoffanteil. Die Tabelle 2.3 zeigt einige Materialeigenschaften unterschiedlicher Füllungsmaterialien.

Material	Zugfestigkeit (MPa)	Biegefestigkeit (MPa)	Druckfestigkeit (MPa)	Vickershärte (MPa)	E-Modul (GPa)
Hybridkomposit	35 - 60	100 - 145	280 - 480	70 - 130	10 - 25
Mikrofüllerkomposit	35 - 45	40 - 90	350 - 500	50 - 60	3 - 7
Kompomer	35 - 40	90 - 125	200 - 260	50 - 60	5 - 8
Silorane	-	90 - 120	ca. 390	70 - 85	11 - 13

**Tab. 2.3** Werkstoffkundliche Eigenschaften (34, 59, 73).

## 2.2 Zusammensetzung zahnfarbener plastischer Füllungsmaterialien

### 2.2.1 Die Grundstruktur der Kompositmaterialien

Die Grundstruktur von Kompositen besteht im Wesentlichen aus einer organischen Matrix, die meistens aus Monomeren wie Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA und auch TEGDMA besteht. In dieser Matrix sind zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften anorganische Füllstoffpartikel eingebettet (beispielsweise pyrogenes SiO<sub>2</sub>, Barium-Aluminium-Borosilikat-Glas usw.). Die Füllkörper werden mit organischen Siliziumverbindungen, sogenannten Silanen, silanisiert, damit ein Verbund zwischen Füllkörper und Matrix entstehen kann. Dieser Verbund ist namensgebend für die Komposite (composite material, englisch für Verbundwerkstoff). Diese beiden Hauptbestandteile werden mit Pigmenten zur Erzielung verschiedener Farbtöne sowie mit Fotoinitiatoren, die normalerweise eine Mischung aus Kampherchinon, Trimethylbenzylphosphinoxid (TPO) bzw. Phenylpropanon (PPD) sind, versetzt. Durch die Fotopolymerisation wird ein dreidimensionales Polymernetzwerk hergestellt. Der Füllkörperanteil und die Zusammensetzung der Matrix der Komposite haben den größten Einfluss auf die Materialeigenschaften.

#### 2.2.1.1 Monomere

Das bekannteste Monomer ist das Bisphenol-A-Glycidyl-dimethacrylat (Bis-GMA), welches nach seinem Entwickler auch Bowen-Monomer genannt wird (1, 59). Bei der Entwicklung neuer Komposite ist es das Ziel, die Verbesserung der Materialeigenschaften zu erreichen. Dies wird zum einen über die Zusammensetzung der Matrix mit neuen Monomeren versucht (70). Weitere Monomere, die in den modernen Kompositen enthalten sind, sind unter anderem das Urethandimethacrylat (UDMA) und das Bisphenol-A-Ethoxy-dimethacrylat (Bis-EMA) (30, 31). Zur Herabsetzung der Viskosität werden diese hochviskösen Monomere mit niedriger viskösen Monomeren kombiniert (5, 29). Das führt zu einer Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften. Zu diesen sogenannten „Verdüner-Monomeren“ gehört z.B. das Triethylenglycoldimethacrylat (TEGDMA). Auf den Einfluss der einzelnen Monomere auf die werkstoffkundlichen Eigenschaften wird in den weiteren Abschnitten eingegangen.

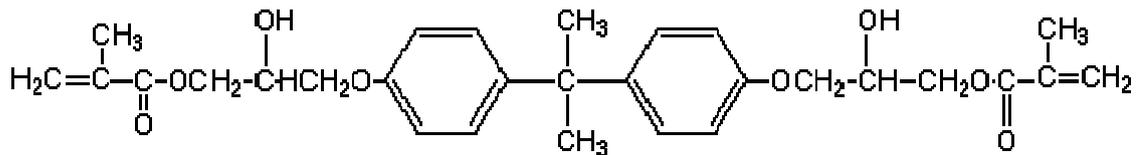


Abb. 2.3 Strukturformel von Bis-GMA (67).

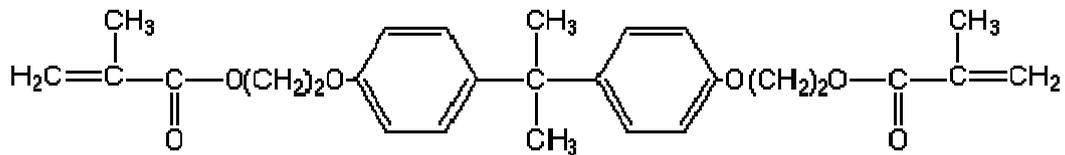


Abb. 2.2 Strukturformel von Bis-EMA (67).

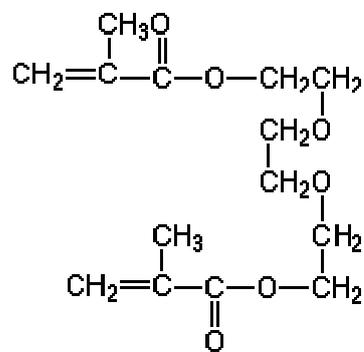


Abb. 2.4 Strukturformel von TEGDMA (67).

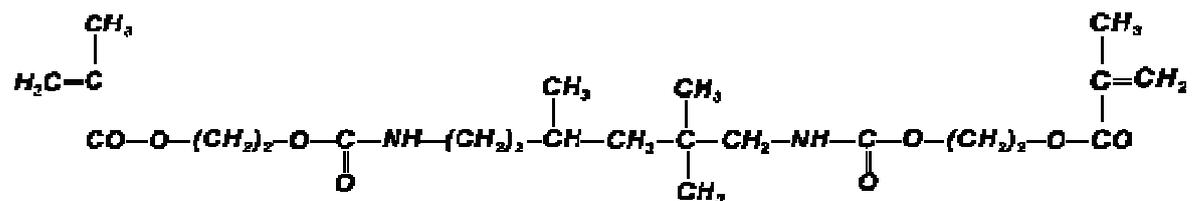


Abb. 2.5 Strukturformel von UDMA (68).

### 2.2.1.2 Füllkörper

Füllstoffe optimieren die physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Komposite und verringern das Ausmaß der Polymerisationsschrumpfung (16). Als anorganische Füllkörper werden pyrogenes Siliziumdioxid, mikrofeine Barium- oder Strontiumsilikatglä-

ser, feingemahlener Quarz, Zirkoniumdioxidgläser und Yttrium- oder Ytterbiumtrifluorid verwendet (58, 59). Der Zusatz dieser anorganischen Füllkörper zur Matrix der Komposite erhöht die Biegefestigkeit, die Druckfestigkeit, die Härte und vermindert die Wasseraufnahme und den thermischen Ausdehnungskoeffizienten (1, 15).

Die klinische Anforderung an Röntgenopazität wird ebenfalls durch die Füllkörper gewährleistet. Es werden Elemente mit hohen Atommassen zugesetzt, weil diese die Röntgenstrahlen stärker absorbieren. Überwiegend hierzu dienen Füllkörper mit Schwermetallzusätzen wie die Barium- oder Strontiumsilikatgläser. Weitere röntgendichte Zusatzstoffe stellen die Pigmente Ytterbium- und Yttriumtrifluorid dar (59, 74).

Weiterhin beeinflusst sowohl die Größe der Füllkörper als auch der Anteil der Füllkörper die Eigenschaften des Komposits. Dieser Einfluss wird in den weiteren Abschnitten dargestellt. Um klinisch gute Eigenschaften, wie eine geringe Polymerisationsschrumpfung, Festigkeit und Polierbarkeit, zu erreichen, werden in den heutigen modernen Kompositen nur noch feinstgemahlene Füllstoffe eingesetzt (5, 92).

### 2.2.1.3 Silanisierung

Füllkörper und Monomermatrix stellen zwei unterschiedliche Phasen dar. Die anorganischen Füllkörper haben eine hydrophile Oberfläche, die in der Regel mit Hydroxylgruppen oder Sauerstoffatomen bedeckt ist. Diese hydrophile Oberfläche wird sehr schlecht von der hydrophoben Monomermatrix benetzt. Außerdem muss, um optimale Eigenschaften des Komposits zu erreichen, ein Verbund zwischen beiden Phasen hergestellt werden. Um nun diese zwei unterschiedlichen Phasen dauerhaft chemisch miteinander verbinden zu können, muss die Oberfläche der Füllkörper mit organischen Siliziumverbindungen (Silanen) behandelt werden. Bei diesem Prozess, der sogenannten Silanisierung, wird in der Regel 3-Methacryloyloxypropyltrimethoxysilan verwendet. Silane besitzen einen hydrophoben und einen hydrophilen Molekülanteil, welcher über eine hydrolysierbare Siliziumgruppe mit der Füllkörperoberfläche reagiert. Der hydrophobe Teil der Silane ist eine organische Methacrylgruppe, die den Verbund zur Kunststoffmatrix ermöglicht. Durch die Reaktion der Silane mit der hydrophilen Oberfläche der Füllstoffe wird deren Oberfläche hydrophob und die Verbindung mit der hydrophoben Kunststoffmatrix kann erfolgen. Somit lässt sich der Verbund zwischen Füllstoff und Kunststoffmatrix realisieren. Die Dicke der Silanschicht liegt zwischen 5 - 20 nm (1, 74).

### 2.2.2 Konventionelle Komposite (Makrofüllerkomposite)

Die konventionellen Komposite besaßen relativ große Füllkörper mit einem Durchmesser von 5-100 µm, so genannte Makrofüller. Der Füllstoffgehalt lag bei 75 Gew.-%. Die hierfür verwendeten Füllkörper bestanden aus Quarz, Glas oder Keramik und hatten eine sehr hohe Festigkeit (1, 59, 91). Die Füllkörper konnten schwermetallhaltig sein (Bariumglas, Strontiumglas), um eine Röntgenopazität der Komposite zu erzielen. Der große Härteunterschied zwischen der Matrix und den Füllkörpern führte bei Abriebsprozessen zu einem Herausbrechen ganzer Füllkörper. Nachdem die Matrix zwischen benachbarten Füllkörpern abradert wurde, wurde der Füllkörper in toto aus dem Verbund herausgerissen und hinterließ ein „Schlagloch“. Die benachbarten Füllkörper lagen danach frei und konnten nun ebenso aus dem Verbund gelöst werden. Die Größe der Füllkörper wirkte sich auch negativ auf das Polierverhalten aus. Makrofüllerkomposite konnten praktisch nicht poliert werden, wodurch die Plaqueanlagerung begünstigt wurde. Aus den genannten Gründen haben sich die konventionellen Komposite nicht bewährt und sind daher vollständig vom Markt verschwunden (1, 59, 91).

### 2.2.3 Homogene / inhomogene Mikrofüllerkomposite

Um die Polierbarkeit der Füllungswerkstoffe zu verbessern und um eine größere Abrasionsstabilität zu erreichen, stützte sich die weitere Entwicklung auf eine Verkleinerung der Füllstoffpartikel. Man setzt nun als Füllstoff pyrogenes SiO<sub>2</sub> ein, das in flammenpyrolytischer Herstellung aus flüssigen organischen Siliziumverbindungen erzeugt wird. Aufgrund der geringen Partikelgröße zwischen 0,007 und 0,04 µm bezeichnet man diese Füllstoffe als Mikrofüller. Die Mikrofüller haben eine große spezifische Oberfläche und erhöhen die Viskosität der Matrix stark. Daher beträgt der Füllstoffgehalt homogener Mikrofüllerkomposite nur circa 50 Gew.-% (1, 58, 59, 91). Diese auch in der Klassifikation von Lutz et al. (60) beschriebenen homogenen Mikrofüllerkomposite gab es in der Klinik nie. Sie stellen eine hypothetische Klasse der Komposite dar (siehe Abbildung 2.1).

Um den Füllstoffanteil zu erhöhen, mischt man dem Mikrofüllerkomposit, zusätzlich zu dem reinen SiO<sub>2</sub>, fein gemahlene Vorpolymerisate zu. Dadurch kann die Polymerisationsschrumpfung dieser inhomogenen Mikrofüllerkomposite auf ein akzeptables Maß begrenzt werden, ohne den Vorteil der exzellenten Polierfähigkeit einzubüßen (1, 59).

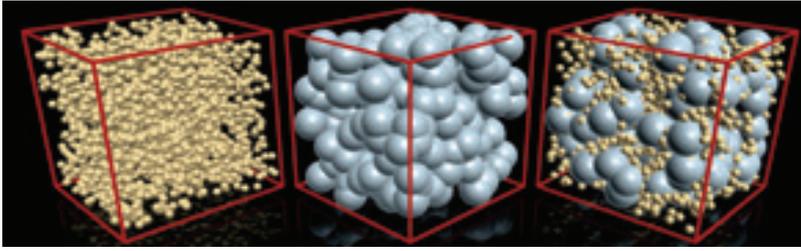
Mit diesen Werkstoffen wird eine gute Polierbarkeit und günstigere Abrasionseigenschaften als bei den konventionellen Kompositen erreicht, jedoch sind die Polymerisationsschrumpfung höher und die mechanische Belastung geringer (1, 59, 91). Das Konzept der inhomogenen Mikrofüllerkomposite hat sich auf Grund der guten Polierbarkeit und auf Grund eines geringeren E-Moduls für Frontzahnrestaurationen und Klasse V-Füllungen bis heute bewährt.

Die mechanische Festigkeit der inhomogenen Mikrofüllerkomposite reicht nicht aus, um sie im kaudrucktragenden Bereich der Seitenzähne einzusetzen (siehe Tabelle 2.3). Dies wurde erst durch die Kombination von Mikrofüllern mit fein bis feinst gemahlene Füllkörpern aus Quarz, Glas oder Keramik bei den Hybridkompositen möglich (1, 59, 91).

#### 2.2.4 Hybridkomposite

Hybridkomposite besitzen als Füllkörper etwa zu 85-90 Gew.-% feinste Glaspartikel und zu 10-15 Gew.-% pyrogenes SiO<sub>2</sub>. Der gesamte Füllkörperanteil der Hybridkomposite lässt sich auf 85 Gew.-% steigern. Hybridkomposite verbinden somit die Vorteile der Glaspartikel (= optimale physikalische Eigenschaften) mit denen der pyrogenen Kieselsäure (= hervorragende Polierfähigkeit) in einem Material (59, 86). Hybridkomposite können daher sowohl in der Front als auch im Seitenzahnbereich eingesetzt werden und bieten sowohl eine sehr gute Ästhetik als auch eine ausreichend hohe Festigkeit (86).

Durch die Weiterentwicklung der Mahltechniken von Gläsern wurde es möglich, die mittlere Partikelgröße der Glasfüllstoffe weiter zu reduzieren. Somit ergibt sich eine weitere Unterteilung der Hybridkomposite, die durch die mittlere Partikelgröße der Glasfüllstoffe charakterisiert ist. Während der Oberbegriff „Hybridkomposit“ durch eine mittlere Füllkörpergröße von bis zu 10 µm definiert ist, enthält ein „Feinpartikelhybridkomposit“ Füllkörper von bis zu 5 µm. Weiterhin unterscheidet man die Hybridkomposite in ein „Feinstpartikelhybridkomposit“ mit einer mittleren Füllkörpergröße von bis zu 3 µm und in ein „Submikrometerhybridkomposit“ mit einer mittleren Füllkörpergröße von unter 1 µm. Innerhalb der zahnfarbenen, plastischen Füllungsmaterialien haben die Fein-, Feinst- und Submikrometerhybridkomposite den größten Anteil und gelten heute als universellste Kompositmaterialien.



**Abb. 2.6** Beispiel für Mikro-, Makro- und Hybridkomposite (91).

### 2.2.5 Fließfähige Komposite („Flowables“)

Das Grundprinzip der Präparationstechnik der heutigen Zeit wechselte in Verbindung mit den modernen Kompositen von „extension for prevention“ in „minimalinvasiv“. In Klein- und Kleinstkavitäten ist die Arbeit mit mittel- bis hochviskösen Kompositen oft problematisch. Das Einbringen und die spaltfreie Adaption kleiner Portionen mittelvisköser Komposite ist schwierig, die von stopfbaren fast unmöglich. Daher wurden die fließfähigen Komposite entwickelt. Sie entstehen aus Hybridkompositen durch Verringerung des Füllstoffanteils, die die Viskosität der Matrix heruntersetzt (59).

Der Hauptindikationsbereich der fließfähigen Komposite sind minimalinvasive Kavitäten, die nicht im kaukraftbelasteten Bereich der Okklusionsfläche liegen, und der Einsatz bei erweiterten Fissurenversiegelungen (86). Eine weitere interessante Indikation ist das „Kavitätenlining“. Bei dieser Füllungsmethode wird die Kavität zuerst mit einer dünnen Schicht eines fließfähigen Komposits ausgekleidet und anschließend ein Hybridkomposit benutzt (59, 61). Die fließfähigen Komposite besitzen eine größere Polymerisationsschrumpfung (bis zu 6 Vol.-%) und die mechanischen Festigkeitswerte sind geringer als die von Hybridkompositen (7, 10, 14, 28, 86).

### 2.2.6 Stopfbare Komposite („Condensables“ oder „Packables“)

Die sogenannten „Condensables“ oder „Packables“ sind speziell für den Einsatz im Seitenzahnbereich entwickelt worden. Durch eine Erhöhung des Füllstoffanteils sollen sie verbesserte Materialeigenschaften aufweisen und besitzen eine deutlich höhere Viskosität. Mit diesen Materialien erhoffte man sich, die Polymerisationsschrumpfung reduzieren zu können, so dass die zeitintensive Inkrementtechnik entfallen könnte (4-6). Die Begriffe „Condensables“ oder „Packables“ sind von der Industrie genutzt, rein werbe-

technische Ausdrücke, die verdeutlichen sollen, dass diese Materialien ähnlich wie Amalgam anzuwenden sind. Es wird suggeriert, dass diese Materialien durch ihren hohen Füllkörperanteil eine Stopfbarkeit aufweisen und die Ausformung des approximalen Kontaktpunktes bei der Verwendung der Matritzentechnik erleichtert wird (86).

Einige Vertreter der stopfbaren Komposite weisen mangelhafte Benetzungs- und Anfließigenschaften, speziell an enge Kavitätenwinkel und -kanten, eine ungenügende Polierfähigkeit und eine erhöhte Bruchanfälligkeit auf (93, 94).

### 2.2.7 Nanotechnologie-modifizierte Komposite

Diese in den letzten Jahren entwickelten Komposite enthalten Füllkörperpartikel in einem Nanometerbereich zwischen 20 nm und 75 nm und können damit eigentlich zu den Mikrofüllerkompositen gezählt werden. Sie nehmen allerdings eine Sonderstellung zwischen Mikrofüller- und Hybridkompositen ein (86, 92, 94).

Bei der Nanotechnologie werden feinstkörnige Siliziumdioxid-Füllkörper in Größen um die 20 nm in die Matrix integriert, die sogenannten Nanomere. Diese Nanomere sind frei in der Matrix befindliche, nicht agglomerierte Mikrofüllkörper, durch die der Füllkörperanteil gegenüber dem eines Mikrofüllerkomposits deutlich erhöht werden kann und vergleichbar mit dem eines Hybridkomposits ist. Die Nanomere haben im Vergleich zum Volumen eine sehr große Oberfläche mit sehr hoher Oberflächenenergie. Diese Oberflächenenergie würde normalerweise das Verklumpen der Nanopartikel zu Mikropartikeln bewirken. Bestimmte chemische und physikalische Verfahren machen es aber möglich, dass die Nanopartikel nicht agglomerieren (87, 92, 94).

Zusätzlich ist ein Teil der Nanomere zu sogenannten Nanoclustern agglomeriert. Diese Nanocluster erreichen eine Gesamtgröße von 0,6-1,4 µm (87, 94).

Diese Komposite haben eine bessere Polierbarkeit und Ästhetik gegenüber einem Hybridkomposit und eine mit einem Hybridkomposit vergleichbare Polymerisations-schrumpfung und mechanische Stabilität (87).

In der Klinik werden zum Teil reine Nanokomposite eingesetzt, deren Füllkörper aus freien Nanomeren und agglomerierten Nanoclustern bestehen. Weiterhin gibt es so genannte Nano-Hybrid-Komposite, welche zusätzlich zu den Nanomeren weitere, größere Füllpartikel aus gemahlener Glaskeramik oder Glasfüller enthalten (94).

### 2.2.8 Kompomere

Der Begriff Kompomer setzt sich aus den Begriffen Komposit und Glasionomer, den beiden Bestandteilen des Kompomers, zusammen. Neben verschiedenen polymerisierbaren Monomeren (z.B. UDMA) sind in der Matrix auch Dimethacrylate, die mit Carbonsäuregruppen modifiziert sind, enthalten. Diese säuremodifizierten bifunktionellen Matrixmonomere sollen neben der klassischen Polymerisationsreaktion in einer sekundären Härtung mit Hilfe von Wasser als Solvent eine Säure-Base-Reaktion starten (1, 58, 59, 90, 92). Chemisch gesehen gehören die Kompomere eher zu den Kompositen als zu den Glasionomerzementen, denn die Aushärtung findet fast ausschließlich über die Polymerisation statt (1, 59, 90). Die Säure-Base-Reaktion kann nur im Randbereich der Restauration stattfinden, weil nur dieser einen Kontakt zum wässrigen Medium aufweist. Die Kompomere sollen sowohl die guten Materialeigenschaften der Komposite als auch der Glasionomerzemente besitzen. Darunter zu nennen sind eine leichte und sichere Applikation, eine gute Ästhetik, ein guter Kontakt zur Zahnhartsubstanz, eine gute Biokompatibilität, ein guter Röntgenkontrast, eine Fluoridfreisetzung und eine gute Polierbarkeit (58). Die physikalischen Eigenschaften von Kompomeren, wie Biege-, Zug- und Druckfestigkeit, ähneln denen der modernen Komposite. Die Werte für diese Festigkeiten liegen dabei eher im Bereich der Werte für mikrogefüllte Komposite und unter denen für Hybridkomposite (59, 90). Die Kompomere weisen einen ähnlich geringen Elastizitätsmodul wie die inhomogenen Mikrofüllerkomposite auf und sind daher prädestiniert für Klasse-V Versorgungen. Weiterhin sind sie auf Grund einer geringeren Abrasionsstabilität für Milchzahnrestorationen besonders gut geeignet (59, 90, 92). Die Wasseraufnahme ist im Vergleich zu den Kompositen erhöht, daher eignen sich die Kompomere nicht für Stumpfaufbauten.

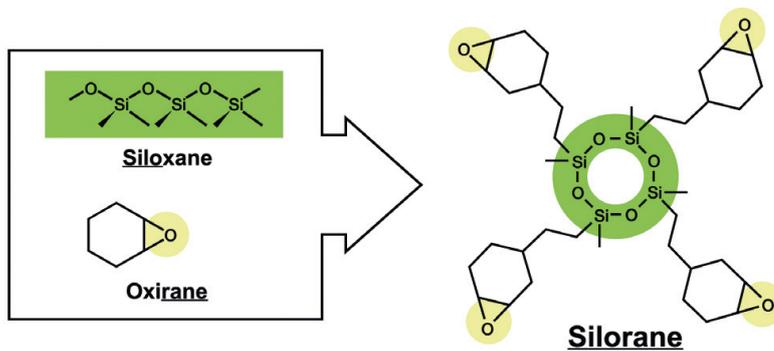
### 2.2.9 Ormocere

Das Wort Ormocer leitet sich aus dem Englischen ab und steht für „**O**rganically **m**odified **C**eramic“. Die Ormocere haben im Gegensatz zu konventionellen Kompositen ein auf Polysiloxanen (Si-O-Si) basierendes vorpolymerisiertes anorganisches Rückgrat, welches mit organischen Methacrylatgruppen modifiziert ist, die wiederum für die Photopolymerisation verantwortlich sind. Entsprechend der bewährten Kompositentechnologie werden Füllkörper in das Ormocer integriert. Die Aushärtung der Ormo-

cere geschieht durch Photopolymerisation (1, 58, 59, 89). Die Materialeigenschaften sind mit denen der modernen Feinstpartikelhybridkomposite zu vergleichen (59). Die Vorteile der Ormocere sollen in einer verringerten Polymerisationsschrumpfung und einem geringeren toxikologischen und allergologischen Potenzial liegen, weil die organischen Bestandteile an das anorganische Rückgrat gekoppelt sind.

### 2.2.10 Silorane

Gegenwärtig liegen noch sehr wenige Untersuchungen zu den 2007 neu entwickelten Siloranen vor. Die Silorane sind eine neue Klasse der Komposite, die sich aus der Kombination der Worte Siloxan und Oxiran zusammensetzen. Die Silorane sind eine von der Firma 3M ESPE patentierte Werkstoffklasse (34).



**Abb. 2.7** Prinzipielle Zusammensetzung des Silorans (73).

Die Matrix der Silorane enthält bis zu 74 Gew.-% Füllkörper aus  $\text{SiO}_2$  und Yttriumfluorid (73). Die Polymerisation läuft unter Ringöffnung der Monomere ab und verursacht nur eine sehr geringe Schrumpfung (34, 39, 73). Dieser Sachverhalt ist damit zu erklären, dass, im Gegensatz zu der Polymerisationsreaktion der Methacrylate, bei den Siloranen im ersten Schritt eine Spaltung und Öffnung der Ringmoleküle stattfindet. Dieser Prozess führt zu einem Platzgewinn und wirkt dem Volumenverlust entgegen, der im darauffolgenden Schritt zwangsläufig auftritt, wenn die chemischen Bindungen gebildet werden (73, 92).

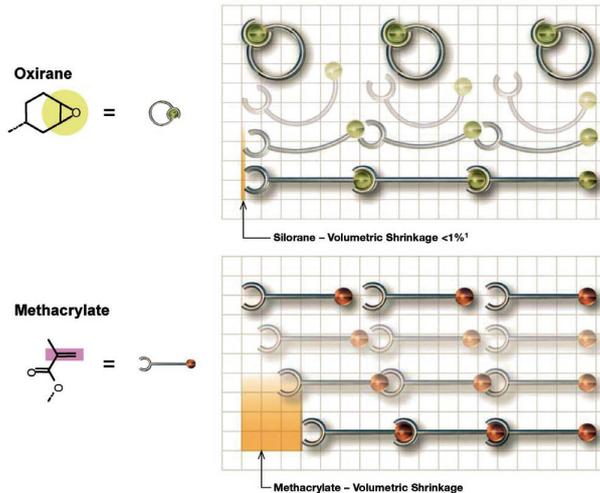


Abb. 2.8 Prinzip der unterschiedlichen Polymerisationsreaktionen (73).

## 2.3 Eigenschaften zahnfarbener plastischer Füllungsmaterialien

### 2.3.1 Allgemeines

Die im Folgenden beschriebenen Eigenschaften der zahnfarbenen plastischen Füllungsmaterialien charakterisieren die Vor- und Nachteile der einzelnen Materialklassen. Weiterhin kann man durch diese Eigenschaften den Indikationsbereich der Materialien festlegen.

Das Ziel ist eine nahezu perfekte mikromechanische Haftung zwischen Schmelz und Dentin mit dem Restaurationsmaterial zu erreichen. Diese Haftung verhindert die Bildung von Sekundärkaries, Überempfindlichkeiten und Verfärbungen, die durch Mikrospalten entstehen können (5, 16, 29, 35).

### 2.3.2 Polymerisationsschrumpfung

Über den Mechanismus der radikalischen Polymerisation bildet sich aus den Monomeren ein dreidimensionales Polymernetzwerk. Dieser Vorgang kann in Initiation, Wachstumsreaktion, Quervernetzung und Kettenabbruch eingeteilt werden. Bei diesem Mechanismus geht das Radikal eine kovalente Bindung mit einem Elektronendonator ein, meist die C=C Doppelbindung der Monomere, und das Molekül wird selbst wieder zum

Radikal (1, 63). Die Anzahl der dabei umgewandelten Doppelbindungen wird als Konversionsrate bezeichnet (5, 27). Durch Rekombination findet ein Kettenabbruch statt.

Mit diesem Polymerisationsvorgang ist auch immer eine Polymerisationsschrumpfung verbunden. Diese ist damit zu erklären, dass vor der Polymerisation die Monomermoleküle einen Abstand von ca. 4 Angström aufweisen und durch sekundäre Kohäsionskräfte, den sogenannten van der Waals Kräften, zusammen gehalten werden. Während der Polymerisation wird diese Art von Bindung durch kovalente Einzelbindungen ersetzt, welche nur einen Abstand von ca. 1,5 Angström haben. Die dadurch verursachte Kontraktion verursacht den größten Teil der Polymerisationsschrumpfung (5, 10, 14, 27, 29).

Faktoren, die die Polymerisationsschrumpfung reduzieren können, sind der Füllstoffanteil, die Füllkörpergröße und die Matrixzusammensetzung. Durch einen größeren Füllstoffanteil im Material wird der Anteil der Monomere in der Matrix verringert. Die Füllkörper weisen bei der Polymerisation keine Schrumpfung auf, sondern die Konversionsrate der Monomere ist für diese verantwortlich (5, 10, 14, 16, 29). Weiterhin geht man davon aus, dass kleinere Füllkörper enger aneinander gelagert werden können und somit weniger Raum für die Monomere bleibt. Dies bedeutet wiederum einen geringeren Umsatz an Doppelbindungen (5). Bei der Zusammensetzung der Matrix hat die Molmasse der Monomere eine große Bedeutung. Große Moleküle, wie beispielsweise Bis-GMA ( $M = 512 \text{ g mol}^{-1}$ ), weisen im Gegensatz zu kleinen Molekülen, wie beispielsweise TEGDMA ( $M = 286 \text{ g mol}^{-1}$ ), weniger Doppelbindungen pro Volumen auf. Somit ist die Konversionsrate bei Monomeren mit großer Molmasse geringer (5, 27, 29).

Die heutigen Komposite weisen eine Polymerisationsschrumpfung zwischen -1 Vol.-% und -3 Vol.-% auf (8, 10, 14, 28). In diesem Bereich der Polymerisationsschrumpfung sind auch die Kompomere mit einer Schrumpfung zwischen -2 und -3 Vol.-% und die Ormocere mit einer Schrumpfung zwischen -1,7 und - 2,5 Vol.-% einzuordnen (58, 59). Die Polymerisationsschrumpfung der Silorane soll nach den vorliegenden Studien geringer sein als die der sogenannten stopfbaren Komposite. Es werden Werte von unter -1 Vol.-% für die Polymerisationsschrumpfung angegeben (39, 42).

### 2.3.3 Quellung und Wasseraufnahme

Die Quellung der Komposite resultiert aus der Interaktion mit dem feuchten oralen Milieu. Der Radius eines Wassermoleküls beträgt 0.156 nm, damit ist es kleiner als der Molekülabstand in der polymerisierten Matrix des Komposits und das Wassermolekül kann in die Zwischenräume diffundieren (35, 36).

Mit der Wasseraufnahme tritt auch gleichzeitig eine Volumenzunahme auf, die nach ungefähr sieben Tagen ihr Maximum erreicht hat (31, 33, 55). Die Volumenzunahme wirkt der Polymerisationsschrumpfung entgegen, jedoch kann bei zu starker Quellung der Druck auf die Kavitätenwand zunehmen und in einer Fraktur des Zahnes enden (16, 30, 33, 35, 36). Die Wasseraufnahme beeinflusst auch die mechanischen Eigenschaften und fungiert als Weichmacher in der Restauration (16, 25, 26, 33, 35, 36). Dabei sinkt der Elastizitätsmodul der Komposite proportional zur Wasseraufnahme (26, 77). Weiterhin wird die Biegefestigkeit der Komposite auf ca. 80 % des Ausgangswertes reduziert und die Bruchfestigkeit negativ beeinflusst (75-77).

Es gibt mikrostrukturelle und molekulare Aspekte, die zur Wasseraufnahme beitragen (26, 31, 33, 35, 36). In der Literatur werden zwei Theorien beschrieben, die beide zusammen den Mechanismus der Wasseraufnahme definieren.

Die freie Volumen-Theorie:

Bei dieser Theorie wird davon ausgegangen, dass das Wasser durch kleine Poren oder Defekte des Komposits in die freien Räume zwischen den Molekülen diffundiert, bis ein Equilibrium erreicht ist. Dabei finden keine Verbindungen zu polaren Gruppen des Materials statt (30, 31, 34-36). Der Diffusionsprozess ist materialspezifisch und wird durch den Diffusionskoeffizienten definiert (31, 33, 34, 55).

Die Interaktions-Theorie:

Bei dieser Theorie wird die Wasseraufnahme, durch die Fähigkeit der Monomere bzw. Polymere Wasserstoffbrückenbindungen mit dem Wassermolekül einzugehen, beeinflusst. Dabei bilden Hydroxyl-Gruppen ( $2980 \text{ J cm}^{-3}$ ) stärkere Wasserstoffbrückenbindungen als Urethan-Gruppen ( $1425 \text{ J cm}^{-3}$ ) und diese wiederum stärkere als Ether-Gruppen ( $881 \text{ J cm}^{-3}$ ). Weitere polare Gruppen sind Carboxylgruppen und Phosphat-

gruppen (30, 31, 34-36). Das Wassermolekül eignet sich besonders für diese Art von Bindungen, weil es ein gewinkelt gebauter Dipol ist. Das negative Ende mit einer großen Elektronegativität liegt zwischen den freien Elektronenpaaren am O-Atom und das positive Ende zwischen den beiden H-Atomen. Durch elektrostatische Anziehungskräfte nähert sich das positiv polarisierte H-Atom der polaren Gruppen einem freien Elektronenpaar des O-Atoms an und es kommt zu einer Wasserstoffbrückenbindung (66).

Die Wasseraufnahme und die Quellung können durch den Anteil der Füllkörper reduziert werden, denn ein großer Füllkörperanteil verringert den Anteil an Monomeren, die mit dem Wasser interagieren können (31, 35, 36). Weiterhin kann durch die Zusammensetzung der Matrix eine Reduktion erreicht werden, denn die unterschiedlichen Monomere weisen auch eine unterschiedliche Wasseraufnahme auf: Poly-TEGMA (6,33 Gew.-%) > Poly-Bis-GMA (2,93 Gew.-%) > Poly-UDMA (2,59 Gew.-%) > Poly-Bis-EMA (1,79 Gew.-%) (30). Der Unterschied zwischen Bis-GMA, UDMA und Bis-EMA kann durch die polaren Seitengruppen erklärt werden. Die größte Wasseraufnahme von TEGDMA ist zum einen auf die Affinität der Ether-Bindung im Molekül zum Wasser zurück zu führen (31). Zum anderen hat die Polymerstruktur von TEGDMA eine größere Flexibilität (E-Modul: 0,744 GPa) als die von Bis-GMA (E-Modul: 1,427 GPa), welches die größere Quellung und Wasseraufnahme verursachen kann (30).

Im Vergleich der einzelnen zahnfarbenen plastischen Füllungsmaterialien weisen die Kompomere eine erhöhte Wasseraufnahme auf. Dies ist damit zu erklären, dass neben der Fotopolymerisation verzögert eine Säure-Base-Reaktion im Randbereich der Restauration stattfindet. Bei dieser Reaktion wird das durch die Restauration diffundierende Wasser bei der Hydratation der Füllkörper gebunden (35, 36, 71). Die Ormocere und die modernen Seitenzahnkomposite weisen ungefähr die gleichen und gleichzeitig die geringsten Werte für die Wasseraufnahme auf.

Material	Wasseraufnahme in $\mu\text{g mm}^{-3}$
Kompomer	31,5
Ormocer	23,3
Packable Komposit	20,2
Nano-Hybrid-Komposit	19,2

**Tab. 2.4** Wasseraufnahme nach zweier Studien von Mortier E. et al. (35, 36).

In der Literatur wird eine verminderte Wasseraufnahme der Silorane im Vergleich zu den anderen Füllungsmaterialien beschrieben. Dieses Phänomen soll durch das hydrophobe Rückgrat des Siloran-Moleküls auf Grund der Einlagerung der Siloxangruppen hervorgerufen werden (34).

#### 2.3.4 Löslichkeit

Durch die Diffusion der Wassermoleküle werden Monomermoleküle, sogenannte Restmonomere, herausgelöst, die während der Polymerisation nicht reagiert haben, und somit keine kovalenten Verbindungen zum Polymernetzwerk aufweisen (25, 30, 33, 35). Daher verringert eine hohe Konversionsrate die Löslichkeit der Komposite (30).

Weiterhin ist die Zusammensetzung der Matrix wichtig, denn kleine Monomere, wie beispielsweise TEGDMA, die eine höhere Mobilität als größere Monomere aufweisen, können schneller und in einer größeren Menge aus dem Komposit gelöst werden (30, 31). Dahingegen können große Moleküle wie UDMA und Bis-GMA nur in sehr kleinen Mengen aus den Kompositen in Lösung gehen (31). Weiterhin ist mit einer höheren Polarität beziehungsweise mit einer höheren Hydrophilie der Monomere auch eine höhere Löslichkeit verbunden (51). Untersuchungen haben gezeigt, dass die Restmonomere die Hauptkomponente sind, die aus dem Komposit heraus gelöst werden. Diese Monomere lösen sich meistens innerhalb der ersten sieben Tage nach der Polymerisation aus dem Komposit und sind häufig Auslöser für eine allergische Reaktion (27, 30, 31, 35, 36). Zusätzlich zu den Monomeren lösen sich in sehr geringer Menge weitere Bestandteile wie Initiatoren und Stabilisatoren aus der Matrix (72).

Weiterhin verursacht das eindringende Wasser eine Hydrolyse und auch Oxidation der organischen Matrix und die daraus entstehenden Abbauprodukte können aus der Restauration herausgelöst werden (31). Das Wasser kann im Material ebenso einen hydrolytischen Zusammenbruch des Silan-Füllkörper-Verbundes verursachen, so dass eine Erosion der anorganischen Füllkörper stattfindet (30, 31, 33, 34, 35). Somit verhindert eine stabile Verbindung zwischen Füller, Silanen und Matrix die Löslichkeit der Füllkörper. Zusätzlich kann gesagt werden, dass Füllkörper aus Barium-Aluminium-Borosilikat-Glas eine doppelt so hohe Löslichkeit aufweisen als Füllkörper aus pyroge-

nem SiO<sub>2</sub>. Dies ist damit zu erklären, dass unterschiedliche anorganische Materialien sich unterschiedlich gut in Wasser lösen (35, 36, 47, 48).

Im Vergleich der einzelnen zahnfarbenen plastischen Füllungsmaterialien ist die Löslichkeit bei den Kompomeren am größten. Dies ist damit zu erklären, dass bei der Säure-Base-Reaktion der Kompomere Fluoride und andere Ionen in Lösung gehen und heraus diffundieren (35, 36, 58, 59). Die heutigen Komposite und die Ormocere weisen eine geringere Löslichkeit auf. Dabei hat das Ormocer durch die dreidimensionale gewundene Molekülstruktur, die das in Lösung gehen der Monomere und Füllkörper verhindern soll, eine etwas geringere Löslichkeit (35, 36). Wie auch schon in Kapitel 2.3.3 erläutert weist das Siloran auf Grund des hydrophoben Rückgrats gegenüber den anderen Füllungsmaterialien eine verringerte Löslichkeit auf (34).

Material	Löslichkeit in $\mu\text{g mm}^{-3}$
Kompomer	8,3
Ormocer	1,2
Packable Komposit	4,9
Nano-Hybrid-Komposit	2,4

**Tab. 2.5** Löslichkeit nach zweier Studien von Mortier E. et al. (35, 36).

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Löslichkeit des Komposits zu einem Masseverlust führt, der sich aus Monomeren, Initiatoren, Stabilisatoren und Füllkörper zusammensetzt. Besonders der Verlust an Füllkörpern verschlechtert die mechanischen Eigenschaften, wie Biegefestigkeit, E-Modul, Druckfestigkeit und Abrasion (30, 31).

### 2.3.5 Biegefestigkeit und E-Modul

Die Prüfung der Biegefestigkeit erfolgt gemäß EN ISO 4049. Die Biegeeinrichtung besteht im Wesentlichen aus zwei Walzen mit 2 mm Durchmesser, die parallel im Abstand der Achsen von 20 mm angebracht sind, sowie aus einer dritten Walze, die in der Mitte zwischen den beiden anderen und parallel zu ihnen montiert ist, so dass die drei Walzen zusammen für eine Dreipunktbelastung des Probekörpers eingesetzt werden

können. Ein lichthärtendes Komposit für Restaurationen im Front- und Seitenzahngelände muss nach EN ISO 4049 eine Mindestbiegefestigkeit von 80 MPa aufweisen.

Der Elastizitätsmodul (E-Modul) ist ein Maß für den Widerstand eines Materials gegenüber elastischer Verformung. Materialien mit kleinem E-Modul haben eine geringe Steifigkeit und geben bei Belastung stark nach (1). Der E-Modul wird durch den Füllkörperanteil beeinflusst. Mit steigendem Füllstoffgehalt nehmen sowohl der E-Modul als auch die Biegefestigkeit zu, was eine erhöhte Formstabilität als Folge hat (85).

Im Vergleich der einzelnen zahnfarbenen plastischen Füllungsmaterialien weisen die Kompomere die geringste Biegefestigkeit auf. Sie erreichen nicht die vorgegebene Mindestbiegefestigkeit von 80 MPa. Die Ormocere weisen im Vergleich zu den Kompositen eine geringere Biegefestigkeit auf (84). Die stopfbaren Komposite haben den höchsten E-Modul von über 10000 MPa (84). Die Ormocere haben im Vergleich zu den Kompositen einen leicht verringerten E-Modul. Die Kompomere weisen den geringsten E-Modul auf und sind auf Grund der erhöhten Biegebeanspruchung besonders für Klasse V-Restaurationen geeignet (59).

### 2.3.6 Härte und Druckfestigkeit

Die Härteprüfung von Materialien wird vorwiegend durch die Methode nach Brinell oder Vickers durchgeführt. Nach Brinell wird eine Stahlkugel mit einer bestimmten Kraft auf die plane Fläche eines Prüfkörpers gedrückt. Die entstehende Impression ist in einem weichen Werkstoff größer als in einem harten. Bei der Methode nach Vickers wird die Stahlkugel durch eine vierseitige Diamantpyramide mit einem Öffnungswinkel von 136° ersetzt (1, 78).

Die Druckfestigkeit ist diejenige Druckspannung (Kraft / Querschnitt), die zur Zerstörung des Prüfkörpers führt (1). Für die Bestimmung der Druckfestigkeit werden in einer Teflonform zylindrische Probekörper hergestellt. Die Proben werden zwischen zwei parallelen Platten einer Prüfmaschine gesetzt und mit einer axialen Kraft bei einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit von 0,5 mm min<sup>-1</sup> bis zum Bruch belastet (78).

Die Härte von Kompositen ist höher als die der Kompomere und die Druckfestigkeit ist für beide annähernd gleich. Der Unterschied der Druckfestigkeit ist zum größten Teil

auf den Füllkörperanteil zurückzuführen, der für Komposite und Kompomere gleich hoch sein kann (1, 78).

### 2.3.7 Abrasion

Bei der Abrasion unterscheidet man Zwei-Körper-Abrasionssysteme, wie zum Beispiel der Kontakt zwischen Füllung und antagonistischer Zahnhartsubstanz oder der Kontakt zwischen zwei Füllungen. Bei diesem System stehen die Flächen der Materialien direkt in Kontakt. Weiterhin gibt es ein Drei-Körper-Abrasionssystem, wie zum Beispiel die Abrasion durch eine Bürste gemeinsam mit einer Zahnpasta. Hierbei verursachen die Putzkörper der Zahnpasta, die durch die Bürste gegen die Füllungsoberfläche bewegt werden, einen Substanzverlust (82).

Zur in vitro Testung der Abrasion gibt es zahlreiche Möglichkeiten, um die komplexen Vorgänge der in vivo Abrasion zu simulieren. Eine Möglichkeit ist die maschinelle Simulation der Antagonisten Zahnschmelze und Füllungsmaterial (79, 81). Weitere Methoden sind zum Beispiel die Verwendung eines Pulverwasserstrahls und die Simulation mit einer automatischen Zahnputzmaschine.

Die Abrasion der Komposite korreliert negativ mit dem Füllkörperanteil, was bedeutet, dass ein höherer Anteil an Füllkörpern die Abrasion der Komposite reduziert (81). Weiterhin haben Komposite, die  $\text{SiO}_2$  als Füllkörper enthalten, einen größeren Widerstand gegen die Abrasion als Komposite mit Barium-Aluminium-Borosilikat Füllkörpern. Die Komposite, die Lithium-Aluminium-Silikate enthalten, weisen die größte Abrasion auf (79).

Im Vergleich zu den Kompositen sind die Kompomere weniger abrasionsstabil. Auf Grund dieser Tatsache sind sie für Milchzahnrestorationen besonders gut geeignet (59, 90). Eine ebenso gute Abrasionsstabilität wie die Komposite weisen die Ormocere auf (80).

### 3. Problemstellung

Bis zum heutigen Zeitpunkt ist die Polymerisationsschrumpfung der Komposite ein werkstoffkundliches und vor allem auch klinisches Problem, das wesentlich die Integrität der Kompositrestauration beeinflusst. Weiterhin ist die Quellung der Komposite in wässriger Umgebung eine Eigenschaft, die der Polymerisationsschrumpfung entgegen wirken könnte.

Ziel dieser Untersuchung ist es, die Polymerisationsschrumpfung, Quellung / Wasseraufnahme und Löslichkeit von sechs modernen Seitenzahnkompositen zu untersuchen. Im Einzelnen wird der Zusammenhang zwischen Polymerisationsschrumpfung und Füllstoffgehalt, Wasseraufnahme und Quellung einerseits als auch zwischen Löslichkeit und Quellung andererseits betrachtet.

Drei Hypothesen werden dieser Studie zu Grunde gelegt und sind durch die Ergebnisse zu bekräftigen oder zu widerlegen.

- a) Die Polymerisationsschrumpfung ist materialabhängig
- b) Die Polymerisationszeit und die Polymerisationsschrumpfung korrelieren
- c) Die Quellung der Komposite kompensiert die anfängliche Polymerisationsschrumpfung

In dieser Untersuchung sollen weiterhin der Einfluss von Löslichkeit und Wasseraufnahme auf die Quellung/Volumenänderung untersucht werden. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es auch den Einfluss der Lagerungszeit auf die Quellung zu untersuchen.

## 4. Material und Methode

### 4.1 Übersicht über die Versuche und Testreihen

In dieser Arbeit werden Polymerisationsschrumpfung, Quellung und Wasseraufnahme / Löslichkeit sechs verschiedener moderner Seitenzahnkomposite in Abhängigkeit von der Polymerisationszeit (20, 40, 60 sec) bei konstanter Bestrahlung untersucht.

<b>Probenherstellung</b> Scheiben (Durchmesser: 10mm ± 1mm / Dicke: 1mm ± 0,1mm) Insgesamt 240 Prüfkörper (PK)
--

6 × 10 PK 20 sec. poly.	6 × 10 PK 40 sec. poly.	6 × 10 PK 60 sec. poly.	6 × 10 PK Unpolymerisiert
----------------------------	----------------------------	----------------------------	------------------------------

Glättung der Ränder der Probekörper (polymerisierte PK)
---

Messung der Durchmesser und der Dicke der Probekörper (polymerisierte PK)
---

#### **Dichtemessung (polymerisierte PK)**

1. Tag 0, trocken und dunkel gelagert bei 24,0 °C Wägung in Luft und Wasser 15 min nach Polymerisation.
2. Tag 0, nass und dunkel gelagert bei 37,0 °C Wägung in Luft und Wasser 1 h nach Polymerisation.
3. Tag 1, nass und dunkel gelagert bei 37,0 °C Wägung in Luft und Wasser 24 h nach Polymerisation.
4. Tag 7, nass und dunkel gelagert bei 37,0 °C Wägung in Luft und Wasser 7 d nach Polymerisation.
5. Tag 30, nass und dunkel gelagert bei 37,0 °C Wägung in Luft und Wasser 30 d nach Polymerisation.
6. Probekörper nach Trocknung im Exsikkator Wägung in Luft und Wasser

### **Dichtemessung (unpolymerisierte PK)**



**Abb. 4.1** Überblick über den Versuchsablauf.

## **4.2 Materialien**

### 4.2.1 Komposite

In der folgenden Tabelle sind alle Komposite aufgelistet die in den Versuch untersucht worden sind. Es wurde darauf geachtet, dass nur Materialien der gleichen Chargennummer verwendet wurden, damit eine Abweichung der Materialeigenschaften, die produktionsbedingt auftreten könnte, nicht mit in die Ergebnisse einfließt.

Material	Lot.-No. / Farbton / Literatur	Füllstoffanteil		Zusammensetzung	Hersteller
		Ca. mass- %	vol- %		
Ceram-X-Mono Nanohybrid Komposit mit partiell Silicium- organisch modifizierter Resin-Matrix (Nano-Partikel Hybride)	05100001 98 M5 = A3 Literatur: 37	76	57	Matrix: Methacrylat-modifiziertes Polysiloxan, Dimethacrylat Harz, Anorganische Füllstoffe: Ba-Al-Borosilikat-Glass, pyrogenes SiO <sub>2</sub> , Photoinitiator: Kampherchinon, Zusatz: Ethyl-4-dimethylaminobenzoat, UV-Stabilisatoren, Stabilisator: Butylhydroxytoluol	DeTrey Dentsply GmbH, Konstanz, Deutschland
Clearfil AP-X Nanohybrid (Hybrid)	01122B A3 Literatur: 38	85.5	70	Matrix: Bis-GMA, Tegdma, Anorganische Füllstoffe: Ba-Glass, Silizium, pyrogenes SiO <sub>2</sub> , Photoinitiator: Kampherchinon	Kuarary Co. Inc., Kurashiki, Japan
Filtek P60 Nanohybrid (Hybrid)	6CK A3 Literatur: 62	84.0	62,34	Matrix: Bisphenol A Polyethylen Glykol Diether Dimethacrylat, UDMA, Bis-GMA, Bis-EMA, Tegdma, Anorganische Füllstoffe: Zirconium, Silicium, Photoinitiator: Kampherchinon	3M Espe GmbH, Seefeld, Deutschland
Solitaire 2 Nanohybrid (sogenannte Packable)	010257 A3 Literatur: 9, 36	75	47,76	Matrix: Bis-GMA ; HPMA, ETMA, PENTA, Anorganische Füllstoffe: Ba-Al-F-Glass, Ba-Glass, poröses SiO <sub>2</sub> , Photoinitiator: Kampherchinon	Heraeus-Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland
SureFil Hoch visköses Microhybrid (sogenannte Packable)	050802 C = A3 Literatur : 9, 83	82	66	Matrix: Urethane modifiziertes Bis-GMA, Tegdma Anorganischer Füllstoffe: Ba-Glass, Photoinitiator: Kampherchinon	Dentsply/Caulk Inc., Milford, CT, USA
TetricEvoCeram Nanohybrid (Hybrid)	H32690 A3 Literatur: 65, 69	82,5	66	Matrix: UDMA, Bis-GMA, ethoxylated Bis-EMA Anorganische Füllstoffe: Ba-Glass, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Yb <sub>3</sub> , pyrogenes SiO <sub>2</sub> , Füllstoffanteil: 48.5 mass-%, Vorpolymerisate: gefüllt mit pyrogenem SiO <sub>2</sub> , Füllstoffanteil: 34.0 mass-%, Photoinitiator: Kampherchinon, Diphenyl (2,4,6-trimethylbenzoyl)-Phosphin Oxide, Zusatz: tertiäre Amine	Ivoclar Viva- dent AG, Schaan, Liech- tenstein
Bis-GMA: Bisphenol-A-Glycidyl-Methacrylat, Bis-EMA: Bisphenol-A-Ethoxy-Methacrylat, UDMA: Urethandimethacrylat, TEGDMA: Triethylen-Glycol-Dimethacrylat, HPMA: 3-Hydroxypropylmethacrylat, ETMA: Ethyltriglycolmethacrylat, PENTA: Pentaerythryoltetraacrylat,					

**Tab. 4.1** Testmaterialien.

#### 4.2.2 Geräte

Als Polymerisationslampe wurde die Hilux Ultra Plus (Benlioglu Dental Inc., Ankara, Türkei) mit einer Wolfram-Halogen Lichtquelle benutzt. Bei den Versuchen wird mit einem im Durchmesser 11 mm großen Lichtleiter und im konstanten Lichtmodus gearbeitet. Dies bedeutet, dass die maximale Lampenleistung von Beginn an vorhanden ist. Die genaue Polymerisationszeit kann mit einem Timer eingestellt werden.

Nach jeder Serie von zehn polymerisierten Prüfkörpern wird die Lampenleistung mit Hilfe eines Photometers (Benlioglu Dental Inc.) geprüft, dazu werden zehn Messungen mit jeweils einer Minute Pause durchgeführt. Bei den Versuchsreihen wurde eine Lampenleistung zwischen 750 und 850 mWcm<sup>-2</sup> (im Durchschnitt 800 ± 67 mWcm<sup>-2</sup>) gemessen und es konnte kein signifikanter Leistungsrückgang festgestellt werden.

Für die Berechnungen von Polymerisationsschrumpfung, Quellung und Wasseraufnahme und Löslichkeit muss die Dichte der Prüfkörper zu verschiedenen Zeitpunkten der Versuche bestimmt werden. Mit Hilfe der Analysewaage Mettler Toledo XS (Mettler Toledo GmbH, Greifensee, Schweiz) und einem Kit zur Dichtebestimmung von Festkörpern kann diese Dichtemessung vorgenommen werden. Die Dichtebestimmungen werden nach dem «Archimedischen Prinzip» durchgeführt, das auch beim Dichtebestimmungskit für die Waagen verwendet wird. Dieses Prinzip besagt, dass jeder Körper, der in eine Flüssigkeit getaucht wird, um soviel leichter wird, wie die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt. Die Dichte eines Festkörpers wird mit Hilfe einer Flüssigkeit bestimmt, deren Dichte  $\rho_0$  bekannt ist, als Hilfsflüssigkeit wird meistens destilliertes Wasser verwendet. Der Festkörper wird einmal in Luft gewogen (A) und anschließend in destilliertem Wasser (B). Aus den beiden Wägungen errechnet eine spezielle Software der Mettler Toledo XS die Dichte  $\rho$  in g cm<sup>-3</sup> wie folgt:

$$\rho = A/A-B \times (\rho_0 - \rho_L) + \rho_L$$

$\rho$  = Dichte der Probe

A = Gewicht der Probe in Luft

B = Gewicht der Probe in destillierten Wasser

$\rho_0$  = Dichte des destillierten Wasser bei exakt gemessener Temperatur

$\rho_L$  = Luftdichte (0,0012 g cm<sup>-3</sup>)



**Abb. 4.2** Mettler Toledo Analysewaage mit Dichtebestimmungs-Kit (95).

### 4.3 Bestimmung der Polymerisationsschrumpfung

Um die Polymerisationsschrumpfung zu bestimmen, wurden von jedem Testmaterial 10 unpolymersierte Prüfkörper erstellt. Diese Prüfkörper wurden mit der Hand zu Kugeln geformt, wobei darauf zu achten war, dass keine Lufteinschlüsse zustande kamen. Das Gewicht der Prüfkörper betrug ungefähr 0,2 g. Die Dichte wurde mit der Analysenwaage Mettler Toledo XS bestimmt, indem die Prüfkörper in Luft und Wasser gewogen wurden und die Software die Dichte bestimmte. Deformationen des Testmaterials durch die viskösen Eigenschaften der unpolymersierten Komposite waren von keinerlei Relevanz, weil es keinen Einfluss auf die Dichte des Materials hatte. Weiterhin betrug die Zeit für die Bestimmung des Gewichtes nur ca. 30 - 45 sec, sodass die Deformation nicht oder nur sehr gering eintreten konnte. Bei der Durchführung musste darauf geachtet werden, dass bei der Gewichtsbestimmung im Wasser sich keine Luftblasen am Prüfkörper oder am Analysekit befanden, weil dadurch die Bestimmung fehlerhaft werden würde.

Weiterhin wurden von jedem Testmaterial drei Gruppen mit je 10 zylindrischen Prüfkörpern mit einer unterschiedlichen Polymerisationszeit von 20, 40 und 60 sec hergestellt. Insgesamt waren es 180 Prüfkörper, wobei die Herstellung dieser Prüfkörper bis auf eine Ausnahme nach der EN ISO 4049 vorgenommen wurde.

Dabei wurde das Testmaterial im unpolymersierten Zustand mit etwas Überschuss in eine zylindrische Form aus Polyoxymethylen eingebracht (Maße: Durchmesser  $10 \pm 0,1$  mm und Dicke  $1 \pm 0,1$  mm). Beide Seiten der Form wurden mit einer Polyesterfolie der Dicke 0,05 mm bedeckt und anschließend mit zwei Metallplatten bedeckt. Diese Konstruktion wurde dann mit einer Schraubzwinde zusammen gepresst, um einen homogenen Prüfkörper zu bekommen. Nach dem Pressvorgang wurden, unter Belassung der Polyesterfolie, die Prüfkörper polymerisiert, indem der Lichtleiter direkt und nur von einer Seite auf den Prüfkörper platziert wurde. Die Polyesterfolien dienen zur Verhinderung einer Sauerstoffinhibitionsschicht bei der Polymerisation. Der Polymerisationsvorgang, bei dem der Lichtleiter direkt und nur von einer Seite auf den Prüfkörper platziert wurde, ist eine Abweichung von der Norm EN ISO 4049, ist aber im Bezug auf den klinischen Polymerisationsvorgang relevanter. Denn bei der EN ISO 4049 wird der Prüfkörper von beiden Seiten nach einem Bestrahlungsschema von neun sich überlagernden Kreisen polymerisiert. Bei meinen Versuchsreihen wird aber nur einmal von einer Seite

polymerisiert, weil der Zahnarzt während der Behandlung das Komposit in der Kavität auch nur von einer Seite bestrahlen kann und auch das Komposit nur einmal polymerisiert.

Nach 15 minütiger dunkler und trockener Lagerung bei Raumtemperatur wurde die Masse  $m_{15\text{min}}$  und die Dichte  $D_{15\text{min}}$  mit Hilfe der Analysewaage Mettler Toledo XS bestimmt. Die Polymerisationsschrumpfung  $\Delta V$  in % wurde anhand der Dichte bestimmt, dabei wurde folgende Formel benutzt:

$$\Delta V [\%] = (1/D_{15\text{min}} - 1/D_{\text{unpol}}) \times 1/D_{\text{unpol}} \times 100$$

$\Delta V$  = Polymerisationsschrumpfung

$D_{15\text{min}}$  = Dichte nach 15 minütiger dunkler und trockener Lagerung

$D_{\text{unpol}}$  = Dichte des unpolymersierten Materials

#### 4.4 Bestimmung der Quellung

Als nächstes wurde nach 15 minütiger dunkler und trockener Lagerung bei Raumtemperatur das Volumen  $V_{15\text{min}}$  nach EN ISO 4049 bestimmt. Dazu wurde der Durchmesser zweimal rechtwinklig zueinander gemessen und der mittlere Durchmesser berechnet. Die Dicke des Probekörpers wurde in der Mitte und an vier, in gleichem Abstand liegenden, Stellen des Randes gemessen. Das Volumen in  $\text{mm}^3$  berechnet sich aus der Fläche in  $\text{mm}^2$  und der mittleren Dicke.

Zur Messung wurde eine mechanische Schieblehre (Schieblehre, MIB Messzeuge GmbH, Spangenberg, Deutschland) mit einer Genauigkeit von 0,02 mm verwendet.

Anschließend wurden die Prüfkörper für 1h, 24h, 7d und 30d dunkel und in Wasser bei  $37 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  gelagert. Nach jedem Lagerungszeitraum wurden die Prüfkörper heraus genommen und in einem Wasserbad mit destilliertem Wasser für 10 min gelagert, um die Prüfkörper auf Raumtemperatur zu temperieren. Das Wasser wurde von der Oberfläche mit einem Zellstoffpapier abgetupft bis keine Feuchtigkeit mehr sichtbar war. Eine Minute nach Herausnehmen wurde die Dichte mit Hilfe des Analysekits und der Analyse-

waage Mettler Toledo XS bestimmt. Das jeweilige Volumen wurde mit folgender Formel bestimmt:

$$V = m/D$$

V = jeweiliges Volumen nach Lagerung in Wasser und dunkel bei  $37 \pm 1^\circ\text{C}$

m = jeweilige Masse nach Lagerung in Wasser und dunkel bei  $37 \pm 1^\circ\text{C}$

D = jeweilige Dichte nach Lagerung in Wasser und dunkel bei  $37 \pm 1^\circ\text{C}$

Die Volumenveränderung wurde bestimmt, indem von  $V_{15\text{min}}$  das jeweilige Volumen nach Wasserlagerung subtrahiert wurde. Die Resultate wurden in Prozent angegeben.

#### 4.5 Bestimmung der Wasseraufnahme und Löslichkeit

Zur Bestimmung der Wasseraufnahme und Löslichkeit wurde die Masse der Prüfkörper  $m_{30\text{d}}$  nach 30 Tagen Lagerung dunkel und in Wasser bei  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  mit der Analysewaage Mettler Toledo XS bestimmt. Anschließend wurden die Prüfkörper einem weiteren Lagerungszyklus zugeführt, dabei wurden die Prüfkörper in einem Exsikkator, der Kiesegel zur Feuchtaufnahme enthielt und unter Vakuum stand, bei  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  gelagert. Alle 24 Stunden wurde so lange gewogen, bis die Prüfkörper eine Konstante Masse  $m_{\text{trocken}}$  aufwiesen, dabei durfte die Differenz der Masse nach jedem Lagerungszyklus nur  $< 0,1\text{mg}$  sein.

Die Wasseraufnahme wurde nach EN ISO 4049 bestimmt, bei der folgende Formel Verwendung fand:

$$W_{\text{sp}} = (m_{30} - m_{\text{trocken}}) / V$$

$W_{\text{sp}}$  = Wasseraufnahme

$m_{30}$  = die Masse des Prüfkörpers nach Wasserlagerung für 30 Tage bei  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  in  $\mu\text{g}$

$m_{\text{trocken}}$  = die Masse des wieder getrockneten Prüfkörpers nach Wasserlagerung für 30 Tage bei  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  in  $\mu\text{g}$

V = das Volumen des Prüfkörpers in  $\text{mm}^3$

Die Löslichkeit wurde wiederum nach EN ISO 4049 bestimmt, bei der folgende Formel Verwendung fand:

$$W_{sl} = (m_{15min} - m_{trocken}) / V$$

$W_{sl}$  = Löslichkeit

$m_{15min}$  = die Masse des getrockneten Prüfkörpers vor der Wasserlagerung in  $\mu\text{g}$

$m_{trocken}$  = die Masse des wieder getrockneten Prüfkörpers nach Wasserlagerung für 30 Tage bei  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  in  $\mu\text{g}$

$V$  = das Volumen des Prüfkörpers in  $\text{mm}^3$

#### 4.6 Statistische Analyse

Die statistische Analyse wurde mit dem Softwareprogramm SPSS 12.0 (SPSS Software, München, Deutschland) durchgeführt. Durchschnitts- und Standardabweichungen wurden somit berechnet. Der Nachweis der Normalverteilung wurde mit dem Kolmogorov-Test durchgeführt. Der Einfluss der Polymerisationszeit und des Materials auf die Polymerisationsschrumpfung wurde mit einer Zweifache ANOVA berechnet, welcher sich ein Bonferroni post hoc Test anschloss, um die signifikanten Abweichungen zwischen den individuellen Gruppen darzustellen.

Weiterhin wurde die ANOVA benutzt, um den Effekt des Materials oder der Polymerisationszeit auf die Quellung, zwischen der 15 minütigen dunklen und trockenen Lagerung und der dunklen Lagerung im Wasser bei  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  der Prüfkörper nach 1 h, 24 h, 7 d und 30 d, darzustellen. Dieser Test wurde wiederum mit dem Bonferroni post hoc Test erweitert um die signifikanten Abweichungen zwischen den individuellen Gruppen darzustellen.

Der Nachweis des Einflusses der Polymerisationszeit und des Materials auf die Wasseraufnahme und Löslichkeit wurde mit einer Zweifache ANOVA geprüft, die multiplen Vergleiche wurden mit dem Bonferroni post hoc Test gerechnet.

Die Korrelation zwischen dem Material und der Polymerisationsschrumpfung, der Quellung und der Wasseraufnahme nach 30 d, wie auch zwischen der Quellung und Löslichkeit nach 30 d, wurden nach Pearson berechnet.

Bei allen statistischen Analysen wurde die Signifikanz bei  $p < 0,05$  festgelegt.

## 5. Resultate

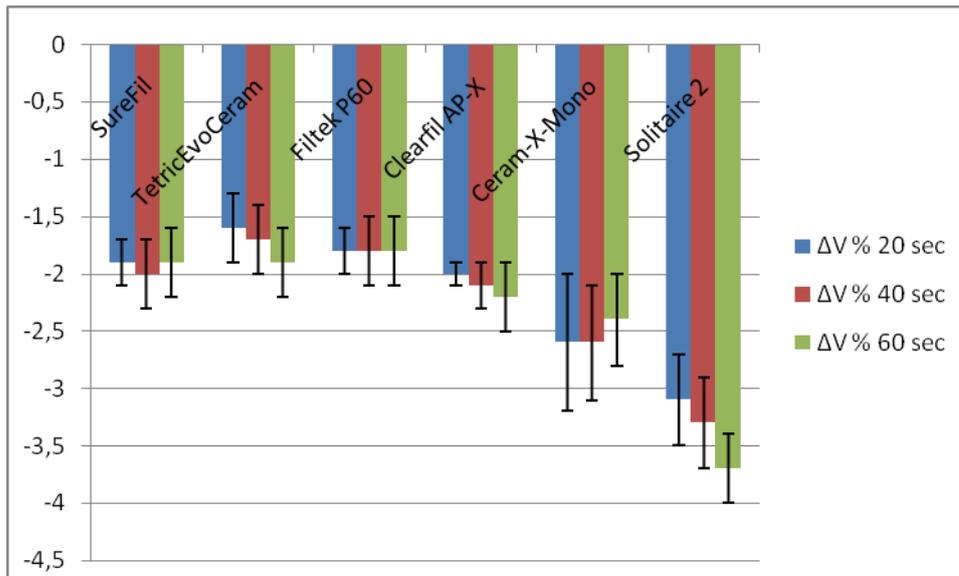
### 5.1 Polymerisationsschrumpfung

#### 5.1.1 Vergleich der einzelnen Kompositmaterialien

Die statistische Auswertung zeigt eine signifikante Polymerisationsschrumpfung für alle Materialien. Dabei schrumpft Solitaire 2 am meisten, SureFil, TetricEvoCeram und Filtek P60 weisen ähnliche und gleichzeitig die geringsten Polymerisationsschrumpfungen auf.

		SureFil	TetricEvoCeram	Filtek P60	Clearfil AP-X	Ceram-X-Mono	Solitaire 2
Füllstoffanteil vol.-%		66.00	66.00	62.34	70.00	57.00	47.46
Lagerung	Polymerisationszeit (sec)	$\Delta V$ (%)					
15 min, trocken und dunkel	20	<b>-1,9</b> $\pm 0,2$	<b>-1,6</b> $\pm 0,3$	<b>-1,8</b> $\pm 0,2$	<b>-2,0</b> $\pm 0,1$	<b>-2,6</b> $\pm 0,6$	<b>-3,1</b> $\pm 0,4$
	40	<b>-2,0</b> $\pm 0,3$	<b>-1,7</b> $\pm 0,3$	<b>-1,8</b> $\pm 0,3$	<b>-2,1</b> $\pm 0,2$	<b>-2,6</b> $\pm 0,5$	<b>-3,3</b> $\pm 0,4$
	60	<b>-1,9</b> $\pm 0,3$	<b>-1,9</b> $\pm 0,3$	<b>-1,8</b> $\pm 0,3$	<b>-2,2</b> $\pm 0,3$	<b>-2,4</b> $\pm 0,4$	<b>-3,7</b> $\pm 0,3$
Alle Materialien schrumpfen nach der Polymerisation signifikant ( $p < 0,05$ )							

**Tab. 5.1** Polymerisationsschrumpfung ( $\Delta V$ , %) und  $\pm$  Standardabweichung der Testmaterialien in % nach Polymerisation und 15 Minuten dunkler und trockener Lagerung bei 37 °C.



**Abb. 5.1** Polymerisationsschrumpfung ( $\Delta V$ , %) der Testmaterialien in % nach Polymerisation und 15 Minuten dunkler und trockener Lagerung bei 37 °C.

### 5.1.2 Einfluss der Polymerisationszeit

Wie auch in Abbildung 5.1 zu erkennen ist hat die Polymerisationszeit keinen signifikanten Einfluss auf die Polymerisationsschrumpfung.

### 5.1.3 Einfluss der Zusammensetzung

Im Vergleich der einzelnen Materialien im Bezug auf die Polymerisationsschrumpfung wurden signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Testmaterialien festgestellt. Somit beeinflusst die Zusammensetzung der einzelnen Komposite auch den Grad der Polymerisationsschrumpfung.

	SureFil	TetricEvoCeram	Filtek P60	Clearfil AP-X	Ceram-X-Mono	Solitaire 2
SureFil		k.S.	k.S.	k.S.	20, 40 s	20, 40, 60 s
TetricEvoCeram	k.S.		k.S.	k.S.	20, 40, 60 s	20, 40, 60 s
Filtek P60	k.S.	k.S.		k.S.	20, 40, 60 s	20, 40, 60 s
Clearfil AP-X	k.S.	k.S.	k.S.		20, 40 s	20, 40, 60, s
Ceram-X-Mono	20, 40 s	20, 40, 60 s	20, 40, 60 s	20, 40 s		20, 40, 60 s
Solitaire 2	20, 40, 60 s	20, 40, 60 s	20, 40, 60 s	20, 40, 60 s	20, 40, 60 s	
k.S.: keine Signifikanz						

**Tab. 5.2** signifikante Unterschiede der Polymerisationsschrumpfung zwischen den Testmaterialien im Bezug auf die Polymerisationszeit ( $p < 0,05$ ).

Auch stellt die Korrelation nach Pearson mit einem negativen Wert von  $-0,7668$  ( $p = 0,0000$ ), im Vergleich des Füllstoffanteils der Testmaterialien im Bezug auf die Polymerisationsschrumpfung, dar, dass die Zusammensetzung und insbesondere der Füllstoffanteil der Testmaterialien einen erheblichen Einfluss auf die Polymerisationsschrumpfung haben. Mit Zunahme des Füllstoffanteils wird die Polymerisationsschrumpfung kleiner.

## 5.2 Quellung und Wasseraufnahme

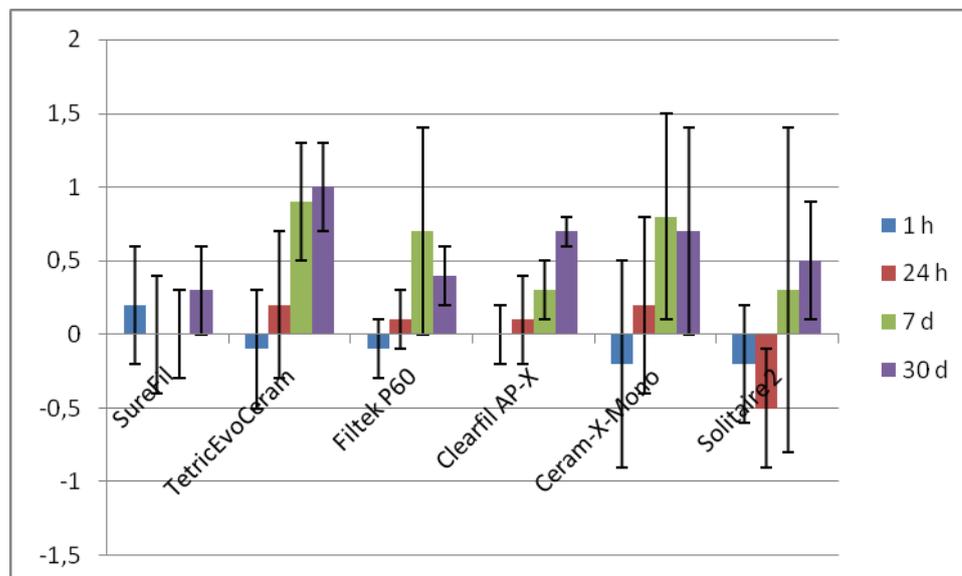
### 5.2.1 Vergleich der einzelnen Kompositmaterialien

Die ANOVA zeigt eine signifikante Volumenzunahme während der Lagerung der Testmaterialien im Wasser. TetricEvoCeram weist dabei die größte Quellung auf, während bei SureFil fast keine signifikante Quellung auftritt.

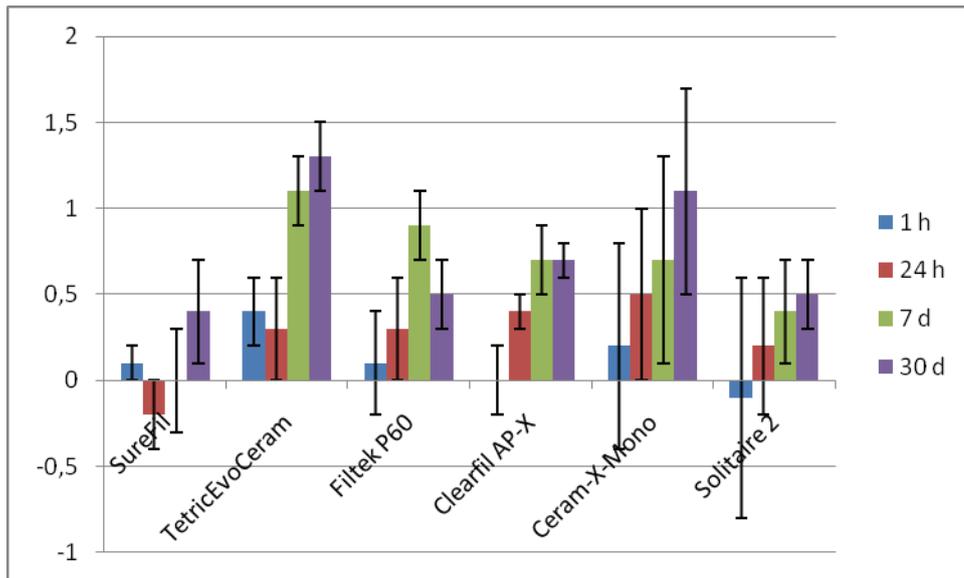
Lagerung	Polymerisationszeit	SureFil	Tetric EvoCeram	Filtek P60	Clearfil AP-X	Ceram-X-Mono	Solaire 2
1 h, 37 °C, dunkel, im Wasser	20	0,2 ± 0,4	-0,1 ± 0,4	-0,1 ± 0,2	0,0 ± 0,2	-0,2 ± 0,7	-0,2 ± 0,4
	40	0,1 ± 0,1	<b>0,4 ± 0,2</b>	0,1 ± 0,3	0,0 ± 0,2	0,2 ± 0,6	-0,1 ± 0,7
	60	0,0 ± 0,2	0,2 ± 0,4	0,0 ± 0,2	0,1 ± 0,4	-0,1 ± 0,2	-0,2 ± 0,3
24 h, 37 °C, dunkel, im Wasser	20	-0,1 ± 0,4	0,2 ± 0,5	0,1 ± 0,2	0,1 ± 0,3	0,2 ± 0,6	<b>-0,5 ± 0,4</b>
	40	-0,2 ± 0,2	0,3 ± 0,3	0,3 ± 0,3	<b>0,4 ± 0,1</b>	<b>0,5 ± 0,5</b>	0,2 ± 0,4
	60	-0,2 ± 0,3	<b>0,4 ± 0,2</b>	0,2 ± 0,2	<b>0,5 ± 0,2</b>	0,2 ± 0,2	-0,1 ± 0,3
7 d, 37 °C, dunkel, im Wasser	20	0,0 ± 0,3	<b>0,9 ± 0,4</b>	<b>0,7 ± 0,7</b>	0,3 ± 0,2	<b>0,8 ± 0,7</b>	0,3 ± 1,1
	40	0,0 ± 0,3	<b>1,1 ± 0,2</b>	<b>0,9 ± 0,2</b>	<b>0,7 ± 0,2</b>	<b>0,7 ± 0,6</b>	<b>0,4 ± 0,3</b>
	60	0,2 ± 0,3	<b>1,1 ± 0,4</b>	<b>0,9 ± 0,2</b>	<b>0,9 ± 0,2</b>	<b>0,6 ± 0,3</b>	<b>0,7 ± 0,3</b>
30 d, 37 °C, dunkel, im Wasser	20	0,3 ± 0,3	<b>1,0 ± 0,3</b>	<b>0,4 ± 0,2</b>	<b>0,7 ± 0,1</b>	<b>0,7 ± 0,7</b>	<b>0,5 ± 0,4</b>
	40	<b>0,4 ± 0,3</b>	<b>1,3 ± 0,2</b>	<b>0,5 ± 0,2</b>	<b>0,7 ± 0,1</b>	<b>1,1 ± 0,6</b>	<b>0,5 ± 0,2</b>
	60	0,3 ± 0,3	<b>1,2 ± 0,4</b>	<b>0,7 ± 0,2</b>	<b>1,1 ± 0,3</b>	<b>1,0 ± 0,3</b>	<b>0,9 ± 0,3</b>

Markierte Werte zeigen die signifikante Veränderung im Vergleich zur 15 min Lagerung (p < 0,05)

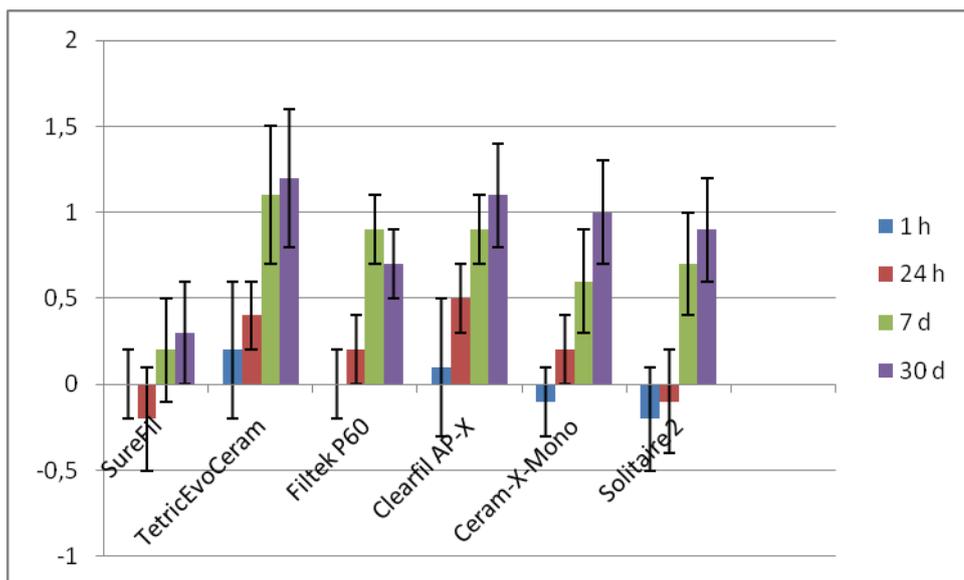
**Tab. 5.3** Volumenänderung ( $\Delta V$ , %) und  $\pm$  Standardabweichung der Testmaterialien nach unterschiedlich langer Lagerungszeit im Vergleich zu 15 Minuten dunkler und trockener Lagerung.



**Abb. 5.2** Volumenänderung nach 20 Sekunden Polymerisationszeit.



**Abb. 5.3** Volumenänderung nach 40 Sekunden Polymerisationszeit.



**Abb. 5.4** Volumenänderung nach 60 Sekunden Polymerisationszeit.

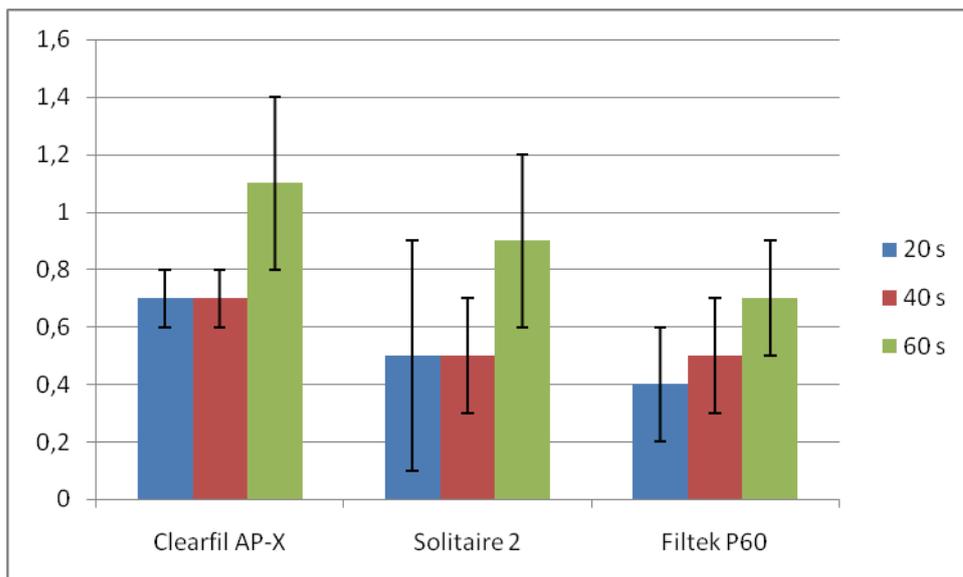
### 5.2.2 Einfluss der Lagerungszeit

Der Post hoc Test weist auf, dass bei einer Lagerung (dunkel, im Wasser und bei 37 °C) von 1 Stunde und 24 Stunden im Vergleich zu der 15 Minuten trockenen Lagerung keine signifikanten Volumenänderungen stattfinden. Dagegen wird bei der Lagerung

(dunkel, im Wasser und bei 37 °C) von 7 Tagen und 30 Tagen im Vergleich zu der 15 Minuten trockenen Lagerung eine signifikante Volumenänderungen festgestellt. Diese Volumenänderung tritt bei allen Materialien außer SureFil auf und die Expansion beträgt ca. 1%. Zwischen der 7 Tage- und 30 Tage-Lagerung tritt keine signifikante Volumenänderung auf. Siehe dazu Tabelle 5.3

### 5.2.3 Einfluss der Polymerisationszeit

Die ANOVA zeigt einen signifikanten Einfluss der Polymerisationszeit auf die Quellung. So weisen die Prüfkörper der Komposite Clearfil AP-X, Solitaire 2 und Filtek P60 nach der 60 Sekunden Polymerisation eine signifikant höhere Quellung auf als die Prüfkörper nach der 20 Sekunden bzw. 40 Sekunden Polymerisation.



**Abb. 5.5** Volumenänderung im Bezug auf die Polymerisationszeit.

### 5.2.4 Einfluss der Zusammensetzung

Im Mehrfachvergleich der einzelnen Materialien nach Bonferroni im Bezug auf die Wasseraufnahme und somit auch auf die Quellung wurden signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Testmaterialien festgestellt.

Diese werden in der folgenden Tabelle dargestellt:

	SureFil	TetricEvoCeram	Filtek P60	Clearfil AP-X	Ceram-X-Mono	Solitaire 2
SureFil		20, 40, 60 s	20, 40, 60 s	20, 40, 60 s	k.S.	20, 40, 60 s
TetricEvoCeram	20, 40, 60 s		60 s	k.S.	20, 40, 60 s	k.S.
Filtek P60	20, 40, 60 s	60 s		20 s	20, 40, 60 s	20, 40, 60 s
Clearfil AP-X	20, 40, 60 s	k.S.	20 s		20, 40, 60 s	k.S.
Ceram-X-Mono	k.S.	20, 40, 60 s	20, 40, 60 s	20, 40, 60 s		20, 40, 60 s
Solitaire 2	20, 40, 60 s	k.S.	20, 40, 60 s	k.S.	20, 40, 60 s	
k.S.: keine Signifikanz						

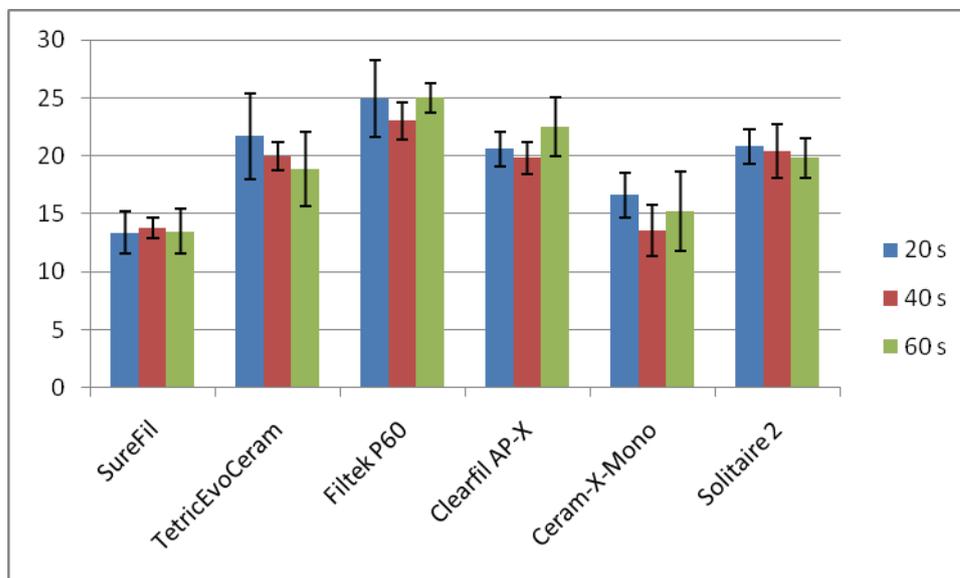
**Tab. 5.4** signifikante Unterschiede der Wasseraufnahme zwischen den Testmaterialien im Bezug auf die Polymerisationszeit nach 30 Tagen Lagerung dunkel, im Wasser und bei 37 °C ( $p < 0,05$ ).

### 5.2.5 Einfluss der Wasseraufnahme auf die Quellung

Die ANOVA zeigt eine signifikante Wasseraufnahme während der Lagerung der Testmaterialien in Wasser. Filtek P60 weist dabei die größte Wasseraufnahme auf, während bei SureFil die geringste Wasseraufnahme auftritt. Die Werte sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben, die signifikanten Werte sind dick markiert. Die Wasseraufnahme ist nicht von der Polymerisationszeit abhängig.

Polymerisationszeit (sec)	SureFil	Tetric EvoCeram	Filtek P60	Clearfil AP-X	Ceram-X-Mono	Solitaire 2
Wasseraufnahme ( $\mu\text{g mm}^{-3}$ )						
20	13,4 ± 1,8	21,7 ± 3,7	24,9 ± 3,3	20,6 ± 1,5	16,6 ± 1,9	20,8 ± 1,5
40	13,8 ± 0,9	20,0 ± 1,2	23,0 ± 1,6	19,8 ± 1,4	13,6 ± 2,2	20,4 ± 2,3
60	13,5 ± 1,9	18,9 ± 3,2	25,0 ± 1,3	22,5 ± 2,5	15,2 ± 3,4	19,8 ± 1,7
die Wasseraufnahme ist nicht von der Polymerisationszeit abhängig ( $p < 0,05$ )						

**Tab. 5.5** Wasseraufnahme ( $\mu\text{g mm}^{-3}$ ) und  $\pm$  Standardabweichung der Testmaterialien nach 30 Tagen Lagerung dunkel, im Wasser und bei 37 °C.



**Abb. 5.6** Abhängigkeit der Wasseraufnahme von der Polymerisationszeit.

Weiterhin weist die Korrelation nach Pearson mit 0,1675 ( $p = 0,0246$ ), im Vergleich der Wasseraufnahme zur Quellung, einen positiven Wert auf, was belegt, dass mit der Wasseraufnahme auch ein positiver Effekt auf die Quellung stattfindet.

## 5.3 Löslichkeit

### 5.3.1 Vergleich der einzelnen Kompositmaterialien

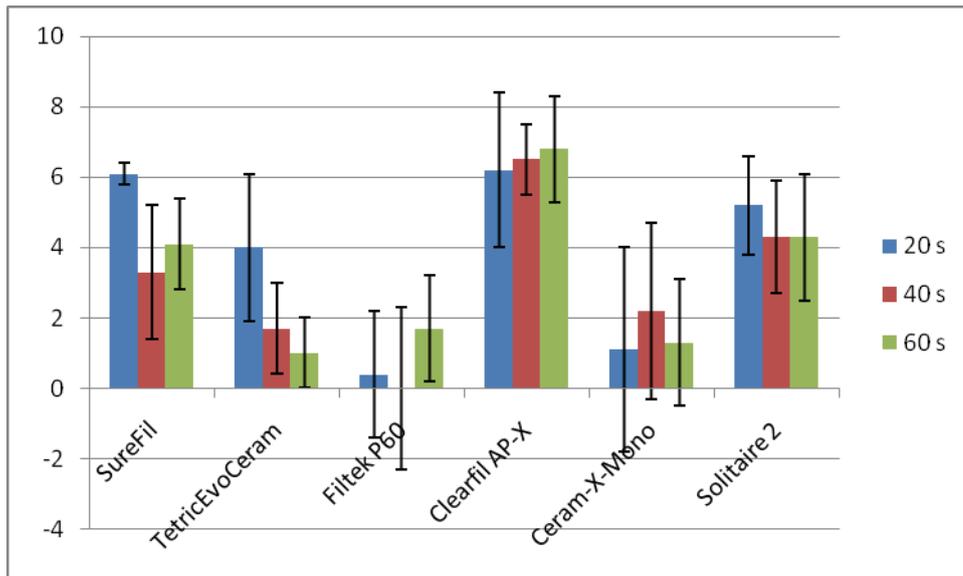
Die ANOVA weist auf, dass SureFil, Clearfil AP-X, Solitaire 2 und die 20 Sekunden polymerisierten Prüfkörper von TetricEvoCeram eine signifikante Löslichkeit aufweisen. Keine Löslichkeit wird bei den Testmaterialien Ceram-X-Mono und Filtek P60 festgestellt.

Polymerisationszeit (sec)	SureFil	Tetric EvoCeram	Filtek P60	Clearfil AP-X	Ceram-X-Mono	Solitaire 2
Löslichkeit ( $\mu\text{g mm}^{-3}$ )						
20	<b>6,1 ± 0,3</b>	<b>4,0 ± 2,1</b>	0,4 ± 1,8	<b>6,2 ± 2,2</b>	1,1 ± 2,9	<b>6,2 ± 1,4</b>
40	<b>3,3 ± 1,9</b>	1,7 ± 1,3	0,0 ± 2,3	<b>6,5 ± 1,0</b>	2,2 ± 2,5	<b>4,3 ± 1,6</b>
60	<b>4,1 ± 1,3</b>	1,0 ± 1,0	1,7 ± 1,5	<b>6,8 ± 1,5</b>	1,3 ± 1,8	<b>4,3 ± 1,8</b>
Die Löslichkeit ist nicht von der Polymerisationszeit abhängig ( $p < 0,05$ ) Markierte Werte zeigen eine signifikante Löslichkeit						

**Tab. 5.6** Löslichkeit ( $\mu\text{g mm}^{-3}$ ) und  $\pm$  Standardabweichung der Testmaterialien nach 30 Tagen Lagerung dunkel, im Wasser und bei 37 °C.

### 5.3.2 Einfluss der Polymerisationszeit

Wie auch schon in Tabelle 5.6 zu erkennen ist, hat die Polymerisationszeit eigentlich keinen Einfluss auf die Löslichkeit. Nur bei den Prüfkörpern von 20 Sekunden und 40 Sekunden bei SureFil und den Prüfkörpern von 20 Sekunden und 60 Sekunden bei Filtek P60 gibt es einen signifikanten Unterschied.



**Abb. 5.7** Abhängigkeit der Löslichkeit von der Polymerisationszeit.

### 5.3.3 Einfluss der Zusammensetzung

Im Mehrfachvergleich der einzelnen Materialien nach Bonferroni im Bezug auf die Löslichkeit wurden wiederum signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Testmaterialien festgestellt.

	SureFil	TetricEvoCeram	Filtek P60	Clearfil AP-X	Ceram-X-Mono	Solitaire 2
SureFil		k.S.	k.S.	40 s	20 s	k.S.
TetricEvoCeram	k.S.		k.S.	40, 60 s	k.S.	60 s
Filtek P60	k.S.	k.S.		20, 40, 60 s	k.S.	20, 40 s
Clearfil AP-X	40 s	40, 60 s	20, 40, 60 s		20, 40, 60 s	k.S.
Ceram-X-Mono	20 s	k.S.	k.S.	20, 40, 60 s		20 s
Solitaire 2	k.S.	60 s	20, 40 s	k.S.	20 s	

k.S.: keine Signifikanz

**Tab. 5.6** Signifikante Unterschiede der Löslichkeit zwischen den Testmaterialien im Bezug auf die Polymerisationszeit nach 30 Tagen Lagerung dunkel, im Wasser und bei 37 °C.

#### 5.3.4 Einfluss der Löslichkeit auf die Quellung

Entsprechend der Berechnung der Korrelation nach Pearson besteht eine negative Korrelation von  $-0,2279$  ( $p = 0,0032$ ) zwischen Löslichkeit und Quellung. Somit wirkt die Löslichkeit der Volumenzunahme der Testkörper entgegen.

## 6. Diskussion

In dieser Arbeit wurden die Polymerisationsschrumpfung, Quellung / Wasseraufnahme und Löslichkeit von sechs modernen Seitenzahnkompositen untersucht. Der Zusammenhang zwischen Polymerisationsschrumpfung und Füllstoffgehalt, Wasseraufnahme und Quellung einerseits als auch zwischen Löslichkeit und Quellung andererseits wurde betrachtet.

### 6.1 Material und Methode

#### 6.1.1 Vergleich mit anderen Methoden

Bei der Herstellung der Prüfkörper nach EN ISO 4049 sollen die Prüfkörper von beiden Seiten polymerisiert werden. Dabei wird die Austrittsöffnung der Polymerisationslampe nach der jeweiligen Polymerisationszeit weiter bewegt und ein neuer Bereich des Prüfkörpers wird bestrahlt, der den vorherigen überlappt. Dieses Vorgehen wird so lange fortgesetzt, bis der gesamte Prüfkörper für die empfohlene Bestrahlungszeit bestrahlt wurde. Zur Herstellung der Prüfkörper soll eine Form mit einem Durchmesser von  $15 \pm 0,1$  mm und einer Höhe von  $1 \pm 0,1$  mm dienen. Dieser Polymerisationsmodus hat jedoch keine klinische Relevanz und die Prüfkörper werden signifikant stärker bestrahlt als in der Realität. In dem Versuchsablauf dieser Untersuchung wurden Prüfkörper mit einem Durchmesser von  $10 \pm 0,1$  mm und einer Dicke von  $1 \pm 0,1$  mm hergestellt, so dass der Lichtleiter bei der Polymerisation den gesamten Prüfkörper abdecken konnte. Dabei wurden die Prüfkörper nur einmal von einer Seite bestrahlt, was der klinischen Situation sehr nahe kommt.

Die Bestimmung der Polymerisationsschrumpfung und der Quellung wurden nach dem Archimedischen Prinzip durchgeführt. Dieses Messverfahren hat sich zur Ermittlung der Dichte und damit auch zur Bestimmung der Polymerisationsschrumpfung bewährt (27, 40, 41, 43, 44). Nagem Filho et al. (52) bestimmten in ihrer Studie nach dem gleichen Prinzip die Polymerisationsschrumpfung von sieben Kompositen, darunter auch SureFil. Die durchschnittliche Polymerisationsschrumpfung von SureFil betrug  $-2,01 \pm 0,06$  Vol.-%. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem der vorliegenden Arbeit von  $-2,0 \pm 0,3$  Vol.-%.

Die Bestimmung des Volumens einer Probe kann auch mit dem Gaspyknometer durchgeführt werden. Es ist ein vollautomatisches Gerät zur Bestimmung der Dichte und besteht aus einer Mess- und einer Expansionskammer. Das Messgerät bestimmt das Volumen einer Probe aus der Druckänderung des Gases (Helium) beim Expandieren von Proben in den Expansionsraum. Durch Eingabe der vorher durch Wiegen ermittelten Masse berechnet das Gerät die Feststoffdichte. Auch diese Methode liefert vergleichbare Werte im Vergleich zur vorliegenden Studie. So berichten Amore et al. (4) eine Polymerisationsschrumpfung nach 20 sec Polymerisationszeit für Filtek P60 von -1,84 und für SureFil nach 40 sec Polymerisationszeit von -1,98. Nach dem Archimedischen Prinzip wurden in der vorliegenden Arbeit für Filtek P60  $-1,8 \pm 0,2$  und für SureFil von  $-2,0 \pm 0,3$  gemessen.

Nach dem Archimedischen Prinzip konnte auch die Quellung bestimmt werden. Dazu wurde die Dichte nach Lagerung der Prüfkörper für 30 Tage bei 37 °C in Wasser ermittelt und die Quellung berechnet (siehe 4.4). Diese Methode steht im Gegensatz zu anderen Studien, bei denen das Volumen nach der Lagerung durch Messen der Dimensionen mit einem Lichtmikroskop bestimmt wurde (49, 53). Eine weitere Methode zur Messung der Dimensionsänderung besteht darin, die Prüfkörperabmessungen mit einem Computer gesteuerten Laser zu bestimmen (33, 45). Die Daten zur Quellung dieser Untersuchungen sind vergleichbar mit den Daten der vorliegenden Studie. So betrug die Quellung von SureFil nach 30 Tagen Lagerung in Wasser bei Martin et al. (33) 0,45 Vol.-%, während in dieser Studie der Wert bei 0,4 Vol.-% lag. Die Prüfkörper wurden für 30 Tage in Wasser gelagert, um sicherzustellen, dass die Wasseraufnahme und damit auch die Quellung abgeschlossen waren (30, 31).

#### 6.1.2 Vergleich zu Kompositen früherer Generationen

Ein weiteres Ziel dieser Untersuchung war es, die Polymerisationsschrumpfungen der in dieser Arbeit untersuchten Seitenzahnkomposite mit denen älterer Produkte, die zwischen 1980 und 1990 auf den Markt kamen, zu vergleichen. Die Polymerisationsschrumpfungen aller sechs Materialien dieser Untersuchung wiesen Werte zwischen -1,6 Vol.-% und -3,7 Vol.-% auf (Tabelle 5.1). Im Vergleich zu den Untersuchungen aus den Jahren 1980-1990 wurde keine signifikante Verringerung der Polymerisationsschrumpfung festgestellt. Die Polymerisationsschrumpfungen dieser älteren Komposite

lagen ebenfalls zwischen -1 Vol.-% und -3 Vol.-% (24, 40, 41). Dieses Ergebnis ist sehr überraschend, weil 15 Jahre Forschung keine entscheidende Verringerung der Polymerisationsschrumpfung erbracht haben. Dies zeigt, dass es anscheinend sehr schwierig ist, eine signifikante Verringerung der Polymerisationsschrumpfung zu erreichen.

### 6.1.3 Vergleich mit Siloranen

Gegenwärtig liegen noch sehr wenige Untersuchungen zu den 2007 neu entwickelten Siloranen vor. Assmussen et al. (39) zeigten mit ihrer Untersuchung des Silorans Hermes von 3M Espe im Vergleich zu vier anderen Kompositen, darunter auch Tetric EvoCeram, dass die Polymerisationsschrumpfung nach 20 sec Polymerisationszeit für Silorane bei -1 Vol.-% liegt. 3M Espe gibt in der Pressemitteilung sogar einen Wert von unter -1 Vol.-% an (42).

Die vorliegende Untersuchung ermittelte für TetricEvoCeram eine Polymerisationsschrumpfung von  $-1,9 \pm 0,3$  Vol.-% nach 20 sec Polymerisationszeit. Somit ist die Polymerisationsschrumpfung der Silorane um etwa 0,6 Vol.-% niedriger als die des Komposits TetricEvoCeram. Weitere Untersuchungen zu Siloranen müssten aber noch durchgeführt werden, um die Ergebnisse von Assmussen et al. zu bestätigen.

## 6.2 Resultate

### 6.2.1 Einfluss der Polymerisationszeit auf die Polymerisationsschrumpfung

Alle Testmaterialien schrumpften bei der Polymerisation signifikant, allerdings korrelierte die Polymerisationsschrumpfung nicht mit der Polymerisationszeit. Es ist sehr überraschend, dass kein Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen gefunden wurde, weil durch die längere Polymerisationszeit die Lichtdosis erhöht wurde. Eine größere Lichtdosis verursacht eine bessere Umsetzung der Doppelbindungen und somit sollte eine stärkere Polymerisationsschrumpfung stattfinden. Eine Erklärung dieses Phänomens kann auf den Polymerisationsmodus der Prüfmaterialien in dieser Studie zurückgeführt werden. Bei den Versuchsreihen wurde eine hohe Lichtleistung zwischen 750 und 850  $\text{mWcm}^{-2}$  (im Durchschnitt  $800 \pm 67 \text{ mWcm}^{-2}$ ) gemessen. Weiterhin wurden in der vorliegenden Studie relativ dünne Prüfkörper einer Dicke von  $1 \pm 0,1$  mm verwendet. Diese beiden Tatsachen könnten zu einer optimalen Polymerisation und somit einer

maximalen Dichte der Prüfkörper schon nach 20 sec Polymerisationszeit geführt haben (siehe Tabelle 5.1).

### 6.2.2 Einfluss des Füllstoffes auf die Polymerisationsschrumpfung

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass Solitaire 2 und Ceram-X-Mono, die beiden Komposite mit dem geringsten Füllstoffanteil, die größte Polymerisationsschrumpfung aufwiesen. Solitaire 2 hat einen Füllstoffanteil von nur 47,76 Vol.-% und Ceram-X-Mono von 57 Vol.-%. Im Vergleich hierzu wiesen die anderen Komposite dieser Studie, mit höheren Füllstoffanteilen zwischen 62,34 Vol.-% und 70 Vol.-%, signifikant geringere Polymerisationsschrumpfungen auf. Zwischen den Materialien mit höheren Füllstoffgehalten waren keine signifikanten Unterschiede mehr festzustellen (siehe Tabellen 5.1 und 5.2).

Die negative Korrelation nach Pearson von  $-0,7668$  ( $p = 0,0000$ ), zwischen Füllstoffgehalt und Polymerisationsschrumpfung, bestätigte die Literatur (5, 10, 15, 16, 46), dass mit einem höheren Füllstoffgehalt auch eine geringere Polymerisationsschrumpfung einhergeht. Die Studie von Aw und Nicholls (5) zeigte weiterhin, dass auch die Größe der Füllkörper die Polymerisationsschrumpfung beeinflusst. So stellten die Autoren in ihrer Studie eine positive Korrelation zwischen der Größe der Füllkörper und der Polymerisationsschrumpfung fest. Dies wird auch durch die vorliegende Studie bekräftigt, denn Solitaire 2 ( $\Delta V -3,7 \pm 0,3$  Vol.-%) wies die größte und Filtek P60 ( $\Delta V -1,8 \pm 0,3$  Vol.-%) die geringste Polymerisationsschrumpfung nach 60 sec Polymerisation auf. Nach Angaben in der Literatur (14, 35, 36) haben die Füllkörper in Solitaire 2 eine Größe zwischen  $0,7$  und  $5 \mu\text{m}$ , die von Filtek P60 hingegen eine zwischen  $0,01$  und  $3,5 \mu\text{m}$ .

Kleverlaan et al. (14) stellten in ihrer Studie fest, dass die Polymerisationsschrumpfung und die bei der Polymerisation auftretende Spannung im Komposit miteinander korrelieren. Charton et al. (32) zeigten in ihrer Studie, dass Komposite mit einem hohen Anteil an Füllkörpern weniger Spannung nach der Polymerisation im Material aufbauten. Sie maßen 400 sec nach der Polymerisation eine maximale Spannung von  $1,29 \pm 0,8$  MPa für Solitaire 2 und  $0,92 \pm 0,05$  MPa für Clearfil AP-X. In der vorliegenden Arbeit wurden Werte für die Polymerisationsschrumpfung von Solitaire 2 von  $\Delta V -3,7 \pm 0,3$  Vol.-% und für Clearfil AP-X von  $\Delta V -2,2 \pm 0,3$  Vol.-% gemessen. In beiden Studien

wurden Solitaire 2, das Komposit mit dem geringeren Füllstoffanteil, und Clearfil AP-X für 60 sec polymerisiert. Da die Polymerisationsschrumpfung und die auftretende Spannung stark korrelieren, unterstützen beide Studien die These, dass ein hoher Füllstoffanteil diese Eigenschaften der Komposite verbessert.

### 6.2.3 Einfluss der Matrix auf die Polymerisationsschrumpfung

Die vorliegende Studie zeigte, dass Clearfil AP-X mit 70 Vol.-% den höchsten Füllstoffanteil aufwies, die Polymerisationsschrumpfung aber nicht den geringsten Wert aller Komposite hatte. Diese Tatsache zeigt, dass die chemische Zusammensetzung der Matrix ebenfalls einen Einfluss auf die Polymerisationsschrumpfung hat. Aw und Nicholls (5) stellten fest, dass Filtek P60 eine signifikant geringere Polymerisationsschrumpfung als Solitaire 2 aufwies. Sie erklärten den Unterschied in der Polymerisationsschrumpfung sowohl mit dem geringeren Füllstoffanteil von Solitaire 2 als auch mit der unterschiedlichen Zusammensetzung der Matrix. Diese Resultate konnten auch durch die vorliegende Arbeit bestätigt werden. Solitaire 2 war das Komposit, das im Vergleich zu den anderen Materialien die größte Polymerisationsschrumpfung aufwies. Auch in dieser Studie ist die signifikant größere Polymerisationsschrumpfung nicht nur auf den geringeren Füllstoffanteil zurück zu führen, sondern auch auf die Zusammensetzung der Matrix von Solitaire 2. Denn im Vergleich zu Filtek P60 enthält die Matrix von Solitaire 2 die Monomere HPMA und ETMA, welche eine signifikant geringere Molmasse aufweisen und damit natürlich auch eine stärkere Schrumpfung verursachen. Diese Beobachtungen stimmen auch mit der Studie von Dewaele et al. (27) überein. In dieser Studie wurde der Einfluss der Zusammensetzung der Matrix mit den beiden Monomeren TEGDMA und Bis-GMA untersucht. Es wurde festgestellt, dass mit Zunahme der Monomere mit geringerer Molmasse erwartungsgemäß natürlich auch die Polymerisationsschrumpfung der Komposite zunahm. Diese Tatsache ist in der Polymerchemie altbekannt und begründet sich darin, dass Moleküle mit geringerer Molmasse mehr Doppelbindungen pro Volumen Matrix umsetzen und somit eine größere Polymerisationsschrumpfung verursachen.

#### 6.2.4 Einfluss der Wasseraufnahme auf die Quellung

Nach der Lagerung der Testmaterialien von sieben Tagen bei 37 °C in Wasser wiesen alle Materialien mit Ausnahme von SureFil eine signifikante Quellung auf. Die Werte lagen etwa zwischen 0,7 Vol.-% und 1 Vol.-%. Eine weitere signifikante Volumenänderung nach einer Lagerung von 30 Tagen bei 37 °C in Wasser trat nicht auf (siehe Tab. 5.3). Auch Martin et al. (33) stellten in ihrer Studie dar, dass nach ungefähr sieben Tagen die Quellung nahezu abgeschlossen ist. Somit ist der Untersuchungszeitraum dieser Studie vollkommen ausreichend für die Bestimmung der Quellung. Weiterhin wurde zwischen Wasseraufnahme und Quellung eine positive Korrelation nach Pearson mit 0,1675 ( $p = 0,0246$ ) berechnet. Dieses Ergebnis bestätigt die Berichte anderer Autoren (55, 56), die ebenfalls eine positive Korrelation feststellten. Es muss jedoch beachtet werden, dass die Korrelation nicht sehr stark ist und somit nicht nur die Wasseraufnahme einen Einfluss auf die Quellung hat, sondern noch andere Faktoren zu berücksichtigen sind.

In der vorliegenden Arbeit wurde für SureFil nach 20 sec Polymerisationszeit eine Wasseraufnahme von  $13,4 \pm 1,8 \mu\text{m mm}^{-3}$  und für Filtek P60 nach 60 sec Polymerisationszeit eine von  $25,0 \pm 1,3 \mu\text{m mm}^{-3}$  ermittelt. Diese Werte sind kleiner als  $40 \mu\text{m mm}^{-3}$  und entsprechen damit den Anforderungen für Kunststoffe nach EN ISO 4049. Die Diskussion, dass die Wasseraufnahme zur Quellung führt, wird in Kapitel 6.2.6 weiter ausgeführt.

#### 6.2.5 Einfluss der Löslichkeit auf die Quellung

In dieser Studie wurde eine negative Korrelation nach Pearson von -0,2279 ( $p = 0,0032$ ) zwischen Löslichkeit und Quellung bestimmt. Somit wirkt die Löslichkeit der Volumenzunahme entgegen und bestätigt die These, dass noch andere Faktoren die Quellung beeinflussen. Wesentlicher Anteil der löslichen Bestandteile sind nicht umgesetzte Monomere (Restmonomere), die durch die Diffusionsprozesse von Wasser heraus gespült werden (30, 31). Örtengren et al. (31) zeigten in ihrer Studie, dass sich nach sieben Tagen die maximale Menge an Monomeren aus dem Komposit gelöst hatte. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen dieser Studie, weil, wie schon oben erwähnt, keine signifikante Volumenänderung der Komposite zwischen dem siebten und dreißigsten Tag mehr auftrat. Die Löslichkeit der Komposite dieser Studie lag zwischen 0,0

$\pm 2,3 \mu\text{m mm}^{-3}$  für Filtek P60 nach 40 sec und  $6,8 \pm 1,5 \mu\text{m mm}^{-3}$  Clearfil AP-X nach 60 sec Polymerisationszeit. Diese Werte sind kleiner als  $7,5 \mu\text{m mm}^{-3}$  und entsprechen damit den Anforderungen für Kunststoffe nach EN ISO 4049.

#### 6.2.6 Einfluss der Matrix auf die Quellung

Die Tabelle 5.3 dieser Untersuchung zeigt, dass die Volumenänderung nach Wasserlagerung der getesteten Komposite unterschiedlich ist. So ist die Volumenänderung von TetricEvoCeram dreimal höher als die von SureFil. Der Füllkörperanteil beider Komposite ist nahezu identisch, daher müssen die Zusammensetzung und die Eigenschaften der Matrix die Volumenänderung der Komposite wesentlich beeinflussen. So stellten Ito et al. (26) in ihrer Studie fest, dass das Komposit mit der geringsten Hydrophilie auch die geringste Wasseraufnahme hatte. Desweiteren ist die Wasseraufnahme proportional zum Hoy's Löslichkeitswert für polare Kräfte, was bedeutet, dass mit einer höheren Polarität der Moleküle der Matrix auch eine höhere Wasseraufnahme verbunden ist. Auch Nishitani et al. (51) stellten in ihrer Studie eine positive Korrelation zwischen der Wasseraufnahme und den Hoy's Löslichkeitswerten für polare Kräfte fest. Eine weitere Eigenschaft, die die Wasseraufnahme beeinflusst, ist die Fähigkeit der Monomere bzw. Polymere Wasserstoffbrückenbindungen einzugehen. Diese Eigenschaft spielt auch bei der Hoy's Löslichkeits-Theorie eine wesentliche Rolle. Dabei bilden Hydroxyl-Gruppen ( $2980 \text{ J cm}^{-3}$ ) stärkere Wasserstoffbrückenbindungen als Urethan-Gruppen ( $1425 \text{ J cm}^{-3}$ ) und diese wiederum stärkere als Ether-Gruppen ( $881 \text{ J cm}^{-3}$ ) (30). Diese Theorie deckt sich auch mit den Ergebnissen dieser Studie, da bei SureFil, dem Komposit mit der geringsten Wasseraufnahme (Tabelle 5.5), die Matrix nach Herstellerangaben aus Urethan modifiziertem Bis-GMA besteht (54). Beim Urethan modifizierten Bis-GMA sind die polaren Hydroxylgruppen des Bis-GMA durch Alkylgruppen wie Ethyl und Butyl ersetzt (57). Daher kann gesagt werden, dass die Elimination von polaren Seitengruppen der Monomere/Polymere zu einer Reduktion der Wasseraufnahme und somit auch der Quellung führt. Auch Kim et al. (29) legten dar, dass durch Eliminierung von Hydroxylgruppen bei Bis-GMA eine signifikant geringere Wasseraufnahme auftritt. In ihrer Studie substituierten sie die Hydroxylgruppen von Bis-GMA durch Methoxygruppen (Bis-M-GMA) und stellten eine signifikant geringere Wasseraufnahme fest.

Desweiteren zeigte die vorliegende Arbeit, dass Clearfil AP-X, Solitaire 2 und Filtek P60 signifikant höhere Quellungen mit zunehmender Polymerisationszeit aufwiesen (Tabelle 5.3). Dieses Phänomen, im Vergleich zu den anderen Kompositen dieser Studie, könnte auf Grund einer größeren Hydrophilie der Matrix und/oder durch eine größere Vernetzung der Moleküle, nach Zunahme der Polymerisationszeit, ausgelöst worden sein. Das absorbierte Wasser lagert sich in den Raum zwischen den Polymerketten an und reduziert die intermolekularen Kräfte zwischen den Molekülen. Diese Reduzierung der intermolekularen Kräfte verursacht eine Vergrößerung der Räume zwischen den Polymerketten, weshalb gleichzeitig eine Zunahme der Quellung entsteht. Der Betrag der Quellung ist dann abhängig von der Stärke der Bindungen in der Matrix.

Wie oben schon dargestellt wirkt die Löslichkeit der Volumenzunahme entgegen. Wesentlicher Anteil der löslichen Bestandteile sind unverbrauchte Monomere, die durch die Diffusion von Wasser herausgelöst werden (30, 31). Diese Tatsache kann besonders gut durch das Komposit TetricEvoCeram dargestellt werden. Denn wie in Tabelle 5.6 zu entnehmen ist, hatte dieses Komposit bei einer Polymerisationszeit von 20 sec eine signifikante Löslichkeit, die bei längerer Polymerisation nicht mehr auftrat. Auch bei den Kompositen SureFil und Solitaire 2 verringerte sich die Löslichkeit mit Zunahme der Polymerisationszeit. Durch die längere Polymerisationszeit wird die Konversionsrate der Monomere erhöht. Somit bleiben weniger unverbrauchte Monomere im Komposit zurück, welches mit einem Rückgang der Löslichkeit verbunden ist.

Örtengren et al. (31) zeigten in ihrer Studie, dass die Monomere mit dem geringsten Molekulargewicht, sogenannte „kleine“ Moleküle, am stärksten aus dem Komposit gelöst werden. Diese Eigenschaft ist auf die vergrößerte Mobilität der kleinen Moleküle im Vergleich zu größeren Molekülen zurückzuführen. Die Studie von Örtengren et al. (31) zeigt ebenfalls, dass TEGDMA, eines der kleinsten Moleküle, als Hauptbestandteil herausgelöst worden ist. Diese Beobachtungen sind konform mit den Ergebnissen dieser Studie. So wiesen die Komposite SureFil, Clearfil AP-X und Solitaire 2, die eine signifikante Löslichkeit hatten, auch gleichzeitig einen Anteil von kleineren Monomeren in ihrer Matrix auf. Namentlich sind diese Moleküle TEGDMA, HPMA und ETMA.

### 6.2.7 Einfluss der Füllkörper auf die Quellung

In der vorliegenden Arbeit konnte kein Einfluss des Füllstoffanteils auf die Quellung festgestellt werden. Diese Tatsache zeigt wiederum, dass die Hydrophilie der Matrix die Größe, Art und der Herstellungsprozess der Füllkörper einen Einfluss auf die Volumenänderung der Komposite haben muss. So stellten Söderholm et al. (47, 48) in zwei Studien fest, dass Füllkörper aus Barium-Aluminium-Borosilikat-Glas eine doppelt so hohe Löslichkeit als Füllkörper aus porösem SiO<sub>2</sub> haben. Diese Feststellung könnte u. U. durch die Ergebnisse dieser Studie unterstützt werden. So kann Tabelle 5.6 entnommen werden, dass SureFil, ein Komposit mit signifikanter Löslichkeit, als Füllkörper hauptsächlich Barium-Aluminium-Borosilikat-Glas enthält. Die anderen Komposite mit geringerer Löslichkeit wie Ceram-X-Mono und TetricEvoCeram enthalten diesen Füllstoff wahrscheinlich in geringerer Menge, da sie zusätzlich auch SiO<sub>2</sub> als Füllkörper besitzen. Allerdings kann auch die Qualität der Silanisierung der Füllkörper eine Rolle spielen. Somit ist neben der Art der Füllkörper auch die Grenzfläche zwischen Füllkörper und Matrix für die Löslichkeit zu berücksichtigen.

### 6.2.8 Verhältnis zwischen Polymerisationsschrumpfung und Quellung

Die Resultate dieser Studie zeigen, dass die Polymerisationsschrumpfung nicht von der Quellung kompensiert wird. Die Quellung ist bei allen Testmaterialien signifikant kleiner als die Polymerisationsschrumpfung, insbesondere Solitaire 2 weist die größte Diskrepanz auf. Diese These wird auch durch weitere Studien bestätigt. So stellten Yap et al. (49) und Rahiotis et al. (50) jeweils fest, dass durch die Quellung die Volumenänderung der Polymerisationsschrumpfung reduziert aber nicht kompensiert wird. Des Weiteren ist zu sagen, dass der größte Anteil der Polymerisationsschrumpfung direkt bei der Polymerisation eintritt, die Quellung aber erst nach sieben Tage signifikant vorhanden ist. In diesem Zeitraum wird der Mikropalt zwischen Kavität und Kompositrestauration mit Mikroorganismen der Mundhöhle kontaminiert.

## 6.3 Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung lassen sich folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen ableiten:

1. Mit der Entwicklung neuer Komposite, den so genannten „Condensables“ oder „Packables“, wurde die Polymerisationsschrumpfung nicht signifikant reduziert. Daher sollte in der Klinik weiterhin die zeitintensive Inkrementtechnik angewandt werden. Das von den Herstellern versprochene schnelle Platzieren in großen Mengen, um eine Kavität zu versorgen, sollte nicht angewandt werden.
2. Bei einer geringen Schichtstärke der Komposite von circa 1 mm und einer hohen Lampenleistung hat die Polymerisationszeit keinen Einfluss auf die Polymerisationsschrumpfung. Daher kann die Polymerisationszeit beim Füllen kleiner Kavitäten und beim Polymerisieren dünner Schichten Komposit auf 20 sec reduziert werden.
3. Die Polymerisationsschrumpfung der Komposite kann mit Erhöhung des Füllstoffanteils reduziert werden. Für die Klinik bedeutet dies, dass der Einsatz von Kompositen mit hohem Füllstoffanteil favorisiert werden sollte, damit die Polymerisationsschrumpfung und auch die Spannung im Material gering ist. Gleichzeitig ist somit die Gefahr einer Zerstörung des Verbundes zwischen Komposit und Kavitätenwand reduziert.
4. Die Quellung der Komposite tritt innerhalb der ersten sieben Tage nach der Polymerisation auf. Sie kann die aufgetretene Polymerisationsschrumpfung nicht kompensieren und verhindert nicht das Penetrieren von Bakterien in Mikrospalten. Auch daher empfiehlt sich weiterhin der Einsatz der Inkrementtechnik, um die Gefahr von Randspaltbildungen zu verringern.
5. Die Wasseraufnahme korreliert positiv mit der Quellung. Weiterhin wird die Wasseraufnahme nicht durch den Füllstoffanteil beeinflusst, sondern durch die Polarität der Matrix. Bei der Entwicklung neuer Komposite sollte daher die Substitution von polaren Seitengruppen der Monomere im Vordergrund stehen, damit die Wasseraufnahme reduziert werden kann.
6. Die Löslichkeit korreliert negativ mit der Quellung. Mit einer Erhöhung der Polymerisationszeit auf 40 sec konnte die Löslichkeit bei TetricEvoCeram, SureFil und Solitaire 2 verringert werden. Bei den anderen Kompositen dieser Studie hatte die Polymerisationszeit keinen Einfluss.

7. Monomere mit geringer Molmasse erhöhen sowohl die Polymerisationsschrumpfung als auch die Löslichkeit. Eine Reduzierung dieser Monomere bei der Entwicklung neuer Komposite wäre somit notwendig, um die Materialeigenschaften der Komposite zu verbessern.
8. Der Versuchsaufbau und die Bestimmung der Polymerisationsschrumpfung, der Quellung / Wasseraufnahme und der Löslichkeit nach dem Archimedischen Prinzip sind vergleichbar mit anderen wissenschaftlichen Methoden.
9. Die Veränderung der Prüfkörperherstellung im Vergleich zur EN ISO 4049 hat einen engeren klinischen Bezug. Die in vitro berechneten Werte dieser Studie können somit besser das tatsächliche klinische Verhalten der Materialien darstellen.

## 7. Zusammenfassung

Gegenwärtig ist die Verwendung von Seitenzahnkompositen Routine geworden. Dabei ist der Gebrauch der zeitintensiven Inkrementtechnik notwendig, um die Polymerisationsschrumpfung der Komposite so gering wie möglich zu halten. Durch diese Volumenkontraktion treten Spannungen im Randbereich zwischen Restauration und Kavität wand auf, die den Verbund zwischen Zahn und Restauration zerstören und einen Randspalt entstehen lassen. So wird die Bildung von Sekundärkaries, postoperativen Sensitivitäten und Randverfärbungen provoziert. Durch die ständige Entwicklung neuer Komposite sollen auch die werkstoffkundlichen Eigenschaften verbessert werden. Die neusten Seitenzahnkompositmaterialien sind die so genannten „Condensables“ oder „Packables“ mit einem erhöhten Füllstoffanteil. Mit diesen Materialien erhoffte man sich, die Polymerisationsschrumpfung reduzieren zu können. Es wurde auch erwartet, dass die Polymerisationsschrumpfung durch die auftretende Quellung im wässrigen Milieu eventuell zu kompensieren sei.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Polymerisationsschrumpfung, Quellung, Wasseraufnahme und Löslichkeit von sechs modernen Seitenzahnkompositen zu untersuchen. Im Einzelnen wurde der Zusammenhang zwischen Polymerisationsschrumpfung und Füllstoffgehalt, Wasseraufnahme und Quellung einerseits als auch zwischen Löslichkeit und Quellung andererseits betrachtet. Dabei wurde die Bedeutung der Zusammensetzung der Materialien sowohl für die Polymerisationsschrumpfung als auch für die Quellung untersucht. Auch der Einfluss der Polymerisationszeit auf die Polymerisationsschrumpfung und auf die Quellung wurde ermittelt. Zusätzlich wurde der Zusammenhang zwischen der Lagerungszeit der Prüfkörper in destilliertem Wasser und der auftretenden Löslichkeit beziehungsweise Wasseraufnahme dargestellt.

Aus den sechs Seitenzahnkompositen Ceram-X-Mono (Dentsply/De Trey), Clearfil AP-X (Kuraray), Filtek P60 (3M Espe), Solitaire 2 (Heraeus-Kulzer), SureFil (Dentsply/Caulk) und TetricEvoCeram (Ivoclar Vivadent) wurden gemäß DIN EN 4049 Prüfkörperscheiben mit einem Durchmesser von 10 mm und einer Dicke von 1 mm hergestellt. Jedoch wurden sie in einem Schritt und von einer Seite bestrahlt. Diese Versuchsanordnung ähnelt dem klinischen Polymerisationsvorgang. Von jedem Komposit

wurden jeweils zehn Prüfkörper bei einer konstanten Bestrahlung von 20, 40 und 60 Sekunden und zehn unpolymerisierte Prüfkörper hergestellt. Somit wurden in der vorliegenden Arbeit insgesamt 240 Prüfkörper untersucht. In dieser Studie wurde die Berechnungen der Polymerisationsschrumpfung, Quellung, Wasseraufnahme und Löslichkeit mit Hilfe des Archimedischen Prinzips durchgeführt. Dazu wurde durch Wiegen der Prüfkörper in Luft und in destilliertem Wasser die Dichte berechnet. Zur Bestimmung der Polymerisationsschrumpfung wurde sowohl die Dichte der unpolymerisierten Prüfkörper als auch der polymerisierten Prüfkörper, 15 Minuten nach der Polymerisation, bestimmt. Die Prüfkörper wurden anschließend in destilliertem Wasser dunkel und bei  $37 \pm 1$  °C gelagert. Durch erneutes Messen der Dichte nach 1 Stunde, 24 Stunden, 7 Tagen und 30 Tagen konnte die Quellung zu diesen Zeitpunkten berechnet werden. Anschließend wurden die Prüfkörper einem weiteren Lagerungszyklus zugeführt, wobei sie in einem Exsikkator bis zum Erreichen einer konstanten Masse bei  $37 \pm 1$  °C gelagert wurden. Die Wasseraufnahme und die Löslichkeit wurden nach den Formeln der EN ISO 4049 berechnet.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass das Archimedische Prinzip nicht nur eine adäquate Methode zur Untersuchung der Polymerisationsschrumpfung von Kompositen ist, sondern auch die Volumenänderung während der Wasseraufnahme präzise wiedergibt. Es wurde festgestellt, dass die Zusammensetzung der Matrix die untersuchten Eigenschaften erheblich beeinflusste. Insbesondere die Wasseraufnahme und die Löslichkeit wurden durch die Zusammensetzung der Matrix beeinflusst. Die Polarität der Monomere und die Fähigkeit Wasserstoffbrückenbindungen einzugehen waren für eine erhöhte Wasseraufnahme verantwortlich. Monomere mit einer geringen Molmasse erhöhten sowohl die Löslichkeit der Komposite als auch die Polymerisationsschrumpfung. Die Quellung korrelierte positiv mit der Wasseraufnahme und negativ mit der Löslichkeit. Alle Testmaterialien wiesen eine signifikante Polymerisationsschrumpfung auf, die mit dem Füllstoffanteil der Matrix negativ korrelierte. Dabei schrumpfte Solitaire 2 am meisten, SureFil, TetricEvoCeram und Filtek P60 wiesen ähnliche und gleichzeitig die geringsten Polymerisationsschrumpfungen auf. Verglichen mit den älteren Materialien, die zwischen 1980 und 1990 untersucht wurden, zeigten die, in der vorliegenden Arbeit untersuchten, modernen Seitenzahnkomposite keine Verbesserung bezüglich Polymerisationsschrumpfung und Quellung. Daher ist es nicht möglich, auf die zeitintensive Inkrementtechnik zu verzichten.

Die Polymerisationsschrumpfung korrelierte nicht mit der Polymerisationszeit. Diese Tatsache könnte auf Grund des Polymerisationsmodus bestehen. Durch eine hohe Lampenleistung (im Durchschnitt  $800 \pm 67 \text{ mWcm}^{-2}$ ) konnte eine maximale Polymerisationsdichte schon nach 20 Sekunden erreicht werden. Die Quellung der Komposite trat innerhalb der ersten sieben Tage auf und kompensierte die anfänglich entstandene Polymerisationsschrumpfung nicht. Die Gefahr einer Bakterieninvasion durch entstandenen Mikrospalten kann daher auch bei den modernen Seitenzahnkompositen nicht ausgeschlossen werden, vor allem, wenn sie nicht absolut lege artis gelegt werden.

Die dieser Arbeit zu Grunde liegenden Hypothesen waren:

- a) Die Polymerisationsschrumpfung ist materialabhängig
- b) Die Polymerisationszeit und die Polymerisationsschrumpfung korrelieren
- c) Die Quellung der Komposite kompensiert die anfängliche Polymerisationsschrumpfung

Die Hypothese a) konnte durch die Ergebnisse dieser Studie bestätigt werden. Dies traf jedoch nicht für die Hypothese b) und c) zu.

## 8. Literaturverzeichnis

- (1) MARXKORS R, MEINERS H. Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. 5., überarbeitete und ergänzte Auflage
- (2) Website: [http://www.zahnwissen.de/specials/Komposites\\_Geschichte.htm](http://www.zahnwissen.de/specials/Komposites_Geschichte.htm)  
vom 08.03.07
- (3) Website: [http://www.zahnwissen.de/frameset\\_lexi.htm?lexikon\\_kn-kz.htm](http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm?lexikon_kn-kz.htm)  
vom 08.03.07
- (4) AMORE R, PAGANI C, YOUSSEF MN, NETTO CA, LEWGOY HR. Polymerization shrinkage evaluation of three packable composite resins using a gas pycnometer. *Pesqui Odontol Bras* 2003; 17: 273-277
- (5) AW TC, NICHOLLS JI. Polymerization shrinkage of densely-filled resin composites. *Oper Dent* 2001; 26: 498-504
- (6) ERSOY M, CIVELEK A, L'HOTELIER E, SAY EC, SOYMAN M. Physical properties of different composites. *Dent Mater J* 2004; 23: 278-83
- (7) TIBA A, CHARLTON DG, VANDERWALLE KS, COHEN ME. Volumetric polymerization shrinkage of resin composites under simulated intraoral temperature and humidity conditions. *Oper Dent* 2005; 30: 696-701
- (8) HERRERO AA, YAMAN P, DENNISON JB. Polymerization shrinkage and depth of cure of packable composites. *Quintessence Int* 2005; 36: 25-31
- (9) CHOI KK, FERRACANE JL, HILTON TJ, CHARLTON D. Properties of packable dental composites. *J. Esthet Dent* 2000; 12: 216-226
- (10) OBERHOLZER TG, PAMEIJER CH, GROBLER SR, ROSSOUW RJ. Volumetric polymerisation shrinkage of different dental restorative materials. *Sadj* 2004; 59: 8-12
- (11) BRAGA RR, BALLESTER RY, FERRACANE JL. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. *Dent Mater* 2005; 21: 962-70
- (12) FRIEDL KH, HILLER KA; SCHMALZ G. Placement and replacement of composite restorations in Germany. *Oper Dent* 1995; 20: 34-38
- (13) GAENGLER P, HOYER I, MONTAG R. Clinical evaluation of posterior composite restorations: the 10-year report. *J Adhes Dent.* 2001; 3: 185-194
- (14) CORNELIS J. KLEVERLAAN, ALBERT J. FEILZER. Polymerization shrinkage and contraction stress of dental resin composites. *Dent Mater* 2005; 21: 1150-1157

- (15) LI Y, SWARTZ ML, PHILLIPS RW, MOORE BK, ROBERTS TA. Effect of filler content and size on properties of composites. *J Dent Res* 1985; 64: 1396-401
- (16) RAZAK AA, HARRISON A. The effect of filler content and processing variables on dimensional accuracy of experimental composite inlay material. *J Prosthet. Dent* 1997; 77: 353-358
- (17) UHL A, MILLS RW, RZANNY AE, JANDT KD. Time dependence of composite shrinkage using halogen and LED light curing. *Dent Mater* 2005; 21: 278-86
- (18) SOH MS, YAP AU, SIOW KS. Post-gel shrinkage with different modes of LED and halogen light curing units. *Oper Dent* 2004; 29: 317-324
- (19) COELHO SANTOS MJ, SANTOS GC, JR., NAGEM FILHO H, MONDELLI RF, EL-MOWAFY O. Effect of light curing method on volumetric polymerization shrinkage of resin composites. *Oper Dent* 2004; 29: 157-61
- (20) YAP AU, SOH MS, SIOW KS. Post-gel shrinkage with pulse activation and soft-start polymerization. *Oper Dent* 2002; 27: 81-7
- (21) EMAMI N, SODERHOLM KJ, BERGLUND LA. Effect of light power density variations on bulk curing properties of dental composites. *J Dent* 2003; 31: 189-96
- (22) CARVALHO RM, PEREIRA JC, YOSHIYAMA M, PASHLEY DH. A review of polymerization contraction: the influence of stress development versus stress relief. *Oper Dent* 1996; 21: 17-24
- (23) FEILZER AJ, DE GEE AJ, DAVIDSON CL. Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion. *J Dent Res* 1990; 69: 36-9
- (24) HANSEN EK. Visible light-cured composite resins: polymerization contraction, contraction pattern and hygroscopic expansion. *Scand J Dent Res* 1982; 90: 329-35
- (25) BASTIOLI C, ROMANO G, MIGLIARESI C. Water sorption and mechanical properties of dental composites. *Biomaterials* 1990; 11: 219-23
- (26) ITO S, HASHIMOTO M, WADGAONKAR B, SVIZERO N, ARVALHO RM, YIU C, RUEGGEBERG FA, FOULGER S, SAITO T, NISHITANI Y, YOSHIYAMA M, TAY FR, PASHLEY DH. Effects of resin hydrophilicity on water sorption and changes in modulus of elasticity. *Biomaterials* 2005; 26: 6449-59
- (27) DEWAELE M, TRUFFIER-BOUTRY D, DEVAUX J, LELOUP G Volume contraction in photocured dental resins: the shrinkage-conversion relationship revisited. *Dent Mater.* 2006 Apr; 22: 359-65
- (28) SHARP LJ, CHOI IB, LEE TE, SY A, SUH BI Volumetric shrinkage of composites using video-imaging. *J Dent.* 2003 Feb; 31: 97-103

- (29) KIM JW, KIM LU, KIM CK, CHO BH, KIM OY Characteristics of novel dental composites containing 2,2-bis[4-(2-methoxy-3-methacryloyloxy propoxy) phenyl] propane as a base resin. *Biomacromolecules*. 2006 Jan; 7: 154-60
- (30) SIDERIDOU I, TSERKI V, PAPANASTASIOU G Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials*. 2003 Feb; 24: 655-65
- (31) ORTENGREN U, WELLENDORF H, KARLSSON S, RUYTER IE Water sorption and solubility of dental composites and identification of monomers released in an aqueous environment. *J Oral Rehabil*. 2001 Dec; 28: 1106-15
- (32) CHARTON C, COLON P, PLA F Shrinkage stress in light-cured composite resins: influence of material and photoactivation mode. *Dent Mater*. 2007 Aug;23: 911-20. Epub 2006 Oct 6
- (33) MARTIN N, JEDYNAKIEWICZ NM, FISHER AC Hygroscopic expansion and solubility of composite restoratives *Dent Mater*. 2003 Mar; 19: 77-86
- (34) PALIN WM, FLEMING GJ, BURKE FJ, MARQUIS PM, RANDALL RC The influence of short and medium-term water immersion on the hydrolytic stability of novel low-shrink dental composites. *Dent Mater*. 2005 Sep; 21: 852-63
- (35) MORTIER E, GERDOLLE DA, DAHOUN A, PANIGHI MM Influence of initial water content on the subsequent water sorption and solubility behavior in restorative polymers. *Am J Dent*. 2005 Jun; 18: 177-81
- (36) MORTIER E, GERDOLLE DA, DAHOUN A, PANIGHI MM Importance of water sorption and solubility studies for couple bonding agent--resin-based filling material. *Am J Dent*. 2005 Jun; 18: 177-81
- (37) Scientific Documentation Ceram-X-Mono. Constance, Germany: DeTrey Dentsply GmbH; 2003
- (38) Clearfil AP-X, Material Safety Data Sheet. Okayama, Japan: Kuraray Medical Inc.: 2005
- (39) ASMUSSEN E, PEUTZFELD A, Polymerization contraction of a silorane-based resin composite and four methacrylate-based composites. *European Cells and Materials* Vol. 10. Suppl. 4, 2005
- (40) PUCKETT AD, SMITH R. Method to measure the polymerization shrinkage of light-cured composites. *Journal of Prosthetic Dentistry* 1992; 68: 56–8.
- (41) REES JS, JACOBSEN PH. The polymerization shrinkage of composite resins. *Dental Materials* 1989; 5: 41–4.

- (42) Pressemitteilung 3M ESPE vom 21.03.07  
Website: <http://www.3m.com/DE/pressnet>
- (43) WATTS DC, KISUMBI BK, TOWORFE GK. Dimensional changes of resin/ionomer restoratives in aqueous and neutral media. *Dental Materials* 2000; 16: 89–96.
- (44) CHUTINAN S, PLATT JA, COCHRAN MA, Moore BK. Volumetric dimensional change of six direct core materials. *Dental Materials* 2004; 20: 345–51.
- (45) MARTIN N, JEDYNAKIEWICZ N. Measurement of water sorption in dental composites. *Biomaterials* 1998; 19: 77–83.
- (46) KWON YH, JEON GH, JANG CM, SEOL HJ, KIM HI. Evaluation of polymerization of light-curing hybrid composite resins. *Journal of Biomedical Material Research Part B Applied Biomaterials* 2006; 76: 106–13.
- (47) SÖDERHOLM KJ, YANG MC, GARCEA I, Filler particle leachability of experimental dental composites. *Eur J Oral Sci.* 2000 Dec; 108: 555-60
- (48) SÖDERHOLM KJ, MUKHERJEE R, LONGMATE J, Filler leachability of composites stored in distilled water or artificial saliva. *J Dent Res.* 1996 Sep; 75: 1692-9
- (49) YAP AU, SHAH KC, CHEW CL, Marginal gap formation of composites in dentine: effect of water storage. *J Oral Rehabil.* 2003 Mar; 30: 236-42
- (50) RAHITOS C, TZOUTZAS J, KAKABOURA A, In vitro marginal adaption of high-viscosity resin composite restorations bonded to dentin cavities. *J Adhes Dent.* 2004 Spring; 6: 49-53
- (51) NISHITANI Y, YOSHIYAMA M, HOASAKA K, TAGAMI J, DONNELLY A, CARRILHO M, TAY FR, PASHLEY DH Use of Hoy's solubility parameters to predict water sorption/solubility of experimental primers and adhesives. *Eur J Oral Sci.* 2007 Feb; 115: 81-6
- (52) NAGEM FILHO H, NAGEM HD, FRANCISCONI PA, FRANCO EB, MONDELLI RF, COUTINHO KQ. Volumetric polymerization shrinkage of contemporary composite resins *J Appl Oral Sci.* 2007 Oct; 15: 448-52.
- (53) HANSEN EK, ASMUSSEN E. Marginal adaptation of posterior resins: effect of dentin-bonding agent and hygroscopic expansion *Dent Mater.* 1989 Mar; 5: 122-6
- (54) DENTSPLY International Material Safety Data Sheet 545801
- (55) HIRASAWA T, HIRANO S, HIRABAYASHI S, HARASHIMA I, AIZAWA M. Initial dimensional change of composites in dry and wet conditions. *J Dent Res* 1983; 62: 28-31.

- (56) MOMOI Y, MCCABE JF. Hygroscopic expansion of resin based composites during 6 months of water storage. *Br Dent J* 1994; 176: 91-6
- (57) KHATRI CA, ANTONUCCI JM, STANSBURY JW, SCHULTHEISZ CR  
Synthesis, Characterization and Evaluation of Urethane Derivatives of Bis-GMA  
NIST, Polymers Division, Gaithersburg
- (58) HICKEL R, DASCH W, JANDA R, TYAS M, ANUSAVICE K, New direct restorative materials. *International Dental Journal* (1998) 48, 3–16
- (59) HELLWIG E, KLIMEK J, ATTIN T, Einführung in die Zahnerhaltung. 3., neu bearbeitete Auflage
- (60) LUTZ F, PHILLIPS RW, ROULET JF, IMFELD T, Komposits – Klassifikation und Wertung. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* (1983) 93, 914-929
- (61) ZISKIND D, ADELL I, TEPEROVICH E, PERETZ B, The effect of an intermediate layer of flowable composite resin on microleakage in packable composite restorations *Int J Paediatr Dent*. 2005 Sep; 15: 349-54
- (62) Filtek P60, Material Safety Data Sheet. St. Paul, MN, USA: 3M Espe Dental Products: 2005
- (63) SCHMALZ, ARENHOLT-BINDSLEV, Biokompatibilität zahnärztlicher Werkstoffe
- (64) Introductions for use Solitaire 2. Hanau, Germany: Heraeus- Kulzer GmbH; 2005
- (65) Material Safety Data Sheet TetricEvoCeram. Amherst, NY, USA: Ivoclar Vivadent Inc.; 2004
- (66) ZEECK A, EICK S, KRONE B, SCHRÖDER K, Chemie für Mediziner, 4., korrigierte Auflage
- (67) Website: [http://www.dermacom.ch/private/alindex/al\\_index.htm](http://www.dermacom.ch/private/alindex/al_index.htm) vom 30.05.09
- (68) Website: <http://web.uni-marburg.de/zahnmedizin//papers/MATERIAL/COMP/dok3.htm> vom 30.05.09
- (69) Scientific Documentation TetricEvoCeram. Shaan, Liechtenstein: Ivoclar Vivadent AG; 2005
- (70) ASMUSSEN E, PEUTZFELDT A, Influence of UEDMA, Bis-GMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites *Dent Mater* 1998 Jan; 14: 51-6
- (71) HUANG C, TAY FR, CHEUNG GS, KEI LH, WEI SH, PASHLEY DH, Hygroscopic expansion of a compomer and a composite on artificial gap reduction *J Dent*. 2002 Jan; 30: 11-9

- (72) SPAHL W, BUDZIKIEWICZ H, GEURSTEN W Determination of leachable components from four commercial dental composites by gas and liquid chromatography/mass spectrometry, *J Dent*. 1998 Mar; 26: 137-45
- (73) 3M ESPE A collection of scientific results Website: <http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?666666UuZjcFSLXTtNXTcmXT2EVuQEcuZgVs6EVs6E666666-->
- (74) EICHNER K, KAPPERT H, Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung Band1, 8. unveränderte Auflage, 2005
- (75) PEGGORETI A, MIGLIARESI C, Effect of hydrothermal aging on the thermo-mechanical properties of a composite dental prosthetic material, *Polym Comp* 2002; 23: 342-51
- (76) ARIKAWA H, KUWAHATA H, SEKI H, KANIE T, FUJII K, INOUE K, Deterioration of mechanical properties of composite resins, *Dent Mater J*. 1995 Jun; 14: 78-83
- (77) OYSAED H, RUYTER IE, Composites for use in posterior teeth: mechanical properties tested under dry and wet conditions, *J Biomed Mater Res*. 1986 Feb; 20: 261-71
- (78) ALPÖZ A, ERTUGRUL F, COGULU D, TOPALOGLU A, TANOGLU M, KAYA E, Effects of Light Curing Method and Exposure Time on Mechanical Properties of Resin Based Dental Materials, *Eur J Dent* 2008; 2: 37-42
- (79) SOLTESZ U, KLAIBER B, PERGANDE C, RICHTER H, Comparative study on the abrasion behavior of composite filling materials, *Dtsch Zahnarztl Z*. 1979 May; 34: 406-12
- (80) DHUMMARUNGRONG S, MOORE BK, AVERY DR, Properties related to strength and resistance to abrasion of VariGlass VLC, Fuji II L.C., Ketac-Silver, and Z-100 composite resin, *ASDC J Dent Child*. 1994 Jan-Feb; 61: 17-20
- (81) LIM BS, FERRANCE JL, CONDON JR, ADEY JD, Effect of filler fraction and filler surface treatment on wear of microfilled composites, *Dent Mater*. 2002 Jan; 18: 1-11
- (82) PELKA M, EBERT J, SCHNEIDER H, KRÄMER N, PETSCHOLT A, Comparison of two- and three-body wear of glass-ionomers and composites, *Eur J Oral Sci*. 1996 Apr; 104: 132-7
- (83) Directions for use SureFil. Constance, Germany: DeTrey Dentsply GmbH; 2005

- (84) JANDA R, ROULET JF, LATTA M, RÜTTERMANN S, The effects of thermocycling on the flexural strength and flexural modulus of modern resin-based filling materials, *Dent Mater.* 2006 Dec; 22: 1103-8. Epub 2006 Jan 10
- (85) RODRIGUES JUNIOR SA, ZANCHI CH, CARVALHO RV, DEMARCO FF, Flexural strength and modulus of elasticity of different types of resin-based composites, *Braz Oral Res.* 2007 Jan-Mar; 21: 16-21
- (86) HERVAS-GARCIA A, MARTINEZ-LOZANO MA, CABANES-VILA J, BARJAU-ESCRIBANO A, FOS-GALVE P, Composite resins. A review of the materials and clinical indications, *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2006 Mar 1; 11: E215-20
- (87) Wissenschaftliche Produktinformation Grandio / Grandio Flow, Voco
- (89) Admira, das Ormocer basierende Füllungsmaterial, Voco Forschung und Entwicklung,  
Website: [www.voco.com/praeparate/de/html/prodinfo/wi/WP\\_DE\\_Admira.pdf](http://www.voco.com/praeparate/de/html/prodinfo/wi/WP_DE_Admira.pdf)
- (90) ATTIN T, BUCHALLA W, Kompomere, eine werkstoffkundliche Beschreibung
- (91) Venus-Komposite Kompendium, Heraeus-Kulzer  
Website: [www.heraeus-venus.com/medis/downloads/de/Venus\\_Compodium.pdf](http://www.heraeus-venus.com/medis/downloads/de/Venus_Compodium.pdf)
- (92) ERNST CP, WILLERSHAUSEN B, Eine aktuelle Standortbestimmung zahnärztlicher Füllungskomposite, *Zahnärztliche Mitteilungen* 2003; 93: 30-40.
- (93) BONILLA ED, MARDIROSSIAN G, CAPUTO AA, Fracture toughness of posterior resin composites, *Quintessence Int.* 2001 Mar; 32: 206-10
- (94) MANHART J, Restaurative und ästhetische Zahnheilkunde mit direkten Kompositen im Seitenzahnbereich, *Zahnärzteblatt Sachsen* 2006, 17: 27-30
- (95) Webseite: [http://de.mt.com/etc/medialib/mt\\_ext\\_files/FilterHierarchy/Apply...x00024670000270aa0004f9c6\\_files.Par.density\\_kit\\_1\\_jpg.Image.jpeg](http://de.mt.com/etc/medialib/mt_ext_files/FilterHierarchy/Apply...x00024670000270aa0004f9c6_files.Par.density_kit_1_jpg.Image.jpeg); vom 21.06.09

## 9. Anhang

### 9.1 Messwertprotokolle

Legende:

Luft: Wägung der Probe in Luft, Ergebnis in g

Wasser: Wägung der Probe in Wasser, Ergebnis in g

Dichte: Dichtemessung laut Analysewaage in  $\text{g cm}^{-3}$

$\Delta D$ : Dichteänderung in %

$\Delta m$ : Masseänderung in %

$\Delta V$ : Volumenänderung in %

V: Volumen der Probekörper in  $\text{cm}^3$

Mean: Durchschnittswert

Sd: Standardabweichung

#### SureFil

Material	Probe	Luft	Wasser	Dichte	$\Delta D$	$\Delta m$	$\Delta V$	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	$\Delta D$	$\Delta m$	$\Delta V$	V	
un- polyme- risiert	1	0,21141	0,11368	2,1571					polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 23,4 °C	1	0,19050	0,10422	2,2001	2,0				0,08659
	2	0,19320	0,10385	2,1564						2	0,19912	0,10877	2,1982	1,9				0,09058
	3	0,20444	0,10994	2,1573						3	0,19858	0,10852	2,1987	1,9				0,09032
	4	0,21034	0,11289	2,1528						4	0,18822	0,10261	2,1920	1,8				0,08587
	5	0,22055	0,11876	2,1610						5	0,20035	0,10951	2,1989	1,8				0,09111
	6	0,23062	0,12377	2,1521						6	0,19864	0,10831	2,1920	1,9				0,09062
	7	0,21293	0,11457	2,1598						7	0,19420	0,10610	2,1978	1,8				0,08836
	8	0,22754	0,12224	2,1548						8	0,20496	0,11218	2,2035	2,3				0,09302
	9	0,22994	0,12382	2,1611						9	0,18763	0,10289	2,2077	2,2				0,08499
	10	0,20572	0,11066	2,1584						10	0,19724	0,10754	2,1929	1,6				0,08994
Mean:									Mean:					<b>1,9</b>		<b>-1,91</b>	0,08659	
Sd:									Sd:					<b>0,2</b>		<b>0,20</b>	0,09058	

20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	$\Delta D$	$\Delta m$	$\Delta V$	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	$\Delta D$	$\Delta m$	$\Delta V$	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,19063	0,10453	2,2078	0,3	0,1	-0,28	0,08634	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,19078	0,10447	2,2035	0,2	0,1	-0,01	0,08658
	2	0,19971	0,10951	2,2090	0,5	0,3	-0,19	0,09041		2	0,20009	0,10973	2,2087	0,5	0,2	0,01	0,09059
	3	0,19888	0,10866	2,1969	-0,1	0,2	0,23	0,09053		3	0,19972	0,10909	2,1963	-0,1	0,4	0,68	0,09093
	4	0,18833	0,10329	2,2075	0,7	0,1	-0,64	0,08531		4	0,18844	0,10323	2,2054	0,6	0,1	-0,49	0,08544
	5	0,20042	0,10956	2,1993	0,0	0,0	0,02	0,09113		5	0,20065	0,11008	2,2095	0,5	0,1	-0,33	0,09081
	6	0,19815	0,10871	2,2094	0,8	-0,2	-1,03	0,08968		6	0,19897	0,10905	2,2063	0,7	0,4	-0,48	0,09018
	7	0,19429	0,10640	2,2051	0,3	0,0	-0,28	0,08811		7	0,19457	0,10666	2,2062	0,4	0,1	-0,19	0,08819
	8	0,20494	0,11193	2,1959	-0,3	0,0	0,34	0,09333		8	0,20537	0,11225	2,1986	-0,2	0,2	0,42	0,09341
	9	0,18758	0,10284	2,2081	0,0	0,0	-0,04	0,08495		9	0,18802	0,10313	2,2083	0,0	0,2	0,18	0,08514
	10	0,19734	0,10817	2,2068	0,6	0,1	-0,58	0,08942		10	0,19742	0,10814	2,2046	0,5	0,0	-0,44	0,08955
Mean:					0,3	0,0	-0,25		Mean:					<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>-0,06</b>	
Sd:					0,4	0,1	0,42		Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,40</b>	

20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,19086	0,10472	2,2098	0,4	0,1	-0,25	0,08637	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,19150	0,10492	2,2055	0,2	0,5	0,28	0,08683
	2	0,20063	0,11002	2,2084	0,5	0,5	0,29	0,09085		2	0,20017	0,10926	2,1946	-0,2	0,2	0,69	0,09121
	3	0,19963	0,10937	2,2047	0,3	0,4	0,26	0,09055		3	0,19953	0,10917	2,2016	0,1	0,3	0,35	0,09063
	4	0,18870	0,10323	2,2023	0,5	0,2	-0,21	0,08568		4	0,18886	0,10348	2,2062	0,6	0,3	-0,31	0,08560
	5	0,20085	0,10995	2,2045	0,3	0,2	-0,01	0,09111		5	0,20110	0,10983	2,1966	-0,1	0,3	0,48	0,09155
	6	0,19900	0,10863	2,1958	0,2	0,4	0,01	0,09063		6	0,19924	0,10882	2,1972	0,2	0,6	0,06	0,09068
	7	0,19462	0,10676	2,2083	0,5	0,2	-0,26	0,08813		7	0,19476	0,10643	2,1976	0,0	0,2	0,30	0,08862
	8	0,20565	0,11280	2,2095	0,3	0,3	0,06	0,09308		8	0,20557	0,11227	2,1977	-0,3	0,3	0,56	0,09354
	9	0,18813	0,10306	2,2060	-0,1	0,3	0,34	0,08528		9	0,18842	0,10324	2,2058	-0,1	0,4	0,51	0,08542
	10	0,19762	0,10826	2,2047	0,5	0,1	-0,34	0,08964		10	0,19789	0,10807	2,1963	0,2	0,3	0,17	0,09010
Mean:				<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>-0,01</b>			Mean:				<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	<b>0,31</b>		
Sd:				<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,25</b>			Sd:				<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,29</b>		

nach Trock- nung im Exsik- kator	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	
	1	0,18992	0,10394	2,2006	0,0	-0,4	-0,33	0,08630	polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 23,8 °C	1	0,19506	0,10664	2,1996	2,0				0,08868
	2	0,19913	0,10932	2,2096	0,5	-0,3	-0,51	0,09012		2	0,19283	0,10561	2,2048	2,2				0,08746
	3	0,19842	0,10860	2,2008	0,1	-0,2	-0,18	0,09016		3	0,20012	0,10943	2,1999	2,0				0,09097
	4	0,18769	0,10272	2,2027	0,5	-0,3	-0,77	0,08521		4	0,20193	0,11044	2,2008	2,2				0,09175
	5	0,19982	0,10950	2,2062	0,3	-0,3	-0,59	0,09057		5	0,19501	0,10683	2,2057	2,1				0,08841
	6	0,19804	0,10847	2,2042	0,6	-0,1	-0,85	0,08985		6	0,19166	0,10445	2,1912	1,8				0,08747
	7	0,19365	0,10624	2,2081	0,5	-0,3	-0,75	0,08770		7	0,18698	0,10199	2,1928	1,5				0,08527
	8	0,20445	0,11196	2,2022	-0,1	-0,2	-0,19	0,09284		8	0,19676	0,10801	2,2097	2,5				0,08904
	9	0,18710	0,10250	2,2041	-0,2	-0,3	-0,12	0,08489		9	0,20503	0,11182	2,1922	1,4				0,09353
	10	0,19668	0,10767	2,2021	0,4	-0,3	-0,70	0,08931		10	0,18951	0,10374	2,2028	2,1				0,08603
Mean:				<b>0,3</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,50</b>			Mean:				<b>2,0</b>			<b>-2,0</b>		
Sd:				<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,28</b>			Sd:				<b>0,3</b>			<b>0,3</b>		

40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,19507	0,10633	2,1904	-0,4	0,0	-0,4	0,08906	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,19533	0,10690	2,2023	0,1	0,1	0,0	0,08869
	2	0,19272	0,10562	2,2073	0,1	-0,1	0,2	0,08731		2	0,19330	0,10606	2,2125	0,3	0,2	-0,1	0,08737
	3	0,20046	0,10992	2,2086	0,4	0,2	0,2	0,09076		3	0,20069	0,11055	2,2205	0,9	0,3	-0,6	0,09038
	4	0,20253	0,11098	2,2048	0,2	0,3	-0,1	0,09186		4	0,20275	0,11141	2,2133	0,6	0,4	-0,2	0,09161
	5	0,19514	0,10693	2,2063	0,0	0,1	0,0	0,08845		5	0,19558	0,10751	2,2139	0,4	0,3	-0,1	0,08834
	6	0,19194	0,10488	2,1981	0,3	0,1	0,2	0,08732		6	0,19226	0,10505	2,1990	0,4	0,3	0,0	0,08743
	7	0,18730	0,10229	2,1962	0,2	0,2	0,0	0,08528		7	0,18756	0,10265	2,2031	0,5	0,3	-0,2	0,08513
	8	0,19665	0,10733	2,1945	-0,7	-0,1	-0,6	0,08961		8	0,19743	0,10823	2,2109	0,1	0,3	0,3	0,08930
	9	0,20508	0,11186	2,1924	0,0	0,0	0,0	0,09354		9	0,20533	0,11233	2,2012	0,4	0,1	-0,3	0,09328
	10	0,18959	0,10365	2,1995	-0,1	0,0	-0,2	0,08620		10	0,18993	0,10447	2,2163	0,6	0,2	-0,4	0,08570
Mean:				<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	<b>-0,1</b>			Mean:				<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>-0,2</b>		
Sd:				<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>			Sd:				<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		

40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,19549	0,10725	2,2104	0,5	0,2	-0,3	0,08844	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,19582	0,10697	2,1974	-0,1	0,4	0,5	0,08911
	2	0,19354	0,10615	2,2104	0,3	0,4	0,1	0,08756		2	0,19364	0,10582	2,1979	-0,3	0,4	0,7	0,08810
	3	0,20100	0,11059	2,2168	0,8	0,4	-0,3	0,09067		3	0,20115	0,11002	2,2010	0,1	0,5	0,5	0,09139
	4	0,20317	0,11128	2,2052	0,2	0,6	0,4	0,09213		4	0,20317	0,11124	2,2040	0,1	0,6	0,5	0,09218
	5	0,19590	0,10739	2,2075	0,1	0,5	0,4	0,08874		5	0,19607	0,10749	2,2069	0,1	0,5	0,5	0,08884
	6	0,19264	0,10540	2,2024	0,5	0,5	0,0	0,08747		6	0,19268	0,10565	2,2077	0,8	0,5	-0,2	0,08728
	7	0,18794	0,10327	2,2136	0,9	0,5	-0,4	0,08490		7	0,18801	0,10281	2,2010	0,4	0,6	0,2	0,08542
	8	0,19777	0,10878	2,2170	0,3	0,5	0,2	0,08921		8	0,19784	0,10846	2,2072	-0,1	0,5	0,7	0,08963
	9	0,20561	0,11255	2,2045	0,6	0,3	-0,3	0,09327		9	0,20570	0,11228	2,1965	0,2	0,3	0,1	0,09365
	10	0,19018	0,10416	2,2051	0,1	0,4	0,2	0,08625		10	0,19056	0,10414	2,1980	-0,2	0,6	0,8	0,08670
Mean:				<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,0</b>			Mean:				<b>0,1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>		
Sd:				<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>			Sd:				<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>		

40 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,19457	0,10727	2,2209	1,0	-0,3	-1,2	0,08761	polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 24,0 °C	1	0,19865	0,10813	2,1899	1,5				0,09071
	2	0,19244	0,10576	2,2121	0,3	-0,2	-0,5	0,08699		2	0,19230	0,10503	2,1964	1,9				0,08755
	3	0,19982	0,10991	2,2149	0,7	-0,1	-0,8	0,09022		3	0,20101	0,10986	2,2018	2,1				0,09129
	4	0,20195	0,11090	2,2142	0,6	0,0	-0,6	0,09121		4	0,19266	0,10546	2,2029	2,3				0,08746
	5	0,19466	0,10726	2,2194	0,6	-0,2	-0,8	0,08771		5	0,19191	0,10510	2,2043	2,0				0,08706
	6	0,19156	0,10528	2,2121	1,0	-0,1	-1,0	0,08660		6	0,20518	0,11232	2,2028	2,4				0,09315
	7	0,18678	0,10271	2,2142	1,0	-0,1	-1,1	0,08436		7	0,19767	0,10804	2,1983	1,8				0,08992
	8	0,19667	0,10825	2,2169	0,3	0,0	-0,4	0,08871		8	0,18490	0,10076	2,1912	1,7				0,08438
	9	0,20443	0,11239	2,2128	0,9	-0,3	-1,2	0,09239		9	0,20052	0,10969	2,2012	1,9				0,09110
	10	0,18936	0,10431	2,2181	0,7	-0,1	-0,8	0,08537		10	0,20017	0,10951	2,2015	2,0				0,09092
Mean:					<b>0,7</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,8</b>		Mean:					<b>1,9</b>			<b>-1,9</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>		Sd:					<b>0,3</b>			<b>0,3</b>	

60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	0 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,19874	0,10832	2,1907	0,0	0,0	0,0	0,09072	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,19882	0,10913	2,2111	1,0	0,1	-0,9	0,08992
	2	0,19265	0,10534	2,1993	0,1	0,2	0,0	0,08760		2	0,19269	0,10574	2,2092	0,6	0,2	-0,4	0,08722
	3	0,20111	0,11019	2,2064	0,2	0,0	-0,2	0,09115		3	0,20136	0,11057	2,2112	0,4	0,2	-0,3	0,09106
	4	0,19233	0,10506	2,1994	-0,2	-0,2	0,0	0,08745		4	0,19310	0,10613	2,2144	0,5	0,2	-0,3	0,08720
	5	0,19191	0,10514	2,2062	0,1	0,0	-0,1	0,08699		5	0,19225	0,10546	2,2088	0,2	0,2	0,0	0,08704
	6	0,20557	0,11266	2,2058	0,1	0,2	0,1	0,09320		6	0,20560	0,11293	2,2129	0,5	0,2	-0,3	0,09291
	7	0,19788	0,10806	2,1974	0,0	0,1	0,1	0,09005		7	0,19826	0,10855	2,2032	0,2	0,3	0,1	0,08999
	8	0,18522	0,10128	2,2004	0,4	0,2	-0,2	0,08418		8	0,18579	0,10174	2,2052	0,6	0,5	-0,2	0,08425
	9	0,20079	0,10986	2,2021	0,0	0,1	0,1	0,09118		9	0,20151	0,11064	2,2122	0,5	0,5	0,0	0,09109
	10	0,19972	0,10884	2,1911	-0,5	-0,2	0,2	0,09115		10	0,20054	0,10998	2,2083	0,3	0,2	-0,1	0,09081
Mean:					<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>		Mean:					<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>-0,2</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>		Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	

0 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,19923	0,10902	2,2034	0,6	0,3	-0,3	0,09042	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,19925	0,10894	2,1993	0,4	0,3	-0,1	0,09060
	2	0,19300	0,10594	2,2118	0,7	0,4	-0,3	0,08726		2	0,19319	0,10570	2,2011	0,2	0,5	0,2	0,08777
	3	0,20179	0,11049	2,2041	0,1	0,4	0,3	0,09155		3	0,20187	0,11064	2,2064	0,2	0,4	0,2	0,09149
	4	0,19343	0,10561	2,1968	-0,3	0,4	0,7	0,08805		4	0,19342	0,10592	2,2035	0,0	0,4	0,4	0,08778
	5	0,19263	0,10509	2,1955	-0,4	0,4	0,8	0,08774		5	0,19280	0,10558	2,2029	-0,1	0,5	0,5	0,08752
	6	0,20607	0,11265	2,2003	-0,1	0,4	0,5	0,09366		6	0,20606	0,11281	2,2037	0,0	0,4	0,4	0,09351
	7	0,19855	0,10875	2,2054	0,3	0,4	0,1	0,09003		7	0,19877	0,10884	2,2037	0,2	0,6	0,3	0,09020
	8	0,18607	0,10194	2,2069	0,7	0,6	-0,1	0,08431		8	0,18607	0,10205	2,2090	0,8	0,6	-0,2	0,08423
	9	0,20174	0,11051	2,2055	0,2	0,6	0,4	0,09147		9	0,20184	0,11032	2,1989	-0,1	0,7	0,8	0,09179
	10	0,20097	0,10998	2,2036	0,1	0,4	0,3	0,09120		10	0,20104	0,10997	2,2017	0,0	0,4	0,4	0,09131
Mean:					<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>		Mean:					<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	
Sd:					<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>		Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	

60 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,19834	0,10928	2,2189	1,3	-0,2	-1,5	0,08939
	2	0,19209	0,10583	2,2196	1,1	-0,1	-1,2	0,08654
	3	0,20044	0,11037	2,2153	0,6	-0,3	-0,9	0,09048
	4	0,19222	0,10570	2,2139	0,5	-0,2	-0,7	0,08682
	5	0,19150	0,10534	2,2153	0,5	-0,2	-0,7	0,08644
	6	0,20493	0,11293	2,2194	0,8	-0,1	-0,9	0,09234
	7	0,19725	0,10856	2,2166	0,8	-0,2	-1,0	0,08899
	8	0,18485	0,10151	2,2121	1,0	0,0	-1,0	0,08356
	9	0,20067	0,11063	2,2208	0,9	0,1	-0,8	0,09036
	10	0,19980	0,10993	2,2154	0,6	-0,2	-0,8	0,09019
Mean:					<b>0,8</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,9</b>	
Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	

# Ceram-X-Mono

Material	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	
un- polyme- risiert	1	0,19247	0,10183	2,1181					polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 23,2 °C	1	0,18337	0,09955	2,1821	3,0				0,08403
	2	0,18415	0,09745	2,1184						2	0,18296	0,09791	2,1447	1,2				0,08531
	3	0,20312	0,10765	2,1216						3	0,18175	0,09879	2,1854	3,0				0,08317
	4	0,19637	0,10435	2,1290						4	0,17740	0,09581	2,1675	1,8				0,08185
	5	0,18940	0,10041	2,1225						5	0,18129	0,09823	2,1759	2,5				0,08332
	6	0,20371	0,10802	2,1242						6	0,17885	0,09763	2,1951	3,3				0,08148
	7	0,18477	0,09794	2,1217						7	0,18194	0,09908	2,1910	3,3				0,08304
	8	0,19553	0,10363	2,1221						8	0,18627	0,10111	2,1810	2,8				0,08541
	9	0,19395	0,10278	2,1218						9	0,18490	0,10030	2,1793	2,7				0,08484
	10	0,20753	0,10977	2,1184						10	0,18065	0,09770	2,1721	2,5				0,08317
Mean:									Mean:					2,6			-2,6	
Sd:									Sd:					0,7			0,7	
20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,18332	0,09972	2,1865	0,2	0,0	-0,2	0,08384	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,18385	0,09994	2,1711	0,1	0,3	0,1	0,08415	
	2	0,18305	0,09938	2,1817	1,7	0,0	-1,6	0,08390		2	0,18307	0,09903	2,1811	1,2	0,1	-1,2	0,08432	
	3	0,18151	0,09861	2,1838	-0,1	-0,1	-0,1	0,08312		3	0,18190	0,09877	2,1794	-0,2	0,1	0,3	0,08340	
	4	0,17763	0,09642	2,1816	0,7	0,1	-0,5	0,08142		4	0,17828	0,09672	2,1719	0,5	0,5	-0,1	0,08180	
	5	0,18102	0,09800	2,1744	-0,1	-0,1	-0,1	0,08325		5	0,18148	0,09816	2,1797	-0,2	0,1	0,3	0,08356	
	6	0,17916	0,09716	2,1786	-0,8	0,2	0,9	0,08224		6	0,17967	0,09747	2,1818	-0,7	0,5	1,2	0,08243	
	7	0,18203	0,09915	2,1893	-0,1	0,0	0,1	0,08315		7	0,18234	0,09903	2,1802	-0,4	0,2	0,6	0,08357	
	8	0,18591	0,10092	2,1805	0,0	-0,2	-0,2	0,08526		8	0,18652	0,10124	2,1743	0,0	0,1	0,2	0,08555	
	9	0,18481	0,09997	2,1717	-0,3	0,0	0,3	0,08510		9	0,18538	0,10036	2,1703	-0,2	0,3	0,5	0,08526	
	10	0,18088	0,09809	2,1790	0,3	0,1	-0,2	0,08301		10	0,18127	0,09801	2,1711	-0,1	0,3	0,4	0,08352	
Mean:				0,2	0,0	-0,2		Mean:					0,0	0,2	0,2			
Sd:				0,7	0,1	0,7		Sd:					0,5	0,2	0,6			
20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,18448	0,09977	2,1715	-0,5	0,6	1,1	0,08496	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,18435	0,10036	2,1888	0,3	0,5	0,2	0,08422	
	2	0,18400	0,09968	2,1759	1,5	0,6	-0,9	0,08456		2	0,18398	0,09981	2,1802	1,7	0,6	-1,1	0,08439	
	3	0,18297	0,09901	2,1730	-0,6	0,7	1,2	0,08420		3	0,18297	0,09951	2,1854	0,0	0,7	0,7	0,08372	
	4	0,17881	0,09686	2,1765	0,4	0,8	0,4	0,08215		4	0,17907	0,09689	2,1736	0,3	0,9	0,7	0,08238	
	5	0,18243	0,09848	2,1672	-0,4	0,6	1,0	0,08418		5	0,18292	0,09915	2,1767	0,0	0,9	0,9	0,08404	
	6	0,18057	0,09797	2,1809	-0,6	1,0	1,6	0,08280		6	0,18014	0,09767	2,1788	-0,7	0,7	1,5	0,08268	
	7	0,18311	0,09952	2,1843	-0,3	0,6	1,0	0,08383		7	0,18337	0,09931	2,1751	-0,7	0,8	1,5	0,08430	
	8	0,18718	0,10106	2,1675	-0,6	0,5	1,1	0,08636		8	0,18726	0,10157	2,1790	-0,1	0,5	0,6	0,08594	
	9	0,18621	0,10073	2,1724	-0,3	0,7	1,0	0,08572		9	0,18613	0,10062	2,1716	-0,4	0,7	1,0	0,08571	
	10	0,18203	0,09853	2,1743	0,1	0,8	0,7	0,08372		10	0,18228	0,09855	2,1702	-0,1	0,9	1,0	0,08399	
Mean:				-0,1	0,7	0,8		Mean:					0,0	0,7	0,7			
Sd:				0,7	0,1	0,7		Sd:					0,7	0,2	0,7			
20 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,18296	0,09944	2,1840	0,1	-0,2	-0,3	0,08377	polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 23,6 °C	1	0,18410	0,09964	2,1720	2,5				0,08476
	2	0,18255	0,09929	2,1844	1,9	-0,2	-2,0	0,08357		2	0,18145	0,09797	2,1670	2,3				0,08373
	3	0,18161	0,09909	2,1928	0,3	-0,1	-0,4	0,08282		3	0,18245	0,09914	2,1829	2,9				0,08358
	4	0,17768	0,09672	2,1875	0,9	0,2	-0,8	0,08123		4	0,18670	0,10212	2,2015	3,4				0,08481
	5	0,18119	0,09863	2,1871	0,5	-0,1	-0,6	0,08284		5	0,18355	0,09920	2,1699	2,2				0,08459
	6	0,17896	0,09737	2,1863	-0,4	0,1	0,5	0,08186		6	0,18880	0,10286	2,1905	3,1				0,08619
	7	0,18179	0,09916	2,1921	0,1	-0,1	-0,1	0,08293		7	0,18316	0,09918	2,1742	2,5				0,08424
	8	0,18600	0,10145	2,1919	0,5	-0,1	-0,6	0,08486		8	0,18107	0,09822	2,1797	2,7				0,08307
	9	0,18481	0,10052	2,1854	0,3	0,0	-0,3	0,08457		9	0,18320	0,09872	2,1616	1,9				0,08475
	10	0,18090	0,09836	2,1835	0,5	0,1	-0,4	0,08285		10	0,17732	0,09622	2,1807	2,9				0,08131
Mean:				0,5	0,0	-0,5		Mean:					2,6				-2,6	
Sd:				0,6	0,1	0,6		Sd:					0,5				0,5	

40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,18432	0,10002	2,1821	0,5	0,1	-0,3	0,08447	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,18459	0,10021	2,1813	0,4	0,3	-0,2	0,08462
	2	0,18128	0,09816	2,1738	0,3	-0,1	-0,4	0,08339		2	0,18138	0,09807	2,1703	0,2	0,0	-0,2	0,08357
	3	0,18251	0,09891	2,1774	-0,3	0,0	0,3	0,08382		3	0,18331	0,09929	2,1764	-0,3	0,5	0,8	0,08423
	4	0,18637	0,10065	2,1673	-1,6	-0,2	1,4	0,08599		4	0,18710	0,10122	2,1725	-1,3	0,2	1,6	0,08612
	5	0,18400	0,10015	2,1882	0,8	0,2	-0,6	0,08409		5	0,18426	0,09969	2,1722	0,1	0,4	0,3	0,08483
	6	0,18866	0,10258	2,1857	-0,2	-0,1	0,1	0,08632		6	0,18922	0,10237	2,1726	-0,8	0,2	1,0	0,08709
	7	0,18358	0,09963	2,1802	0,3	0,2	0,0	0,08420		7	0,18363	0,09946	2,1699	-0,2	0,3	0,5	0,08463
	8	0,18119	0,09848	2,1837	0,2	0,1	-0,1	0,08297		8	0,18165	0,09858	2,1802	0,0	0,3	0,3	0,08332
	9	0,18314	0,09885	2,1638	0,1	0,0	-0,1	0,08464		9	0,18373	0,09911	2,1641	0,1	0,3	0,2	0,08490
	10	0,17713	0,09588	2,1731	-0,3	-0,1	0,2	0,08151		10	0,17775	0,09623	2,1730	-0,4	0,2	0,6	0,08180
Mean:					<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>		Mean:					<b>-0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	
Sd:					<b>0,6</b>	<b>0,1</b>	<b>0,6</b>		Sd:					<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,5</b>	

40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,18499	0,10026	2,1774	0,2	0,5	0,2	0,08496	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,18508	0,09989	2,1657	-0,3	0,5	0,8	0,08546
	2	0,18219	0,09881	2,1784	0,5	0,4	-0,1	0,08363		2	0,18185	0,09828	2,1695	0,1	0,2	0,1	0,08382
	3	0,18374	0,09978	2,1828	0,0	0,7	0,7	0,08418		3	0,18355	0,09907	2,1679	-0,7	0,6	1,3	0,08467
	4	0,18765	0,10173	2,1776	-1,1	0,5	1,6	0,08617		4	0,18761	0,10113	2,1636	-1,7	0,5	2,2	0,08671
	5	0,18495	0,09996	2,1695	0,0	0,8	0,8	0,08525		5	0,18470	0,09981	2,1706	0,0	0,6	0,6	0,08509
	6	0,18957	0,10247	2,1706	-0,9	0,4	1,3	0,08734		6	0,18965	0,10227	2,1649	-1,2	0,5	1,6	0,08760
	7	0,18445	0,09980	2,1726	-0,1	0,7	0,8	0,08490		7	0,18457	0,09959	2,1646	-0,4	0,8	1,2	0,08527
	8	0,18240	0,09871	2,1736	-0,3	0,7	1,0	0,08392		8	0,18226	0,09836	2,1666	-0,6	0,7	1,3	0,08412
	9	0,18430	0,09983	2,1765	0,7	0,6	-0,1	0,08468		9	0,18459	0,09937	2,1595	-0,1	0,8	0,9	0,08548
	10	0,17858	0,09661	2,1725	-0,4	0,7	1,1	0,08220		10	0,17809	0,09601	2,1632	-0,8	0,4	1,2	0,08233
Mean:					<b>-0,1</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>		Mean:					<b>-0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>1,1</b>	
Sd:					<b>0,6</b>	<b>0,1</b>	<b>0,6</b>		Sd:					<b>0,6</b>	<b>0,2</b>	<b>0,6</b>	

40 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,18395	0,09990	2,1809	0,4	-0,1	-0,5	0,08435	polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 23,4 °C	1	0,17943	0,09742	2,1817	3,0			0,08224
	2	0,18075	0,09828	2,1840	0,8	-0,4	-1,2	0,08276		2	0,18494	0,10032	2,1796	2,9			0,08485
	3	0,18238	0,09925	2,1857	0,1	0,0	-0,2	0,08344		3	0,18829	0,10202	2,1758	2,6			0,08654
	4	0,18647	0,10116	2,1776	-1,1	-0,1	1,0	0,08563		4	0,19148	0,10371	2,1752	2,2			0,08803
	5	0,18352	0,09947	2,1750	0,2	0,0	-0,3	0,08438		5	0,18741	0,10114	2,1655	2,0			0,08654
	6	0,18853	0,10233	2,1792	-0,5	-0,1	0,4	0,08651		6	0,17957	0,09724	2,1747	2,4			0,08257
	7	0,18320	0,09919	2,1753	0,1	0,0	0,0	0,08422		7	0,18510	0,10019	2,1735	2,4			0,08516
	8	0,18126	0,09854	2,1831	0,2	0,1	-0,1	0,08303		8	0,18331	0,09875	2,1612	1,8			0,08482
	9	0,18300	0,09928	2,1782	0,8	-0,1	-0,9	0,08401		9	0,17683	0,09546	2,1667	2,1			0,08161
	10	0,17722	0,09637	2,1840	0,2	-0,1	-0,2	0,08114		10	0,19132	0,10390	2,1796	2,9			0,08778
Mean:					<b>0,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,2</b>		Mean:					<b>2,4</b>		<b>-2,4</b>	
Sd:					<b>0,6</b>	<b>0,1</b>	<b>0,6</b>		Sd:					<b>0,4</b>		<b>0,4</b>	

60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,17946	0,09728	2,1775	-0,2	0,0	0,2	0,08242	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,17937	0,09682	2,1670	-0,7	0,0	0,6	0,08277
	2	0,18488	0,10022	2,1795	0,0	0,0	0,0	0,08483		2	0,18520	0,10030	2,1763	-0,2	0,1	0,3	0,08510
	3	0,18837	0,10231	2,1839	0,4	0,0	-0,3	0,08625		3	0,18856	0,10217	2,1770	0,1	0,1	0,1	0,08661
	4	0,19119	0,10348	2,1739	-0,1	-0,2	-0,1	0,08795		4	0,19165	0,10372	2,1736	-0,1	0,1	0,2	0,08817
	5	0,18781	0,10180	2,1775	0,6	0,2	-0,3	0,08625		5	0,18834	0,10179	2,1696	0,2	0,5	0,3	0,08681
	6	0,17967	0,09745	2,1783	0,2	0,1	-0,1	0,08248		6	0,18019	0,09773	2,1805	0,3	0,3	0,1	0,08264
	7	0,18505	0,09998	2,1694	-0,2	0,0	0,2	0,08530		7	0,18547	0,10060	2,1792	0,3	0,2	-0,1	0,08511
	8	0,18294	0,09855	2,1613	0,0	-0,2	-0,2	0,08464		8	0,18344	0,09901	2,1668	0,3	0,1	-0,2	0,08466
	9	0,17711	0,09581	2,1726	0,3	0,2	-0,1	0,08152		9	0,17747	0,09573	2,1676	0,0	0,4	0,3	0,08187
	10	0,19154	0,10389	2,1800	0,0	0,1	0,1	0,08786		10	0,19198	0,10408	2,1779	-0,1	0,3	0,4	0,08815
Mean:					<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>-0,1</b>		Mean:					<b>0,0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	

60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,18611	0,09786	2,1801	-0,1	0,5	0,6	0,08270	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,18105	0,09774	2,1654	-0,7	0,9	1,7	0,08361
	2	0,18952	0,10079	2,1752	-0,2	0,6	0,8	0,08556		2	0,18629	0,10067	2,1694	-0,5	0,7	1,2	0,08587
	3	0,19248	0,10264	2,1748	0,0	0,7	0,7	0,08714		3	0,18983	0,10284	2,1758	0,0	0,8	0,8	0,08725
	4	0,18899	0,10421	2,1740	-0,1	0,5	0,6	0,08854		4	0,19234	0,10360	2,1604	-0,7	0,4	1,1	0,08903
	5	0,18046	0,10249	2,1782	0,6	0,8	0,3	0,08676		5	0,18884	0,10200	2,1672	0,1	0,8	0,7	0,08714
	6	0,18605	0,09763	2,1721	-0,1	0,5	0,6	0,08308		6	0,18060	0,09761	2,1697	-0,2	0,6	0,8	0,08324
	7	0,18459	0,10088	2,1781	0,2	0,5	0,3	0,08542		7	0,18607	0,10057	2,1704	-0,1	0,5	0,7	0,08573
	8	0,17796	0,09959	2,1658	0,2	0,7	0,5	0,08523		8	0,18452	0,09951	2,1640	0,1	0,7	0,5	0,08527
	9	0,19252	0,09608	2,1674	0,0	0,6	0,6	0,08211		9	0,17801	0,09565	2,1556	-0,5	0,7	1,2	0,08258
	10	0,18611	0,10401	2,1673	-0,6	0,6	1,2	0,08883		10	0,19251	0,10397	2,1678	-0,5	0,6	1,2	0,08880
Mean:					<b>0,0</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>		Mean:					<b>-0,3</b>	<b>0,7</b>	<b>1,0</b>	
Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>		Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	

60 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,17905	0,09732	2,1834	0,1	-0,2	-0,3	0,08201
	2	0,18488	0,10040	2,1808	0,1	0,0	-0,1	0,08478
	3	0,18835	0,10238	2,1822	0,3	0,0	-0,3	0,08631
	4	0,19132	0,10372	2,1761	0,0	-0,1	-0,1	0,08792
	5	0,18769	0,10187	2,1788	0,6	0,1	-0,5	0,08614
	6	0,17936	0,09736	2,1793	0,2	-0,1	-0,3	0,08230
	7	0,18485	0,10030	2,1784	0,2	-0,1	-0,4	0,08486
	8	0,18319	0,09924	2,1753	0,7	-0,1	-0,7	0,08421
	9	0,17692	0,09575	2,1717	0,2	0,1	-0,2	0,08147
	10	0,19131	0,10387	2,1797	0,0	0,0	0,0	0,08777
Mean:					<b>0,2</b>	<b>0,0</b>	<b>-0,3</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	

## Clearfil AP-X

Material	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	
un- polyme- risiert	1	0,22483	0,12664	2,2833					polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 23,6 °C	1	0,19646	0,11230	2,3275	1,9				0,08441
	2	0,21942	0,12379	2,2877						2	0,18722	0,10713	2,3306	1,9				0,08033
	3	0,22875	0,12913	2,2900						3	0,19237	0,11011	2,3349	2,0				0,08239
	4	0,21230	0,11952	2,2828						4	0,19875	0,11373	2,3328	2,2				0,08520
	5	0,21959	0,12369	2,2846						5	0,19204	0,10988	2,3329	2,1				0,08232
	6	0,23546	0,13276	2,2865						6	0,19374	0,11083	2,3306	1,9				0,08313
	7	0,23555	0,13247	2,2787						7	0,19899	0,11354	2,3209	1,9				0,08574
	8	0,22575	0,12711	2,2825						8	0,19159	0,10954	2,3291	2,0				0,08226
	9	0,24748	0,13944	2,2847						9	0,19153	0,10948	2,3287	1,9				0,08225
	10	0,22689	0,12796	2,2869						10	0,19139	0,10938	2,3275	1,8				0,08223
Mean:									Mean:					<b>2,0</b>		<b>-2,0</b>		
Sd:									Sd:					<b>0,1</b>		<b>0,1</b>		

20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert be	1	0,19661	0,11234	2,3262	-0,1	0,1	0,1	0,08452	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,19675	0,11264	2,3343	0,3	0,1	-0,1	0,08429
	2	0,18722	0,10732	2,3368	0,3	0,0	-0,3	0,08012		2	0,18766	0,10735	2,3301	0,0	0,2	0,3	0,08054
	3	0,19273	0,11031	2,3317	-0,1	0,2	0,3	0,08266		3	0,19311	0,11047	2,3304	-0,2	0,4	0,6	0,08287
	4	0,19881	0,11355	2,3257	-0,3	0,0	0,3	0,08548		4	0,19911	0,11382	2,3284	-0,2	0,2	0,4	0,08551
	5	0,19189	0,10982	2,3328	0,0	-0,1	-0,1	0,08226		5	0,19249	0,11020	2,3340	0,0	0,2	0,2	0,08247
	6	0,19378	0,11078	2,3277	-0,1	0,0	0,1	0,08325		6	0,19459	0,11167	2,3401	0,4	0,4	0,0	0,08315
	7	0,19916	0,11382	2,3276	0,3	0,1	-0,2	0,08556		7	0,19930	0,11404	2,3304	0,4	0,2	-0,3	0,08552
	8	0,19157	0,10978	2,3351	0,3	0,0	-0,3	0,08204		8	0,19198	0,11013	2,3389	0,4	0,2	-0,2	0,08208
	9	0,19160	0,10979	2,3362	0,3	0,0	-0,3	0,08201		9	0,19184	0,10979	2,3312	0,1	0,2	0,1	0,08229
	10	0,19173	0,10987	2,3356	0,3	0,2	-0,2	0,08209		10	0,19190	0,11004	2,3370	0,4	0,3	-0,1	0,08211
Mean:					<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>		Mean:					<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	

20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,19756	0,11326	2,3363	0,4	0,6	0,2	0,08456	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,19759	0,11284	2,3253	-0,1	0,6	0,7	0,08497
	2	0,18845	0,10799	2,3361	0,2	0,7	0,4	0,08067		2	0,18836	0,10780	2,3320	0,1	0,6	0,5	0,08077
	3	0,19373	0,11103	2,3357	0,0	0,7	0,7	0,08294		3	0,19380	0,11090	2,3307	-0,2	0,7	0,9	0,08315
	4	0,19979	0,11451	2,3355	0,1	0,5	0,4	0,08554		4	0,19998	0,11440	2,3295	-0,1	0,6	0,8	0,08585
	5	0,19307	0,11035	2,3285	-0,2	0,5	0,7	0,08292		5	0,19312	0,11051	2,3307	-0,1	0,6	0,7	0,08286
	6	0,19498	0,11185	2,3391	0,4	0,6	0,3	0,08336		6	0,19504	0,11149	2,3275	-0,1	0,7	0,8	0,08380
	7	0,20012	0,11448	2,3298	0,4	0,6	0,2	0,08590		7	0,20022	0,11422	2,3209	0,0	0,6	0,6	0,08627
	8	0,19253	0,11041	2,3384	0,4	0,5	0,1	0,08233		8	0,19265	0,11009	2,3262	-0,1	0,6	0,7	0,08282
	9	0,19263	0,11047	2,3376	0,4	0,6	0,2	0,08241		9	0,19282	0,11045	2,3336	0,2	0,7	0,5	0,08263
	10	0,19264	0,11053	2,3397	0,5	0,7	0,1	0,08234		10	0,19261	0,11019	2,3296	0,1	0,6	0,5	0,08268
Mean:					<b>0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,3</b>		Mean:					<b>0,0</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	

20 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,19571	0,11252	2,3442	0,7	-0,4	-1,1	0,08349	polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 22,2 °C	1	0,18978	0,10847	2,3276	1,9				0,08153
	2	0,18664	0,10710	2,3385	0,3	-0,3	-0,6	0,07981		2	0,18648	0,10666	2,3313	1,9				0,07999
	3	0,19219	0,11038	2,3409	0,3	-0,1	-0,3	0,08210		3	0,18706	0,10719	2,3362	2,0				0,08007
	4	0,19813	0,11378	2,3408	0,3	-0,3	-0,7	0,08464		4	0,19296	0,11021	2,3268	1,9				0,08293
	5	0,19153	0,10983	2,3379	0,2	-0,3	-0,5	0,08192		5	0,19177	0,10992	2,3376	2,3				0,08204
	6	0,19350	0,11093	2,3343	0,2	-0,1	-0,3	0,08289		6	0,19530	0,11175	2,3327	2,0				0,08372
	7	0,19829	0,11359	2,3319	0,5	-0,4	-0,8	0,08503		7	0,19013	0,10892	2,3359	2,5				0,08139
	8	0,19095	0,10962	2,3395	0,4	-0,3	-0,8	0,08162		8	0,19206	0,10985	2,3300	2,1				0,08243
	9	0,19094	0,10948	2,3353	0,3	-0,3	-0,6	0,08176		9	0,19221	0,11031	2,3404	2,4				0,08213
	10	0,19095	0,10971	2,3421	0,6	-0,2	-0,9	0,08153		10	0,18931	0,10833	2,3342	2,1				0,08110
Mean:					<b>0,4</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,7</b>		Mean:					<b>2,1</b>			<b>-2,1</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,2</b>			<b>0,2</b>	

40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,18974	0,10849	2,3294	0,1	0,0	-0,1	0,08145	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,19018	0,10858	2,3238	-0,2	0,2	0,4	0,08184
	2	0,18648	0,10879	2,3342	0,1	0,0	-0,1	0,07989		2	0,18687	0,10686	2,3296	-0,1	0,2	0,3	0,08022
	3	0,18705	0,10704	2,3311	-0,2	0,0	0,2	0,08024		3	0,18745	0,10734	2,3342	-0,1	0,2	0,3	0,08031
	4	0,19288	0,11037	2,3306	0,2	0,0	-0,2	0,08276		4	0,19334	0,11038	2,3242	-0,1	0,2	0,3	0,08319
	5	0,19190	0,10997	2,3363	-0,1	0,1	0,1	0,08214		5	0,19231	0,11008	2,3330	-0,2	0,3	0,5	0,08243
	6	0,19522	0,11171	2,3318	0,0	0,0	0,0	0,08372		6	0,19561	0,11187	2,3299	-0,1	0,2	0,3	0,08396
	7	0,19022	0,10872	2,3298	-0,3	0,0	0,3	0,08165		7	0,19071	0,10918	2,3328	-0,1	0,3	0,4	0,08175
	8	0,19196	0,10992	2,3351	0,2	-0,1	-0,3	0,08221		8	0,19240	0,10987	2,3247	-0,2	0,2	0,4	0,08276
	9	0,19217	0,11003	2,3339	-0,3	0,0	0,3	0,08234		9	0,19265	0,11024	2,3311	-0,4	0,2	0,6	0,08264
	10	0,18928	0,10812	2,3283	-0,3	0,0	0,2	0,08130		10	0,18973	0,10851	2,3291	-0,2	0,2	0,4	0,08146
Mean:					<b>-0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>		Mean:					<b>-0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	

40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,19082	0,10907	2,3278	0,0	0,5	0,5	0,08197	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,19093	0,10920	2,3288	0,1	0,6	0,6	0,08199
	2	0,18765	0,10736	2,3314	0,0	0,6	0,6	0,08049		2	0,18765	0,10735	2,3304	0,0	0,6	0,7	0,08052
	3	0,18800	0,10772	2,3351	0,0	0,5	0,5	0,08051		3	0,18805	0,10768	2,3316	-0,2	0,5	0,7	0,08065
	4	0,19442	0,11096	2,3251	-0,1	0,8	0,8	0,08362		4	0,19389	0,11076	2,3251	-0,1	0,5	0,6	0,08339
	5	0,19312	0,11060	2,3336	-0,2	0,7	0,9	0,08276		5	0,19297	0,11073	2,3390	0,1	0,6	0,6	0,08250
	6	0,19646	0,11219	2,3261	-0,3	0,6	0,9	0,08446		6	0,19643	0,11236	2,3298	-0,1	0,6	0,7	0,08431
	7	0,19124	0,10956	2,3372	0,1	0,6	0,5	0,08182		7	0,19131	0,10957	2,3332	-0,1	0,6	0,7	0,08199
	8	0,19315	0,11062	2,3337	0,2	0,6	0,4	0,08277		8	0,19311	0,11037	2,3264	-0,2	0,5	0,7	0,08301
	9	0,19337	0,11060	2,3302	-0,4	0,6	1,0	0,08298		9	0,19336	0,11066	2,3308	-0,4	0,6	1,0	0,08296
	10	0,19047	0,10901	2,3321	-0,1	0,6	0,7	0,08167		10	0,19045	0,10895	2,3295	-0,2	0,6	0,8	0,08176
Mean:					<b>-0,1</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>		Mean:					<b>-0,1</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	

40 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,18931	0,10888	2,3467	0,8	-0,2	-1,1	0,08067	polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 22,0 °C	1	0,18811	0,10758	2,3303	2,1				0,08072
	2	0,18587	0,10672	2,3409	0,4	-0,3	-0,7	0,07940		2	0,19031	0,10902	2,3387	2,2				0,08137
	3	0,18662	0,10719	2,3411	0,2	-0,2	-0,4	0,07971		3	0,19416	0,11121	2,3351	2,0				0,08315
	4	0,19241	0,11036	2,3367	0,4	-0,3	-0,7	0,08234		4	0,18637	0,10691	2,3396	2,5				0,07966
	5	0,19125	0,10972	2,3371	0,0	-0,3	-0,2	0,08183		5	0,18748	0,10729	2,3315	2,1				0,08041
	6	0,19479	0,11183	2,3396	0,3	-0,3	-0,6	0,08326		6	0,19602	0,11221	2,3327	2,0				0,08403
	7	0,18963	0,10888	2,3400	0,2	-0,3	-0,4	0,08104		7	0,19532	0,11217	2,3424	2,8				0,08338
	8	0,19130	0,10979	2,3382	0,4	-0,4	-0,7	0,08182		8	0,18883	0,10820	2,3375	2,4				0,08078
	9	0,19169	0,11017	2,3434	0,1	-0,3	-0,4	0,08180		9	0,19278	0,11014	2,3274	1,9				0,08283
	10	0,18875	0,10852	2,3439	0,4	-0,3	-0,7	0,08053		10	0,19234	0,10981	2,3244	1,6				0,08275
Mean:					<b>0,3</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,6</b>		Mean:					<b>2,2</b>			<b>-2,2</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,3</b>			<b>0,3</b>	

60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,18804	0,10721	2,3222	-0,3	0,0	0,3	0,08097	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,18876	0,10803	2,3333	0,1	0,3	0,2	0,08090
	2	0,19065	0,10921	2,3365	-0,1	0,2	0,3	0,08160		2	0,19084	0,10889	2,3230	-0,7	0,3	1,0	0,08215
	3	0,19422	0,11111	2,3316	-0,1	0,0	0,2	0,08330		3	0,19464	0,11126	2,3289	-0,3	0,2	0,5	0,08358
	4	0,18637	0,10651	2,3281	-0,5	0,0	0,5	0,08005		4	0,18687	0,10676	2,3266	-0,6	0,3	0,8	0,08032
	5	0,18735	0,10740	2,3368	0,2	-0,1	-0,3	0,08017		5	0,18799	0,10748	2,3287	-0,1	0,3	0,4	0,08073
	6	0,19603	0,11213	2,3311	-0,1	0,0	0,1	0,08409		6	0,19645	0,11202	2,3218	-0,5	0,2	0,7	0,08461
	7	0,19529	0,11155	2,3270	-0,7	0,0	0,6	0,08392		7	0,19570	0,11194	2,3310	-0,5	0,2	0,7	0,08396
	8	0,18902	0,10808	2,3309	-0,3	0,1	0,4	0,08109		8	0,18949	0,10848	2,3334	-0,2	0,3	0,5	0,08121
	9	0,19287	0,11008	2,3371	0,4	0,0	-0,4	0,08253		9	0,19327	0,11034	2,3248	-0,1	0,3	0,4	0,08313
	10	0,19222	0,10975	2,3352	0,5	-0,1	-0,5	0,08231		10	0,19275	0,10994	2,3219	-0,1	0,2	0,3	0,08301
Mean:					<b>-0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>		Mean:					<b>-0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	
Sd:					<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>		Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	

60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,18909	0,10802	2,3262	-0,2	0,5	0,7	0,08129	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,18924	0,10833	2,3322	0,1	0,6	0,5	0,08114
	2	0,19152	0,10927	2,3236	-0,6	0,6	1,3	0,08242		2	0,19189	0,10981	2,3305	-0,4	0,8	1,2	0,08234
	3	0,19519	0,11161	2,3293	-0,2	0,5	0,8	0,08380		3	0,19543	0,11160	2,3240	-0,5	0,7	1,1	0,08409
	4	0,18749	0,10704	2,3256	-0,6	0,6	1,2	0,08062		4	0,18758	0,10717	2,3267	-0,6	0,6	1,2	0,08062
	5	0,18859	0,10785	2,3290	-0,1	0,6	0,7	0,08097		5	0,18859	0,10767	2,3244	-0,3	0,6	0,9	0,08113
	6	0,19713	0,11263	2,3271	-0,2	0,6	0,8	0,08471		6	0,19729	0,11258	2,3226	-0,4	0,6	1,1	0,08494
	7	0,19645	0,11237	2,3301	-0,5	0,6	1,1	0,08431		7	0,19657	0,11213	2,3223	-0,9	0,6	1,5	0,08464
	8	0,19023	0,10869	2,3272	-0,4	0,7	1,2	0,08174		8	0,19028	0,10861	2,3225	-0,6	0,8	1,4	0,08193
	9	0,19375	0,11061	2,3238	-0,2	0,5	0,7	0,08338		9	0,19442	0,11103	2,3258	-0,1	0,9	0,9	0,08359
	10	0,19338	0,11023	2,3196	-0,2	0,5	0,7	0,08337		10	0,19348	0,11029	2,3197	-0,2	0,6	0,8	0,08341
Mean:					<b>-0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,9</b>		Mean:					<b>-0,4</b>	<b>0,7</b>	<b>1,1</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	

60 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,18731	0,10745	2,3377	0,3	-0,4	-0,7	0,08013
	2	0,18979	0,10912	2,3446	0,3	-0,3	-0,5	0,08095
	3	0,19358	0,11105	2,3369	0,1	-0,3	-0,4	0,08284
	4	0,18573	0,10668	2,3394	0,0	-0,3	-0,3	0,07939
	5	0,18710	0,10742	2,3398	0,4	-0,2	-0,6	0,07996
	6	0,19543	0,11193	2,3319	0,0	-0,3	-0,3	0,08381
	7	0,19470	0,11157	2,3335	-0,4	-0,3	0,1	0,08344
	8	0,18842	0,10831	2,3437	0,3	-0,2	-0,5	0,08039
	9	0,19221	0,11019	2,3345	0,3	-0,3	-0,6	0,08233
	10	0,19181	0,10980	2,3311	0,3	-0,3	-0,6	0,08228
Mean:					<b>0,1</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,4</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	

# Solitaire 2

Material	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	
un- polyme- risiert	1	0,22098	0,10573	1,9123					polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 23,6 °C	1	0,16303	0,08075	1,9760	3,3				0,08251
	2	0,23475	0,11241	1,9136						2	0,16553	0,08159	1,9681	2,8				0,08411
	3	0,22652	0,10867	1,9171						3	0,16534	0,08199	1,9779	3,2				0,08359
	4	0,21986	0,10542	1,9164						4	0,16726	0,08300	1,9802	3,3				0,08447
	5	0,23503	0,11241	1,9115						5	0,16384	0,08149	1,9835	3,8				0,08260
	6	0,23037	0,11071	1,9202						6	0,16664	0,08260	1,9778	3,0				0,08426
	7	0,20501	0,09814	1,9130						7	0,16406	0,08109	1,9714	3,1				0,08322
	8	0,23295	0,11219	1,9231						8	0,16629	0,08263	1,9819	3,1				0,08390
	9	0,22233	0,10685	1,9201						9	0,16391	0,08081	1,9671	2,4				0,08333
	10	0,24815	0,11914	1,9187						10	0,16305	0,08117	1,9857	3,5				0,08211
Mean:									Mean:					3,1			-3,1	
Sd:									Sd:					0,4			0,4	
20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,16291	0,08089	1,9780	0,1	-0,1	-0,2	0,08236	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,16357	0,08160	1,9888	0,6	0,3	-0,3	0,08225	
	2	0,16605	0,08266	1,9847	0,8	0,3	-0,5	0,08367		2	0,16625	0,08309	1,9938	1,3	0,4	-0,9	0,08338	
	3	0,16545	0,08261	1,9909	0,7	0,1	-0,6	0,08310		3	0,16593	0,08307	1,9970	1,0	0,4	-0,6	0,08309	
	4	0,16750	0,08336	1,9854	0,3	0,1	-0,1	0,08437		4	0,16829	0,08394	1,9883	0,4	0,6	0,2	0,08464	
	5	0,16390	0,08164	1,9858	0,1	0,0	-0,1	0,08254		5	0,16426	0,08207	1,9929	0,5	0,3	-0,2	0,08242	
	6	0,16673	0,08293	1,9840	0,3	0,1	-0,3	0,08404		6	0,16691	0,08341	1,9937	0,8	0,2	-0,6	0,08372	
	7	0,16419	0,08125	1,9733	0,1	0,1	0,0	0,08321		7	0,16462	0,08251	1,9989	1,4	0,3	-1,0	0,08236	
	8	0,16645	0,08240	1,9738	-0,4	0,1	0,5	0,08433		8	0,16686	0,08363	1,9993	0,9	0,3	-0,5	0,08346	
	9	0,16402	0,08166	1,9851	0,9	0,1	-0,8	0,08263		9	0,16457	0,08243	1,9981	1,6	0,4	-1,2	0,08236	
	10	0,16317	0,08130	1,9884	0,1	0,1	-0,1	0,08206		10	0,16355	0,08172	1,9932	0,4	0,3	-0,1	0,08205	
Mean:					0,3	0,1	-0,2		Mean:					0,9	0,4	-0,5		
Sd:					0,4	0,1	0,4		Sd:					0,4	0,1	0,4		
20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,16408	0,08178	1,9889	0,7	0,6	0,0	0,08250	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,16413	0,08166	1,9839	0,4	0,7	0,3	0,08273	
	2	0,16659	0,08314	1,9915	1,2	0,6	-0,5	0,08365		2	0,16696	0,08319	1,9874	1,0	0,9	-0,1	0,08401	
	3	0,16876	0,08420	1,9907	0,6	2,1	1,4	0,08477		3	0,16666	0,08287	1,9829	0,3	0,8	0,5	0,08405	
	4	0,16500	0,08205	1,9832	0,2	-1,4	-1,5	0,08320		4	0,16881	0,08401	1,9853	0,3	0,9	0,7	0,08503	
	5	0,16785	0,08335	1,9812	-0,1	2,4	2,6	0,08472		5	0,16507	0,08189	1,9789	-0,2	0,8	1,0	0,08342	
	6	0,16684	0,08301	1,9848	0,4	0,1	-0,2	0,08406		6	0,16781	0,08339	1,9817	0,2	0,7	0,5	0,08468	
	7	0,16518	0,08190	1,9786	0,4	0,7	0,3	0,08348		7	0,16527	0,08190	1,9765	0,3	0,7	0,5	0,08362	
	8	0,16757	0,08344	1,9870	0,3	0,8	0,5	0,08433		8	0,16770	0,08320	1,9780	-0,2	0,8	1,0	0,08478	
	9	0,16518	0,08214	1,9839	0,9	0,8	-0,1	0,08326		9	0,16517	0,08210	1,9822	0,8	0,8	0,0	0,08333	
	10	0,16413	0,08184	1,9891	0,2	0,7	0,5	0,08251		10	0,16426	0,08187	1,9885	0,1	0,7	0,6	0,08260	
Mean:					0,5	0,7	0,3		Mean:					0,3	0,8	0,5		
Sd:					0,4	1,0	1,1		Sd:					0,4	0,1	0,4		
20 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,16229	0,08137	1,9986	1,1	-0,5	-1,6	0,08120	polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 23,2 °C	1	0,16886	0,08365	1,9767	3,4				0,08543
	2	0,16509	0,08250	1,9920	1,2	-0,3	-1,5	0,08288		2	0,16721	0,08294	1,9796	3,4				0,08447
	3	0,16484	0,08247	1,9943	0,8	-0,3	-1,1	0,08266		3	0,16922	0,08397	1,979	3,2				0,08551
	4	0,16726	0,08411	2,0029	1,1	0,0	-1,1	0,08351		4	0,17103	0,08468	1,9756	3,1				0,08657
	5	0,16350	0,08176	1,9933	0,5	-0,2	-0,7	0,08202		5	0,18094	0,08949	1,9721	3,2				0,09175
	6	0,16600	0,08281	1,9887	0,6	-0,4	-0,9	0,08347		6	0,16965	0,08478	1,994	3,8				0,08508
	7	0,16346	0,08117	1,9821	0,5	-0,4	-0,9	0,08247		7	0,17326	0,08653	1,9942	4,2				0,08688
	8	0,16581	0,08300	1,9956	0,7	-0,3	-1,0	0,08309		8	0,17082	0,08457	1,9736	2,6				0,08655
	9	0,16341	0,08172	1,9937	1,4	-0,3	-1,6	0,08196		9	0,16107	0,08001	1,9813	3,2				0,08130
	10	0,16256	0,08135	1,9944	0,4	-0,3	-0,7	0,08151		10	0,17147	0,08511	1,9795	3,2				0,08662
Mean:					0,8	-0,3	-1,1		Mean:					3,3			-3,3	
Sd:					0,3	0,1	0,3		Sd:					0,4			0,4	

40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,16923	0,08423	1,9863	0,5	0,2	-0,3	0,08520	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,16947	0,08425	1,9835	0,3	0,4	0,0	0,08544
	2	0,16740	0,08345	1,9896	0,5	0,1	-0,4	0,08414		2	0,16777	0,08318	1,9770	-0,1	0,3	0,5	0,08486
	3	0,16936	0,08388	1,9760	-0,2	0,1	0,2	0,08571		3	0,16993	0,08447	1,9830	0,2	0,4	0,2	0,08569
	4	0,17121	0,08495	1,9797	0,2	0,1	-0,1	0,08648		4	0,17160	0,08508	1,9780	0,1	0,3	0,2	0,08675
	5	0,18106	0,08976	1,9778	0,3	0,1	-0,2	0,09155		5	0,18148	0,08970	1,9713	0,0	0,3	0,3	0,09206
	6	0,16982	0,08494	1,9969	0,1	0,1	0,0	0,08504		6	0,17063	0,08487	1,9874	-0,3	0,6	0,9	0,08586
	7	0,17565	0,08756	1,9886	-0,3	1,4	1,7	0,08833		7	0,17394	0,08688	1,9940	0,0	0,4	0,4	0,08723
	8	0,17091	0,08526	1,9900	0,8	0,1	-0,8	0,08588		8	0,17138	0,08554	1,9902	0,8	0,3	-0,5	0,08611
	9	0,16129	0,08029	1,9858	0,2	0,1	-0,1	0,08122		9	0,16174	0,08077	1,9914	0,5	0,4	-0,1	0,08122
	10	0,17159	0,08559	1,9923	0,6	0,1	-0,6	0,08613		10	0,17180	0,08578	1,9916	0,6	0,2	-0,4	0,08626
Mean:					<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>-0,1</b>		Mean:					<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	
Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,7</b>		Sd:					<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>	

40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,17017	0,08470	1,9850	0,4	0,8	0,4	0,08573	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,17034	0,08459	1,9811	0,2	0,9	0,7	0,08598
	2	0,16858	0,08381	1,9827	0,2	0,8	0,7	0,08503		2	0,16883	0,08415	1,9885	0,4	1,0	0,5	0,08490
	3	0,17049	0,08512	1,9911	0,6	0,8	0,1	0,08563		3	0,17054	0,08486	1,9841	0,3	0,8	0,5	0,08595
	4	0,17245	0,08565	1,9813	0,3	0,8	0,5	0,08704		4	0,17234	0,08587	1,9869	0,6	0,8	0,2	0,08674
	5	0,18226	0,09103	1,9918	1,0	0,7	-0,3	0,09151		5	0,18232	0,09082	1,9861	0,7	0,8	0,1	0,09180
	6	0,17089	0,08556	1,9968	0,1	0,7	0,6	0,08558		6	0,17097	0,08551	1,9947	0,0	0,8	0,7	0,08571
	7	0,17464	0,08727	1,9933	0,0	0,8	0,8	0,08761		7	0,17461	0,08729	1,9935	0,0	0,8	0,8	0,08759
	8	0,17208	0,08552	1,9821	0,4	0,7	0,3	0,08682		8	0,17215	0,08558	1,9827	0,5	0,8	0,3	0,08683
	9	0,16246	0,08100	1,9891	0,4	0,9	0,5	0,08168		9	0,16251	0,08111	1,9905	0,5	0,9	0,4	0,08164
	10	0,17246	0,08597	1,9873	0,4	0,6	0,2	0,08678		10	0,17301	0,08611	1,9862	0,3	0,9	0,6	0,08711
Mean:					<b>0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,4</b>		Mean:					<b>0,3</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	
Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>		Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	

40 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,16866	0,08407	1,9871	0,5	-0,1	-0,6	0,08488	polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 23,0 °C	1	0,16920	0,08443	1,9919	4,2				0,08494
	2	0,16692	0,08322	1,9871	0,4	-0,2	-0,6	0,08400		2	0,17604	0,08767	1,9881	3,9				0,08855
	3	0,16874	0,08419	1,9888	0,5	-0,3	-0,8	0,08485		3	0,17098	0,08476	1,9801	3,3				0,08635
	4	0,17080	0,08523	1,9891	0,7	-0,1	-0,8	0,08587		4	0,17478	0,08687	1,9830	3,5				0,08814
	5	0,18054	0,09019	1,9914	1,0	-0,2	-1,2	0,09066		5	0,16460	0,08176	1,9812	3,6				0,08308
	6	0,16925	0,08518	2,0062	0,6	-0,2	-0,8	0,08436		6	0,16858	0,08407	1,9892	3,6				0,08475
	7	0,17287	0,08649	1,9929	-0,1	-0,2	-0,2	0,08674		7	0,16876	0,08413	1,9887	4,0				0,08486
	8	0,17054	0,08513	1,9893	0,8	-0,2	-1,0	0,08573		8	0,16815	0,08376	1,9877	3,4				0,08460
	9	0,16068	0,08041	1,9953	0,7	-0,2	-0,9	0,08053		9	0,17741	0,08858	1,9922	3,8				0,08905
	10	0,17077	0,08528	1,9908	0,6	-0,4	-1,0	0,08578		10	0,17440	0,08669	1,9846	3,4				0,08788
Mean:					<b>0,6</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,8</b>		Mean:					<b>3,7</b>			<b>-3,7</b>	
Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>		Sd:					<b>0,3</b>			<b>0,3</b>	

60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,16928	0,08457	1,9927	0,0	0,0	0,0	0,08495	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,16974	0,08497	1,9962	0,2	0,3	0,1	0,08503
	2	0,17621	0,08803	1,9937	0,3	0,1	-0,2	0,08838		2	0,17685	0,08824	1,9908	0,1	0,5	0,3	0,08883
	3	0,17109	0,08504	1,9833	0,2	0,1	-0,1	0,08627		3	0,17156	0,08563	1,9909	0,5	0,3	-0,2	0,08617
	4	0,17521	0,08758	1,9940	0,6	0,2	-0,3	0,08787		4	0,17535	0,08778	1,9976	0,7	0,3	-0,4	0,08778
	5	0,16471	0,08242	1,9965	0,8	0,1	-0,7	0,08250		5	0,16515	0,08276	1,9987	0,9	0,3	-0,5	0,08263
	6	0,16837	0,08397	1,9893	0,0	-0,1	-0,1	0,08464		6	0,16911	0,08446	1,9926	0,2	0,3	0,1	0,08487
	7	0,16881	0,08425	1,9918	0,2	0,0	-0,1	0,08475		7	0,16911	0,08452	1,9933	0,2	0,2	0,0	0,08484
	8	0,16831	0,08430	1,9976	0,5	0,1	-0,4	0,08426		8	0,16866	0,08475	2,0046	0,9	0,3	-0,5	0,08414
	9	0,17780	0,08901	1,9971	0,2	0,2	0,0	0,08903		9	0,17785	0,08882	1,9922	0,0	0,2	0,2	0,08927
	10	0,17465	0,08697	1,9865	0,1	0,1	0,0	0,08792		10	0,17506	0,08755	1,9948	0,5	0,4	-0,1	0,08776
Mean:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>-0,2</b>		Mean:					<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>-0,1</b>	
Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	

60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,17050	0,08501	1,9887	-0,2	0,8	0,9	0,08573	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,17063	0,08484	1,9830	-0,4	0,8	1,3	0,08605
	2	0,17788	0,08876	1,9914	0,2	1,0	0,9	0,08932		2	0,17756	0,08833	1,9845	-0,2	0,9	1,0	0,08947
	3	0,17239	0,08580	1,9854	0,3	0,8	0,6	0,08683		3	0,17253	0,08564	1,9804	0,0	0,9	0,9	0,08712
	4	0,17633	0,08807	1,9924	0,5	0,9	0,4	0,08850		4	0,17623	0,08779	1,9867	0,2	0,8	0,6	0,08870
	5	0,16595	0,08276	1,9899	0,4	0,8	0,4	0,08340		5	0,16584	0,08266	1,9889	0,4	0,8	0,4	0,08338
	6	0,16976	0,08455	1,9874	-0,1	0,7	0,8	0,08542		6	0,16966	0,08443	1,9854	-0,2	0,6	0,8	0,08545
	7	0,17027	0,08481	1,9867	-0,1	0,9	1,0	0,08570		7	0,17030	0,08474	1,9843	-0,2	0,9	1,1	0,08582
	8	0,16933	0,08460	1,9928	0,3	0,7	0,4	0,08497		8	0,16931	0,08458	1,9928	0,3	0,7	0,4	0,08496
	9	0,17876	0,08898	1,9856	-0,3	0,8	1,1	0,09003		9	0,17878	0,08899	1,9850	-0,4	0,8	1,1	0,09007
	10	0,17579	0,08779	1,9928	0,4	0,8	0,4	0,08821		10	0,17600	0,08760	1,9852	0,0	0,9	0,9	0,08866
Mean:					<b>0,1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>		Mean:					<b>-0,1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	
Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>		Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	

60 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,16866	0,08385	1,9816	-0,5	-0,3	0,2	0,08511
	2	0,17573	0,08752	1,9844	-0,2	-0,2	0,0	0,08856
	3	0,17066	0,08477	1,9802	0,0	-0,2	-0,2	0,08618
	4	0,17461	0,08720	1,9907	0,4	-0,1	-0,5	0,08771
	5	0,16430	0,08205	1,9904	0,5	-0,2	-0,6	0,08255
	6	0,16804	0,08343	1,9797	-0,5	-0,3	0,2	0,08488
	7	0,16878	0,08412	1,9876	-0,1	0,0	0,1	0,08492
	8	0,16755	0,08349	1,9861	-0,1	-0,4	-0,3	0,08436
	9	0,17702	0,08817	1,9852	-0,4	-0,2	0,1	0,08917
	10	0,17416	0,08678	1,9862	0,1	-0,1	-0,2	0,08769
Mean:					<b>-0,1</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,1</b>	
Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	

## TetricEvoCeram

Material	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	
un- polyme- risiert	1	0,20149	0,10580	2,1005					polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 23,6 °C	1	0,18807	0,10033	2,1381	1,8				0,08796
	2	0,22101	0,11608	2,1008						2	0,18071	0,09642	2,1380	1,8				0,08452
	3	0,22665	0,11904	2,1004						3	0,18435	0,09866	2,1452	2,1				0,08594
	4	0,23401	0,12266	2,0962						4	0,18907	0,10067	2,1319	1,7				0,08869
	5	0,23751	0,12486	2,1033						5	0,18672	0,09943	2,1329	1,4				0,08754
	6	0,22025	0,11538	2,0959						6	0,18729	0,09958	2,1294	1,6				0,08795
	7	0,24347	0,12809	2,1040						7	0,19079	0,10147	2,1296	1,2				0,08959
	8	0,20965	0,11010	2,1004						8	0,18254	0,09720	2,1321	1,5				0,08562
	9	0,23483	0,12347	2,1030						9	0,19175	0,10243	2,1411	1,8				0,08956
	10	0,21772	0,11448	2,1029						10	0,18366	0,09756	2,1265	1,1				0,08637
Mean:									Mean:					<b>1,6</b>			<b>1,6</b>	
Sd:									Sd:					<b>0,3</b>			<b>0,3</b>	

20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,18815	0,10059	2,1429	0,2	0,0	-0,2	0,08780	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,18895	0,10058	2,1334	-0,2	0,5	0,7	0,08857
	2	0,18111	0,09670	2,1389	0,0	0,2	0,2	0,08467		2	0,18130	0,09658	2,1335	-0,2	0,3	0,5	0,08498
	3	0,18485	0,09858	2,1375	-0,4	0,3	0,6	0,08648		3	0,18471	0,09822	2,1289	-0,8	0,2	1,0	0,08676
	4	0,18898	0,10073	2,1353	0,2	0,0	-0,2	0,08850		4	0,18950	0,10133	2,1427	0,5	0,2	-0,3	0,08844
	5	0,18688	0,09990	2,1421	0,4	0,1	-0,3	0,08724		5	0,18723	0,10024	2,1465	0,6	0,3	-0,4	0,08723
	6	0,18735	0,09977	2,1322	0,1	0,0	-0,1	0,08787		6	0,18777	0,09971	2,1267	-0,1	0,3	0,4	0,08829
	7	0,19058	0,10144	2,1323	0,1	-0,1	-0,2	0,08938		7	0,19131	0,10235	2,1440	0,7	0,3	-0,4	0,08923
	8	0,18259	0,09742	2,1382	0,3	0,0	-0,3	0,08539		8	0,18320	0,09768	2,1367	0,2	0,4	0,1	0,08574
	9	0,19168	0,10203	2,1326	-0,4	0,0	0,4	0,08988		9	0,19224	0,10232	2,1324	-0,4	0,3	0,7	0,09015
	10	0,18346	0,09804	2,1411	0,7	-0,1	-0,8	0,08568		10	0,18422	0,09853	2,1436	0,8	0,3	-0,5	0,08594
Mean:					<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>-0,1</b>		Mean:					<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	
Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>		Sd:					<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,5</b>	

20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für	1	0,18965	0,10069	2,1280	-0,5	0,8	1,3	0,08912	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,18970	0,10096	2,1327	-0,3	0,9	1,1	0,08895
	2	0,18207	0,09683	2,1312	-0,3	0,8	1,1	0,08543		2	0,18245	0,09725	2,1349	-0,1	1,0	1,1	0,08546
	3	0,18552	0,09887	2,1346	-0,5	0,6	1,1	0,08691		3	0,18582	0,09885	2,1309	-0,7	0,8	1,5	0,08720
	4	0,19040	0,10118	2,1288	-0,1	0,7	0,9	0,08944		4	0,19054	0,10116	2,1276	-0,2	0,8	1,0	0,08956
	5	0,18798	0,09978	2,1260	-0,3	0,7	1,0	0,08842		5	0,18849	0,10040	2,1333	0,0	0,9	0,9	0,08836
	6	0,18856	0,10033	2,1315	0,1	0,7	0,6	0,08846		6	0,18907	0,10066	2,1318	0,1	1,0	0,8	0,08869
	7	0,19244	0,10234	2,1315	0,1	0,9	0,8	0,09028		7	0,19222	0,10230	2,1311	0,1	0,7	0,7	0,09020
	8	0,18383	0,09784	2,1340	0,1	0,7	0,6	0,08614		8	0,18438	0,09822	2,1337	0,1	1,0	0,9	0,08641
	9	0,19316	0,10246	2,1242	-0,8	0,7	1,5	0,09093		9	0,19334	0,10300	2,1339	-0,3	0,8	1,2	0,09060
	10	0,18503	0,09867	2,1383	0,6	0,7	0,2	0,08653		10	0,18500	0,09858	2,1342	0,4	0,7	0,4	0,08668
Mean:					<b>-0,2</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>		Mean:					<b>-0,1</b>	<b>0,9</b>	<b>1,0</b>	
Sd:					<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>		Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	

20 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,18793	0,10109	2,1564	0,9	-0,1	-0,9	0,08715	polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 23,6 °C	1	0,18908	0,10082	2,1365	1,7				0,08850
	2	0,17996	0,09657	2,1504	0,6	-0,4	-1,0	0,08369		2	0,18769	0,10031	2,1420	2,0				0,08762
	3	0,18384	0,09877	2,1534	0,4	-0,3	-0,7	0,08537		3	0,18397	0,09800	2,1345	1,6				0,08619
	4	0,18873	0,10137	2,1525	1,0	-0,2	-1,1	0,08768		4	0,18895	0,10101	2,1431	2,2				0,08817
	5	0,18650	0,10023	2,1547	1,0	-0,1	-1,1	0,08655		5	0,18315	0,09754	2,1335	1,4				0,08584
	6	0,18693	0,10038	2,1522	1,1	-0,2	-1,2	0,08686		6	0,18761	0,10012	2,1379	2,0				0,08775
	7	0,19050	0,10259	2,1588	1,4	-0,2	-1,5	0,08824		7	0,18472	0,09858	2,1385	1,6				0,08638
	8	0,18220	0,09811	2,1591	1,3	-0,2	-1,4	0,08439		8	0,18973	0,10107	2,1333	1,6				0,08894
	9	0,19171	0,10286	2,1498	0,4	0,0	-0,4	0,08918		9	0,18770	0,10004	2,1346	1,5				0,08793
	10	0,18344	0,09863	2,1556	1,4	-0,1	-1,5	0,08510		10	0,18394	0,09815	2,1387	1,7				0,08601
Mean:					<b>0,9</b>	<b>-0,2</b>	<b>-1,1</b>		Mean:					<b>1,7</b>			<b>-1,7</b>	
Sd:					<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>		Sd:					<b>0,3</b>			<b>0,3</b>	

40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,18890	0,10044	2,1290	-0,4	-0,1	0,3	0,08873	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,18947	0,10109	2,1378	0,1	0,2	0,1	0,08863
	2	0,18791	0,10023	2,1365	-0,3	0,1	0,4	0,08795		2	0,18840	0,10047	2,1361	-0,3	0,4	0,7	0,08820
	3	0,18408	0,09792	2,1289	-0,3	0,1	0,3	0,08647		3	0,18447	0,09836	2,1354	0,0	0,3	0,2	0,08639
	4	0,18916	0,10057	2,1296	-0,6	0,1	0,7	0,08882		4	0,18967	0,10093	2,1316	-0,5	0,4	0,9	0,08898
	5	0,18340	0,09756	2,1307	-0,1	0,1	0,3	0,08607		5	0,18377	0,09811	2,1398	0,3	0,3	0,0	0,08588
	6	0,18779	0,09991	2,1315	-0,3	0,1	0,4	0,08810		6	0,18825	0,10076	2,1476	0,5	0,3	-0,1	0,08766
	7	0,18486	0,09813	2,1253	-0,6	0,1	0,7	0,08698		7	0,18536	0,09891	2,1381	0,0	0,3	0,4	0,08669
	8	0,18982	0,10090	2,1278	-0,3	0,0	0,3	0,08921		8	0,19041	0,10146	2,1349	0,1	0,4	0,3	0,08919
	9	0,18780	0,10024	2,1379	0,2	0,1	-0,1	0,08784		9	0,18820	0,10031	2,1356	0,0	0,3	0,2	0,08813
	10	0,18387	0,09773	2,1282	-0,5	0,0	0,5	0,08640		10	0,18439	0,09852	2,1421	0,2	0,2	0,1	0,08608
Mean:					<b>-0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>		Mean:					<b>0,0</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	

40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,19023	0,10115	2,1304	-0,3	0,6	0,9	0,08929	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,19055	0,10140	2,1314	-0,2	0,8	1,0	0,08940
	2	0,18913	0,10076	2,1363	-0,3	0,8	1,0	0,08853		2	0,18937	0,10066	2,1294	-0,6	0,9	1,5	0,08893
	3	0,18558	0,09869	2,1307	-0,2	0,9	1,1	0,08710		3	0,18565	0,09885	2,1328	-0,1	0,9	1,0	0,08705
	4	0,19029	0,10106	2,1289	-0,7	0,7	1,4	0,08938		4	0,19062	0,10127	2,1277	-0,7	0,9	1,6	0,08959
	5	0,18464	0,09822	2,1310	-0,1	0,8	0,9	0,08664		5	0,18492	0,09817	2,1269	-0,3	1,0	1,3	0,08694
	6	0,18893	0,10036	2,1290	-0,4	0,7	1,1	0,08874		6	0,18941	0,10085	2,1323	-0,3	1,0	1,2	0,08883
	7	0,18608	0,09889	2,1296	-0,4	0,7	1,2	0,08738		7	0,18638	0,09883	2,1226	-0,7	0,9	1,7	0,08781
	8	0,19129	0,10168	2,1291	-0,2	0,8	1,0	0,08985		8	0,19156	0,10180	2,1286	-0,2	1,0	1,2	0,08999
	9	0,18905	0,10061	2,1332	-0,1	0,7	0,8	0,08862		9	0,18923	0,10086	2,1349	0,0	0,8	0,8	0,08864
	10	0,18533	0,09847	2,1286	-0,5	0,8	1,2	0,08707		10	0,18546	0,09850	2,1263	-0,6	0,8	1,4	0,08722
Mean:					<b>-0,3</b>	<b>0,8</b>	<b>1,1</b>		Mean:					<b>-0,4</b>	<b>0,9</b>	<b>1,3</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	

40 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,18866	0,10117	2,1485	0,6	-0,2	-0,8	0,08781	polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 23,2°C	1	0,18660	0,09957	2,1391	1,8				0,08723
	2	0,18761	0,10078	2,1533	0,5	0,0	-0,6	0,08713		2	0,18765	0,10041	2,1456	2,1				0,08746
	3	0,1837	0,09833	2,1442	0,5	-0,1	-0,6	0,08567		3	0,18527	0,09848	2,1271	1,3				0,08710
	4	0,18886	0,10119	2,1457	0,1	0,0	-0,2	0,08802		4	0,17912	0,09586	2,1473	2,4				0,08342
	5	0,18322	0,09806	2,1431	0,4	0,0	-0,4	0,08549		5	0,18733	0,10012	2,1420	1,8				0,08746
	6	0,18752	0,10061	2,1505	0,6	0,0	-0,6	0,08720		6	0,18389	0,09803	2,1379	2,0				0,08601
	7	0,18463	0,09900	2,1485	0,5	0,0	-0,5	0,08593		7	0,18771	0,10050	2,1470	2,0				0,08743
	8	0,18966	0,10162	2,1463	0,6	0,0	-0,6	0,08837		8	0,18390	0,09785	2,1303	1,4				0,08633
	9	0,18763	0,10079	2,1525	0,8	0,0	-0,9	0,08717		9	0,19111	0,10205	2,1395	1,7				0,08932
	10	0,18379	0,09853	2,1473	0,4	-0,1	-0,5	0,08559		10	0,18342	0,09824	2,1472	2,1				0,08542
Mean:					<b>0,5</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,6</b>		Mean:					<b>1,9</b>			<b>-1,9</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,3</b>			<b>0,3</b>	

60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,18663	0,09955	2,1378	-0,1	0,0	0,1	0,08730	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,18748	0,10011	2,1409	0,1	0,5	0,4	0,08757
	2	0,18771	0,09990	2,1332	-0,6	0,0	0,6	0,08799		2	0,18811	0,10066	2,1446	0,0	0,2	0,3	0,08771
	3	0,18533	0,09861	2,1315	0,2	0,0	-0,2	0,08695		3	0,18563	0,09876	2,1322	0,2	0,2	0,0	0,08706
	4	0,17920	0,09545	2,1341	-0,6	0,0	0,7	0,08397		4	0,17961	0,09605	2,1431	-0,2	0,3	0,5	0,08381
	5	0,18737	0,09982	2,1348	-0,3	0,0	0,4	0,08777		5	0,18767	0,10002	2,1351	-0,3	0,2	0,5	0,08790
	6	0,18415	0,09840	2,1409	0,1	0,1	0,0	0,08602		6	0,18461	0,09840	2,1350	-0,1	0,4	0,5	0,08647
	7	0,18783	0,10035	2,1407	-0,3	0,1	0,4	0,08774		7	0,18850	0,10072	2,1428	-0,2	0,4	0,6	0,08797
	8	0,18413	0,09827	2,1399	0,5	0,1	-0,3	0,08605		8	0,18449	0,09807	2,1294	0,0	0,3	0,4	0,08664
	9	0,19127	0,10244	2,1472	0,4	0,1	-0,3	0,08908		9	0,19178	0,10247	2,1418	0,1	0,4	0,2	0,08954
	10	0,18335	0,09763	2,1404	-0,3	0,0	0,3	0,08566		10	0,18400	0,09814	2,1365	-0,5	0,3	0,8	0,08612
Mean:					<b>-0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Mean:					<b>-0,1</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	
Sd:					<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>		Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	

60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,18807	0,10017	2,1344	-0,2	0,8	1,0	0,08811	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,18833	0,10022	2,1319	-0,3	0,9	1,3	0,08834
	2	0,18878	0,10031	2,1284	-0,8	0,6	1,4	0,08870		2	0,18838	0,10075	2,1360	-0,4	0,4	0,8	0,08819
	3	0,18646	0,09923	2,1322	0,2	0,6	0,4	0,08745		3	0,18676	0,09959	2,1357	0,4	0,8	0,4	0,08745
	4	0,18033	0,09584	2,1292	-0,8	0,7	1,5	0,08469		4	0,18056	0,09618	2,1341	-0,6	0,8	1,4	0,08461
	5	0,18857	0,10025	2,1297	-0,6	0,7	1,2	0,08854		5	0,18897	0,10065	2,1336	-0,4	0,9	1,3	0,08857
	6	0,18535	0,09847	2,1285	-0,4	0,8	1,2	0,08708		6	0,18607	0,09896	2,1301	-0,4	1,2	1,6	0,08735
	7	0,18898	0,10049	2,1317	-0,7	0,7	1,4	0,08865		7	0,18944	0,10111	2,1382	-0,4	0,9	1,3	0,08860
	8	0,18537	0,09862	2,1314	0,1	0,8	0,7	0,08697		8	0,18561	0,09856	2,1258	-0,2	0,9	1,1	0,08731
	9	0,19259	0,10253	2,1338	-0,3	0,8	1,0	0,09026		9	0,19306	0,10325	2,1421	0,1	1,0	0,9	0,09013
	10	0,18465	0,09820	2,1315	-0,7	0,7	1,4	0,08663		10	0,18506	0,09835	2,1283	-0,9	0,9	1,8	0,08695
Mean:					<b>-0,4</b>	<b>0,7</b>	<b>1,1</b>		Mean:					<b>-0,3</b>	<b>0,9</b>	<b>1,2</b>	
Sd:					<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>		Sd:					<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	

60 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,18658	0,09985	2,1439	0,2	0,0	-0,2	0,08703
	2	0,18743	0,10040	2,1460	0,0	-0,1	-0,1	0,08734
	3	0,18508	0,09913	2,1454	0,9	-0,1	-1,0	0,08627
	4	0,17902	0,09593	2,1462	-0,1	-0,1	0,0	0,08341
	5	0,18719	0,10016	2,1435	0,1	-0,1	-0,1	0,08733
	6	0,18402	0,09851	2,1442	0,3	0,1	-0,2	0,08582
	7	0,18773	0,10053	2,1450	-0,1	0,0	0,1	0,08752
	8	0,18385	0,09843	2,1447	0,7	0,0	-0,7	0,08572
	9	0,19124	0,10242	2,1467	0,3	0,1	-0,3	0,08909
	10	0,18343	0,09850	2,1514	0,2	0,0	-0,2	0,08526
Mean:					<b>0,3</b>	<b>0,0</b>	<b>-0,3</b>	
Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	

# Filtek P60

Material	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	
un- polyme- risiert	1	0,20398	0,10555	2,0645					polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 22,6 °C	1	0,17715	0,09315	2,1032	1,9				0,08423
	2	0,18050	0,09352	2,0665						2	0,18158	0,09525	2,0976	1,5				0,08657
	3	0,17157	0,08872	2,0629						3	0,17422	0,09138	2,0969	1,6				0,08308
	4	0,19785	0,10224	2,0614						4	0,17557	0,09212	2,0994	1,8				0,08363
	5	0,24254	0,12528	2,0603						5	0,17360	0,09107	2,0975	1,8				0,08277
	6	0,25399	0,13122	2,0607						6	0,17364	0,09129	2,1033	2,1				0,08256
	7	0,19715	0,10191	2,0622						7	0,17386	0,09136	2,1004	1,9				0,08277
	8	0,19207	0,09960	2,0693						8	0,18106	0,09529	2,1050	1,7				0,08601
	9	0,16813	0,08706	2,0651						9	0,18467	0,09684	2,0971	1,5				0,08806
	10	0,18807	0,09708	2,0587						10	0,17394	0,09121	2,0963	1,8				0,08297
Mean:									Mean:					<b>1,8</b>			<b>-1,8</b>	
Sd:									Sd:					<b>0,2</b>			<b>0,2</b>	
20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,17711	0,09296	2,0981	-0,2	0,0	0,2	0,08441	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,17771	0,09336	2,1011	-0,1	0,3	0,4	0,08458	
	2	0,18157	0,09523	2,0970	0,0	0,0	0,0	0,08659		2	0,18254	0,09612	2,1062	0,4	0,5	0,1	0,08667	
	3	0,17441	0,09180	2,1055	0,4	0,1	-0,3	0,08284		3	0,17484	0,09185	2,1015	0,2	0,4	0,1	0,08320	
	4	0,17568	0,09239	2,1030	0,2	0,1	-0,1	0,08354		4	0,17622	0,09286	2,1077	0,4	0,4	0,0	0,08361	
	5	0,17378	0,09146	2,1053	0,4	0,1	-0,3	0,08254		5	0,17426	0,09168	2,1042	0,3	0,4	0,1	0,08282	
	6	0,17344	0,09128	2,1060	0,1	-0,1	-0,2	0,08236		6	0,17406	0,09170	2,1074	0,2	0,2	0,0	0,08259	
	7	0,17389	0,09137	2,1018	0,1	0,0	0,0	0,08273		7	0,17437	0,09177	2,1055	0,2	0,3	0,1	0,08282	
	8	0,18114	0,09546	2,1081	0,1	0,0	-0,1	0,08593		8	0,18162	0,09552	2,1033	-0,1	0,3	0,4	0,08635	
	9	0,18477	0,09703	2,1001	0,1	0,1	-0,1	0,08798		9	0,18539	0,09757	2,1055	0,4	0,4	0,0	0,08805	
	10	0,17398	0,09140	2,1016	0,3	0,0	-0,2	0,08278		10	0,17455	0,09188	2,1054	0,4	0,4	-0,1	0,08291	
Mean:					<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>-0,1</b>		Mean:					<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>		
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		
20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	20 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,17866	0,09405	2,1057	0,1	0,9	0,7	0,08485	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30	1	0,17928	0,09489	2,1171	0,7	1,2	0,5	0,08468	
	2	0,18343	0,09663	2,1077	0,5	1,0	0,5	0,08703		2	0,18355	0,09711	2,1157	0,9	1,1	0,2	0,08676	
	3	0,17571	0,09231	2,1001	0,2	0,9	0,7	0,08367		3	0,17647	0,09341	2,1168	0,9	1,3	0,3	0,08337	
	4	0,17711	0,09317	2,1037	0,2	0,9	0,7	0,08419		4	0,17759	0,09396	2,1147	0,7	1,2	0,4	0,08398	
	5	0,17540	0,09214	2,1009	0,2	1,0	0,9	0,08349		5	0,17555	0,09295	2,1183	1,0	1,1	0,1	0,08287	
	6	0,17483	0,09175	2,0986	-0,2	0,7	0,9	0,08331		6	0,17555	0,09301	2,1196	0,8	1,1	0,3	0,08282	
	7	0,17526	0,09209	2,1010	0,0	0,8	0,8	0,08342		7	0,17647	0,09294	2,1157	0,7	1,5	0,8	0,08341	
	8	0,18259	0,09612	2,1053	0,0	0,8	0,8	0,08673		8	0,18314	0,09683	2,1149	0,5	1,1	0,7	0,08660	
	9	0,18628	0,09794	2,1022	0,2	0,9	0,6	0,08861		9	0,18682	0,09875	2,1145	0,8	1,2	0,3	0,08835	
	10	0,17547	0,09224	2,1010	0,2	0,9	0,7	0,08352		10	0,17582	0,09313	2,1187	1,1	1,1	0,0	0,08298	
Mean:					<b>0,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>		Mean:					<b>0,8</b>	<b>1,2</b>	<b>0,4</b>		
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>		Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		
20 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	ΔD	Δm	ΔV	V	
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,17718	0,09377	2,1163	0,6	0,0	-0,6	0,08372	polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 23,4 °C	1	0,16915	0,08902	2,1043	1,9				0,08038
	2	0,18144	0,09596	2,1144	0,8	-0,1	-0,9	0,08581		2	0,18466	0,09714	2,1033	1,8				0,08780
	3	0,17433	0,09202	2,1101	0,6	0,1	-0,6	0,08262		3	0,17432	0,09140	2,0959	1,6				0,08317
	4	0,17561	0,09286	2,1135	0,7	0,0	-0,6	0,08309		4	0,18233	0,09561	2,0964	1,7				0,08697
	5	0,17379	0,09199	2,1162	0,9	0,1	-0,8	0,08212		5	0,17087	0,08986	2,1034	2,1				0,08124
	6	0,17338	0,09148	2,1116	0,4	-0,1	-0,5	0,08211		6	0,17687	0,09285	2,0984	1,8				0,08429
	7	0,17366	0,09192	2,1169	0,8	-0,1	-0,9	0,08204		7	0,16975	0,08903	2,0968	1,7				0,08096
	8	0,18107	0,09153	2,1166	0,6	0,0	-0,5	0,08555		8	0,17189	0,09010	2,0961	1,3				0,08200
	9	0,18477	0,09767	2,1146	0,8	0,1	-0,8	0,08738		9	0,17602	0,09252	2,1024	1,8				0,08372
	10	0,17374	0,09194	2,1155	0,9	-0,1	-1,0	0,08213		10	0,17186	0,09043	2,1053	2,3				0,08163
Mean:					<b>0,7</b>	<b>0,0</b>	<b>-0,7</b>		Mean:					<b>1,8</b>			<b>-1,8</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,3</b>			<b>0,3</b>	

40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,16952	0,08901	2,1004	-0,2	0,2	0,4	0,08071	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,16991	0,08921	2,0982	-0,3	0,4	0,7	0,08098
	2	0,18464	0,09717	2,1047	0,1	0,0	-0,1	0,08773		2	0,18545	0,09724	2,0961	-0,3	0,4	0,8	0,08847
	3	0,17436	0,09151	2,0987	0,1	0,0	-0,1	0,08308		3	0,17512	0,09213	2,1053	0,4	0,5	0,0	0,08318
	4	0,18270	0,09582	2,0961	0,0	0,2	0,2	0,08716		4	0,18303	0,09631	2,1048	0,4	0,4	0,0	0,08696
	5	0,17082	0,08957	2,0956	-0,4	0,0	0,3	0,08151		5	0,17158	0,09017	2,1016	-0,1	0,4	0,5	0,08164
	6	0,17682	0,09316	2,1076	0,4	0,0	-0,5	0,08390		6	0,17765	0,09332	2,1004	0,1	0,4	0,3	0,08458
	7	0,16974	0,08924	2,1023	0,3	0,0	-0,3	0,08074		7	0,17061	0,08986	2,1073	0,5	0,5	0,0	0,08096
	8	0,17221	0,09042	2,0992	0,1	0,2	0,0	0,08204		8	0,17252	0,09085	2,1074	0,5	0,4	-0,2	0,08186
	9	0,17581	0,09228	2,0988	-0,2	-0,1	0,1	0,08377		9	0,17629	0,09264	2,1010	-0,1	0,2	0,2	0,08391
	10	0,17219	0,09045	2,1008	-0,2	0,2	0,4	0,08196		10	0,17262	0,09072	2,1014	-0,2	0,4	0,6	0,08215
Mean:					<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>		Mean:					<b>0,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>		Sd:					<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	

40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	40 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,17095	0,08989	2,1039	0,0	1,1	1,1	0,08125	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,17127	0,09051	2,1141	0,5	1,3	0,8	0,08101
	2	0,18632	0,09780	2,0985	-0,2	0,9	1,1	0,08879		2	0,18689	0,09869	2,1117	0,4	1,2	0,8	0,08850
	3	0,17585	0,09237	2,1001	0,2	0,9	0,7	0,08373		3	0,17628	0,09297	2,1085	0,6	1,1	0,5	0,08360
	4	0,18399	0,09657	2,0995	0,1	0,9	0,8	0,08764		4	0,18455	0,09756	2,1145	0,9	1,2	0,4	0,08728
	5	0,17248	0,09051	2,0973	-0,3	0,9	1,2	0,08224		5	0,17278	0,09138	2,1159	0,6	1,1	0,5	0,08166
	6	0,17826	0,09368	2,1014	0,1	0,8	0,6	0,08483		6	0,17886	0,09465	2,1167	0,9	1,1	0,3	0,08450
	7	0,17098	0,08974	2,0985	0,1	0,7	0,6	0,08148		7	0,17147	0,09066	2,1156	0,9	1,0	0,1	0,08105
	8	0,17355	0,09116	2,0993	0,2	1,0	0,8	0,08267		8	0,17395	0,09174	2,1082	0,6	1,2	0,6	0,08251
	9	0,17723	0,09302	2,0993	-0,1	0,7	0,8	0,08442		9	0,17776	0,09378	2,1091	0,3	1,0	0,7	0,08428
	10	0,17326	0,09093	2,0968	-0,4	0,8	1,2	0,08263		10	0,17367	0,09162	2,1094	0,2	1,1	0,9	0,08233
Mean:					<b>0,0</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>		Mean:					<b>0,6</b>	<b>1,1</b>	<b>0,5</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	

40 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,16941	0,08939	2,1090	0,2	0,2	-0,1	0,08033	polyme- risiert, trocken und dunkel gelagert bei 22,8 °C	1	0,16971	0,08905	2,0990	1,7				0,08085
	2	0,18491	0,09747	2,1068	0,2	0,1	0,0	0,08777		2	0,17365	0,09115	2,0995	1,6				0,08271
	3	0,17399	0,09168	2,1057	0,5	-0,2	-0,7	0,08263		3	0,17123	0,08982	2,0970	1,7				0,08165
	4	0,18262	0,09615	2,1046	0,4	0,2	-0,2	0,08677		4	0,17291	0,09105	2,1059	2,2				0,08211
	5	0,17091	0,08999	2,1037	0,0	0,0	0,0	0,08124		5	0,17692	0,09304	2,1033	2,1				0,08412
	6	0,17680	0,09334	2,1100	0,6	0,0	-0,6	0,08379		6	0,17072	0,08971	2,1031	2,1				0,08118
	7	0,16966	0,08936	2,1042	0,4	-0,1	-0,4	0,08063		7	0,17365	0,09107	2,0972	1,7				0,08280
	8	0,17199	0,09082	2,1105	0,7	0,1	-0,6	0,08149		8	0,16936	0,08898	2,1017	1,6				0,08058
	9	0,17584	0,09279	2,1099	0,4	-0,1	-0,5	0,08334		9	0,16552	0,08692	2,0995	1,7				0,07884
	10	0,17188	0,09072	2,1104	0,2	0,0	-0,2	0,08144		10	0,17503	0,09207	2,1042	2,2				0,08318
Mean:					<b>0,3</b>	<b>0,0</b>	<b>-0,3</b>		Mean:					<b>1,8</b>		<b>-1,8</b>		
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>		Sd:					<b>0,3</b>		<b>0,3</b>		

60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 1 h	1	0,16978	0,08904	2,0956	-0,2	0,0	0,2	0,08102	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 24 h	1	0,17025	0,08960	2,1060	0,3	0,3	0,0	0,08084
	2	0,17356	0,09107	2,0976	-0,1	-0,1	0,0	0,08274		2	0,17416	0,09176	2,1088	0,4	0,3	-0,1	0,08259
	3	0,17118	0,08997	2,1016	0,2	0,0	-0,2	0,08145		3	0,17166	0,09020	2,1016	0,2	0,3	0,0	0,08168
	4	0,17255	0,09077	2,1034	-0,1	-0,2	-0,1	0,08203		4	0,17322	0,09111	2,1046	-0,1	0,2	0,2	0,08231
	5	0,17677	0,09277	2,0979	-0,3	-0,1	0,2	0,08426		5	0,17753	0,09343	2,1056	0,1	0,3	0,2	0,08431
	6	0,17054	0,08934	2,0950	-0,4	-0,1	0,3	0,08140		6	0,17111	0,08982	2,0992	-0,2	0,2	0,4	0,08151
	7	0,17316	0,0907	2,0949	-0,1	-0,3	-0,2	0,08266		7	0,17423	0,09186	2,1058	0,4	0,3	-0,1	0,08274
	8	0,16959	0,08917	2,1022	0,0	0,1	0,1	0,08067		8	0,17005	0,08950	2,1048	0,1	0,4	0,3	0,08079
	9	0,16550	0,08699	2,1017	0,1	0,0	-0,1	0,07875		9	0,16621	0,08732	2,1022	0,1	0,4	0,3	0,07906
	10	0,17508	0,09195	2,0997	-0,2	0,0	0,2	0,08338		10	0,17580	0,09233	2,1017	-0,1	0,4	0,6	0,08365
Mean:					<b>-0,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>0,0</b>		Mean:					<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	

60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V	60 s	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 7 d	1	0,17117	0,08969	2,0962	-0,1	0,9	1,0	0,08166	polyme- risiert, nass und dunkel gelagert bei 37 °C für 30 d	1	0,17173	0,09048	2,1092	0,5	1,2	0,7	0,08142
	2	0,17508	0,09193	2,1000	0,0	0,8	0,8	0,08337		2	0,17549	0,09262	2,1114	0,6	1,1	0,5	0,08312
	3	0,17273	0,09062	2,0981	0,1	0,9	0,8	0,08233		3	0,17319	0,09136	2,1103	0,6	1,1	0,5	0,08207
	4	0,17426	0,09149	2,1003	-0,3	0,8	1,0	0,08297		4	0,17455	0,09200	2,1078	0,1	0,9	0,9	0,08281
	5	0,17847	0,09366	2,0990	-0,2	0,9	1,1	0,08503		5	0,17908	0,09458	2,1115	0,4	1,2	0,8	0,08481
	6	0,17219	0,09030	2,0983	-0,2	0,9	1,1	0,08206		6	0,17260	0,09101	2,1081	0,2	1,1	0,9	0,08187
	7	0,17516	0,09209	2,1025	0,3	0,9	0,6	0,08331		7	0,17572	0,09282	2,1129	0,7	1,2	0,4	0,08317
	8	0,17129	0,08995	2,1010	0,0	1,1	1,2	0,08153		8	0,17171	0,09058	2,1081	0,3	1,4	1,1	0,08145
	9	0,16704	0,08794	2,1059	0,3	0,9	0,6	0,07932		9	0,16720	0,08810	2,1068	0,3	1,0	0,7	0,07936
	10	0,17648	0,09256	2,0984	-0,3	0,8	1,1	0,08410		10	0,17715	0,09357	2,1123	0,4	1,2	0,8	0,08387
Mean:					<b>-0,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>		Mean:					<b>0,4</b>	<b>1,1</b>	<b>0,7</b>	
Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		Sd:					<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	

60 sec	Probe	Luft	Wasser	Dichte	AD	Am	AV	V
polyme- risiert, nach Trock- nung im Exsik- kator	1	0,16951	0,08898	2,0971	-0,1	-0,1	0,0	0,08083
	2	0,17349	0,09141	2,1066	0,3	-0,1	-0,4	0,08236
	3	0,17115	0,08997	2,1012	0,2	0,0	-0,2	0,08145
	4	0,17257	0,09076	2,1018	-0,2	-0,2	0,0	0,08211
	5	0,17686	0,09313	2,1043	0,0	0,0	-0,1	0,08405
	6	0,17055	0,08976	2,1036	0,0	-0,1	-0,1	0,08108
	7	0,17366	0,09103	2,0946	-0,1	0,0	0,1	0,08291
	8	0,16951	0,08910	2,0997	-0,1	0,1	0,2	0,08073
	9	0,16526	0,08910	2,1030	0,2	-0,2	-0,3	0,07858
	10	0,17505	0,09192	2,0979	-0,3	0,0	0,3	0,08344
Mean:				<b>0,0</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,1</b>		
Sd:				<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>		

## 9.2 Danksagung

Ich möchte mich zunächst an dieser Stelle bei allen Personen bedanken, die mich bei der Erstellung meiner Dissertation unterstützt haben.

Dabei gilt mein Dank in erster Linie Herrn Professor Dr. Ralf Janda für die Überlassung des Dissertationsthemas, für die engagierte Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit mit sehr hilfreichen Hinweisen und Anregungen und für die Einführung in eine wissenschaftliche Arbeitsweise. Auch für die Betreuung bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse danke ich Herrn Dr. Janda ausdrücklich.

Univ.-Prof. Dr. med. Wolfgang H.-M. Raab möchte ich herzlich für die Möglichkeit zur wissenschaftlichen Arbeit in der Abteilung für Zahnerhaltung danken.

Zum Dank bin ich Oberarzt Dr. Rüttermann verbunden, der mir bei Fragen zur Seite stand, mich bei der Literaturrecherche unterstützt hat und den Kontakt zu Herrn Professor Dr. Ralf Janda hergestellt hat.

Weiterer Dank gebührt allen genannten Firmen für die Bereitstellung der Materialien.

Meinen Eltern bin ich zu tiefem Dank für die Unterstützung während der Gesamtzeit meines Studiums und für die Möglichkeit zur Verwirklichung meines Berufswunsches verpflichtet.

Mein größter Dank gilt meiner Lebensgefährtin, Frau Dipl. Übersetzerin (FH) Astrid Matros, ohne deren Liebe, Verständnis, moralische Unterstützung und ohne ihren Verzicht auf viele gemeinsame Stunden die vorliegende Arbeit nie hätte beendet werden können. Weiterhin danke ich ihr für das Korrekturlesen dieser Dissertation.

### 9.3 Curriculum vitae

#### **Persönliche Daten:**

Name: Sören Krüger  
Geburtsdatum und -ort: 19.07.1981, Neuss  
Adresse: Châlonsstr. 16, 41469 Neuss  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Familienstand: ledig

#### **Berufliche Laufbahn:**

02/2008 – heute Assistentszahnarzt in der Praxis Dr. med. dent. Marcus Schmitz in Neuss

#### **Studium:**

10/2002 – 10/2007 Studium der Zahnmedizin an der Heinrich-Heine-Universität in Düsseldorf, Staatsexamen Zahnmedizin mit der Gesamtnote „sehr gut“

#### **Dissertation:**

02/2006 Übernahme der Dissertation zum Thema „Untersuchung der Polymerisationsschrumpfung und Quellung verschiedener moderner Seitenzahnkomposite in Abhängigkeit von der Polymerisationszeit (20, 40, 60 s) bei konstanter Bestrahlung und der Wasseraufnahme

02/2006 Beginn der Vorversuche

03/2006 Beginn der Hauptversuche

05/2006 Ende der Versuchsreihen

#### **Zivildienst:**

09/2001 – 07/2002 Behindertenfahrdienst beim Deutschen Roten Kreuz in Neuss

#### **Schulbildung:**

08/1992 – 07/2001 Gymnasium Norf in Neuss, Allgemeine Hochschulreife

#### 9.4 Eidesstattliche Versicherung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorgelegte Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Die Arbeit wurde bisher noch von keiner medizinischen Fakultät abgelehnt.

Ich bin mir darüber klar, dass der Bruch der obigen Eidesstattliche Versicherung in jedem Fall zur Folge hat, dass die Fakultät die Promotion widerruft.

## **Untersuchung der Polymerisationsschrumpfung und Quellung moderner Seitenzahnkomposite in Abhängigkeit von der Polymerisationszeit**

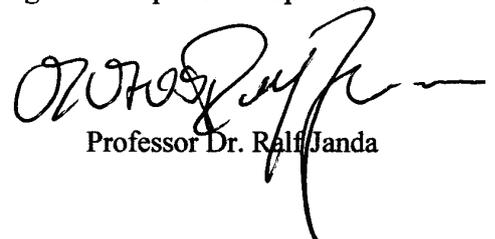
Sören Krüger

**Zielsetzung:** Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Polymerisationsschrumpfung, Quellung, Wasseraufnahme und Löslichkeit von sechs modernen Seitenzahnkompositen zu untersuchen.

**Methode:** Die Bestimmung der Dichte der sechs Seitenzahnkomposite Ceram-X-Mono (CM), Clearfil AP-X (CF), Filtek P60 (FT), Solitaire 2 (SO), SureFil (SU) und TetricEvoCeram (TE) wurde nach dem Archimedischen Prinzip durchgeführt. Zur Bestimmung der Polymerisationsschrumpfung wurde sowohl die Dichte der unpolymersierten Prüfkörper als auch der polymerisierten Prüfkörper, 15 Minuten nach der Polymerisation, bestimmt. Die Prüfkörper wurden anschließend in destilliertem Wasser dunkel und bei  $37 \pm 1$  °C gelagert. Durch erneutes Messen der Dichte nach 1 Stunde, 24 Stunden, 7 Tagen und 30 Tagen konnte die Quellung berechnet werden. Anschließend wurden die Prüfkörper in einem Exsikkator bis zum Erreichen einer konstanten Masse bei  $37 \pm 1$  °C gelagert und die Wasseraufnahme und die Löslichkeit wurden nach den Formeln der EN ISO 4049 bestimmt.

**Resultate:** Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass das Archimedische Prinzip eine adäquate Methode zur Untersuchung der Polymerisationsschrumpfung und der Quellung ist. Die Quellung korrelierte positiv mit der Wasseraufnahme und negativ mit der Löslichkeit. Alle Testmaterialien wiesen eine signifikante Polymerisationsschrumpfung auf, die mit dem Füllstoffanteil der Matrix positiv korrelierte. Dabei schrumpfte SO ( $\approx -3,3$  %) am meisten, während CM ( $\approx -2,6$  %), CF ( $\approx -2,1$  %), SU ( $\approx -2,0$  %), FT ( $\approx -1,8$  %) und TE ( $\approx -1,7$  %) geringere Werte aufwiesen. Die Polymerisationsschrumpfung korrelierte nicht mit der Polymerisationszeit. Die Quellung der Komposite trat innerhalb der ersten sieben Tage auf.

**Schlussfolgerung:** Die Polymerisationsschrumpfung ist materialabhängig und wird nicht von der Polymerisationszeit beeinflusst. Die Quellung der Komposite kompensiert die anfängliche Polymerisationsschrumpfung nicht.

  
Professor Dr. Ralf Janda