

**Aus der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Tübingen**

Abteilung Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik mit Propädeutik

Ärztlicher Direktor: Professor Dr. H. Weber

Sektion für Medizinische Werkstoffkunde und Technologie

Leiter: Professor Dr. J. Geis-Gerstorfer

**Zum Einfluss der Opakerschichtstärke auf den Verbund
zwischen Kompositen und Dentallegierungen nach
Thermocycling im Scherversuch**

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

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Kai Jan Hermes

**aus
Tübingen**

2008

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. J. Geis-Gerstorfer

2. Berichterstatter: Professor Dr. J. Setz

**gewidmet
in Dankbarkeit meinen Eltern**

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	9
2 Literaturübersicht	11
2.1 Geschichtliche Entwicklung verschiedener Haftvermittler Systeme	11
2.1.1 Silicoater – Verfahren (Kulzer)	12
2.1.2 OVS - Verfahren (DeTrey-Dentsply).....	14
2.1.3 Sebond MKV – Verfahren (Schütz)	14
2.1.4 Silicoater MD – Verfahren (Kulzer).....	15
2.1.5 Rocatec – Verfahren (3M ESPE).....	16
2.1.6 Spectra Link (Ivoclar)	17
2.1.7 Zeta HLC Bond (Vita).....	17
2.2 Aktuelle Haftvermittler Systeme	18
2.3 Verblendkunststoffe	21
2.4 Dentallegierungen	23
2.4.1 Edelmetall – Legierungen.....	25
2.4.2 Nichtedelmetall – Legierungen:.....	26
2.5 Der Kunststoff-Metall Verbund	28
2.6 Prüfmethode des Kunststoff-Metall-Verbundes	28
3 Ziele der Untersuchung	30
4 Material und Methoden	32
4.1 Verwendete Legierung	32
4.1.1 Zusammensetzung.....	32

4.1.2 Physikalische Eigenschaften.....	32
4.1.3 Metallprüfkörper	33
4.2 Verwendete Verblendsysteme	33
4.2.1 Dialog der Firma Schütz.....	33
4.2.2 GC-Gradia der Firma GC	34
4.2.3 Solidex der Firma Shofu.....	34
4.2.4 Sinfony der Firma 3M ESPE	35
4.3 Verarbeitung der einzelnen Verblendsysteme	36
4.3.1 Polymerisationslampe Dentacolor-XS.....	36
4.3.2 Polymerisationszeiten der einzelnen Systeme mit Dentacolor XS ...	37
4.4 Herstellung der Prüfkörper	37
4.4.1 Folien für die Vorgabe der Opakerschichtstärke	38
4.4.2 Schablonen für die Herstellung der Komposit Zylinder.....	39
4.4.3 Schematische Darstellung der Arbeitsschritte	41
4.5 Versuchsdesign	42
4.5.1 Vorversuche	42
4.5.2 Hauptversuche	42
4.6 Thermocycling	44
4.7 Schervorrichtung	45
4.7.1 Scherstempel Design	47
4.8. Bruchflächenanalyse.....	48
5 Ergebnisse	52
5.1 Vorversuche	52
5.1.1 Vergleich der Sandstrahlwinkel im REM	53

5.1.2 Ermittlung der Folienschichtstärken	54
5.1.3 Versuch zur Reproduzierbarkeit der Opakerschichtstärken	57
5.1.4 Versuch zur Ermittlung der zu erwarteten Abscherkräfte	58
5.2 Hauptversuche	62
5.2.1 Scherfestigkeit des Verbundsystems Dialog der Firma Schütz	62
5.2.2 Scherfestigkeit des Verbundsystems GC-Gradia der Firma GC	65
5.2.3 Scherfestigkeit des Verbundsystems Solidex der Firma Shofu	68
5.2.4 Scherfestigkeit des Verbundsystems Sinfony der Firma 3M ESPE..	71
5.2.5 Maximale erreichte Kraftwerte bezogen auf die Schichtstärke	74
5.2.6 Statistik der S1 Werte.....	75
6 Diskussion	79
6.1 Methodenkritik	79
6.2 Ergebniskritik.....	83
6.3 Schlussfolgerungen	88
7 Zusammenfassung.....	91
8 Literaturverzeichnis	94
9 Anhang	99
9.1 Daten zur Statistik der S1 Werte.....	99
9.1.1 Dialog	99
9.1.2 GC-Gradia.....	100
9.1.3 Solidex	101
9.1.4 Sinfony	102
9.2 Tabellen der Berechnung der Flächen + Zusatzabruchwerte	103
9.2.1 Dialog	103

9.2.2 GC-Gradia.....	104
9.2.3 Solidex	106
9.2.4 Sinfony	107
10 Danksagungen.....	109
11 Lebenslauf	110

1 Einleitung

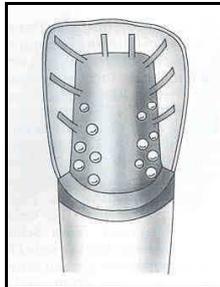
Das Ziel einer jeden prothetischen Versorgung in der Zahnheilkunde liegt vor allem darin, die mastikatorische, phonetische und ästhetische Funktion wiederherzustellen. Ist die Indikation für eine solche Restauration gegeben, muss sich der Zahnarzt die Frage stellen, ob die Verblendung im sichtbaren Bereich mit keramischen Massen oder mit Kunststoff erfolgen soll.

Da der Verarbeitungsvorgang bei kunststoffverblendetem Zahnersatz einfacher und weniger zeitaufwendig ist, ist der finanzielle Aufwand auch geringer, weshalb der Verbund zwischen Kunststoff und Dentallegierung auch unter finanziellen Gesichtspunkten einen wichtigen Platz in der modernen Zahnmedizin einnimmt.

Mit Kunststoff verblendeter Zahnersatz spielt besonders aus ästhetischen Gründen eine große Rolle für den Patienten und somit auch für den Zahnarzt im klinischen Alltag. Jedoch wird, bedingt durch das spezielle Milieu der Mundhöhle, in der die unterschiedlichsten chemischen, thermischen und mechanischen Belastungen auf eine Kunststoffverblendung wirken, der Verbund zwischen dem Metallgerüst und der Verblendung sehr erschwert. Aus diesem Grund gibt es schon lange verschiedene Haftvermittlersysteme zwischen Dentallegierungen und Verblendkunststoffen.

Vor 1984 war ein chemischer Verbund zwischen Metall und Kunststoff nicht möglich und man war ausschließlich auf *mechanische Retentionen* für einen Verbund der beiden Werkstoffe angewiesen. Dabei wurden hauptsächlich Retentionsperlen, Netzstrukturen, drahtartige Stege, sowie Unterschnitte an den Rändern der Aussparung im Metallgerüst des Zahnersatzes angebracht. (Abb.1)

Abbildung 1: Mechanische Retentionen (Retentionsperlen und -drähte) am Metallgerüst (25)



Es wurde jedoch zusätzlich eine *mikromechanische Retention* angestrebt, die durch ein Aufrauen der Dentallegierung, Sandstrahlen, Ätzen mit geeignetem Elektrolyt, oder Einbringen von wasserlöslichen Kristalliten in die Oberfläche des Wachsmodells erreicht wurde.

Die rein mechanische Retention hat den großen Nachteil, dass bedingt durch die Polymerisationsschrumpfung und thermische Kontraktion, Randspalten zwischen Verblendung und Gerüst entstehen. Diese haben nach einer gewissen Tragezeit eine sehr eingeschränkten Ästhetik der Verblendung zur Folge und können andererseits sogar zum Abplatzen der Verblendung vom Metallgerüst führen, wenn dieses mechanisch belastet wird.

Zur Vermeidung dieser Randspalten wurde ein chemischer Verbund zwischen Dentallegierung und Verblendkunststoff angestrebt. (37)

Dieser echte chemische Verbund zwischen Dentallegierung und Verblendung wurde erstmals 1984 durch das Silicoater-Verfahren von Musil und Tiller und der Firma Heraeus-Kulzer erreicht. (40) Mittels Silanisierung wurde die Verbindung zwischen Dentallegierung und Verblendkunststoff einschlägig verbessert, was einen spaltfreien Verbund der beiden Werkstoffe erstmals ermöglichte.

2 Literaturübersicht

Den heutigen Verfahren zur Herstellung eines Kunststoff-Metallverbundes geht ein langer Entwicklungsprozess voraus. Seit der Einführung der mikrogefüllten Komposite gibt es keinen Zweifel mehr an der Tauglichkeit der Komposite als Verblendungsmaterial und die Forschung zielt hauptsächlich auf eine Verbesserung des Verbundes zwischen Komposit und Metallgerüst ab. Gerade die Randspaltbildung, welche bedingt durch die hohen Kaufräfte zum Abplatzen des Kunststoffes führen kann, wird durch die Entwicklung neuer Verbundsysteme zu vermeiden versucht. Diese Kaufräfte können nach Eichner (15) beim ungestörten Kauvorgang durchschnittlich 3,5 kp (34,32 N) und nach Coca und Schwickerath (53) im Frontzahnbereich bis 180 N betragen. Die Forschung hat aufgrund dieser hohen Kräfte und den beiden unterschiedlichen Materialien, Kunststoff und Metall, die miteinander verbunden werden sollen noch kein System gefunden das einen dauerhaften Verbund herstellen kann. Die Forschung auf diesem Gebiet geht jedoch kontinuierlich weiter und die angebotenen Produkte versprechen einen immer besseren und dauerhafteren Verbund zu gewährleisten.

2.1 Geschichtliche Entwicklung verschiedener Haftvermittler Systeme

Heutzutage gibt es eine Vielzahl von Haftvermittlersystemen, die den chemischen Verbund zwischen Dentallegierung und Verblendkunststoff ermöglichen. In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Systeme chronologisch geordnet.

Tabelle A: Systeme zum Metall-Kunststoff-Verbund (44)

Jahr	Verfahren	Verbund	Firma
1984	Silicoater	Silikat/Silanisierung	Heraeus-Kulzer
1984	OVS	Zinnoxid	DeTrey-Dentsply
1985	Sebond MKV	Organische Verbundschicht	Schütz
1989	Silicoater MD	Silikat/Silanisierung	Heraeus-Kulzer
1989	Rocatec	Silikat/Silanisierung	3M ESPE
1989	Spectra Link	Organische Verbundschicht	Ivoclar
1995	Zeta HLC Bond	Organische Verbundschicht	Vita

2.1.1 Silicoater – Verfahren (Kulzer)

Das Silicoater-Verfahren ist verhältnismäßig kompliziert aufgebaut. Zuerst wird das Metallgerüst mit einem Al_2O_3 Strahlsand abgestrahlt und danach mit einem Lösungsmittel wie zum Beispiel Essigsäureethylester gesäubert. Nun wird das

so vorbehandelte Metallgerüst in das Silicoater-Gerät (Abb. 2) eingegeben und mit einer speziellen Flamme aus einem Propan-Luft-Gemisch behandelt. Diese Flamme enthält das Silan Tetraethoxysilan, das bei diesem Prozess zu siliziumorganischen Molekülbruchstücken zerfällt und sich auf der Metalloberfläche ablagert. Dadurch bildet sich somit auf der gesamten Metalloberfläche eine Schicht mit nur 0,1µm Dicke und sehr hohem anorganischem Charakter.

Diese Schicht wird SiOx-C-Schicht genannt und ermöglicht aufgrund der in großer Anzahl vorhandenen OH-Gruppen eine chemische Ankopplung eines Silans.

Bei dem Silan handelt es sich um 3-Methacryloyloxypropyltrimethoxy-Silan (Methacrylsilan), welches ebenfalls über Hydroxylgruppen verfügt, die mit den Hydroxylgruppen der SiOx-C-Schicht reagieren und einen chemischen Verbund herstellen. Anschließend wird der lichthärtende Opaker aufgetragen und im Lichthärtegerät polymerisiert. Zum Schluss folgt der Verblendkunststoff für die eigentliche Verblendung. Somit entsteht eine sehr gute Verbindung zwischen Opaker und Verblendkunststoff aufgrund der Sauerstoffinhibitionsschicht die sich nach der Polymerisation noch auf dem Opaker befindet. An diese kann jetzt weiter anpolymerisiert werden. Bei Silber-Palladium Legierungen, sind allerdings nicht immer einheitlich gute Ergebnissen zu beobachten, da eine Kupferanreicherung auf der Legierungsoberfläche beim Beflammungsprozess zu einer Verschlechterung der Haftung führen kann. (28)

Abbildung 2: Silicoater – Gerät der Firma Kulzer (10)



2.1.2 OVS - Verfahren (DeTrey-Dentsply)

Das Opaker-Verbund-System zeichnet sich dadurch aus, dass die Legierung mit mechanischen Makroretentionen belegt wird. Bei diesem Verfahren wird nach dem Sandstrahlprozess der Metalloberfläche diese mit Hilfe einer Gleichstromquelle und eines Filzstäbchens elektrochemisch verzinkt. Man muss dabei darauf achten, dass die Zinnschicht keinesfalls zu dick wird, da sonst die Haftung deutlich reduziert wird. Bei korrektem Aufbringen der Zinnschicht, bildet sie eine fest haftende Kristallschicht auf der Metalloberfläche, welche ein mikroretentives Muster für den Opaker darstellt. Das so verzinkte Metallgerüst wird jetzt in Wasserstoffperoxid-Lösung getaucht, wodurch das Zinn zu Zinnoxid (SnO_2) oxidiert. Wie oben bereits erläutert, kann nun Methacrylsilan mit diesen Metalloxiden reagieren. Das Methacrylsilan befindet sich bei diesem System schon im lösungsmittelhaltigen Opaker. Der hier verwendete OVS Opaker ist ein Einkomponenten-System und lösungsmittelhaltig, was bedeutet, dass er nur trocknen braucht, jedoch nicht polymerisiert werden muss. Letzter Arbeitsschritt ist wiederum das Aufbringen des Verblendkomposits. (28)

2.1.3 Sebond MKV – Verfahren (Schütz)

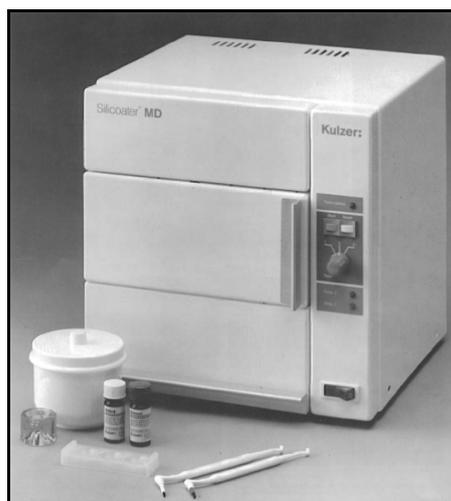
Das System Sebond MKV erfordert mechanische Makroretentionen auf der Gerüstoberfläche. Das Gerüst wird sandgestrahlt und danach gereinigt. Im Folgenden wird der für dieses System kennzeichnende Haftvermittler, bestehend aus Perfluoralkylmethacrylaten und Carboxylgruppen tragenden Methacrylcomonomeren mit einem Pinsel aufgetragen und in einem speziellen Lichtgerät polymerisiert. Diese Haftvermittler sollen dem System einen wasserabweisenden unpolaren Charakter verleihen. Als nächster Schritt folgt das Bestreichen der ausgehärteten Schicht mit einem Aktivator (Polymethacrylat, Lösungsmittel), der die Oberfläche des Haftvermittlers leicht anlässt. Durch das oberflächliche Anlösen kann nun der lichterhärtende Opaker in

die Haftvermittlerschicht eindringen und sich dort verankern. Nun folgt das Aufschichten und Polymerisieren des Verblendkomposits. (28);(29)

2.1.4 Silicoater MD – Verfahren (Kulzer)

Das Silicoater MD ist die Weiterentwicklung des Silicoater Verfahrens. Es verbessert zum einen den Verbund bei Silber-Palladium-Legierungen, die einen Schwachpunkt des Silicoater-Verfahrens darstellen, zum anderen ist die aufgebrauchte Haftschrift bei diesem Verfahren sehr gut sichtbar. Zuerst wird wieder das Metallgerüst Sandgestrahlt und gereinigt. Danach wird ein spezieller Haftvermittler aufgetragen und das Metallgerüst bei 370°C in den Silicoater MD Ofen (Abb. 3) gegeben. Es bildet sich eine Metall-Interdiffusionsschicht, die durch Chrominonen und eine siliciumorganische Schicht mit freien Hydroxylgruppen gekennzeichnet ist. Nun wird das Methacrylsilan (siehe Silicoater Verfahren) aufgebracht und bindet an diese Hydroxylgruppen. Danach folgen die gleichen Schritte wie beim Silicoater Verfahren (Auftrag von Opaker, Verblendkomposit). (28)

Abbildung 3: Silicoater MD Ofen (17)



2.1.5 Rocatec – Verfahren (3M ESPE)

Das Rocatec-Verfahren ist ein sehr einfaches und elegantes Verfahren. Bei diesem Verfahren wird beim Sandstrahlen der Metalloberfläche diese nicht nur angeraut und somit aktiviert, sondern auch eine SiO₂-Schicht aufgebracht.

Der Strahlsand des Rocatec-Geräts (Abb. 4), besteht aus diesem Grund in der erstens Stufe (Rocatec Pre) aus Aluminiumoxid (50 - 110 µm Korngröße) und in zweiter Stufe (Rocatec Plus) aus Strahlsand mit Glaszusatz (SiO₂), der dazu dient die Haftschrift aufzubringen.

Durch den Sandstrahlprozess (mind. 3 Bar Druck) werden punktuell sehr hohe Energien freigesetzt, wodurch das Glas nun entweder auf die Metalloberfläche aufschmilzt, oder sich darin einlagert (Tribochemie). Die so entstandene Haftschrift unterscheidet sich jedoch maßgeblich von denen des Silicoater und Silicoater MD Verfahren, da in diesen Systemen keine organischen Bestandteile enthalten sind. Nach dem Reinigen des Metallgerüsts im Luftstrom wird das Haftsilan (Rocatec Sil[®]), das aus Methacrylsilan besteht mit dem Pinsel aufgetragen. Dieses geht, wie oben schon beschrieben, mit den Hydroxylgruppen der SiO₂-Moleküle eine chemische Bindung ein. Anschließend wird der Opaker aufgetragen und lichtgehärtet. Danach wird das Verblendkomposit aufgetragen, das sich aufgrund der Sauerstoffinhibitionsschicht mit dem Opaker verbindet. Das Rocatec-Verfahren führt folglich zu einem spaltfreien Verbund und ist bei allen Legierungen anwendbar. (28)

Abbildung 4: Rocatec – Sandstrahlgerät mit Strahlsand (44)



2.1.6 Spectra Link (Ivoclar)

Der Verbund zwischen Komposit und Metall wird bei diesem System durch eine organische Verbundschicht erreicht. Nach dem üblichen Sandstrahlprozess wird das Metallgerüst mit einem Dampfstrahl gesäubert und anschließend das Spectra-Link[®] mit einem Pinsel dünn (Schichtdicke 0,1 - 0,3 mm) aufgetragen und mit UV-Licht polymerisiert. Sepctra-Link[®] besteht aus Monomeren auf Acrylatbasis, wobei durch Zugabe von polyfluoridierten Methacrylaten eine hydrophobe Wirkung erreicht wird. Diese dünne Schicht wird durch den SR-Isosit-Spectra Aktivator[®] angelöst, um eine bessere Polymerisation mit der folgenden Opaker Schicht zu gewährleisten. Der Opaker wird mit Liquid angemischt und in zwei Arbeitsgängen aufgetragen. Es ist darauf zu achten, dass der SR-Isosit-Spectra Opaker[®] durch Dualpolymerisation optimal aushärtet, weshalb zuerst eine primäre Lichthärtung und anschließend eine Heißpolymerisation empfohlen wird. Zum Schluss wird das sehr abrasionsfeste Verblendkomposit (SR-Isosit-N[®]) aufgetragen und durch Heißpolymerisation mit den ersten Schichten der Verblendung verbunden. (32)

2.1.7 Zeta HLC Bond (Vita)

Bei diesem System kommt ein zwei Komponenten-Verbund-Opaker zum Einsatz. Die erste Komponente besteht aus einer gelösten Polymerbasis, die zweite Komponente aus Pigmentpartikelpulver. Die beiden Komponenten werden intensiv gemischt und nach dem Erreichen einer einheitlichen Farbe mit einem Pinsel auf die sandgestrahlte Oberfläche aufgetragen. Anschließend folgt die Trocknung des Opakers für 10 min unter einer Infrarotlampe (100 - 150 W) und danach in einem Trockenofen (160 – 180 °C). Durch diese Trocknungsverfahren verbinden sich die Carboxylgruppen der Polymerbasis sowohl mit den Metallionen der Metalloberfläche, als auch mit den Füllstoffpigmentpartikeln des Opakers. Abschließend folgt wieder die Verblendung mit Verblendkomposit, wobei darauf zu achten ist, dass das

Beschichten mit heißpolymerisierendem Komposit sofort erfolgen kann, mit lichthärtendem Komposit jedoch erst nach dem Auftrag eines Conditioners.
(39);(44)

2.2 Aktuelle Haftvermittler Systeme

Die Industrie bietet aktuell eine große Auswahl an Haftvermittler Systemen an. Diese Systeme der neuen Generation haben den Anspruch hochwertigen, stabilen und vor allem ästhetischen Zahnersatz zu schaffen. Außerdem sollen diese Systeme ein möglichst wirtschaftliches und effektives Arbeiten ermöglichen. Gerade bei dem immer häufiger anzutreffenden kombiniert-festsitzenden Zahnersatz, sowie den Langzeitprovisorien sind diese neuen Haftvermittlersysteme auch heute noch die 1. Wahl. In der Regel lassen sich mit diesen Systemen alle metallischen Materialien, faserverstärkte Konstruktionen, oder reine Kompositrestaurationen verblenden. (11)

Tabelle B: Aktuelle Haftvermittler Systeme 2007 (11)

Hersteller	System	Typ des Komposits	Zugelassene Gerüstmaterialien	Indikationen
KerrLab USA	BelleGlass HP/NG	Komposit mit Nanofüllern und Präpolymeren	Alle Dentallegierungen	Verblendungen auf Metall, Inlays, Onlays, Veneers, Metallfreie Kronen und Brücken
Dentsply Ceramco	Crostobal +	Hochgefülltes Hybridkomposit	Alle Dentallegierungen	Metallfrei (bis 1.Molar) , Metallgerüste
GC	GC GRADIA	Lichthärtendes Mikro-Keramik-Komopsit, Hybrid-MFR-Kunststoff, UDMA	Alle Dentallegierungen , metallfreie Gerüstmaterialien , CAD/CAM gefertigte Keramikgerüste	Auf Metallgerüst: alle Formen, Metallfrei: Einzelkronen, Inlays und Veneers

Heraeus Kulzer GmbH	Artglass	Polyglas	Dental Legierungen, Ribbond, DC-Tell	Inlays, Onlays, Veneers, Einzelkronen, Individualisierung von Kunststoffzähnen, Implantatverblendung
Heraeus Kulzer GmbH	Signum/Sig num Matrix	Nanohybrid Komposit	Dental- legierungen	Inlays, Onlays, Veneers, Einzelkronen, Individualisierung von Kunststoffzähnen, Implantatverblendung
Ivoclar Vivadent AG	SR Adoro	Licht-/ hitzehärtendes mikrogefülltes Verblend- komposit	Goldhaltige, goldreduzierte, und edelmetallfreie Legierungen sowie Titan und Glasfaser- Gerüstwerkstoff Vectris	Inlays, Onlays, Veneers, Metallunterstützte Restaurationen, Verblend. von Kombiarbeiten, metallfreie Frontzahnkronen, metallfreie Kronen, 3gl- Brücken/Inlaybrücken mit Vectrisgerüst
Jeneric/Pent ron	Sculpture Plus	Nano-Hybrid Komposit	Alle Metallegierungen, auch Titan und Fiberglas sowie Implantat- aufbauten	Metallfreie Inlay-, Onlay-, Kronen-, Brücken-, und Implantatversorgungen
Schütz- Dental	dialog	lichthärtend	Alle Edel- und NE-Metalle, sowie Titan	Kronen, Brücken, Kombiarbeiten, Teleskopkronen
Schütz- Dental	Dialog Occlusal	lichthärtend	Nur in Verbindung mit dialog	Inlays, Onlays, Veneers und Vollverblendungen in Kombination mit dialog

SHOFU DENTAL GmbH	CERAMAGE	Lichthärtendes PFS Hybrid- komposit	Alle gängigen Dental- legierungen, sowie einige Glasfaser- materialien	Krone, Brücken, Teleskopkronen, Geschiebearbeiten, Implantatarbeiten, Langzeitprovisorien, metallfreie Kronen
SHOFU DENTAL GmbH	SOLDIEX	Lichthärtendes Mikropartikel- Komposit	Alle gängigen Dental- legierungen	Krone, Brücken, Teleskopkronen, Geschiebearbeiten, Implantatarbeiten, Langzeitprovisorien, metallfreie Kronen
VITA Zahnfabrik	VITA VM LC / VITA VM BOND	Lichthärtendes Mikropartikel- Komposit	Dental- legierungen, sowie einige Kunststoffgerüst- materialien	Kronen, Brücken, Teleskopkronen, KU- Gerüste, Inlays, Veneers, metallfreie Kronen, 3gl Frontzahnbrücken als Langzeitprovisorium
3M ESPE	Sindony Composite	Lichthärtendes feinstpartikel- Komposit	Alle gängigen Dental- legierungen	Kronen, Teleskopkronen, Konuskronen, Geschiebeaußenanteile, Brücken, Adhäsivbrücken, Implantatsuprakonstruktion en, Verblendschalen, Inlay, Onlay, faserverstärkte Kronen/Brücken, Langzeitprovisorien, Individualisierung von Prothesenkunststoff- zähnen

2.3 Verblendkunststoffe

Kunststoffe sind organische makromolekulare Verbindungen, die auf der Fähigkeit des Kohlenstoffs beruhen, sich miteinander fortlaufend durch Atombindungen zu verbinden. Die Synthese dieser Makromoleküle erfolgt durch die Verknüpfung vieler Einzelbausteine und wird Polymerisation genannt. Laut Biderbick (9) versteht man unter Polymerisation die „Verknüpfung von Molekülen zu einem größeren Molekül“, wobei „die dabei entstehenden Polymerisate dieselbe elementaranalytische Zusammensetzung wie die Ausgangsstoffe (=Monomere) besitzen.“

Bei einer Polymerisation klappen bei ungesättigten Verbindungen die Doppelbindungen auf und es entstehen neue Atombindungen zwischen den einzelnen Molekülen. Bei dieser schnellen Wachstumsreaktion entstehen so lange Ketten.

Die dabei entstandenen Makromoleküle sind im Allgemeinen 10^{-6} bis 10^{-3} mm lang und $2-3 \times 10^{-7}$ mm dick. Besonders für die Qualität des Kunststoffes ist der Polymerisationsgrad entscheidend, der angibt, wie viele Moleküle (=Monomere) sich zu einem Makromolekül vereinigt haben. Die Zusammenlagerung dieser Makromoleküle zu einer organischen Kunststoffmatrix ergibt dann den fertigen Kunststoff. (9)

Verblendkunststoffe sind nicht allein reine Kunststoffe wie oben beschrieben sondern „Komposite.“ Unter dem Begriff Komposit versteht man einen zusammengesetzten Verbundwerkstoff, der einerseits aus der schon oben beschriebenen organischen Kunststoffmatrix besteht, andererseits aus anorganischen Füllstoffen.

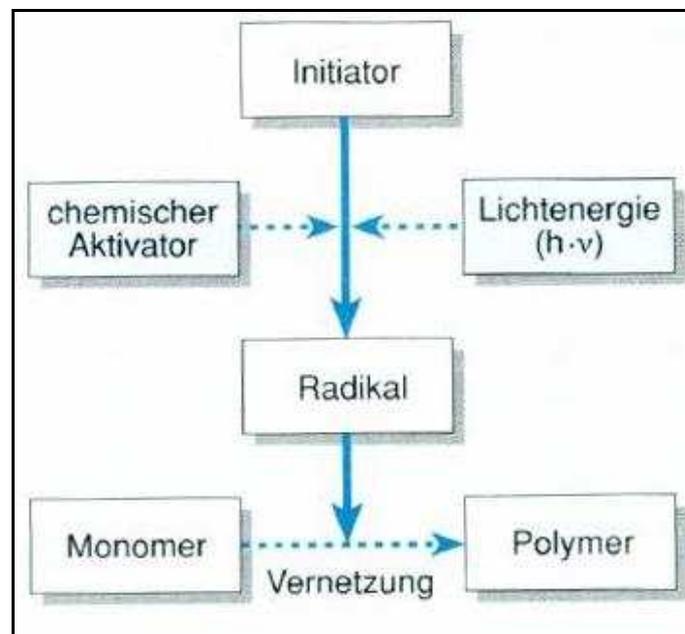
Bei Kompositen besteht die organische Matrix aus *Monomeren, Initiatoren, Stabilisatoren, Pigmenten* und diversen *Additiva*.

Bei den oben genannten *Monomeren* handelt es sich hauptsächlich um mehrfunktionelle Methacrylate mit der Grundformel $MA - R - MA$, wobei R das

organische Zwischenglied und MA den Methacrylsäureester-Rest beschreibt. Das zentrale Molekül R (organische Zwischenglied) ist hierbei für die mechanischen Eigenschaften, wie Wasseraufnahme, Schrumpfung, Polymerisationsgrad und Viskosität verantwortlich.

Initiatoren (Abb. 6) sind Matrixbestandteile die durch Aktivierung (chemisch;physikalisch) in Radikale zerfallen, welche mit den Doppelbindungen der Monomeren reagieren und so die Polymerketten bilden. (24)

Abbildung 5: Schematische Polymerisation (24)



Die *Stabilisatoren* (Phenole) reagieren mit vorzeitig entstanden Radikalen und verhindern so eine vorzeitige Polymerisation, was die Lagerfähigkeit des Komposits erhöht.

Der organischen Matrix beigemengten *Pigmente* (Eisenoxide) sollen unterschiedliche gefärbte Komposite produzieren, damit für jede Zahnfarbe ein optimal dazu passendes Komposit zur Verfügung steht.

Zuletzt werden in den der organischen Matrix *Additiva* beigemengt, welche als Weichmacher, Lichtschutzmittel und optischen Aufheller fungieren.

Die anorganischen Füllstoffe bestehen meistens aus Quarz, Keramik oder Siliziumdioxid. Diese feinen Füllstoffpartikel sind 0,007 und 0,04 µm groß und sollen nach Hellwig (24) „die physikalischen, und mechanischen Eigenschaften der Kunststoffmatrix verbessern.“

Der entscheidende Punkt ist nun, dass diese anorganischen Füllstoffe silanisiert werden und so mit einer Verbundphase chemisch mit der organischen Phase verbunden werden, was die oben beschriebene Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Komposits erst ermöglicht. (24)

2.3.1 Anforderungen an ein modernes Komposit (16);(44)

- keine Toxizität
- gute physikalische und mechanische Eigenschaften
- hohe Adaptionen- und Adhäsionsfähigkeit
- einfache Verarbeitbarkeit
- hoher Polymerisationsgrad
- ausreichende Festigkeit
- Dimensionsstabilität
- zahnähnliche Farbe und Farbstabilität
- geringe Wärmeleitfähigkeit

2.4 Dentallegierungen

Legierungen sind nach Meiners (37) eine „Mischung aus verschiedenen Metallen“, wobei jedoch auch nichtmetallische Elemente wie Kohlenstoff und Stickstoff in den Mischungen zu finden sind. Diese Elemente haben nach Meiners (37) den Zweck „gezielt Werkstoffeigenschaften zu fördern, oder gar erst zu ermöglichen, welche die Bestandteile in reiner Form nicht, bzw. nicht so

ausgeprägt aufweisen.“ Dentallegierungen haben aus diesem Grund immer mindestens drei, meistens jedoch mehr Bestandteile.

Diese Mischkristallsysteme sollten in der Zahnmedizin folgende Anforderungen erfüllen: (44)

- mundbeständig
- keine Toxizität
- dem Verwendungszweck entsprechend hart, fest, zäh, dehnbar oder federnd
- gewebsneutral

Um die unterschiedlichen Legierungen klassifizieren zu können gibt es eine Einteilung der Legierungen in bestimmte Gruppen. Man kann in erster Linie die aufbrennfähigen von den nicht aufbrennfähigen Legierungen unterscheiden.

Aufbrennfähige Legierungen sind für den Verbund mit keramischen Massen geeignet. Dies liegt einerseits daran, dass diese Legierungen ein hohes Schmelzintervall aufweisen, was beim Keramikbrand unerlässlich ist, andererseits müssen diese Legierungen oxidierbar sein, damit sich die Keramikmasse mit der Legierung chemisch verbinden kann.

Für Kunststoffverblendungen ist es jedoch unerheblich ob eine Legierung aufbrennfähig ist oder nicht.

Die Legierungen werden weiterhin unterteilt in: (37)

- 1.) Edelmetall – Legierungen
- 2.) Nichtedelmetall – Legierungen

2.4.1 Edelmetall – Legierungen

Legierung	Bestandteile
Hochgoldhaltige	Mehr als 95 Gew.% Gold, sowie Teile von Platin und Palladium. Es findet sich in diesen Legierungen Silber, sowie geringe Mengen an unedlen Metallen (für die Oxidierbarkeit).
Goldreduzierte	Edelmetallanteil von 75 -95 Gew.%, wobei mind. 50 Gew.% Gold.
Goldreduzierte silberfreie	Silber wird gegen Palladium (40 Gew.%) ersetzt.
Goldarme	weisen einen Goldanteil von 30 – 40 Gew. % auf.
Palladiumbasis	50 – 60 Gew.% Palladium, sowie 30 – 40 Gew.% Silber.
Silberfreie Palladiumbasis	50 – 70 Gew.% Silber, 25 Gew.% Palladium
Silber – Palladium	50 – 70 Gew.% Silber, 25 Gew.% Palladium
Silberbasis	50 – 70 Gew.% Silber, 25 – 30 Gew.% Palladium, 0 – 20 Gew.% Gold

2.4.2 Nichtedelmetall – Legierungen:

Kobaltbasis	60 Gew.% Kobalt, 30 Gew.% Chrom, 5 Gew.% Molybdän.
Nickelbasis	60 – 75 Gew.% Nickel, 20 Gew.% Chrom, 3 – 11 Gew.% Molybdän.

Nichtedelmetall-Legierungen weisen ein höheres E-Modul, sowie geringere Wärmeleitfähigkeit und Gewicht auf. Außerdem haben Nichtedelmetall-Legierungen einen wirtschaftlichen Vorteil, da sie billiger als Edelmetall-Legierungen sind.

Im Gegensatz dazu sind Edelmetall-Legierungen besser zu bearbeiten und weisen geringeres Allergiepotential, wie zum Beispiel die Nickelbasis-Legierungen auf. (44)

Abbildung 6: Dentalgußlegierungen (37)

Legierungstyp	Einfache Legierungen	Aufbrennfähige Legierungen
EM-Legierungen		
Gold-Leg., hochgoldhaltig	Au (>70) + Pd (0-4) + Pt (0-8): >/= 75, Ag (<15), R1	Au (>75) + Pd(0-10) + Pt (5-20): >/= 95, Ag (<3), R1
goldreduziert	Au (>/= 50) + (Pt) Pd: 60-75, Ag (<20), R1 (<20)	Au (-50) + (Pt) Pd (20-30): 75-95, Ag (10-20), R1
goldreduziert, silberfrei	./.	Au (-50) + (Pt) Pd (-40): 75-95, R1
goldarm [cave!]	Au (30-40) + (Pt) Pd: < 60, Ag (<40), R1	./.
universell	mit niedrigschmelzenden Keramikmassen: Au (55-75) + Pd (35-40), Ag (20-30), R1	Pt (0-12) + Pd (0-10): 65-85, Ag (9-30), R1
Palladium-Leg.	Pd (60-80), Co (0-30), R1	Pd (50-60), Ag (30-40), R1
Palladium-Leg., silberfrei	Ag (50-70), Pd (25-30), Au (0-20), R1	Pd (70-80), Au (<3), meist Cu (5-14), R1
Silber-Leg.	(= R1): Co, Cu, Fe, In, Ga, Ir, (Ni), Si, Sn, Ti, Zn;	./.
Weitere mögliche Bestandteile		
NEM-Legierungen		
Kobalt-Leg.	Co (-65), Cr (25-30), Mo (-5), (Ni), R2	Co (55-67), Cr (-30), W (0-12), Mo (-5), R2
Nickel-Leg.	./.	Ni(60-75), Cr(13-2-6), Mo(3-11), Nb, R2; [Cr>20!]
Weitere mögliche Bestandteile	(= R2): Al, Cu, Fe, Ga, Mn, P, Ru, Si, Sn, Ta, Ti, W;	
Titan (unlegiert)	./.	Ti (>99), Fe, O, N, C, H

* Alle Werte in Massenprozent [m%]

>/= größer oder gleich; ~ ca.

2.5 Der Kunststoff-Metall Verbund

Der Verbund zwischen zwei so unterschiedlichen Materialien wie dem anorganischen Metall und dem organischen Kunststoff kann nur mittels eines Zwittermoleküls erreicht werden, das an einem Ende mit einer silikatischen Oberfläche, am anderen Ende mit den Doppelbindungen der Methacrylat-Gruppen reagieren kann.

Diese Silane können sich nun einerseits mit einer mit Siliziumoxid beschichteten Metalloberfläche und andererseits mit den organischen Gruppen des Opakers verbinden. (7)

Abbildung 8: Die Silanmoleküle (rechts) nähern sich der anorganischen Oberfläche (7)

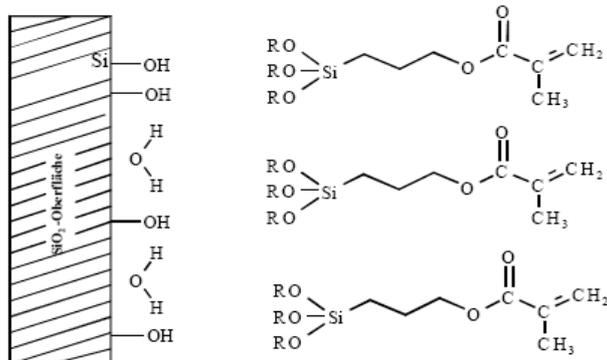
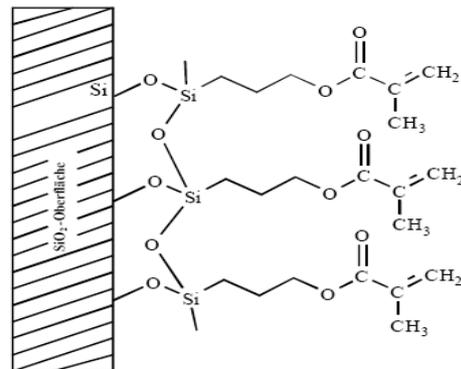


Abbildung 9: Die Silanmoleküle haben sich chemisch mit dem SiO2-Anteil der beschichteten Oberfläche verbunden (7)

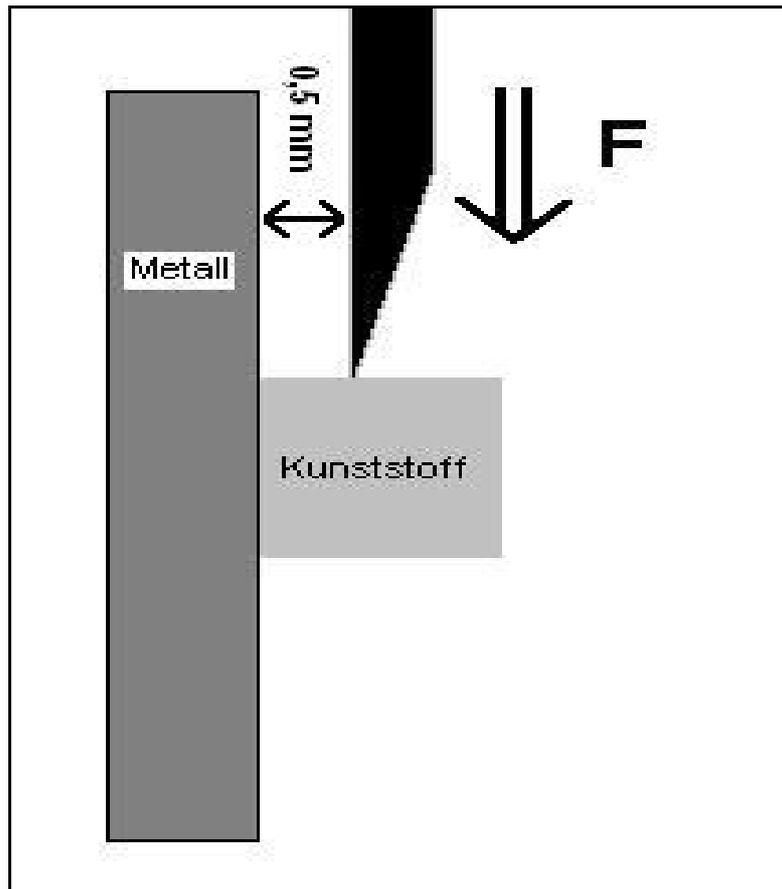


2.6 Prüfmethode des Kunststoff-Metall-Verbundes

Die Festigkeit des Kunststoff-Metall-Verbundes wird im Scherversuch überprüft und beurteilt. Es werden hierzu geometrische Prüfkörper verwendet. Der Kunststoff wird in zylindrischer Form auf ein Metallplättchen aufgebracht, welches in die Schervorrichtung fest eingespannt werden kann. Ein Stempel

schert den Kunststoff danach parallel zur Metalloberfläche ab wodurch die Kraft bis zum Abbruch des Kunststoffzylinders kann gemessen werden.

Abbildung 8: Schema Scherversuch



3 Ziele der Untersuchung

Die Verbundfestigkeit zwischen Dentallegierungen und Verblendkunststoffen war schon Bestandteil mehrerer Untersuchungen, mit Biege-, Druck- oder Scherversuchen.

Auch die Verwendung diverser Legierungen mit verschiedenen Kunststoffen und verschiedenen Bonding-Systemen von jeweils anderen Herstellern wurde bereits im Scherversuch untersucht. Jedoch gerade bei Scherversuchen sind bisher nur ungenormte Stempel zur Durchführung der Versuche verwendet worden, was ein Nachvollziehen der Daten sehr erschwert hat.

Ziel dieser Studie ist es nun, die Auswirkungen der Opakerschichtstärke, die einen wesentlichen Einfluss auf den Verbund dieser beiden so verschiedenen Werkstoffe hat, mit genormten Versuchsanordnungen, zu untersuchen und zu beurteilen.

Es werden hierfür sowohl Pasten- (Dialog der Firma Schütz; GC-Gradia der Firma GC; Solidex der Firma Shofu) als auch Pulver- (Sinfony der Firma 3M ESPE) Opakersysteme verwendet um Unterschiede dieser beiden Opakersysteme, bei unterschiedlichen Opaker-Schichtdicken beurteilen zu können.

Es wird zuerst die Frage geklärt wie dick eine Opakerschicht eines Zahntechnikers des ZZMK Tübingen im Durchschnitt ist, um Vergleichswerte zu erhalten. Anhand dieser Vergleichswerte, werden 3 Opakerschichtstärken bestimmt, die im Scherversuch untersucht und beurteilt werden.

Bisher wurde bei den Scherversuchen immer die ganze oder eine unregelmäßig große Fläche des Metallprüfkörpers mit Opaker bestrichen. In dieser Studie jedoch soll diese Fläche genau definiert sein. Es soll somit untersucht werden,

ob die Ausdehnung der Opakerschicht auf dem Metallprüfkörper einen Einfluss auf die Verbundfestigkeit im Scherversuch zeigt oder nicht.

Aus diesem Grund wird bei dieser Studie großen Wert auf die genaue Vermessung der Abbruchfläche des Zylinders gelegt. Es wird die gemessene Kraft bis zum Bruch des Zylinders auf die theoretisch vom Prüfzylinder bedeckte Fläche, die tatsächlich gemessene Abbruchfläche des Zylinders, sowie die gesamte Abbruchfläche im Opaker, umgerechnet und beurteilt.

Weiterhin wird beurteilt ob es sich beim Abscheren des Zylinders vom Metallprüfkörper um einen Adhäsiven-, Kohäsiven-, oder Mischbruch handelt um beurteilen zu können ob das Komposit oder der Verbund zwischen Opaker und Metall versagt hat.

Beim hier erwähnten Scherversuch, soll ein von der Sektion Medizinische Werkstoffkunde und Technologie des Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Universitätsklinikums Tübingen entwickeltes, neues Stempeldesign eingesetzt werden. Diese Stempel sind genormt und ermöglichen somit ,im Gegensatz zu den bisherigen Stempeln, ein besseres Nachvollziehen der erhobenen Daten.

4 Material und Methoden

4.1 Verwendete Legierung

Bei der in dieser Studie verwendeten Legierung handelt es sich um Microlit C von der Firma Schütz. (52) Microlit C ist eine aufbrennfähige Cobalt-Chrom Legierung.

4.1.1 Zusammensetzung

Element	Anteil (%)	Element	Anteil (%)
Chrom	30,0	Molybdän	5,0
Eisen	0,7	Nickel	<0,1
Kohlenstoff	0,1	Niob	0,5
Mangan	0,2	Kobalt	Rest

Die Mengenangaben sind Mittelwerte und können geringfügig abweichen. Nach ISO-Norm 6871-1 (13) kann diese Legierung als nickelfrei bezeichnet werden (Grenzwert: 0,1 %).

4.1.2 Physikalische Eigenschaften

Schmelzintervall	1390 – 1450 °C	Vickershärte (nach Guß)	810 HV 10
Gießtemperatur	1450 °C (max. 1490°C)	0,2 % Dehngrenze	550 N/mm ²
WAK	$14,3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (20 – 600 °C)	Bruchdehnung	6%
Dichte	8,2 g/cm ³	Elastizitätsmodul	210 000 N/mm ²

4.1.3 Metallprüfkörper

Für die Untersuchungen werden Metallprüfkörper hergestellt, die das Metallgerüst einer Verblendung imitieren sollen. Diese Metallprüfkörper sind rechteckig mit einer Länge von 20 mm und einer Breite von 15 mm.

Die Metallprüfkörper werden mit der Schleifmaschine und einem Schleifpapier mit 600, 1200 und 4000 Körnung geschliffen um eine glatte und einheitliche Oberfläche zu erhalten.

4.2 Verwendete Verblendsysteme

In diese Studie wurden 4 Verblendsysteme mit einbezogen. Es handelt sich hierbei um 1 Pulver-Opakersystem und 3 Pasten-Opakersysteme.

System	Opakersystem
1. Dialog der Firma Schütz	Paste
2. GC-Gradia der Firma GC	Paste
3. Solidex der Firma Shofu	Paste
4. Sinfony der Firma 3M ESPE	Pulver

4.2.1 Dialog der Firma Schütz

Beim Dialog System handelt es sich um ein Pasten-Opakersystem. Auf die mit dem Rocatec Verfahren (s. 2.1.5) vorbehandelte Metalloberfläche wird das „Sebond Smart“, aufgebracht und darauf geachtet, dass die so behandelte Oberfläche nicht mehr kontaminiert wird. Dieses Bonding-System (bestehend

aus 75 – 100 % Methyl-methacrylat, Schwefel-Methacrylat Derivat, sowie Phosphor-Methacrylat Derivat (48);(51)) stellt den chemischen Verbund zwischen Metalloberfläche und Opaker her.

Anschließend folgt der „Dialog Pastenopaker“ (bestehend aus Methacrylsäureestern, aliphatischem Urethan acrylat, Siliciumdioxid, Farbpigmenten sowie D,L-Campherchinon (< 2,5%). (47);(50))

Zuletzt wird das Verblendmaterial „Dialog“ schichtweise aufgetragen (bestehend aus Bis-GMA, Urethandimethacrylat, 1, 4 – Butandioldimethacrylat, Glaspulver (silanisiert), Splitterpolymerisat aus Vernetzer und silanisierter pyrogener Kieselsäure, Fotoinitiatoren, Stabilisatoren, Pigmenten, Urethandimethacrylat und 1,4-Butandioldimethacrylat (46);(49))

4.2.2 GC-Gradia der Firma GC

Beim System GC-Gradia von GC handelt es sich ebenfalls um ein Pasten-Opakersystem. Nachdem die Metalloberfläche ebenfalls mit dem Rocatec Verfahren behandelt wurde, wird der „GC Metalprimer II“ (bestehend aus > 99 % Thiophosphor-Methacrylat (19);(21)) mit einem Pinsel dünn aufgetragen. Anschließend folgt der „GC- Opaker“ (bestehend Urethane Acrylic Oligomer 5-20 % und anderen Bestandteilen (21)). Abschließend wird der „GC-Gradia“ Verblendkunststoff in Schichttechnik aufgetragen (der aus 10% Ethandiol-1,2-dimethacrylat und 25 % Urethanedimethacrylaten, sowie anderen Bestandteilen besteht (21)).

4.2.3 Solidex der Firma Shofu

Auch das Solidex System ist ein Pasten-Opakersystem. Dieses System unterscheidet sich leicht von den anderen Systemen. Bei diesem System wird

die Oberfläche des Metalls lediglich mit Aluminiumoxid (50 – 100µm Korngröße) abgestrahlt.

Danach folgt der „M.L. Primer“ (bestehend aus Aceton, Phosphorsäuremonomer und Thioctsäure-Monomer (55)) welcher den Kunststoff-Metall-Verbund herstellt. Es folgt der Auftrag des „Solidex Flow Opaque“ (bestehend aus < 5% aus 2-Hydroxy Ethyl-methacrylat, 24-25 % aus Urethan Dimethacrylat und 10-12% aus Silica, sowie anderen Bestandteilen). (57)

Zum Schluss wird noch der „Solidex“ Verblendkunststoff (bestehend aus 14 -15 % Urethanedimethacrylaten sowie 30 - 35 % Silica und anderen Bestandteilen) schichtweise aufgetragen. (56)

4.2.4 Sinfony der Firma 3M ESPE

Das Sinfony System, ist das einzige Pulver-Opakersystem in dieser Studie. Es handelt sich dabei um ein dualhärtendes System, bestehend aus Pulver und Flüssigkeit. Somit wird einerseits eine schnelle Polymerisation via Lichthärtung gewährleistet, andererseits eine vollständige Polymerisation, auch in Schattenbereichen, via chemischer Selbsthärtung. 0

Nach der schon oben erwähnten Vorbehandlung der Metalloberfläche mit dem Rocatec-Verfahren, wird das Haftsilan „3M ESPE Sil“ (bestehend aus >90 % Ethanol + methacryliertem Silan (3);(4)) aufgetragen. Anschließend folgt der Auftrag des Opakers, welcher zuvor 45 sec lang in einem Keramikgefäß mit einem Kunststoffspatel aus den Komponenten Pulver und Flüssigkeit (30 – 40 % Methyl-methacrylat, Quarz (silanisiert), Metallfluorid, Kieselsäure, Initiatoren, Pigmente (3);(6)) angerührt wurde. 0 Anschließend folgt die Verblendung mit dem „Sinfony“ - Verblendkomposit. Es handelt sich hierbei um ein Feinstpartikel-Hybridkomposit, 0 (bestehend aus 10 – 30 % Bis-diacrylat, sowie 10 – 30 % Urethandimethylacrylat, Glaspulver (silanisiert), Glas-Ionomer-Füllstoff, Kieselsäure, Initiatoren, Stabilisatoren, Farbstoffen und Pigmenten (3);(5))

4.3 Verarbeitung der einzelnen Verblendsysteme

Die Systeme wurden alle streng nach Herstellerangaben verarbeitet (siehe Gebrauchsanweisungen). Es wurde bei allen Systemen speziell darauf geachtet, dass nach dem Rocatec Verfahren und dem Auftrag des Haftsilans keine Kontamination der Oberfläche mehr stattfindet. Außerdem wurde eine zügige Verarbeitung angestrebt. Deshalb wurden alle Proben eines Systems innerhalb eines Tages hergestellt.

Einzigste Abweichung zur originalen Gebrauchsanweisung der einzelnen Systeme wurde in Bezug auf die Polymerisationslampe gemacht. Für alle Systeme wurde in dieser Studie das Gerät „Dentacolor XS der Firma Heraeus Kulzer verwendet. Dabei wurden die Polymerisationszeiten (s.u.) entsprechend den Angaben der einzelnen Hersteller verändert.

4.3.1 Polymerisationslampe Dentacolor-XS

Es wurde für alle Polymerisationen das Lichthärtegerät Dentacolor-XS der Firma Haereus Kulzer verwendet. Das Gerät ermöglicht automatisch vorgewählte Polymerisationszeiten von 90s und 180s. Das Gerät deckt einen Wellenlängenbereich von 320 – 520 nm ab und weist eine Energiedichte von 250 mw/cm² auf. (26)

Abbildung 9: Dentacolor XS Lichtpolymerisationsgerät



4.3.2 Polymerisationszeiten der einzelnen Systeme mit Dentacolor XS

Um korrekte Polymerisationszeiten zu erhalten wurde die in der Gebrauchsanweisung empfohlene Polymerisationszeit für die Dentacolor XS Lampe verwendet. Dies war jedoch nur beim System Dialog der Firma Schütz der Fall. Um die korrekten Polymerisationszeiten der anderen 3 Produkte zu ermitteln wurde Kontakt mit den Firmen GC, Shofu und 3M ESPE aufgenommen. Aufgrund telefonischer Anfragen bei den Firmen ergaben sich folgende Polymerisationszeiten für die einzelnen Systeme: (2);(20);(45);(58)

SYSTEM	POLYMERISATIONSZEITEN		
	Opaker	Zwischenpolymerisation	Endpolymerisation
Dialog	90 sec	30 sec	360 sec
GC-Gradia	90 sec	90 sec	360 sec
Solidex	180 sec	90 sec	180 sec
Sinfony	90 sec	90 sec	360 sec

4.4 Herstellung der Prüfkörper

Die in dieser Studie verwendeten Prüfkörper wurden alle in einem einheitlichen Verfahren hergestellt.

Nachdem die Metallplättchen alle, wie unter 4.3.1 beschrieben, abgeschliffen sind um eine einheitliche Oberfläche zu erhalten wurden sie mit dem Rocatec System vorbehandelt. Es wurde darauf geachtet, dass nach dem Sandstrahlen (3 Bar Druck, rechtwinklig zur Metalloberfläche) mit Rocatec Pre (Aluminiumoxid mit 50 - 110 µm Korngröße) und Rocatec Plus (Glaszusatz; SiO₂) die Oberfläche nicht mehr mit dem Finger berührt oder anderweitig kontaminiert wurde.

Nachdem überprüft wurde, dass die Oberfläche frei von Strahlsandrückständen ist, wurde das Haftsilan aufgetragen. Anschließend wurde den Herstellerangaben entsprechend eine gewisse Zeit, zwecks Ablüften des Lösungsmittels, gewartet.

Daraufhin wurde eine Folie aufgebracht, welche die Dicke für die nun folgende Opakerschicht vorgibt.

4.4.1 Folien für die Vorgabe der Opakerschichtstärke

Es wurden Prüfkörper mit insgesamt 3 verschiedenen Opakerschichtstärken hergestellt.

Im Rahmen der Vorversuche, wurde Ermittelt, welche Opakerschichtstärke die Zahntechniker des ZZMK Tübingen durchschnittlich auftragen. Anhand dieser Ergebnisse (s. 5.1.2) wurden 3 verschiedene Folien ausgewählt, die sich bei einer durchschnittlichen Opakerschichtstärke der Zahntechniker des ZZMK Tübingen von 108 - 136 μm , als sinnvollste erwiesen. Dabei wurde Tesafilm, welcher die niedrigste Schichtstärke aufweist, eine Folie mit mittlerer Schichtstärke, die im Bereich der von den Zahntechnikern aufgetragenen Schichtstärken liegt und ein Gewebeklebeband mit großer Schichtstärke verwendet.

Die Schichtstärken der Folien wurden mit Hilfe des Perthometer S6P der Firma Mahr aus Göttingen bestimmt. (38)

Folienschichtstärken (in μm)		
Tesafilm	Folie	Gewebeklebeband
65,67	127,76	240,07

Bevor man die Folie auf den Prüfkörper aufbringt wird mit Hilfe eines Korkbohrers ein Loch von 7 mm Durchmesser eingestanz, in das später der

Opaker gefüllt wird. Der Korkbohrer gibt somit genau die Fläche vor, die später vom Opaker bedeckt wird (38,48 mm²).

Anschließend wird die Folie vorsichtig auf das mit dem Rocatec - Verfahren behandelte Metallplättchen geklebt und mit einem stumpfen Gegenstand vorsichtig am Rand des ausgestanzten Loches nochmals festgedrückt. Zu beachten ist hierbei, dass keinesfalls die Metalloberfläche berührt wird.

Als nächster Schritt wird der Opaker, mit leichtem Überschuss in das Loch der Folie gefüllt. Mit einem geraden Skalpell wird vorsichtig der Überschuss drucklos, im stumpfen Winkel, erst von der einen und dann von der entgegengesetzten Richtung bündig zur Folie abgestrichen, und danach der Opaker nach Herstellerangaben (s. 4.3.2) polymerisiert.

Zum Schluss wird die Folie vorsichtig mit Hilfe des Skalpells entfernt und darauf geachtet die Oberfläche nicht zu berühren oder zu kontaminieren. Die Mitte des Opakerauftrags wird nun, oben sowie unten, mit Filzstift für die nun folgenden Komposit – Schablonen markiert.

Diese Markierungen werden benötigt um die Schablonen so aufzusetzen, dass der Kompositzylinder sich zentral im Opaker befindet.

Die Markierungen sollten möglichst klein sein, und dürfen keinesfalls in den Bereich des Komposit Prüfzylinders reichen, um den Verbund von Opaker und Komposit nicht zu schwächen.

4.4.2 Schablonen für die Herstellung der Komposit Zylinder

Um die Kompositzylinder für den Scherversuch herstellen zu können, wird nun eine Schablone auf den Opaker aufgebracht. Diese Schablone besteht aus zwei Teilen und das zylindrische Loch in das das Komposit eingefüllt wird hat einen Radius von

5 mm.

Abbildung 10: Kompositschablonen



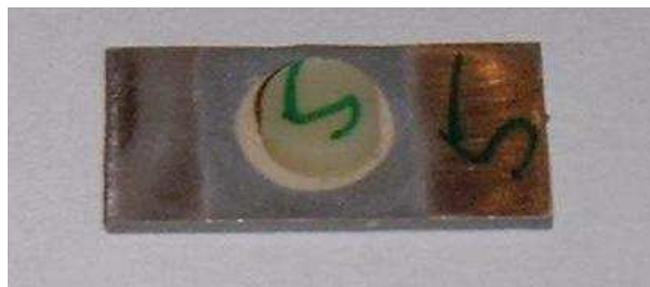
Die Schablonen werden in 2 Schritten auf den Opaker aufgebracht. Zuerst wird eine Hälfte bündig an die Markierungen auf dem Opaker angelegt und mit Hilfe einer Klammer fixiert. Danach wird die zweite Schablonenhälfte via Steckverbindung mit der anderen fest verbunden und auch diese mit einer Klammer fixiert.

Anschließend wird in jede Schablone der für das System empfohlene Verblendkunststoff eingefüllt. Je nach Viskosität des Kunststoffes wird dieser mit einem Stopfer eingebracht oder fließend eingefüllt.

Die Schablone wird in 2 Schichten gefüllt, wobei jede Schicht entsprechend den Herstellerangaben polymerisiert wird.

Man erhält auf diese Art und Weise verblendete Metallprüfkörper, die mit einer Schervorrichtung definiert untersucht werden können.

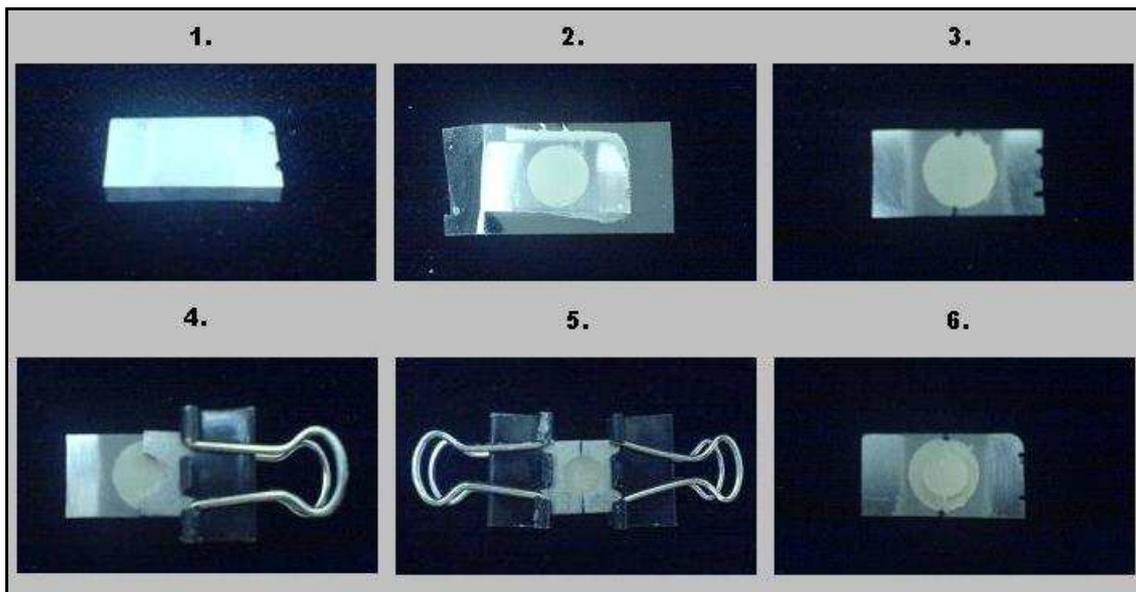
Abbildung 11: Fertiger Prüfkörper



4.4.3 Schematische Darstellung der Arbeitsschritte

Zusammengefasst hier die einzelnen Arbeitsschritte der Prüfkörperherstellung in einer Grafik.

Abbildung 12: Schema Prüfkörperherstellung



Legende:

1. Mit Rocatec behandeltes Metallplättchen
2. Mit Folie und Opaker bestücktes Metallplättchen
3. Markierungsauftrag zur Positionierung der Schablonen
4. Positionierung der einen Schablonehälfte und Fixation mittels Klammer
5. Schablone aufgebracht und mit Komposit gefüllt
6. Fertiger Prüfkörper

4.5 Versuchsdesign

Das Versuchsdesign wurde gegliedert in Vorversuche und Hauptversuche. In den Vorversuchen wurden die Rahmenbedingungen für die Hauptversuche festgelegt und ermittelt, in welchem Bereich die Werte zu erwarten sind.

4.5.1 Vorversuche

In den Vorversuchen wurde in erster Linie geklärt in welchen Parametern sich die Versuchsreihen bewegen. Aufgrund der Ermittelten Werte, wurden dann Rahmenbedingungen für die Hauptversuche geschaffen.

Es wurden Versuche zur Sandstrahltechnik der Metallprüfkörper, zur Ermittlung der normalen von Zahntechnikern des ZZMK Tübingen aufgetragenen durchschnittlichen Opakerschichtstärke, zu den zu erwarteten Haftfestigkeitswerten und zur Reproduzierbarkeit, der im Versuchsdesign angestrebten Opakerschichtstärke gemacht. Aufgrund der Ergebnisse dieser Vorversuche, die in 5.1 detailliert aufgelistet sind, wurden danach die 3 Opakerschichtstärken für die Hauptversuche bestimmt.

4.5.2 Hauptversuche

Der Testumfang erstreckte sich auf insgesamt 144 Prüfkörper, wobei zu jedem Verblendsystem 36 Prüfkörper angefertigt wurden. Diese wurden wiederum in Gruppen von 12 Stück zusammengefasst. Für jedes Verblendsystem wurden somit 12 Prüfkörper für jede Opakerschichtstärke angefertigt. (siehe Schema)

System	Opakerschichtstärke	Probenanzahl
Dialog	Tesa	12
	Folie	12
	Gewebeklebeband	12
GC-Gradia	Tesa	12
	Folie	12
	Gewebeklebeband	12
Solidex	Tesa	12
	Folie	12
	Gewebeklebeband	12
Sinfony	Tesa	12
	Folie	12
	Gewebeklebeband	12

Es konnte auf diese Art und Weise für jedes Verblendsystem gesondert die Haftkraft bei jeder einzelnen Opakerschichtstärke gemessen und Mittelwerte errechnet werden.

Nach Herstellung wurden die Proben dem Thermocycling unterzogen, was einer künstlichen Alterung aufgrund großer Temperatursprünge entspricht. Dabei wurden die Proben 15000 Temperatursprüngen von 5 auf 55 °C unterzogen.

4.6 Thermocycling

Bei diesem Verfahren werden die Prüfkörper längere Zeit wechselnden Temperaturbedingungen ausgesetzt. Dies wird mit Hilfe eines Schwenkarms erreicht, der die Metallprüfkörper abwechselnd zwischen 2 Wasserbädern mit 5°C und 55°C hin und her schwenkt.

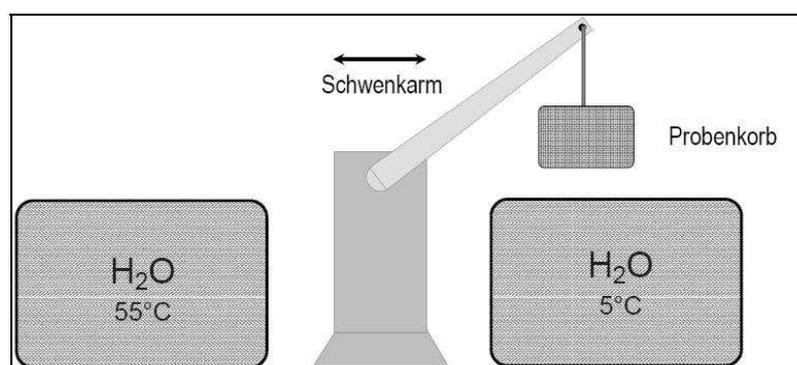
Die Metallprüfkörper verweilen, in Anlehnung an die ISO-Norm „10477“ (14) jeweils 30 Sekunden im Wasserbad, bevor sie der Schwenkarm wieder innerhalb von 5 Sekunden in das jeweils andere Bad wechselt.

Somit wird ein Zyklus (Tauchzeit Warmwasser + Kaltwasser + Transferzeit) innerhalb von 70 Sekunden abgeschlossen. (34)

Mit Hilfe dieses Verfahrens wird eine künstliche Alterung der Prüfkörper erreicht, welche aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Metall und Kunststoff zustande kommt. Dies beansprucht die Prüfkörper sehr stark und simuliert so eine Alterung der Verblendung im Mund. (34)

Die Metallprüfkörper werden insgesamt 15000 Zyklen ausgesetzt, was pro System ca. 16 Tage in Anspruch nimmt. Die ISO-Norm „10477“ (14) gibt nur ein Thermocycling von 5000 Zyklen vor, es wurde jedoch hier bewusst darauf verzichtet, sich nach dieser Vorgabe zu richten, weil 15000 Zyklen eher der Belastung einer Verblendung im Mund entspricht als nur 5000 Zyklen.

Abbildung 13: Thermocycling schematisch (18)



4.7 Schervorrichtung

Diese erfolgt an den oben genannten Metallprüfkörpern (siehe Abbildung 12/6). Bei diesem Prüfprinzip soll der Kunststoff in Richtung der Verbindungsfuge Metall/Kunststoff, also stets parallel zur Metalloberfläche, verschoben bzw. abgeschert werden. Dies geschieht durch Druck auf den Kunststoffanteil.

Als Schervorrichtung diente die Material-Prüfmaschine Z010/TN2A der Firma Zwick (59)

Abbildung 14: Schervorrichtung



Die Prüfkörper wurden in einer speziellen Halterung befestigt und mit einer Feststellschraube festgeklemmt. Die Prüfkörper waren somit fest in der Halterung fixiert. Der Kompositzylinder der abgeschert werden sollte, blieb

jedoch frei, damit der Scherstempel ungehindert ansetzen konnte. Aufgrund der Fixation, war ein Verrutschen der Prüfkörper in der Halterung, während des Schervorgangs nicht möglich, wodurch eine gute Reproduzierbarkeit des Abschervorgangs gewährleistet werden konnte.

Abbildung 15: Halterung mit eingespanntem Prüfkörper



Der Abscherstempel gleitet immer in einem Abstand von 0,5 mm an der Metalloberfläche vorbei. Dies ist nötig um Drehmomente möglichst gering zu halten bzw. zu vermeiden. Diese würden unweigerlich entstehen, wenn der Stempel mit größerem Abstand zur Metalloberfläche gleiten würde. Der definierte Abstand von 0,5 mm wurde in Anlehnung an die ISO-Norm „10477“ (14) gewählt.

Der Vorschubgeschwindigkeit des Stempels wird elektronisch gesteuert und wurde wie in ISO-Norm „10477“ gefordert auf 1 mm/min festgesetzt. Bei Kraftabfall wurde der gemessene Wert automatisch in einem Maximalwertspeicher festgehalten. Die so gemessenen Daten wurden danach grafisch und tabellarisch von einem PC dargestellt.

Abbildung 16: Anordnung Probenhalterung und Scherstempel

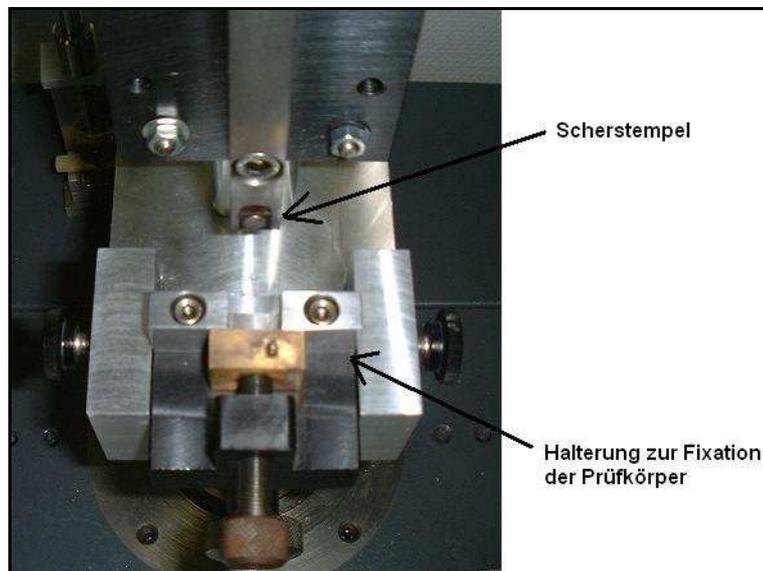
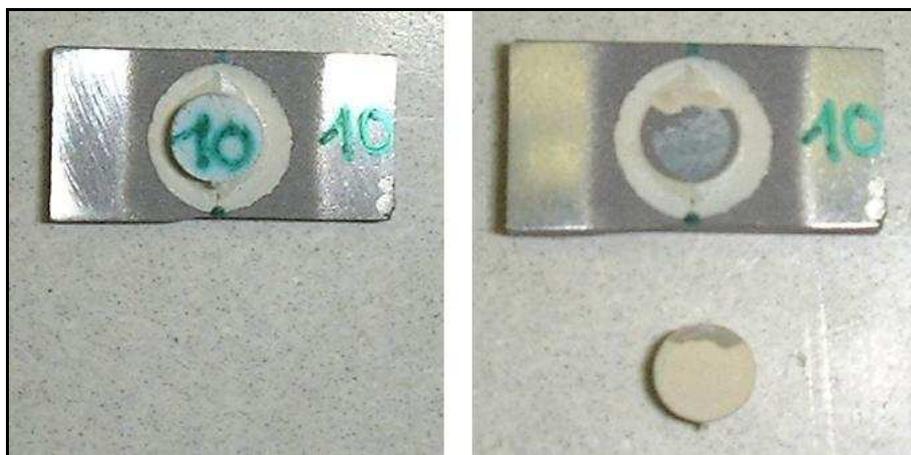


Abbildung 17: Prüfkörper vor und nach Abscheren

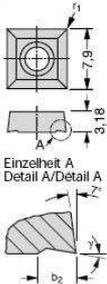


4.7.1 Scherstempel Design

In dieser Studie wurde ein neuartiges Stempeldesign im Scherversuch verwendet. Bisher kamen bei den Scherversuchen immer nur ungenormte Scherstempel, mit unterschiedlichen Winkeln des Scherstempels, zum Einsatz, was ein Nachvollziehen der gemessenen Daten sehr erschwert hat.

Aus diesem Grund wurde hier ein genormter Scherstempel eingesetzt. Es handelt sich dabei um eine Wendeschneideplatte der Firma Wohlhaupter mit einem genormten Spanwinkel von 10°.

Abbildung 18: Datenblatt; Wendeschneideplatte (Firma Wohlhaupter)

Form 111 form forme 	Wendeschneidplatten nach DIN 4967 Replaceable inserts to DIN 4967 Plaquettes suivant norme DIN 4967			Hartmetalle Carbide grades Carbures			Cermet Cermet Cermet		
	Spanwinkel Cutting angle Angle de coupe			DIN-Bezeichnung DIN-Code Désignation DIN			Best.-Nr. Order Number No de cde.		
	b_2	γ	r_1	SCGT 07 03 04 FN-61	097 592	WHC 25			

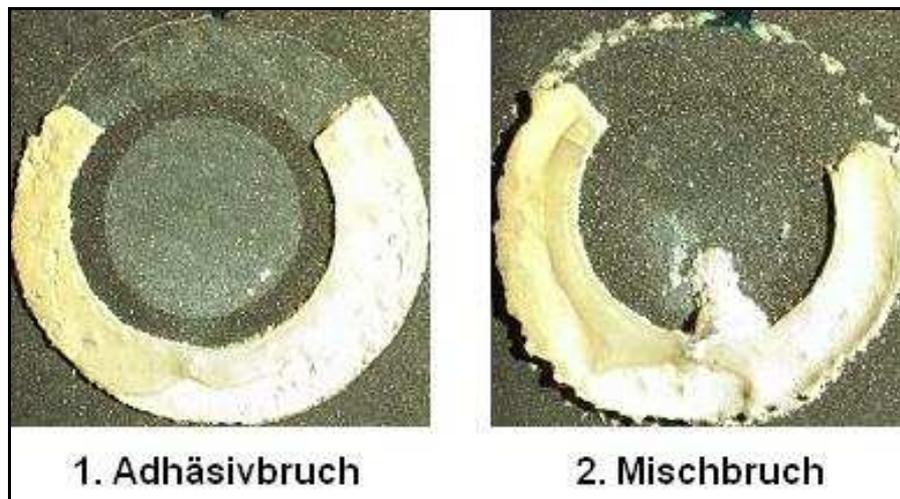
4.8. Bruchflächenanalyse

Die Metallprüfkörper wurden nach dem Abscheren qualitativ und quantitativ beurteilt. Es wurde hierbei der Bruchmodus untersucht. Dieser konnte in 3 Formen auftreten:

1. Adhäsiv:	Bruch verläuft zwischen Metall und Opaker
2. Kohäsiv:	Bruch verläuft im Kunststoff
3. Mischform:	Mischbruch aus den beiden erstgenannten

Hier ein Beispiel für einen Adhäsivbruch und einen Mischbruch. In den in dieser Studie gemachten Versuchen wurde kein reiner Kohäsivbruch beobachtet.

Abbildung 19: Unterschiede Adhäsiv- und Mischbruch



Außerdem wurde die Abbruchfläche des Zylinders genau vermessen um die Kraft pro Fläche bestimmen zu können. Dies wurde mit Hilfe des Photomakroskops M400 der Firma Wild/Heerbrugg mit einer Vergrößerung von 6.3 und der Software Image Pro Plus (Ver. 4.5.0.1.9) der Firma Media Cybernetics, erreicht.

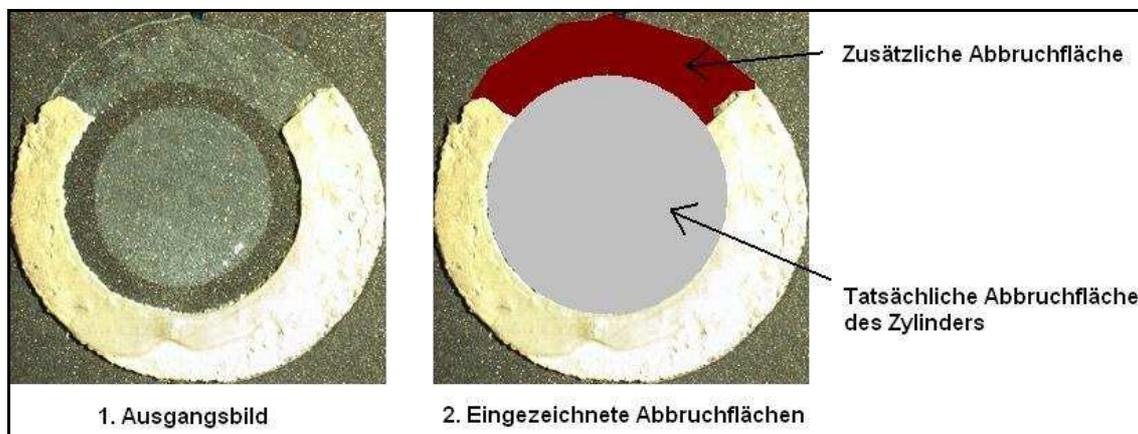
Abbildung 20: Photomakroskop Typ M400 (Wild/Heerbrugg)



Es war somit möglich mit Hilfe des PC's, die tatsächliche Abbruchfläche des vom Zylinder bedeckten Bereichs, sowie die Zusatzabbruchfläche elektronisch zu bestimmen.

Das folgende Bild soll zum besseren Verständnis der Grenzen, sowie Ausdehnungen der einzelnen Bruchflächen dienen:

Abbildung 21: Abbruchflächenerläuterung



4.9 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurde zum einen das Excelprogramm der Firma Microsoft, zum anderen das Programm Origin der Firma Microcal Software in der Version 6.0 verwendet.

Mit Hilfe des Excel Programms wurden sämtliche Tabellen erstellt, sowie die Mittelwerte und Standardabweichung errechnet. Das Programm Origin wurde verwendet um Diagramme der Daten auf Basis der Excel Tabellen zu erstellen. Weiterhin wurde Origin verwendet um die Statistik der S1 Werte zu erstellen.

Es wurde hierbei ein unabhängiger T-Test durchgeführt, dessen Ergebnisse unter 5.2.6 tabellarisch zu finden sind.

Bei den Berechnungen werden die S1 Werte (N/mm^2 bezogen auf 5mm Durchmesser der tatsächlich vom Prüfzylinder bedeckten Fläche) der einzelnen Schichtstärken miteinander verglichen. Es wird der p-Wert der beiden Vergleichsschichtstärken errechnet und aufgrund dessen, und einem Signifikanz-Niveau von 0,05, bestimmt ob sich die Werte signifikant unterscheiden oder nicht. Ist der p-Wert kleiner als 0.05 ist dies der Fall, ist er größer, unterscheiden sich die S1 Werte der zu vergleichenden Schichtstärken nicht signifikant.

5 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Versuche strukturiert dargelegt. Es werden zuerst die Ergebnisse der Vorversuche dargestellt und im Anschluss die Abscherergebnisse der Hauptversuche.

5.1 Vorversuche

Im Folgenden werden die Ergebnis der Vorversuche dargestellt. In den Vorversuchen wurde in erster Linie geklärt in welchen Parametern sich die Versuchsreihen bewegen.

Hierzu wurden, mit Hilfe eines Rasterelektronen-mikroskop, Versuche durchgeführt um zu klären, ob es einen Unterschied macht, mit welchem Winkel (90° oder 45°) die Metalloberfläche sandgestrahlt wird.

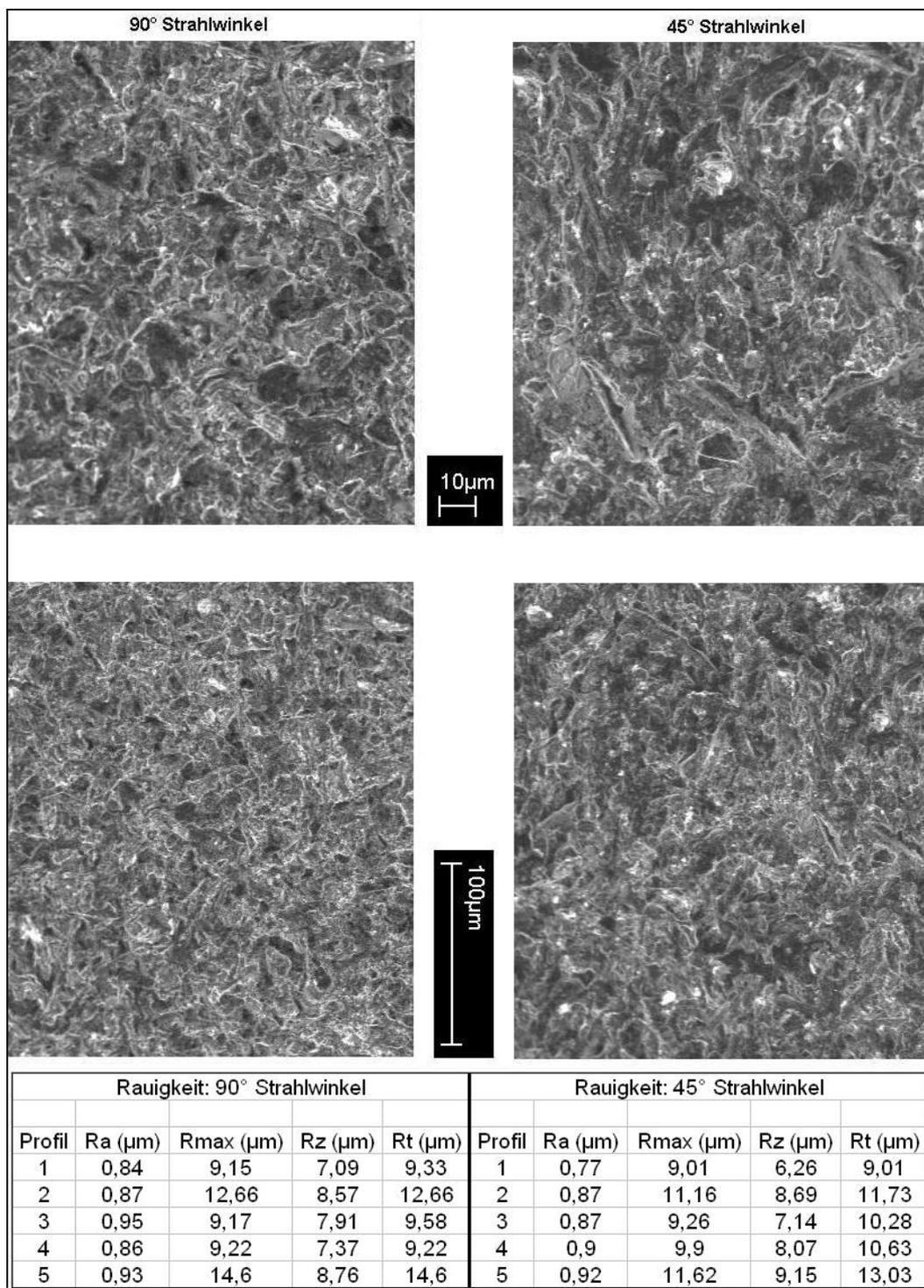
Weiterhin wurde untersucht welche durchschnittliche Opakerschichtstärke von 5 Zahntechnikern des ZZMK Tübingen auf das Metall aufgetragen wird um anhand dieser Daten geeignete Folienschichtstärken bestimmen zu können.

Die Folienschichtstärken für die Hauptversuche wurden danach im Rahmen der Vorversuche genau bestimmt festgelegt. Ein weiterer wichtiger Punkt war es zu ermitteln ob die gewählten 3 Folienschichtstärken in der Praxis auch wirklich reproduzierbar sind.

Zum Schluss wurde untersucht, welche Kräfte beim Abscheren der Kompositzylinder vom Metallprüfkörper zu erwarten sind.

5.1.1 Vergleich der Sandstrahlwinkel im REM

Abbildung 22: Vergleich der Strahlwinkel im REM



Es zeigte sich hierbei im REM kein Unterschied zwischen den beiden Strahlwinkeln.

5.1.2 Ermittlung der Folienschichtstärken

Im ersten Schritt wurden anhand von 5 Plättchen die durchschnittlichen Opakerschichtstärken von jedem einzelnen System, beim Auftrag durch einen Zahntechniker gemessen.

Tabelle 1: Ergebnisse der durchschnittlichen Opakerschichtstärken der 5 Zahntechniker (Plättchen 1 – 5) des ZZMK Tübingen

Plättchen 1				
Opaker	Gradia (µm)	Sinfony (µm)	Solidex (µm)	Dialog (µm)
Profil 1	91,38	51,86	109,65	128,55
Profil 2	199,37	59,19	112,82	202,3
Profil 3	279,12	64,56	119,94	252,6
Profil 4	156,9	82,76	135,11	298,3
Profil 5	46,9	1,21	139,53	377,1
x	154,734	51,916	123,41	251,77
s	90,98	30,56	13,33	94,21

Plättchen 2				
Opaker	Gradia (µm)	Sinfony (µm)	Solidex (µm)	Dialog (µm)
Profil 1	134,49	163,01	146,8	102,72
Profil 2	171,41	169,86	113,79	111,49
Profil 3	146,11	128,59	98,67	127,68
Profil 4	153,69	129,72	93,42	205,27
Profil 5	242,62	176,58	105,7	252,09
x	169,664	153,552	111,68	159,85
s	42,93	22,79	21,07	65,59

Plättchen 3				
Opaker	Gradia (µm)	Sinfony (µm)	Solidex (µm)	Dialog (µm)
Profil 1	60,33	62,89	201,36	53,61
Profil 2	106,81	118,69	152,43	96,32
Profil 3	103,76	117,44	155,29	46,79
Profil 4	102,41	120,59	144,05	79,93
Profil 5	203,71	280,87	147,2	102,04
x	115,404	140,096	160,07	75,74
s	52,94	82,36	23,50	24,80

Plättchen 4				
Opaker	Gradia (µm)	Sinfony (µm)	Solidex (µm)	Dialog (µm)
Profil 1	61,96	78,85	94,41	49,96
Profil 2	64,56	118,64	122,49	57,98
Profil 3	92,23	139,75	119,03	55,98
Profil 4	108,93	185,83	118,68	67,32
Profil 5	144,61	160,17	110,2	113,54
x	94,458	136,648	112,96	68,96
s	34,20	40,76	11,31	25,69

Plättchen 5				
Opaker	Gradia (µm)	Sinfony (µm)	Solidex (µm)	Dialog (µm)
Profil 1	99,55	75,49	136,21	62,87
Profil 2	108,25	44,16	164,27	47,17
Profil 3	110,71	61,06	185,99	49
Profil 4	110,08	47,56	175,98	88,85
Profil 5	110,22	60,43	186,99	59,24
x	107,762	57,74	169,89	61,43
s	4,68	12,46	20,94	16,71

Durchschnittswerte Plättchen 1 - 5				
Opaker	Gradia (µm)	Sinfony (µm)	Solidex (µm)	Dialog (µm)
x	128,40	107,99	135,60	123,55
s	32,18	48,98	27,42	81,98

Abbildung 23: Beispiel-Opakerauftrag eines Zahntechnikers des ZZMK

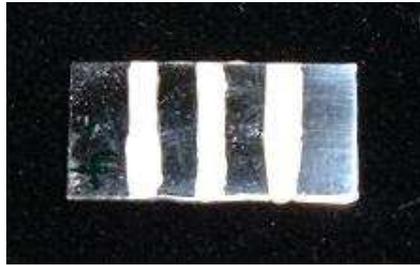
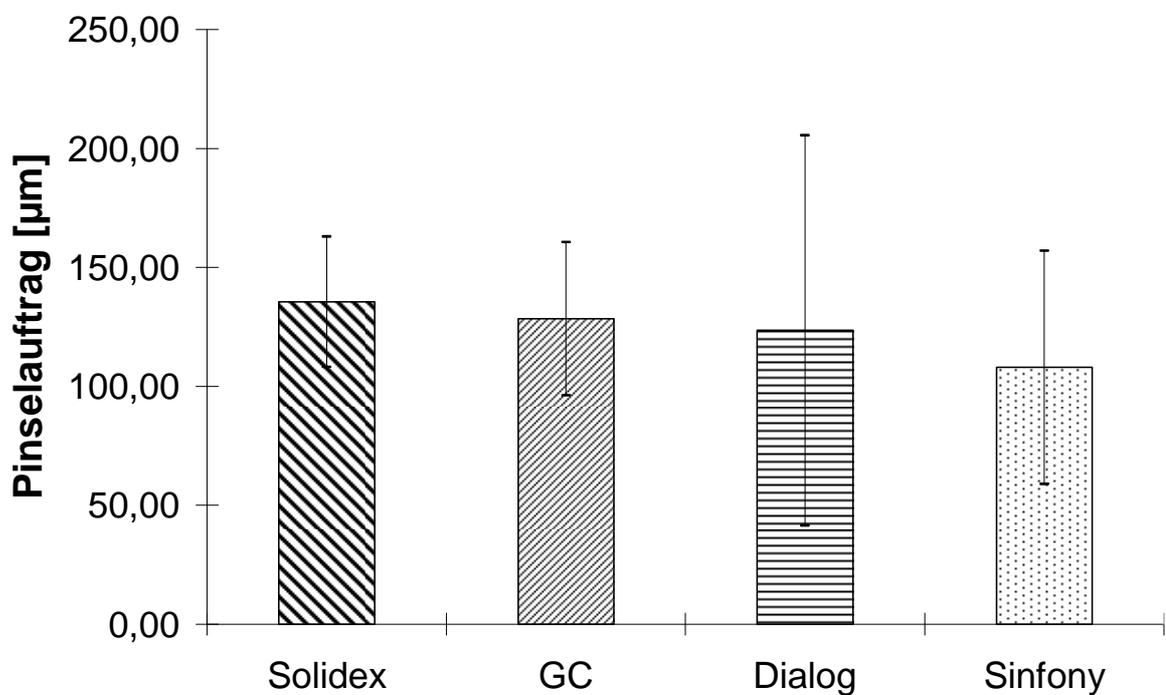


Diagramm 1: Grafische Darstellung der durchschnittlichen Opakerschichtstärke



Die Versuche zeigten, dass sich die durchschnittlichen vom Zahntechniker aufgetragenen Opakerschichtstärken im Bereich von ca. 105 – 140 µm bewegten.

Anhand der oben gewonnenen Daten wurden dann 3 Folien ausgewählt, die einen Bereich von 65 – 240 µm abdecken, um eine zu den Vergleichswerten möglichst dünne, sowie möglichst dicke Opakerschicht zu erreichen, sowie eine die möglichst bei den ermittelten Durchschnittswerten liegt.

Tabelle 2: Mittelwerte der Opakerschichtstärken nach Vermessung im Perthometer

Folienschichtstärken (in μm)			
	Tesafilm	Folie	Gewebeklebeband
Profil 1	66,09	126,03	240,23
Profil 2	63,74	123,51	240,65
Profil 3	69,85	127,7	240,54
Profil 4	68,8	131,43	239,29
Profil 5	59,87	130,11	239,63
x	65,67	127,76	240,068

5.1.3 Versuch zur Reproduzierbarkeit der Opakerschichtstärken

Bei diesen Versuchen wurden die Durchschnittswerte, der mit Hilfe der Folien aufgetragenen Opakerschichten vermessen. Dabei wurde sowohl die ganze Fläche, als auch bei jeweils einem System (außer der Folie mit 0,128 mm; hier wurden 2 Systeme vermessen) die mittleren 5 mm, die vom Zylinder später auch bedeckt sind betrachtet. Es zeigte sich hierbei, dass der Opaker zum Rand der Fläche hin immer dicker wurde, weshalb eine mit Opaker beschichtete Fläche von 7mm Durchmesser gewählt wurde um diesem Effekt entgegen zu wirken.

Tabelle 3: Reproduzierbarkeit der Opakerschichtstärken bei 3 ausgewählten Folien

Folienstärke 0,066 mm				Mittlere 5 mm	
Schichtstärke (μm)	GC	Solidex	Dialog	Schichtstärke (μm)	GC
Profil 1	111,1	98,51	101,27	Profil 1	53,24
Profil 2	112,68	86,95	110,63	Profil 2	52,2
Profil 3	104,63	90,76	123,17	Profil 3	66,6
Profil 4	88,03	85,89	117,37	Profil 4	64,2
Profil 5	78	77,03	122,46	Profil 5	59,1
x	98,89	87,83	114,98	x	59,07

Folienstärke 0,128 mm					Mittlere 5 mm		
Schichtstärke (µm)	Sinfony	GC	Solidex	Dialog	Schichtstärke (µm)	Sinfony	GC
Profil 1	155,66	136,31	156,24	132,29	Profil 1	91,5	88,2
Profil 2	145,43	136,17	150,17	133,82	Profil 2	100,2	103,8
Profil 3	124,38	150,05	148,56	132,98	Profil 3	67,2	102
Profil 4	149,18	128,73	142,97	134,65	Profil 4	95,4	97,2
Profil 5	133,07	133,3	145,2	136,29	Profil 5	91,4	82
x	141,54	136,91	148,63	134,01	x	89,14	94,64

Folienstärke 0,24 mm				Mittlere 5 mm	
Schichtstärke (µm)	GC	Solidex	Dialog	Schichtstärke (µm)	GC
Profil 1	258,32	269,37	242,7	Profil 1	242,2
Profil 2	270,63	270,33	237,83	Profil 2	259
Profil 3	282,05	271,14	243,29	Profil 3	241,2
Profil 4	280,88	272,72	237,99	Profil 4	248,6
Profil 5	251,12	273,37	239,5	Profil 5	248,2
x	268,6	271,386	240,262	x	247,84

5.1.4 Versuch zur Ermittlung der zu erwarteten Abscherkräfte

Es wurden Test-Prüfkörper hergestellt um zu ermitteln welche Kräfte beim Abscheren zu erwarten sind. Es wurden hierbei die Verbundsysteme Dialog von Schütz und Sinfony von 3M ESPE verwendet. Hierbei wurden je 2 Opakerschichtstärken untersucht, wobei auf das Thermocycling der Prüfkörper in den Vorversuchen aus Zeitgründen bewusst verzichtet wurde.

Tabelle 4: Maximale Abrisskraft: Fmax und Maximale Scherspannung S in N/mm² (bezogen auf 19,63 mm² -> 5mm Durchmesser) ermittelt für das System Dialog

A: Dialog:

Folienschichtstärke 66 µm		
	Fmax in N	S in N/mm ²
Probe 1	284,47	14,49
Probe 2	302,81	15,42
Probe 3	322,32	16,42
Probe 4	337,27	17,18
Probe 5	299,2	15,24
x	309,21	15,75
s	20,69	1,05

Folienschichtstärke 240 µm		
	Fmax in N	S in N/mm ²
Probe 1	102,58	5,23
Probe 2	140,56	7,16
Probe 3	146,32	7,45
Probe 4	145,71	7,42
Probe 5	98,93	5,04
x	126,82	6,46
s	23,93	1,22

Tabelle 5: Maximale Abrisskraft: Fmax und Maximale Scherspannung in N/mm² (bezogen auf 19,63 mm² -> 5mm Durchmesser) ermittelt für das System Sinfony

B: Sinfony:

Folienschichtstärke 66 µm		
	Fmax in N	S in N/mm ²
Probe 1	438,31	22,33
Probe 2	435,01	22,16
Probe 3	458,34	23,34
Probe 4	436,94	22,26
x	442,15	22,52
s	10,88	0,55

Folienschichtstärke 240 µm		
	Fmax in N	S in N/mm ²
Probe 1	406,74	20,72
Probe 2	331,08	16,87
Probe 3	414,77	21,13
x	384,20	19,57
s	46,18	2,35

Diagramm 2: F_{max} [N] Werte für 66 μ m und 240 μ m von Sinfony und Dialog im Scherversuch

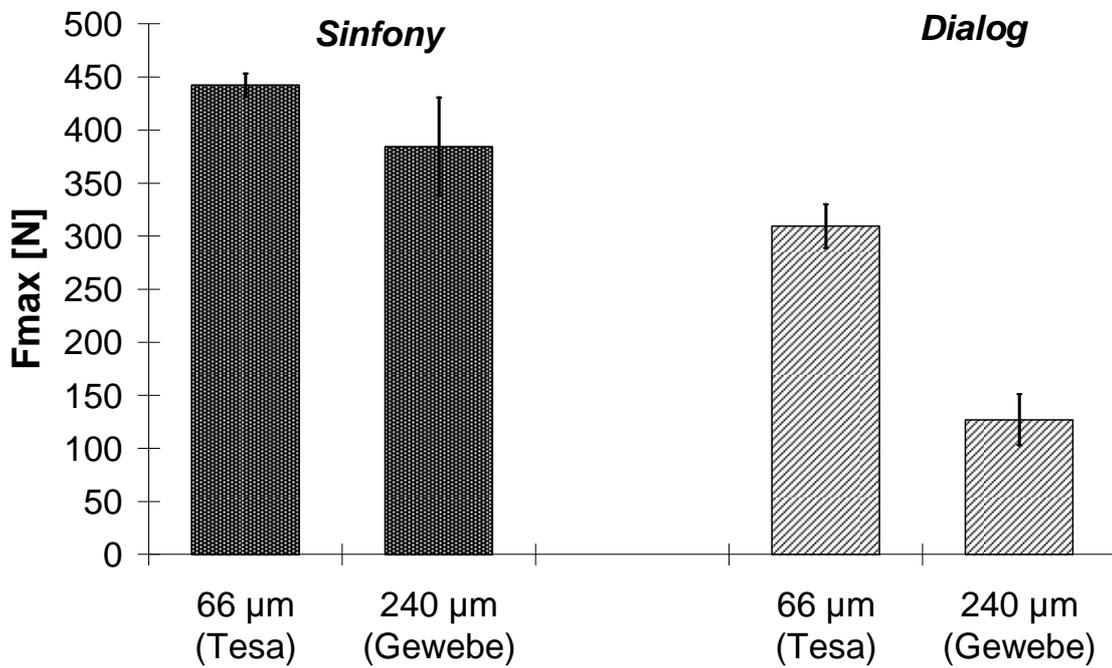
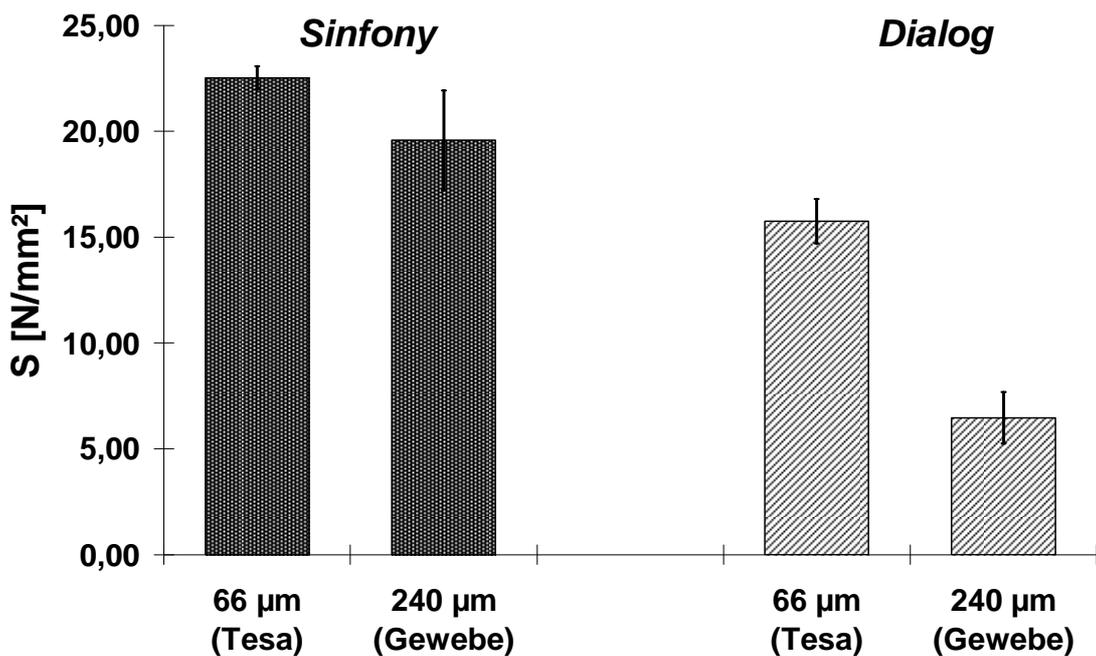


Diagramm 3: Schematische Darstellung von S [N/mm²] (bezogen auf 19,63 mm²) für 66 μ m und 240 μ m Schichtstärke von Sinfony und Dialog im Scherversuch



Man konnte bei diesen Versuchen Haftfestigkeitsunterschiede zwischen den Systemen erkennen. Außerdem wurde ersichtlich, dass Maximale Kraftwerte bis um die 450 N vorkommen können. Es war außerdem ein Abfall der Kraft in Richtung größerer Schichtstärken zu beobachten. Die Versuche zeigten weiterhin, dass die von der ISO-Norm 10477 (14) geforderten 5 N/mm² Haftfestigkeit von allen untersuchten System erreicht wurden.

5.2 Hauptversuche

Nun werden die Abscherergebnisse tabellarisch und graphisch dargestellt.

Für ein besseres Verständnis der Abkürzungen hier eine Legende:

S1: [N/mm ²] bezogen auf 5 mm Durchmesser
S2: [N/mm ²] bezogen auf A2
S3: [N/mm ²] bezogen auf A2 + A3
A1: Theoretisch vom Zylinder bedeckte Fläche (19,635 mm ²)
A2: Gemessene Abbruchfläche des Zylinders
A3: Gemessene zusätzliche Abbruchfläche

5.2.1 Scherfestigkeit des Verbundsystems Dialog der Firma Schütz

Tabelle 6: Ergebnisse für das Verbundsystem Dialog für die Opakerschichtstärken 66µm, 128 µm und 240µm nach 15000 Zyklen Thermocycling.

TESAFILM (65,67 µm)

	F[N]	S1[N/mm ²]	A2	S2[N/mm ²]	A3	A2+A3	S3[N/mm ²]
P1	356,89	18,18	30,92	11,54	17,27	48,19	7,41
P2	427,98	21,80	33,62	12,73	10,29	43,91	9,75
P3	346,58	17,65	33,4	10,38	13,37	46,77	7,41
P4	323,02	16,45	30,58	10,56	0	30,58	10,56
P5	390,76	19,90	30,55	12,79	0	30,55	12,79
P6	327,36	16,67	34,56	9,47	16,08	50,64	6,46
P7	127,65	6,50	33,86	3,77	15,94	49,80	2,56
P8	156,96	7,99	32,94	4,77	14,81	47,75	3,29
P9	315,29	16,06	33,62	9,38	0	33,62	9,38
P10	368,88	18,79	31,58	11,68	0	31,58	11,68
P11	385,6	19,64	32,94	11,71	11,03	43,97	8,77
P12	319,63	16,28	30,48	10,49	8,28	38,76	8,25
x	320,55	16,33		9,94		41,34	8,19
s	89,99	4,58		2,87		7,88	3,06

FOLIE (127,76 µm):

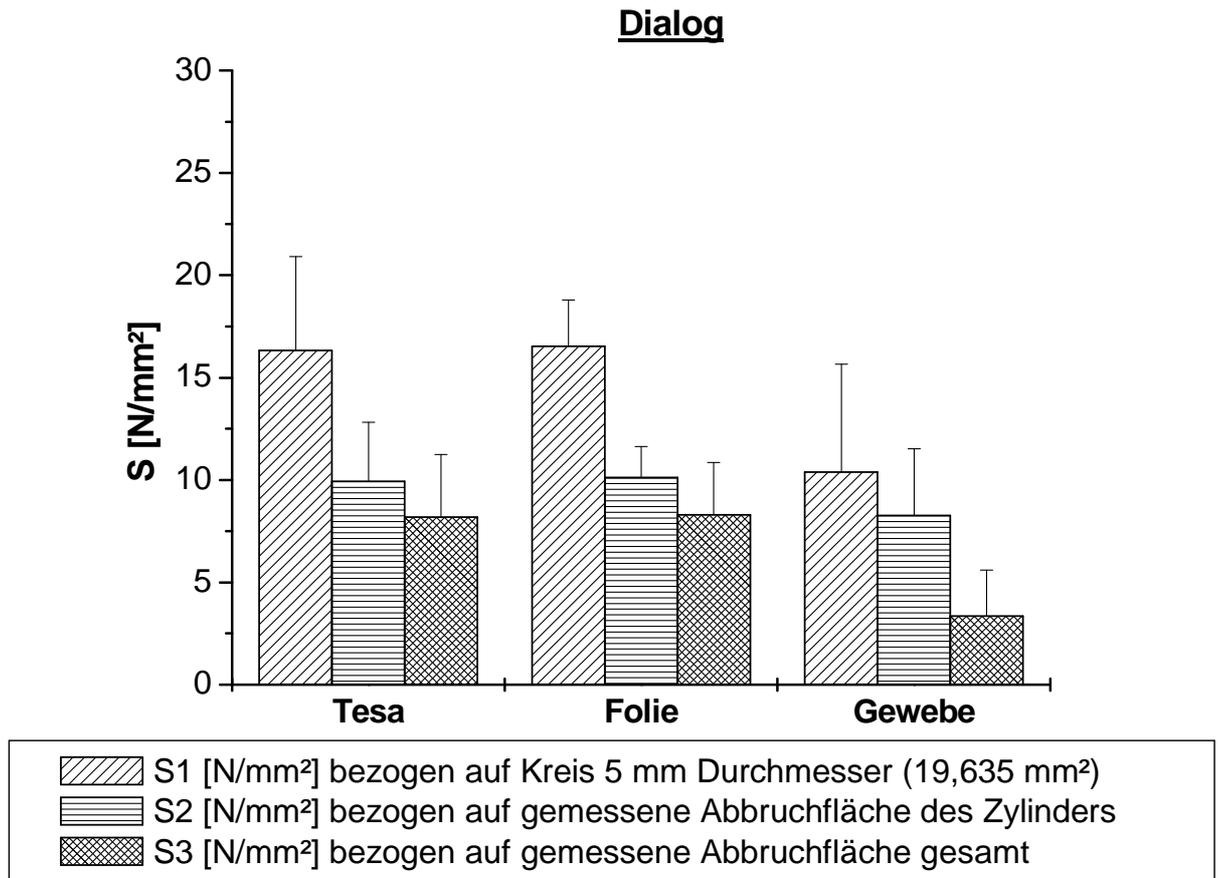
	F[N]	S1[N/mm ²]	A2	S2[N/mm ²]	A3	A2+A3	S3[N/mm ²]
P1	322,81	16,44	30,48	10,59	21,12	51,60	6,26
P2	360,24	18,35	33,62	10,72	0	33,62	10,72
P3	342,84	17,46	30,92	11,09	0	30,92	11,09
P4	342,24	17,43	33,62	10,18	17,47	51,09	6,70
P5	367,16	18,70	33,39	11,00	15,72	49,11	7,48
P6	326,89	16,65	29,83	10,96	0	29,83	10,96
P7	362,05	18,44	31,58	11,46	0	31,58	11,46
P8	319,89	16,29	31,81	10,06	14,23	46,04	6,95
P9	306,82	15,63	32,03	9,58	13,95	45,98	6,67
P10	196,72	10,02	33,63	5,85	16,18	49,81	3,95
P11	329,08	16,76	30,26	10,88	0	30,26	10,88
P12	314,69	16,03	34,79	9,05	12,83	47,62	6,61
x	324,29	16,52		10,12		41,46	8,31
s	44,67	2,27		1,51		9,21	2,54

GEWEBEKLEBEBAND (240,068 µm):

	F[N]	S1[N/mm ²]	A2	S2[N/mm ²]	A3	A2+A3	S3[N/mm ²]
P1	92,82	4,73	34,79	2,67	32,77	67,56	1,37
P2	64,11	3,27	0,00		80,58	80,58	0,80
P3	147,35	7,50	0,00		80,73	80,73	1,83
P4	156,89	7,99	33,40	4,70	37,48	70,88	2,21
P5	142,15	7,24	0,00		77,8	77,80	1,83
P6	96,47	4,91	0,00		86,01	86,01	1,12
P7	179,32	9,13	0,00		82,37	82,37	2,18
P8	271,58	13,83	29,93	9,07	21,56	51,49	5,27
P9	317,99	16,20	29,82	10,66	22,23	52,05	6,11
P10	316,44	16,12	32,48	9,74	29,63	62,11	5,09
P11	322,85	16,44	32,71	9,87	27,75	60,46	5,34
P12	343,26	17,48	30,7	11,18	17,53	48,23	7,12
x	204,27	10,40		8,27		68,36	3,36
s	103,17	5,25		3,26		13,36	2,24

Bei der Schichtstärke von 240 µm zeigte sich bei einigen Prüfkörpern der Fall, dass A2 Null war. Dies war mit der Tatsache begründet, dass der komplette Opakerkreis mit dem Kompositzylinder abgeschert wurde, was zur Folge hatte, dass A3 sehr groß wurde und A2 aufgrund des kompletten Ablösens des Opakers nicht mehr messbar war.

Diagramm 4: Schematische Darstellung von S [N/mm²] bezogen auf S1; S2; S3 für 66µm, 128µm und 240µm Schichtstärke von Dialog im Scherversuch nach 15000 Zyklen Thermocycling



5.2.2 Scherfestigkeit des Verbundsystems GC-Gradia der Firma GC

Tabelle 7: Ergebnisse für das Verbundsystem GC-Gradia für die Opakerschichtstärken 66µm, 128 µm und 240µm nach 15000 Zyklen Thermocycling

TESAFILM (65,67 µm):

	F[N]	S1[N/mm ²]	A2	S2[N/mm ²]	A3	A2+A3	S3[N/mm ²]
P1	356,69	18,17	34,10	10,46	9,98	44,08	8,09
P2	422,37	21,51	30,04	14,06	10,73	40,77	10,36
P3	361,64	18,42	32,71	11,06	7,44	40,15	9,01
P4	327,38	16,67	30,70	10,66	10,98	41,68	7,85
P5	432,00	22,00	32,26	13,39	7,34	39,60	10,91
P6	374,14	19,05	30,26	12,36	9,45	39,71	9,42
P7	441,02	22,46	32,26	13,67	0,00	32,26	13,67
P8	450,61	22,95	29,61	15,22	12,98	42,59	10,58
P9	480,01	24,45	34,56	13,89	7,32	41,88	11,46
P10	424,90	21,64	34,36	12,37	11,58	45,94	9,25
P11	424,52	21,62	30,48	13,93	6,39	36,87	11,51
P12	423,23	21,55	33,17	12,76	9,80	42,97	9,85
x	409,88	20,87		12,82		40,71	10,16
s	44,77	2,28		1,49		3,55	1,62

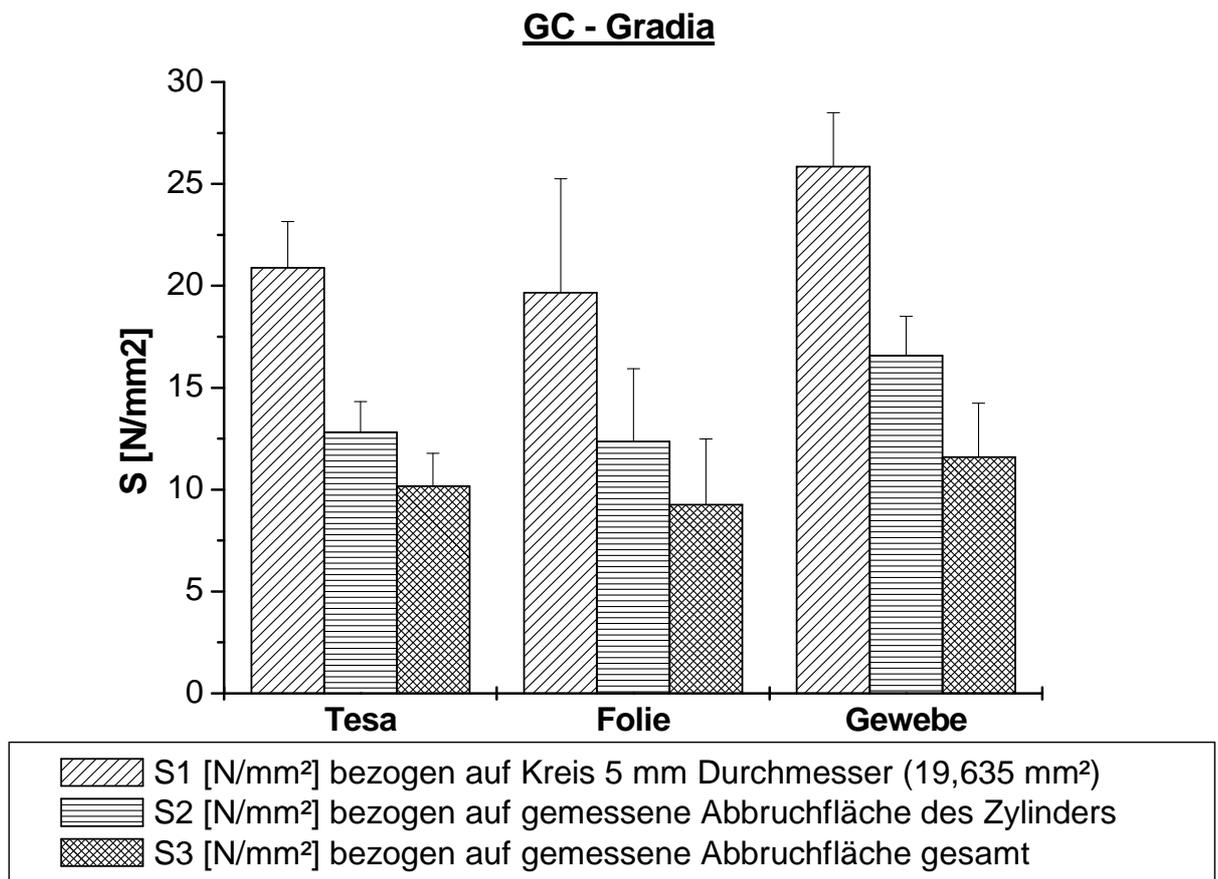
FOLIE (127,76 µm):

	F[N]	S1[N/mm ²]	A2	S2[N/mm ²]	A3	A2+A3	S3[N/mm ²]
P1	443,52	22,59	30,48	14,55	13,52	44,00	10,08
P2	415,32	21,15	32,94	12,61	13,24	46,18	8,99
P3	401,78	20,46	31,14	12,90	16,76	47,90	8,39
P4	412,05	20,99	32,48	12,69	0,00	32,48	12,69
P5	436,51	22,23	29,39	14,85	13,56	42,95	10,16
P6	394,78	20,11	31,81	12,41	9,98	41,79	9,45
P7	375,18	19,11	30,04	12,49	15,46	45,50	8,25
P8	45,91	2,34	32,94	1,39	17,07	50,01	0,92
P9	393,79	20,06	30,26	13,01	15,47	45,73	8,61
P10	451,34	22,99	32,94	13,70	14,97	47,91	9,42
P11	430,41	21,92	29,39	14,64	0,00	29,39	14,64
P12	432,60	22,03	32,71	13,23	12,67	45,38	9,53
x	386,10	19,66		12,37		43,27	9,26
s	109,53	5,58		3,57		6,21	3,22

GEWEBEKLEBEBAND (240,068 µm):

	F[N]	S1[N/mm ²]	A2	S2[N/mm ²]	A3	A2+A3	S3[N/mm ²]
P1	475,84	24,23	29,61	16,07	19,35	48,96	9,72
P2	506,90	25,82	30,92	16,39	16,35	47,27	10,72
P3	534,57	27,23	31,58	16,93	2,58	34,16	15,65
P4	538,70	27,44	29,83	18,06	17,18	47,01	11,46
P5	515,62	26,26	31,36	16,44	4,81	36,17	14,26
P6	550,60	28,04	30,04	18,33	19,67	49,71	11,08
P7	590,30	30,06	29,61	19,94	19,10	48,71	12,12
P8	480,09	24,45	29,61	16,21	0,00	29,61	16,21
P9	418,44	21,31	29,39	14,24	26,05	55,44	7,55
P10	415,04	21,14	33,17	12,51	16,27	49,44	8,39
P11	531,48	27,07	29,82	17,82	18,07	47,89	11,10
P12	534,10	27,20	33,40	15,99	15,14	48,54	11,00
x	507,64	25,85		16,58		45,24	11,60
s	52,23	2,66		1,93		7,64	2,64

Diagramm 5: Schematische Darstellung von S [N/mm²] bezogen auf S1; S2; S3 für 66µm, 128µm und 240µm Schichtstärke von GC-Gradia im Scherversuch nach 15000 Zyklen Thermocycling



5.2.3 Scherfestigkeit des Verbundsystems Solidex der Firma Shofu

Tabelle 8: Ergebnisse für das Verbundsystem Solidex für die Opakerschichtstärken 66µm, 128 µm und 240µm nach 15000 Zyklen Thermocycling

TESAFILM (65,67 µm):

	F[N]	S1[N/mm ²]	A2	S2[N/mm ²]	A3	A2+A3	S3[N/mm ²]
P1	124,58	6,34	29,83	4,18	12,75	42,58	2,93
P2	118,05	6,01	34,56	3,42	13,55	48,11	2,45
P3	106,91	5,44	30,04	3,56	12,12	42,16	2,54
P4	98,27	5,00	29,61	3,32	12,11	41,72	2,36
P5	106,01	5,40	34,09	3,11	16,39	50,48	2,10
P6	133,61	6,80	31,81	4,20	16,07	47,88	2,79
P7	159,36	8,12	30,92	5,15	21,60	52,52	3,03
P8	174,32	8,88	30,70	5,68	18,19	48,89	3,57
P9	109,58	5,58	33,40	3,28	10,81	44,21	2,48
P10	180,08	9,17	33,17	5,43	15,22	48,39	3,72
P11	134,60	6,86	29,18	4,61	15,10	44,28	3,04
P12	149,60	7,62	32,71	4,57	14,85	47,56	3,15
x	132,91	6,77		4,21		46,57	2,85
s	27,56	1,40		0,89		3,49	0,49

FOLIE (127,76 µm):

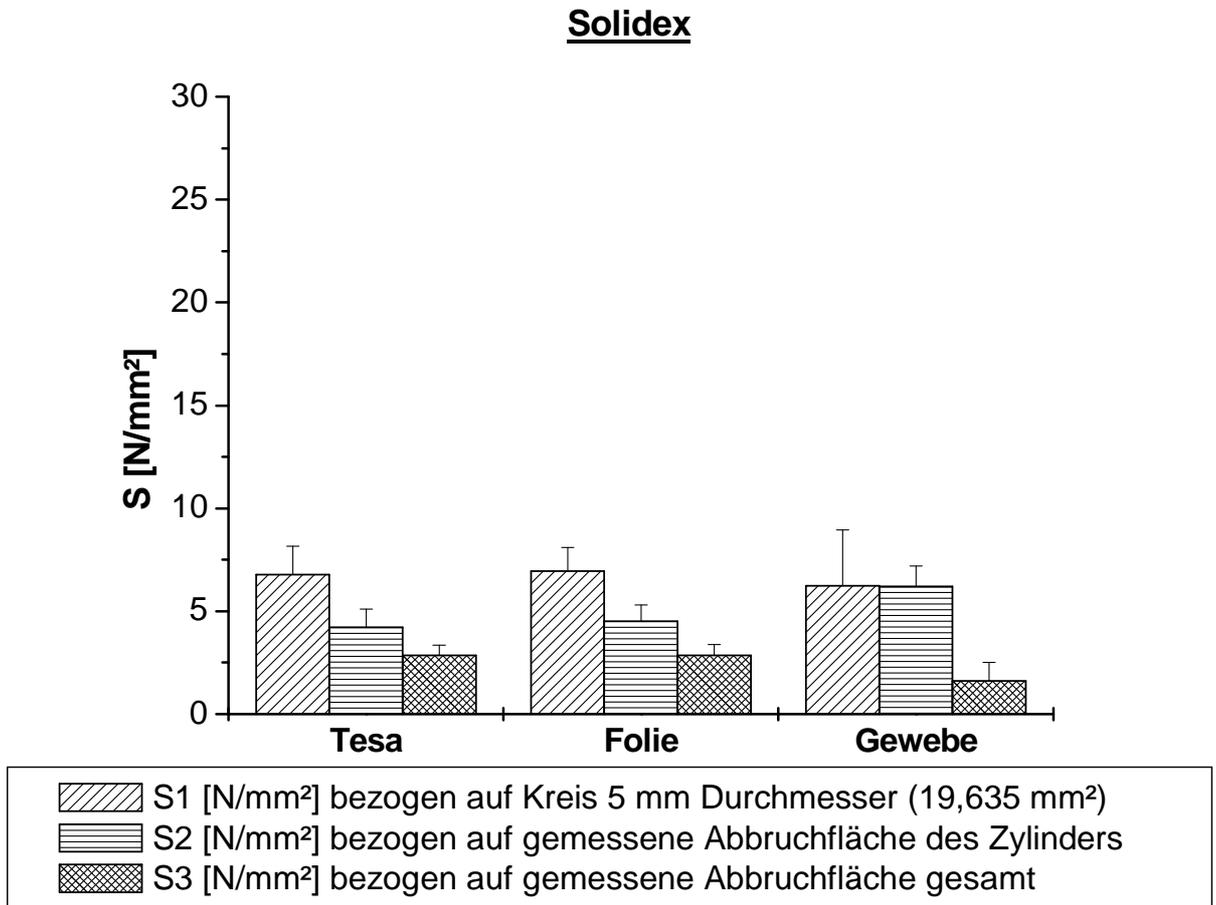
	F[N]	S1[N/mm ²]	A2	S2[N/mm ²]	A3	A2+A3	S3[N/mm ²]
P1	120,33	6,13	31,81	3,78	20,03	51,84	2,32
P2	108,29	5,52	27,91	3,88	13,82	41,73	2,60
P3	140,92	7,18	31,59	4,46	15,80	47,39	2,97
P4	116,89	5,95	27,49	4,25	19,69	47,18	2,48
P5	123,55	6,29	35,26	3,50	12,89	48,15	2,57
P6	181,72	9,25	28,96	6,27	15,36	44,32	4,10
P7	164,52	8,38	31,59	5,21	19,17	50,76	3,24
P8	121,06	6,17	29,39	4,12	19,51	48,90	2,48
P9	133,95	6,82	32,71	4,10	16,49	49,20	2,72
P10	144,36	7,35	27,70	5,21	19,19	46,89	3,08
P11	159,83	8,14	30,48	5,24	16,73	47,21	3,39
P12	120,03	6,11	28,96	4,14	21,09	50,05	2,40
x	136,29	6,94		4,51		47,80	2,86
s	22,52	1,15		0,80		2,77	0,52

GEWEBEKLEBEBAND (240,068 μm):

	F[N]	S1[N/mm ²]	A2	S2[N/mm ²]	A3	A2+A3	S3[N/mm ²]
P1	21,02	1,07	0,00		83,79	83,79	0,25
P2	55,71	2,84	0,00		86,79	86,79	0,64
P3	82,11	4,18	0,00		82,53	82,53	0,99
P4	139,59	7,11	0,00		82,85	82,85	1,68
P5	93,37	4,76	0,00		81,85	81,85	1,14
P6	170,28	8,67	0,00		83,85	83,85	2,03
P7	92,90	4,73	0,00		88,48	88,48	1,05
P8	154,16	7,85	0,00		81,21	81,21	1,90
P9	193,84	9,87	28,12	6,89	30,17	58,29	3,33
P10	162,58	8,28	0,00		80,17	80,17	2,03
P11	129,78	6,61	0,00		81,27	81,27	1,60
P12	174,24	8,87	31,81	5,48	30,71	62,52	2,79
x	122,47	6,24		6,19		79,47	1,62
s	53,19	2,71		1,00		9,25	0,88

Auch hier zeigte sich wieder, wie unter 5.2.1 schon erwähnt, bei einigen Prüfkörpern eine komplette Ablösung des Opakers, was die teilweise fehlenden S2 Werte erklärt.

Diagramm 6: Schematische Darstellung von S [N/mm²] bezogen auf S1; S2; S3 für 66µm, 128µm und 240µm Schichtstärke von Solidex im Scherversuch nach 15000 Zyklen Thermocycling



Beim Solidex System zeigte sich beim Abscheren der Prüfkörper eine Besonderheit. Das System lieferte die niedrigsten Haftwerte aller untersuchten Systeme dieser Studie. Außerdem waren die S1, S2 und S3 Werte annähernd bei jeder Schichtstärke konstant.

5.2.4 Scherfestigkeit des Verbundsystems Sinfony der Firma 3M ESPE

Tabelle 9: Ergebnisse für das Verbundsystem Sinfony für die Opakerschichtstärken 66µm, 128 µm und 240µm nach 15000 Zyklen Thermocycling

TESAFILM (65,67 µm):

	F[N]	S1[N/mm ²]	A2	S2[N/mm ²]	A3	A2+A3	S3[N/mm ²]
P1	189,49	9,65	33,04	5,74	7,98	41,02	4,62
P2	229,87	11,71	29,92	7,68	8,41	38,33	6,00
P3	239,58	12,20	32,13	7,46	2,77	34,90	6,86
P4	217,16	11,06	29,92	7,26	0,00	29,92	7,26
P5	194,49	9,91	31,46	6,18	10,15	41,61	4,67
P6	255,22	13,00	31,23	8,17	5,32	36,55	6,98
P7	242,72	12,36	29,70	8,17	9,84	39,54	6,14
P8	290,23	14,78	32,81	8,85	7,03	39,84	7,28
P9	240,14	12,23	32,36	7,42	6,97	39,33	6,11
P10	147,95	7,54	30,36	4,87	10,65	41,01	3,61
P11	168,92	8,60	30,14	5,60	10,66	40,80	4,14
P12	175,32	8,93	32,58	5,38	16,05	48,63	3,61
x	215,92	11,00		6,90		39,29	5,61
s	41,30	2,10		1,29		4,44	1,40

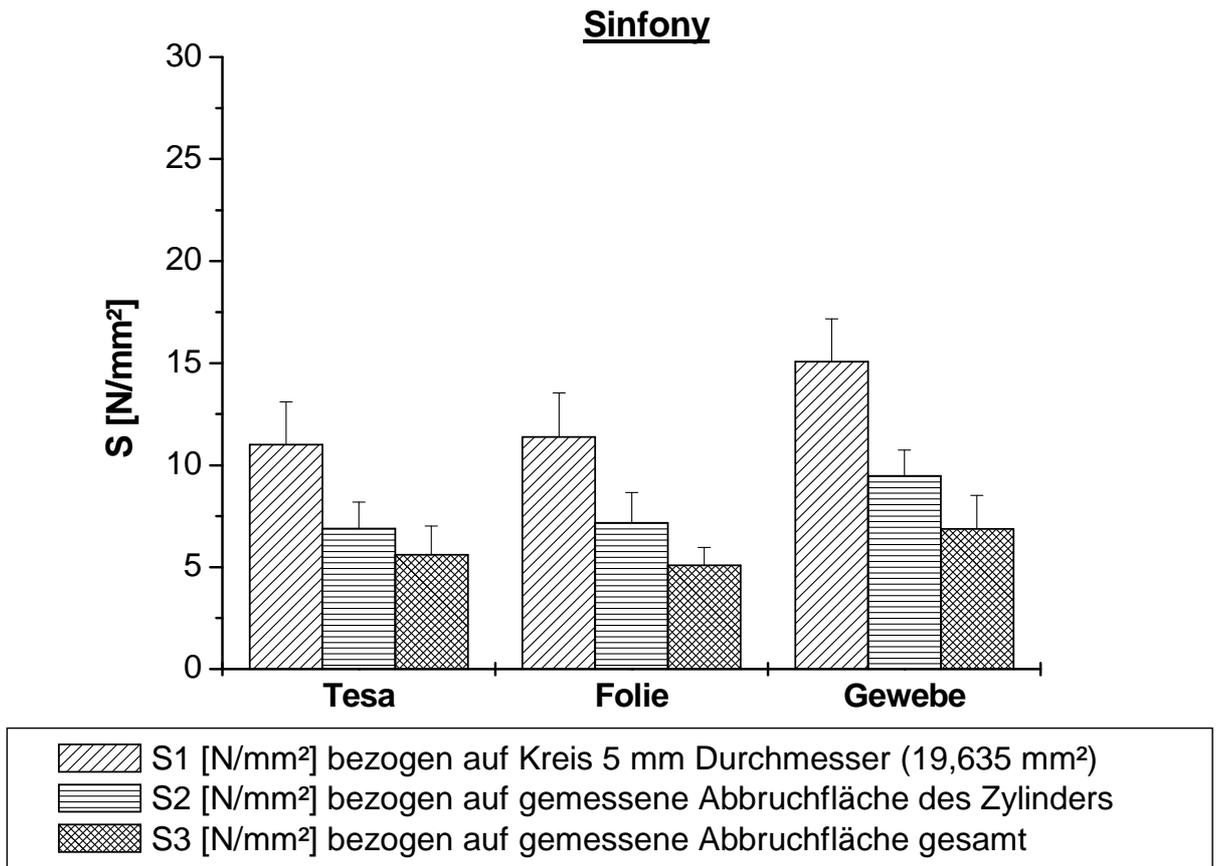
FOLIE (127,76 µm):

	F[N]	S1[N/mm ²]	A2	S2[N/mm ²]	A3	A2+A3	S3[N/mm ²]
P1	152,46	7,76	29,70	5,13	9,35	39,05	3,90
P2	210,93	10,74	31,46	6,70	11,41	42,87	4,92
P3	276,06	14,06	30,35	9,10	12,56	42,91	6,43
P4	271,33	13,82	33,27	8,16	12,30	45,57	5,95
P5	204,57	10,42	32,58	6,28	11,81	44,39	4,61
P6	182,53	9,30	32,13	5,68	9,49	41,62	4,39
P7	260,50	13,27	29,92	8,71	13,58	43,50	5,99
P8	186,10	9,48	33,73	5,52	10,60	44,33	4,20
P9	215,83	10,99	33,04	6,53	12,63	45,67	4,73
P10	254,28	12,95	30,14	8,44	20,56	50,70	5,02
P11	193,36	9,85	29,92	6,46	14,11	44,03	4,39
P12	275,45	14,03	29,49	9,34	13,47	42,96	6,41
x	223,62	11,39		7,17		43,97	5,08
s	42,29	2,15		1,49		2,77	0,89

GEWEBEKLEBEBAND (240,068 μm):

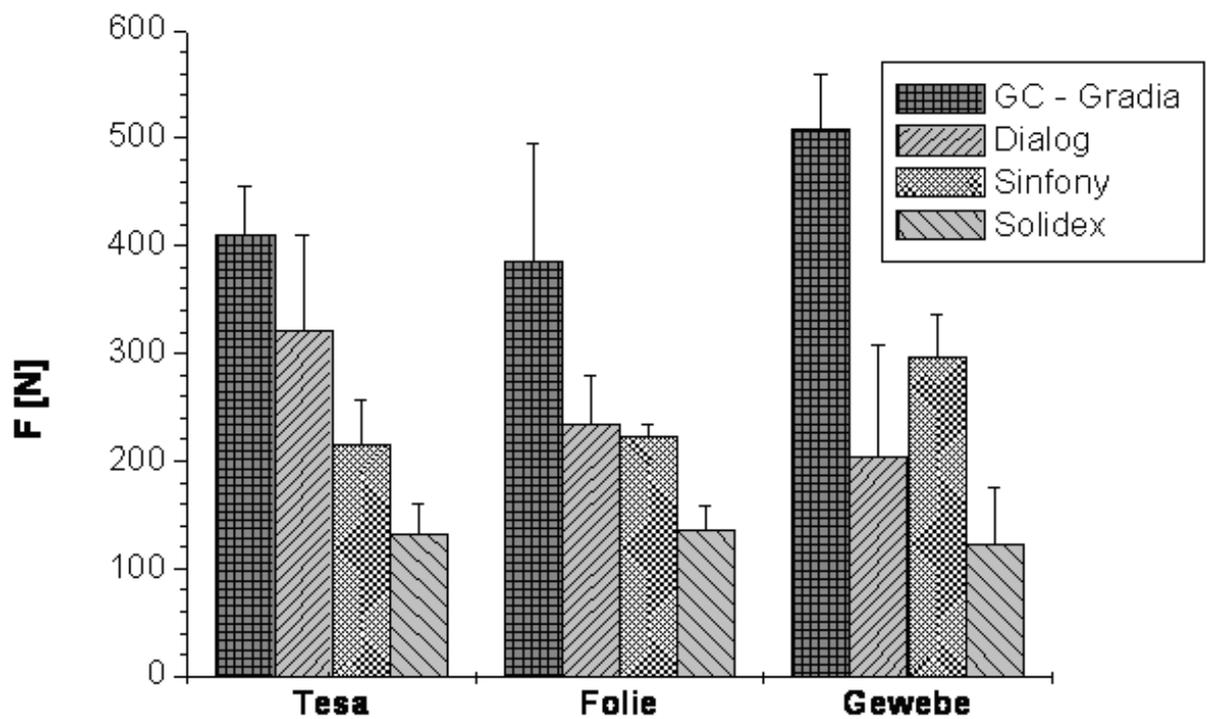
	F[N]	S1[N/mm ²]	A2	S2[N/mm ²]	A3	A2+A3	S3[N/mm ²]
P1	367,60	18,72	32,13	11,44	12,51	44,64	8,23
P2	259,73	13,23	30,79	8,44	14,93	45,72	5,68
P3	319,10	16,25	28,42	11,23	0,00	28,42	11,23
P4	347,67	17,71	31,46	11,05	16,02	47,48	7,32
P5	292,47	14,90	31,91	9,17	13,94	45,85	6,38
P6	281,60	14,34	30,79	9,15	10,89	41,68	6,76
P7	228,50	11,64	29,70	7,69	15,93	45,63	5,01
P8	317,17	16,15	34,19	9,28	11,65	45,84	6,92
P9	237,48	12,09	31,46	7,55	15,12	46,58	5,10
P10	306,73	15,62	32,81	9,35	13,20	46,01	6,67
P11	293,67	14,96	30,57	9,61	14,55	45,12	6,51
P12	302,35	15,40	31,23	9,68	13,72	44,95	6,73
x	296,17	15,08		9,47		43,99	6,88
s	40,96	2,09		1,27		5,10	1,64

Diagramm 7: Schematische Darstellung von S [N/mm²] bezogen auf S1; S2; S3 für 66µm, 128µm und 240µm Schichtstärke von Sinfony im Scherversuch nach 15000 Zyklen Thermocycling



5.2.5 Maximale erreichte Kraftwerte bezogen auf die Schichtstärke

Diagramm 8: Übersicht über die F-Max Werte der einzelnen Systeme bezogen auf die einzelnen Schichtstärken von 66µm, 128µm und 240µm.



5.2.6 Statistik der S1 Werte

Nachfolgend werden die Mittelwerte der S1 Werte statistisch miteinander verglichen. Hierfür wurde das Programm Origin verwendet. Hier sollen nur die Ergebnisse tabellarisch dargestellt werden. Die kompletten Daten sind im Anhang zu finden.

- Legende:**
- + Mittelwerte der S1 Werte sind bedeutend unterschiedlich
 - Mittelwerte der S1 Werte sind nicht bedeutend unterschiedlich

Tabelle 9: Statistik der S1 Werte bezogen auf jedes einzelne Verbundsystem

Material: Dialog	Tesa	Folie	Gewebe
Tesa		-	+
Folie	-		+
Gewebe	+	+	
Material: GC-Gradia	Tesa	Folie	Gewebe
Tesa		-	+
Folie	-		+
Gewebe	+	+	
Material: Solidex	Tesa	Folie	Gewebe
Tesa		-	-
Folie	-		-
Gewebe	-	-	
Material: Sinfony	Tesa	Folie	Gewebe
Tesa		-	+
Folie	-		+
Gewebe	+	+	

Man erkennt hierbei, dass ein bedeutender Unterschied der S1 Werte erst bei einem Vergleich mit der größten Schichtstärke von 240 µm feststellbar ist. (ausgenommen Solidex)

5.2.7 Bruchmodus der einzelnen Prüfkörper

Der Bruchmodus wird nun tabellarisch den einzelnen Prüfkörpern zugeordnet dargestellt. Da kein Kohäsivbruch auftrat, wird nur zwischen Mischbruch und Adhäsivbruch unterschieden.

Tabelle 10: Bruchart der Dialog Prüfkörper

Tesafilm		Folie		Gewebe	
Proben Nr.	Bruchart	Proben Nr.	Bruchart	Proben Nr.	Bruchart
Plättchen 1	Misch	Plättchen 1	Misch	Plättchen 1	Adhäsiv
Plättchen 2	Misch	Plättchen 2	Misch	Plättchen 2	Adhäsiv
Plättchen 3	Misch	Plättchen 3	Misch	Plättchen 3	Adhäsiv
Plättchen 4	Misch	Plättchen 4	Misch	Plättchen 4	Adhäsiv
Plättchen 5	Misch	Plättchen 5	Misch	Plättchen 5	Adhäsiv
Plättchen 6	Misch	Plättchen 6	Misch	Plättchen 6	Adhäsiv
Plättchen 7	Adhäsiv	Plättchen 7	Misch	Plättchen 7	Adhäsiv
Plättchen 8	Adhäsiv	Plättchen 8	Misch	Plättchen 8	Misch
Plättchen 9	Misch	Plättchen 9	Misch	Plättchen 9	Misch
Plättchen 10	Misch	Plättchen 10	Misch	Plättchen 10	Misch
Plättchen 11	Misch	Plättchen 11	Misch	Plättchen 11	Misch
Plättchen 12	Misch	Plättchen 12	Misch	Plättchen 12	Misch

Tabelle 11: Bruchart der GC Prüfkörper

Tesafilm		Folie		Gewebe	
Proben Nr.	Bruchart	Proben Nr.	Bruchart	Proben Nr.	Bruchart
Plättchen 1	Misch	Plättchen 1	Adhäsiv	Plättchen 1	Misch
Plättchen 2	Misch	Plättchen 2	Misch	Plättchen 2	Misch
Plättchen 3	Misch	Plättchen 3	Misch	Plättchen 3	Misch
Plättchen 4	Misch	Plättchen 4	Misch	Plättchen 4	Misch
Plättchen 5	Misch	Plättchen 5	Misch	Plättchen 5	Misch
Plättchen 6	Misch	Plättchen 6	Misch	Plättchen 6	Misch
Plättchen 7	Misch	Plättchen 7	Misch	Plättchen 7	Misch
Plättchen 8	Misch	Plättchen 8	Adhäsiv	Plättchen 8	Misch
Plättchen 9	Misch	Plättchen 9	Misch	Plättchen 9	Misch
Plättchen 10	Misch	Plättchen 10	Misch	Plättchen 10	Misch
Plättchen 11	Misch	Plättchen 11	Misch	Plättchen 11	Misch
Plättchen 12	Misch	Plättchen 12	Misch	Plättchen 12	Misch

Tabelle 12: Bruchart der Solidex Prüfkörper

Tesafilm		Folie		Gewebe	
Proben Nr.	Bruchart	Proben Nr.	Bruchart	Proben Nr.	Bruchart
Plättchen 1	Adhäsiv	Plättchen 1	Adhäsiv	Plättchen 1	Misch
Plättchen 2	Adhäsiv	Plättchen 2	Adhäsiv	Plättchen 2	Misch
Plättchen 3	Adhäsiv	Plättchen 3	Adhäsiv	Plättchen 3	Misch
Plättchen 4	Adhäsiv	Plättchen 4	Adhäsiv	Plättchen 4	Adhäsiv
Plättchen 5	Adhäsiv	Plättchen 5	Adhäsiv	Plättchen 5	Adhäsiv
Plättchen 6	Adhäsiv	Plättchen 6	Adhäsiv	Plättchen 6	Misch
Plättchen 7	Adhäsiv	Plättchen 7	Adhäsiv	Plättchen 7	Adhäsiv
Plättchen 8	Adhäsiv	Plättchen 8	Adhäsiv	Plättchen 8	Adhäsiv
Plättchen 9	Adhäsiv	Plättchen 9	Adhäsiv	Plättchen 9	Adhäsiv
Plättchen 10	Adhäsiv	Plättchen 10	Adhäsiv	Plättchen 10	Misch
Plättchen 11	Adhäsiv	Plättchen 11	Adhäsiv	Plättchen 11	Misch
Plättchen 12	Adhäsiv	Plättchen 12	Adhäsiv	Plättchen 12	Adhäsiv

Tabelle 13: Bruchart der Sinfony Prüfkörper

Tesafilm		Folie		Gewebe	
Proben Nr.	Bruchart	Proben Nr.	Bruchart	Proben Nr.	Bruchart
Plättchen 1	Adhäsiv	Plättchen 1	Adhäsiv	Plättchen 1	Misch
Plättchen 2	Adhäsiv	Plättchen 2	Adhäsiv	Plättchen 2	Misch
Plättchen 3	Adhäsiv	Plättchen 3	Adhäsiv	Plättchen 3	Misch
Plättchen 4	Adhäsiv	Plättchen 4	Adhäsiv	Plättchen 4	Adhäsiv
Plättchen 5	Adhäsiv	Plättchen 5	Adhäsiv	Plättchen 5	Adhäsiv
Plättchen 6	Adhäsiv	Plättchen 6	Adhäsiv	Plättchen 6	Misch
Plättchen 7	Adhäsiv	Plättchen 7	Adhäsiv	Plättchen 7	Adhäsiv
Plättchen 8	Adhäsiv	Plättchen 8	Adhäsiv	Plättchen 8	Adhäsiv
Plättchen 9	Adhäsiv	Plättchen 9	Adhäsiv	Plättchen 9	Adhäsiv
Plättchen 10	Adhäsiv	Plättchen 10	Adhäsiv	Plättchen 10	Misch
Plättchen 11	Adhäsiv	Plättchen 11	Adhäsiv	Plättchen 11	Misch
Plättchen 12	Adhäsiv	Plättchen 12	Adhäsiv	Plättchen 12	Adhäsiv

Man beobachtet hierbei, dass bei den beiden Systemen GC-Gradia und Dialog der Bruchmodus hauptsächlich eine Mischform darstellt. Beim Dialog System beobachtet man erst vermehrt Adhäsivbrüche bei der größten Schichtstärke. Dies liegt vermutlich an der nicht mehr ausreichenden Polymerisation des Opakers. Bei GC-Gradia hingegen werden fast ausschließlich nur Mischbrüche festgestellt. Der Opaker wird bei diesem System selbst bei den großen Schichtstärken noch ausreichend polymerisiert.

Hingegen bei den Systemen von Sinfony und Solidex ist der Bruchmodus hauptsächlich adhäsiver Natur.

Zu erkennen ist hierbei, dass das Solidex System, welches die niedrigsten Haftwerte der Studie aufweist, erst bei der größten Opakerschichtstärke bei der Hälfte der Prüfkörper einen Mischbruch aufweist. Somit weisen 83,33 % der Prüfkörper beim Solidex System ein adhäsives Bruchverhalten auf und nur 16,67 % ein Mischbruchverhalten auf.

Beim Sinfony System sind die Werte genau gleich, jedoch weist das Sinfony System höhere Haftfestigkeitswerte auf. Da das Sinfony System ein Flüssigkeits-Pulver System ist und auch eine chemische Härtung des Opakers zusätzlich zur Lichthärtung besitzt, sind die erhöhten Haftfestigkeitswerte wahrscheinlich dadurch zu begründen. Das System Sinfony stellt hierbei jedoch eine Ausnahme dar, da es mehr adhäsive Bruchmodi aufweist. Ob die chemisch härtende Komponente des Opakersystems hierauf einen Einfluss hat, konnte jedoch nicht geklärt werden.

6 Diskussion

Ziel dieser Untersuchung war es, die Verbundfestigkeit des Metall-Kunststoff-Verbundes des Dialog-, Sinfony-, GC-Gradia- und Solidex System bezogen auf 3 verschiedene Opakerschichtstärken zu ermitteln. Ein Vergleich der Ergebnisse mit den Ergebnissen anderer Autoren sowie themenverwandter Literatur ist nur bedingt möglich, da es keine vergleichbaren Untersuchungen zu verschiedenen Opakerschichtstärken und deren Auswirkungen auf den Kunststoff-Metall-Verbund gibt.

6.1 Methodenkritik

Die Versuche wurden alle in Anlehnung an die ISO-NORM 10477 (14) durchgeführt. In dieser Norm wird der Versuchsaufbau und Ablauf geregelt. Das dort beschriebene Versuchsdesign wurde auch wie in seinen Grundzügen beschrieben übernommen, jedoch wurde die Thermozyklenzahl auf 15000 geändert, sowie die mit Opaker bedeckte Fläche mit 38,48 mm² fest definiert.

Das in der NORM beschriebene Thermocycling spielt in zahlreichen Studien und wissenschaftlichen Veröffentlichungen zum Verbund zwischen Metall und Kunststoff eine entscheidende Rolle.(8);(12);(27);(29);(31);(34);(43)

Durch die beim Thermocycling auftretenden Temperaturwechsel wird versucht, die Belastungen, die auf die Kunststoffe in der Mundhöhle wirken, nachzustellen. Es spielen hierbei drei Faktoren eine Rolle, die den Verbund schwächen: Zeit, Temperatur und Feuchtigkeit. (8)

Das Thermocycling wurde nicht wie in früheren Studien (31);(34);(54) mit 5000 oder 10000 Zyklen betrieben sondern mit 15000 Zyklen.

5000 Zyklen, wie in der ISO-Norm 10477 gefordert, wurden für diese Studie als zu wenig eingestuft. Auch im klinischen Alltag entspricht wohl eher eine Thermocycling-Belastung von 15000 Zyklen, wie sie auch schon in neueren Studien zu finden ist (8), der Belastung einer Verblendung bei mehrjähriger

Tragedauer im Munde des Patienten. Dies wird auch von Hohmann unterstützt, welcher Thermozyklenzahlen von 5000 bis 50000 für realistisch hält. (27) Somit zeigt sich, dass eine Zyklenzahl von 15000 ein angemessenes Maß ist um die Alterungsvorgänge wie sie in der Mundhöhle auftreten zu simulieren.

In einigen Studien wird auch noch zusätzlich eine mechanische Belastung der Prüfkörper durchgeführt. Bei dieser thermomechanischen Belastung wird der Prüfkörper abwechselnd unterschwelligen Kräften ausgesetzt, die allerdings nicht bis zum Bruch führen. Der Scherversuch wird dann erst nach der mechanischen Ermüdung der Prüfkörper durchgeführt. (42) In dieser Studie wurde jedoch darauf verzichtet, da die Zyklenzahl des Thermocyclings schon auf 15000 gesetzt wurde und somit 10000 Zyklen über der von der ISO-NORM 10477 empfohlenen Zahl von 5000 liegt.

In der ISO-NORM 10477 wird eine Abscherkraft von mindestens 5 N/mm² gefordert, welche auch von den 4 in dieser Studie einbezogenen Verblendsystemen erreicht und sogar übertroffen wurde. Somit ist erkennbar, dass eine Zyklenzahl von 15000 beim Thermocycling für moderne Verblendsysteme keine Probleme darstellt.

Die Versuche haben jedoch gezeigt, dass die Kraft bezogen auf die Fläche, bei unterschiedlich großer von Opaker benetzter Fläche, sehr starken Schwankungen unterlegen ist. Die ISO-NORM schreibt in diesem Punkt lediglich vor die Fläche zu berücksichtigen, die den Verbund mit dem Kompositprüfkörper herstellt. (14)

Man beobachtet jedoch bei den Scherversuchen nach 15000 Zyklen Thermocycling, so gut wie immer noch einen zusätzlichen Abbruch des Opakers, der nicht am Verbund der beiden Materialien, Metall und Kunststoff, beteiligt ist. Dies deckt sich mit den Beobachtungen von Bahrs M. (2002). (8)

Dabei ist anzunehmen, dass auch der Opaker, der um den Prüfkörper liegt, den Verbund positiv beeinflusst. Aus diesem Grund ist in dieser Studie die Kraft bezogen auf die Fläche:

1. Theoretisch, bezogen auf den Durchmesser des Prüfzylinders
2. Mikroskopisch, bezogen auf die tatsächliche gemessene Abbruchfläche des Zylinders
3. Mikroskopisch, bezogen auf die gesamte Abbruchfläche im Opaker

berechnet worden. (s. Abbildung 21)

Inwiefern die nicht abgebrochene Fläche des Opakers einen zusätzlichen Einfluss auf den Kunststoff-Metall-Verbund bei dieser Prüfanordnung hat, konnte nicht geklärt werden und sollte deshalb Thema von weiterführenden Studien sein.

Unter den zahlreichen Methoden zur Messung der Haftfestigkeit des Kunststoff-Metall-Verbundes, wurde in dieser Untersuchung der Scherversuch gewählt, welcher auch schon in früheren Studien favorisiert wurde. (8);(31);(34);(54)

Der Scherversuch stellt die Belastungen einer Verblendung sehr praxisnah nach, da im Munde des Patienten überwiegend Scherkräfte auf den Kunststoff-Metall-Verbund wirken.

Eine sehr viel genauere Methode ist die Zugfestigkeitsprüfung, welche die Haftfestigkeitsänderungen genauer erfasst und somit sensibler auf Änderungen der Oberflächenkonditionierung reagiert, jedoch wurde dem Schertest hier der Vorzug gegeben da er eine bessere Simulation der Kaubelastungen, wie sie im Mund tatsächlich herrschen, ermöglicht. (8);(36)

Beim Schertest ergibt sich das Problem, dass immer auch Biegemomente auf den Prüfkörper einwirken. Es entsteht somit eine Mischung aus Biege- und Scherkräften.(36)

Aus diesem Grund wurde, wie in ISO-NORM 10477 gefordert, der Scherstempel 0,5 mm von der Metalloberfläche entfernt positioniert und lag somit mit einem konstanten Abstand an die Grenzfläche an. Somit wurde versucht die entstehenden Drehmomente möglichst gering zu halten um eine Vermischung von Scher- und Biegemomenten so gut wie möglich zu vermeiden. (35)

Ein weiteres Problem des Schertests ist in der nicht eindeutig definierten Geometrie des Scherstempels begründet. Es kann somit bei der Verwendung von verschiedenartig geformten Scherstempeln zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Aus diesem Grund wurde hier ein normierter Scherstempel verwendet. Dabei handelt es sich um eine handelsübliche Wendeschneideplatte der Firma Wohlhaupter mit einem genormten Spanwinkel von 10°. (s. 4.7.1)

Weiterhin wurde nach dem Scherversuch die Bruchart bestimmt. Dies ist auch Bestandteil zahlreicher anderer Untersuchungen. (8);(12);(31);(36);(54)

Ein reiner Bruch im Verblendkunststoff (Kohäsivbruch) bei dem lediglich die Eigenfestigkeit des Kunststoffes gemessen wird, jedoch nicht der Metall-Kunststoff-Verbund wurde bei keinem einzigen Prüfkörper beobachtet. (38) Dies zeigt, dass immer zuerst der Verbund zwischen Metall und Kunststoff versagt hat und nicht das Gefüge des Komposits.

In dieser Untersuchung wurde lediglich die Einteilung Kohäsiv-, Adhäsiv und Mischbruch gewählt und auf eine weitere Unterteilung des Mischbruchs, wie es in einer früheren Studie gemacht wurde verzichtet. (8) Dies hat eine bessere Übersichtlichkeit der Ergebnisse zur Folge und erleichtert das Zurechtfinden unter den einzelnen Bruchmodi.

Durch die genaue Festlegung des Bruchmodus unter dem Mikroskop war es auch möglich nach dem Schertest die genaue vorherige Verbundfläche zu bestimmen. Die Beurteilung funktionierte jedoch nicht immer, da sich bei manchen Prüfkörpern der komplette Opakerauftrag in einem adhäsiven Bruchmodus vom Metallplättchen gelöst hatte. Da dieses Phänomen hauptsächlich bei der größten Schichtstärke des Opakers auftrat, wird vermutet, dass die Licht – Polymerisation für eine solche Schichtstärke nicht mehr ausreichend ist und der Verbund deshalb versagt.

Das in dieser Untersuchung verwendete Foliensystem zur Definierung der Opakerschichtstärke wurde bisher in keiner anderen Studie verwendet. Es wurden hierbei nach den Vorversuchen, aufgrund der durchschnittlich von

Zahntechnikern des ZZMK Tübingen aufgetragenen Opakerschichtstärken, 3 Folien ausgewählt die einen Bereich um die im Vorversuch ermittelten Schichtstärken abdecken sollten. Nachdem sich gezeigt hatte, dass sich die durchschnittlich von einem Zahntechniker aufgetragene Opakerschichtstärke für die 4 untersuchten Systeme in einem Bereich von 105 -140 μm bewegt, wurden Folien mit der Schichtstärke 65 μm , 128 μm und 240 μm gewählt.

Bei den Vorversuchen mit den Folien zeigte sich schnell, dass man die Fläche des Opakers größer wählen musste, als die vom Komposit-Prüfzylinder eingenommene Fläche. Dies war einerseits nötig aufgrund der Tatsache, dass die Komposit-Schablone nicht genau auf einer Fläche positioniert werden konnte die genau so groß ist wie die Fläche der Schablone selbst, andererseits zeigte der Opakerauftrag in der Schablone nach der Polymerisation eine Wannenbildung. Am Rand der Schablone war die mittlere Opakerschicht dicker als in der Mitte, weshalb der Durchmesser der aus der Folie herausgestanzten Fläche auf 7 mm festgelegt wurde. Somit wurde sichergestellt, dass der Kompositprüfkörper allseits auf dem Opaker aufliegt und dass die Opakerschicht in der Mitte des Opakerauftrags eine einheitliche der Foliendicke entsprechende Schichtstärke aufweist. (s. 5.1.3)

Warum die Opakerschichtstärke am Rand der Schablonen größer ist als in der Mitte konnte nicht geklärt werden, es wird jedoch vermutet, dass es durch das Abstreichen des überflüssigen Opakers mit dem Skalpell zu einer Art Randwallbildung an der Folie kommt und sich der Opaker gegen den Folienrand aufwölbt.

6.2 Ergebniskritik

Mit Kunststoff verblendeter Zahnersatz ist in der Mundhöhle zahlreichen Belastungen ausgesetzt. Hierbei sind einerseits die starken Temperaturschwankungen, sowie das feuchte Milieu der Mundhöhle andererseits die Kaukräfte die in Form von Scherkräften wirken zu nennen.

Zur Simulation der Feuchtigkeit und der Temperaturschwankungen wird das Thermocycling verwendet und die Haftwerte des Kunststoff-Metall-Verbundes werden über den Schertest ermittelt.

Durch den Schertest, wird die Haftfestigkeit des Kunststoff-Metallverbundes theoretisch bestimmt. In der Literatur werden für die Haftfestigkeit Richtwerte gefordert, die mindestens erreicht werden sollten. In der ISO-NORM 10477 (14) findet man einen Wert von 5 N/mm² für Kronen- und Brückenmaterialien ohne makromechanische Retentionen. In einer anderen Veröffentlichung wird ein Wert von

10 N/mm² als Richtwert angegeben. (41)

Diese Werte wurden, bis auf das Solidex System das nur Werte zwischen 5 N/mm² und 10 N/mm² erreicht hat, auch von den einzelnen Verbundsystemen erreicht und sogar übertroffen.

Zu beachten ist allerdings, auf welche Fläche die Kraftwerte bezogen sind. Hohe Werte werden nur erreicht, wenn man von der theoretisch vom Prüfzylinder bedeckten Fläche ausgeht. Hier bewegen sich die Kraftwerte der einzelnen Systeme für alle Opakerschichtstärken in einem Bereich von 6,24 N/mm² (Solidex) und 25,85 N/mm² (GC-Gradia). Ein rechnerischer Abfall dieser Haftwerte ist dann zu beobachten, wenn man die Kraftwerte auf die tatsächlich gemessene Abbruchfläche des Zylinders bezieht. Hier bewegen sich die Werte nur noch in einem Bereich von 4,21 N/mm² (Solidex) und 16,58 N/mm² (GC-Gradia). Und wenn man die Kraftwerte letztlich auf die Gesamtfläche des Opakerabbruchs, also die vom Prüfzylinder bedeckte Fläche und den Zusatzabbruch bezieht, bewegen sich die Kraftwerte nur noch in einem Bereich von 1,62 N/mm² und 11,60 N/mm². Dieser Zusatzabbruch wurde auch schon in früheren Untersuchungen (8) beobachtet, jedoch ist bisher nicht geklärt welchen Einfluss genau diese zusätzlich mit Opaker bedeckte Fläche auf die Haftfestigkeit des Prüfzylinders hat.

Beim Vergleich der unter 5.2.1 bis 5.2.4 dargestellten Ergebnisse der Haftwerte sind trotz des Bezuges der Kraftwerte auf die unterschiedlichen Flächen

Unterschiede zwischen den einzelnen Systemen zu erkennen. Dabei sollte die Art der Legierung, keine Rolle auf die Haftwerte haben, da Haas et al. gezeigt hat, dass die Haftfestigkeit des Rocatec-Systems, wie es in dieser Untersuchung verwendet wurde unabhängig von der Legierung ist. (23)

Die Haftwerte der Pastenopakersysteme Dialog und GC-Gradia sind die höchsten der Untersuchung und erreichen maximale Werte von 25,85 N/mm² (GC-Gradia) und 16,52 N/mm² (Dialog) bezogen auf die theoretische vom Zylinder bedeckte Fläche. Die beiden Systeme unterscheiden sich jedoch völlig in ihrem Verhalten bei großen Opakerschichtstärken. Bei Schichtstärken im Bereich von 65 µm bis 128 µm bleiben beide Systeme in ihren Haftwerten relativ konstant, jedoch bei einer Schichtstärke von 240 µm fallen die Haftwerte von Dialog stark ab, währenddessen die Haftwerte von GC-Gradia sogar noch steigen und dieses System bei der größten Schichtstärke die höchsten Haftwerte aufweist.

Das Pastenopaker System Solidex weist die geringsten Haftfestigkeitswerte der Untersuchung auf. Diese liegen jedoch mit 6,24 N/mm² (65 µm Opakerschichtstärke), 6,94 N/mm² (128µm Opakerschichtstärke), sowie 6,94 N/mm² (240 µm Opakerschichtstärke), bezogen auf die theoretisch vom Zylinder bedeckte Fläche immer noch über den geforderten 5 N/mm² (14) der ISO-NORM 10477 und erfüllen somit die geforderten Mindesthaftwerte. Das Solidex System ist außerdem das einzige System der Untersuchung das über den gesamten Bereich der untersuchten Opakerschichtstärken von 65 µm bis 240 µm relativ konstante Werte, die pro Schichtstärke nur um 0,7 N/mm² variierten, gezeigt hat. Der Einbruch der Haftwerte des Solidex Systems, beim Bezug der Kraft auf die gemessene Abbruchfläche und die Gesamtabbruchfläche lässt sich dadurch erklären, dass sich bei großen Opakerschichtstärken der Opaker beim Scherversuch vollständig mit dem Prüfkörper vom Metallplättchen löste. Es konnten somit keine Flächen gemessen werden die in die Berechnung der anderen Haftwerte mit eingegangen wären, weshalb die Werte so gering ausgefallen sind. Lediglich die beiden Proben mit den höchsten Kraftwerten lieferten ein normales Bruchmuster.

Der Grund für die komplette Ablösung des Opakers samt Prüfzylinder wird in nicht ausreichender Polymerisation der Opakerschicht aufgrund von zu großer Schichtstärke vermutet.

Das Sinfony System, welches das einzige Flüssigkeit/Pulver Opaker System dieser Studie ist, weist Haftwerte im Bereich von 11,00 N/mm² (65 µm Opakerschichtstärke) und 15,08 N/mm² (240µm Opakerschichtstärke), bezogen auf die theoretisch vom Zylinder bedeckte Fläche, auf. Das Sinfony System liegt somit ebenfalls über den geforderten 5 N/mm² (14) bzw. 10 N/mm² (41). Interessant ist, dass es bei diesem System genau wie bei GC-Gradia zu einem Haftfestigkeitsanstieg bei größeren Opakerschichtstärken kommt.

Eigentlich war zu erwarten, dass bei größeren Opakerschichtstärken die Haftwerte absinken, wie es bei Dialog der Fall ist. Es hat jedoch den Anschein, dass es sich bei den Systemen GC-Gradia und Sinfony bei größeren Schichtstärken gegenteilig zum erwarteten Ergebnis verhält.

Der Haftfestigkeitsabfall des Dialog System deckt sich mit den Aussagen des Herstellers Schütz Dental, dass Dialog die höchsten Haftwerte bei dünnen Opakerschichtstärken aufweist.

Das Solidex System weist als einziges System über den kompletten Schichtstärkenbereich des Opakers relativ konstante Werte auf. Jedoch lässt das Ablösen der gesamten Opakerfläche vom Metall, die Vermutung über eine nicht ausreichende Polymerisation bei einer Schichtstärke von 240 µm aufkommen

Ein weiterer interessanter Aspekt ist die Statistik der S1 Werte. (s. 5.2.5) Die S1 Werte sind die Haftfestigkeitswerte der einzelnen Prüfzylinder bezogen auf die theoretisch vom Zylinder bedeckte Fläche.

Man kann anhand der Tabellen erkennen, dass sich die Systeme Dialog, GC-Gradia und Sinfony lediglich bei der größten Schichtstärke von 240 µm bedeutend voneinander unterscheiden. Bei den geringeren Schichtstärken von 65 µm und

128 µm gibt es keinen bedeutenden Unterschied der S1 Werte. Somit kann die Aussage gemacht werden, dass eine starke Abweichung der Haftwerte nach

oben, wie bei GC-Gradia oder Sinfony oder nach unten, wie bei Dialog erst bei den großen Opakerschichtstärken vorkommt.

Beim Solidex System unterscheiden sich alle S1 Werte der gemessenen Schichtstärken nicht bedeutend voneinander. Das Solidex System ist aus diesem Grund, wie schon oben erwähnt, das System mit den konstantesten Haftfestigkeitswerten bei den untersuchten Opakerschichtstärken.

Nach dem Abschervorgang wurde der Bruchmodus der Prüfkörper beurteilt. Von Guggenberger wird zwar für das Rocatec-Verfahren beschrieben, dass beim Schertest meist ein kohäsives Bruchverhalten auftritt, (22) es zeigte sich jedoch wie bei einer früheren Studie (8), dass ein rein kohäsives Bruchmuster bei keinem einzigen Prüfkörper zu beobachten war. Somit wird klar, dass der Verblendkunststoff eine höhere Festigkeit aufweist als der Verbund zwischen Kunststoff und Metall.

GC-Gradia und Dialog weisen häufig einen Mischbruch auf. Die beiden Systeme unterscheiden sich auch erst deutlich bei der größten Schichtstärke voneinander. GC-Gradia weist hier einen Anstieg der Haftfestigkeit auf und Dialog ein Absinken der Haftfestigkeit. Dies stimmt mit den Beobachtungen des Bruchverhaltens überein, denn Dialog weist bei der größten Opakerschichtstärke im Gegensatz zu GC-Gradia vermehrt Adhäsivbrüche auf, was vermutlich auf eine nicht mehr ausreichende Polymerisation des „Dialog Pastenopakers“ bei dieser Opakerschichtstärke zurückzuführen ist.

Das Solidex System weist erst bei der größten Schichtstärke bei der Hälfte der Prüfkörper einen Mischbruch auf. Ansonsten sind bei diesem System nur adhäsive Bruchmodi zu beobachten. Das Sinfony System weist bei der größten Schichtstärke die gleiche Anzahl von Mischbrüchen auf, wie das Solidex System. Außerdem sind bei den geringeren Opakerschichtstärken nur adhäsive Bruchmodi zu erkennen, jedoch weist das Sinfony System höhere Haftfestigkeitswerte als das Solidex System auf, was wahrscheinlich beim Pulver/Flüssigkeit System mit der zusätzlich zur Lichtpolymerisation vorhandenen chemischen Härtung des Opakers zu begründen ist.

Bei der Beurteilung der Bruchflächen beim Mischbruch wurde, wie in der Literatur und einer früheren Studie beschrieben, meist ein sichelförmiger

Kunststoffrest beobachtet. (8);(22);(23) Dieser Kunststoffrest, wurde bei dieser Untersuchung genau wie von Bahrs (8) beschrieben am Kraftansatz des Abscherstempels beobachtet. Auch die Erklärung von Bahrs, dass dieser Rest durch das nicht exakte Anliegen des Scherstempels an der Verbundstelle von Metall und Kunststoff zu erklären ist, scheint schlüssig und kann mit den Beobachtungen aus dieser Untersuchung unterstützt werden.

Außer des Bruchmodus wurde noch die Bruchfläche beurteilt. Bei vielen Prüfkörpern wurde ein zusätzlicher Abbruch des Opakers über die vom Prüfzylinder bedeckte Fläche beobachtet. Dies deckt sich wiederum mit den Beobachtungen von Bahrs. (8) Wie bei Bahrs konnte auch in dieser Studie eine Opakerfahne nach dem Abscheren des Prüfzylinders an selbigem beobachtet werden. Man kann somit auch der These Bahrs zustimmen, dass diese ausgerissene Opakerfahne darauf schliessen lässt, dass der Verbund zwischen Opaker und Komposit wesentlich besser ist als der Verbund zwischen Opaker und Metall. Jedoch in wie weit sich dieser über die Fläche des Prüfzylinders ausgeweitete Verbund positiv auf die Haftfestigkeitswerte zwischen Prüfzylinder und Metall auswirkt, konnte nicht geklärt werden. Dabei ist jedoch anzunehmen, dass die Fläche, die zusätzlich zur Fläche des Prüfzylinders mit Opaker bedeckt wurde, einen zusätzlichen positiven Einfluss auf den Verbund zwischen Metall und Kunststoff hat und somit die Werte des Schertests positiv beeinflusst und nicht die tatsächlichen Haftfestigkeitswerte gemessen werden.

6.3 Schlussfolgerungen

Beim Vergleich der einzelnen Verbundsysteme untereinander schneidet, bei Betrachtung der Haftwerte, das System GC-Gradia der Firma GC am besten ab. Dieses System besitzt mit Haftwerten von bis zu 25,85 N/mm², bezogen auf die theoretische Abbruchfläche des Zylinders die höchsten Haftfestigkeitswerte dieser Untersuchung. Selbst wenn man von der gesamten Abbruchfläche des

Opakers ausgeht, besitzt dieses System noch Haftfestigkeitswerte von 11,6 N/mm² und unterschreitet somit nicht die Grenze von Pfeiffer und Marx von 10/mm² (41). Interessant ist bei diesem System, dass die höchsten Haftfestigkeitswerte erst bei der größten Opakerschichtstärke erreicht werden.

Die Systeme Dialog und Sinfony weisen auch sehr gute Haftwerte auf, jedoch sind diese stärker an die Opakerschichtstärke gebunden. Beide Systeme weisen bei den beiden kleineren Schichtstärken von 65 µm und 128 µm relativ konstante Haftfestigkeitswerte von ca. 16 N/mm² (Dialog) und ca. 11 N/mm² (Sinfony) auf. Jedoch bei der größten Schichtstärke ist beim System von Dialog ein Abfall der Haftfestigkeitswerte auf ca. 10 N/mm² und beim System Sinfony ein Anstieg der Werte auf ca. 15 N/mm² zu beobachten.

Das Solidex System weist zwar die niedrigsten Haftwerte dieser Untersuchung auf, besticht jedoch mit einer Konstanz dieser Werte über alle 3 Schichtstärken, welche im Durchschnitt bei ca. 6,5 N/mm², bezogen auf die theoretische Abbruchfläche des Prüfzylinders, liegen. Somit wird vom Solidex System der von der ISO-NORM 10477 geforderte Mindesthaftfestigkeitswert von 5 N/mm² immer noch überschritten.

Aufgrund der Untersuchungen kann eine Empfehlung für die optimale Opakerschichtstärke gegeben werden. Da die Systeme sich bei ihren Haftfestigkeitswerten hauptsächlich in der größten Schichtstärke stark voneinander unterscheiden, sollte diese nicht gewählt werden. Aus den Beobachtungen dieser Untersuchung geht hervor, dass sich eine mittlere Schichtstärke von 128 µm als optimal erweist, wie sie auch annähernd von den Zahntechnikern des ZZMK aufgetragen wurde. Erreicht wird eine solche Schichtstärke indem der Opaker vom Zahntechniker, wie in den Gebrauchsanweisungen der Hersteller gefordert ,möglichst dünn und deckend aufgetragen wird. Eine Überlegenheit des Flüssigkeit/Pulver Opakersystems gegenüber den Pastenopakersystemen konnte nicht bestätigt werden, da 2 von 3 Pastenopakersystemen höhere Haftfestigkeitswerte im geforderten Opakerschichtstärkenbereich aufweisen.

Mit Komposit verblendeter Zahnersatz wird somit auch in der Zukunft wahrscheinlich eine immer bedeutendere Rolle in der Zahnheilkunde spielen, denn er hat gegenüber seinem Konkurrenten, der Keramik, die wichtigen Vorteile der leichteren, sicheren und schnelleren Verarbeitbarkeit auf seiner Seite. Vor allem aber hat die Kompositverblendung den großen Vorteil der Wirtschaftlichkeit, was in der heutzutage ein sehr wichtiger Faktor bei der Herstellung von Zahnersatz geworden ist.

Die in der Literatur geforderten Haftwerte, werden von allen Systemen erfüllt und sogar übertroffen. Hier bleibt jedoch anzumerken, dass die ISO-NORM 10477, wie sie für diese Untersuchung angewendet wird eine Grauzone in der Methodendefinition aufweist.

Da die Fläche, welche in die Rechnung der Haftfestigkeitswerte eingeht, nicht genau definiert ist, können die Haftfestigkeitswerte auf 3 verschiedene Arten berechnet werden und somit kann eine Verfälschung der Haftwerte auftreten.

Außerdem bleibt zu klären, ob der Opakerbereich, der sich über die vom Prüfzylinder bedeckte Fläche hinaus erstreckt, einen positiven Einfluss auf den Verbund bei der Scherprüfung hat.

7 Zusammenfassung

Verblendsysteme, wie sie von den Firmen heute angeboten werden, sind Systeme, die die Nachteile einer Kunststoffverblendung sehr stark minimieren. Durch die werkstoffkundlichen Verbesserungen sind Kompositverblendungen wieder eine echte Alternative gegenüber der Keramik. Gerade durch den Einsatz von chemischen Haftvermittlern, sowie Mikro und Makroretentionen werden Nachteile des Komposits, wie Spaltbildung und Verfärbungen minimiert und dieser Werkstoff wieder interessant. Komposit bietet auch gerade heutzutage einen weiteren sehr wichtigen Vorteil gegenüber der Keramik und das ist seine Wirtschaftlichkeit. Komposit ist günstig, sowie leicht, sicher und schnell zu verarbeiten, was es zu einer echten Alternative gegenüber der Keramik macht.

Ziel dieser Untersuchung war es das Verhalten der Haftfestigkeitswerte im Scherversuch von verschiedenen Verblendsystemen bei unterschiedlichen Opakerschichtstärken von 65 μm , 128 μm und 240 μm , nach 15000 Zyklen Thermocycling zu beurteilen. Für die untersuchten Verblendsysteme Dialog (Schütz Dental), GC-Gradia (GC), Solidex (Shofu), sowie Sinfony (3M ESPE) wurden insgesamt 144 Prüfkörper erstellt, wobei jeweils 36 Prüfkörper pro Verblendsystem und 12 Prüfkörper pro untersuchter Opakerschichtstärke untersucht wurden.

Die Scherversuche erfolgten an der Universalprüfmaschine Zwick 1454 in Anlehnung an die ISO-NORM 10477, wobei die Vorschubgeschwindigkeit 1 mm/min betrug. Es wurde bei den Scherversuchen ein Scherstempel der Firma Wolhaupter mit einem genormten Spanwinkel von 10° eingesetzt, welcher einen definierten Abstand von 0,5 mm zur Metalloberfläche hatte. In einem Kraft-Wege Diagramm wurden die Kräfte festgehalten, die zum Bruch führten und anschließend mit dem Mikroskop bei 6,3 facher Vergrößerung die Verbundfläche bestimmt und anhand dieser die Haftfestigkeit des Prüfzylinders errechnet, sowie der Bruchmodus bestimmt. Da die ISO-NORM 10477 lediglich

vorschreibt, dass die mit dem Prüfzylinder bedeckte Fläche in die Berechnung mit einfließt, jedoch nicht geklärt ist, welchen Einfluss der zusätzliche Abbruch des über die Fläche des Prüfzylinders hinaus aufgetragenen Opakers auf den Verbund hat, wurden die Kraftwerte auf die theoretisch bedeckte Fläche des Prüfzylinders, sowie die tatsächliche bedeckte Fläche des Prüfzylinders und die Gesamtfläche des Abbruchs bezogen.

Die Versuche zeigten, dass bei den untersuchten Verblendsystemen eine Abhängigkeit der Haftfestigkeitswerte von der Opakerschichtstärke besteht. Die untersuchten Verblendsysteme erreichten alle die von der ISO-NORM geforderten

5 N/mm² Haftfestigkeit. Die höchsten Werte mit 25,85 N/mm² (Opakerschichtstärke: 240 µm) erreichte hierbei das System GC-Gradia von der Firma GC. Die geringsten Werte wurden beim System Solidex der Firma Shofu mit 6,24 N/mm² gemessen.

Die Scherversuche haben jedoch gezeigt, dass sich die Verblendsysteme hauptsächlich bei der größten hier untersuchten Schichtstärke von 240 µm voneinander unterscheiden. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass bei manchen Systemen die Werte bei großen Schichtstärken abfallen (Dialog; Sinfony) und bei anderen Systeme konstant bleiben bzw. sogar noch steigen (Solidex; GC-Gradia).

Bei der Einteilung der Bruchmodi konnte kein einheitliches Bild festgestellt werden. Es wurde jedoch kein kohäsives Bruchverhalten beobachtet und es ist aufgefallen, dass Systeme mit hohen Haftfestigkeitswerten wie GC-Gradia oder Dialog häufig einen Mischbruch aufweisen.

Zusammenfassend bleibt zu sagen, dass alle hier untersuchten Systeme den von der ISO-NORM 10477 geforderten Mindesthaftwert von 5 N/mm² erreicht und teilweise sogar weit übertroffen haben. Es wird somit klar, dass der moderne Kunststoff-Metall Verbund durch die Verwendung von chemischen Haftvermittlern sehr verbessert wurde.

Die Studie hat gezeigt, dass sich eine mittlere Opakerschichtstärke von 128 μm als optimal erwiesen hat, da die hier untersuchten Systeme bei dieser Schichtstärke konstante und hohe Haftfestigkeitswerte aufweisen. Aufgrund der Untersuchung zeigte sich, dass Zahntechniker sich beim Opakerauftrag in einem Bereich von ca. 105 -140 μm bewegen und somit eine Schichtstärke im Bereich 128 μm von Zahntechnikern annähernd erreicht wird, wenn der Opaker möglichst dünn und deckend, wie von den Herstellern empfohlen aufgebracht wird.

Außerdem wurde festgestellt, dass es einer besseren Definierung der Fläche bedarf, auf welche die Kraftwerte des Schertests bezogen werden. In dieser Untersuchung wurde gezeigt dass ein rapider rechnerischer Haftfestigkeitsabfall zu beobachten ist, wenn man die Kraft auf die theoretische und tatsächliche Abbruchfläche des Zylinders, sowie auf die gesamte Abbruchfläche im Opaker bezieht.

Da nicht geklärt ist welchen Einfluss die Opakerfläche, welche sich über die vom Prüfzylinder bedeckte Fläche hinaus erstreckt, auf den Verbund hat, sollte es hier weitere Untersuchungen geben und die ISO-NORM 10477 dementsprechend abgeändert werden.

8 Literaturverzeichnis

- (1) 3M ESPE: Gebrauchsanweisung; Sinfony (2002)
- (2) 3M ESPE: Persönliche Mitteilung; Polymerisationszeiten des Sinfony System mit Dentacolor XS (08.08.2006)
- (3) 3M ESPE: Persönliche Mitteilung; Zusammensetzung 3M ESPE Sil, Sinfony, Opaquer (11.08.2006)
- (4) 3M ESPE: Sicherheitsdatenblatt; 3M ESPE – Sil (01.03.2001)
- (5) 3M ESPE: Sicherheitsdatenblatt; Sinfony Pasten (01.03.2001)
- (6) 3M ESPE: Sicherheitsdatenblatt; Sinfony™ Opaquer Flüssigkeit (15.09.2004)
- (7) 3M ESPE: Wissenschaftliches Produktprofil: Rocatect Verbundsystem; Scientific Affairs 12/01
- (8) Bahrs M.: In Vitro Untersuchung über die Scherfestigkeit verschiedener Kunststoff-Metall- Verbundsysteme nach Thermocycling; Med. Diss. (2002)
- (9) Biederbick, K.: Kunststoffe; Vogel-Buchverlag Würzburg (1972)
- (10) Caesar, H. A.: Die Ausbildung zum Zahntechniker Band 4, 1. Aufl. Neuer Merkur, München (1989).
- (11) Dental Kompakt 2007: S.882 - 887
- (12) Dieter U.: In-vitro- und In-vivo- Untersuchungen des Kunststoff-Metallverbundes bei Titan; Med Diss. (1993)

- (13)** DIN EN ISO 6871-1:1996-12 (= EN ISO 6871-1:1996; = ISO 6871-1:1994) Edelmetallfreie Dental-Gußlegierungen — Teil 1: Kobalt-Basis Legierungen
- (14)** DIN: ISO-Norm 10477; Dentistry – Polymer-based Crown and bridge materials
- (15)** Eichner, K.: Messung der Kräfte bei Kauvorgängen; Dtsch Zahnärztl. Z 18, 915-924 (1963)
- (16)** Eichner, K.: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung; Band 2; 4. Aufl. Hüthig, Heidelberg (1987)
- (17)** Firma Kulzer: Verfahrens und Bedienungsanweisung, Silicoater MD
- (18)** Gausemann Tanja: Untersuchung zur Reparaturfähigkeit mit Bondingsystemen bei temporären Kronen- und Brückenmaterialien; Med. Diss. (2002)
- (19)** GC: Gebrauchsanweisung; Metal Primer II
- (20)** GC: Persönliche Mitteilung; Polymerisationszeiten des GC-Gradia System mit Dentacolor XS (08.08.2006)
- (21)** GC: Sicherheitsdatenblatt; Metal Primer II; GC-Gradia Opaques ; GC-Gradia (19.04.2006)
- (22)** Guggenberger, R.: Das Rocatec-System – Haftung durch tribochemische Beschichtung; Dtsch. Zahnärztl. Z 44, 874 – 876 (1989)
- (23)** Haas M et al.: Erhöhung der Scherfestigkeit von Kunststoff-Metall-Verbunden bei tribochemisch silikatisierten Oberflächen; Dtsch. Zahnärztl. Z 49, 725 -728 (1994)
- (24)** Hellwig, E.; Klimek, J.; Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung; Urban und Schwarzenberg, München (1995)

- (25) Hellwig, E.; Lehmann, K. M.: Einführung in die zahnärztliche Propädeutik Urban & Fischer, München (2002)
- (26) Heraeus Kulzer: Gebrauchsanweisung Dentacolor XS; Persönliche Mitteilung (08.08.2006)
- (27) Hohmann W.: Spaltbildung an kunststoffverblendetem Zahnersatz durch Temperaturwechsel; Dtsch Zahnärztl. Z 38, 1053 -1055 (1983)
- (28) Janda, R.: Kleben und Klebetechniken; Dental Labor 40, 615-618 (1992)
- (29) Kappert, H. F.: Der Einfluß zweier Haftvermittler-Systeme auf den Kunststoff-Metall-Verbund; Zahnärztl Welt 98, 129-130 (1989)
- (30) Kappert H.F et al.: Dauerfestigkeitsprüfung des Metall-Kunststoff-Verbundes unter dem Einfluss von Temperaturwechseln; Quintessenz Zahntech 22,293-307 (1996)
- (31) Kim C.: Vergleichende in-vitro Untersuchungen zur Festigkeit neuer Kunststoff-Verbund-Technologien (Artglass-, Conquest C/B- und Targis-System); Med. Diss. (1998)
- (32) Ludwig, K.: Das Ivoklar-SR-Isosit-Spectra-Verbundsystem-Eine vergleichende Untersuchung; Dental Labor 37, 757-861 (1989)
- (33) Mahr: Betriebsanleitung; Perthometer Concept V7.0 (03.11.2000)
- (34) Männer-Mayer A.: In vitro Untersuchung über verschiedene Kleberschichtstärken bei Bracketklebung unter Berücksichtigung der Verbundfestigkeit im Scherversuch. Med Diss. (2000)
- (35) Marx H.: Zur Frage der Festigkeitsprüfung des Metall-Kunststoff-Verbundes; Dtsch Zahnärztl Z43, 1024-1027 (1988)

- (36)** Marx, R., Haas C.: Zug- oder Schertest – welcher Test ist für den Verbund Metall/Kunststoff aussagekräftiger?; Dtsch Zahnärztl. Z 47, 165-168 (1992)
- (37)** Marxkors, R., Meiners, H: Taschenbuch der Zahnärztlichen Werkstoffkunde, 5. Aufl. Hanser, München (2001)
- (38)** Mathey, Y et al.: Vergleich der Haftfestigkeiten von ungealterten und gealterten Metall-Kunststoff-Verbundsystemen; Schweiz Monatszeitschr. Zahnmed. Vol. 100, 401-407
- (39)** Müller, W.-D.; Unger, A.; Schöpf, C.: Vita Zeta HCL Bond für sicheren Metall-Kunststoff-Verbund Dental Labor 43, 963-967 (1995)
- (40)** Musil, R.; Tiller, H.-J.: Die molekulare Kopplung der Kunststoff-Verblendung Dental Labor 32, 1155-1161 (1984)
- (41)** Pfeiffer P., Marx R.: Temperaturbelastung von Adhäsivbrücken und ihre Auswirkung auf die Verbundfestigkeit der Klebeverblendung; Schweiz Monatschr. Zahnmed. Vol. 99, 782 -786
- (42)** Rosentritt M.: In Vitro Repair of Three-Unit Fiber Reinforced Composite FPDs; The International Journal of Prosthodontics V.14 N. 4 (2001)
- (43)** Rosentritt M et al.: Verbundfestigkeit von Verblendkompositen auf Metallgerüsten; Dtsch Zahnärztl. Z 54, 651-652 (1999)
- (44)** Schinker, A. S.: Vergleich der Verbundfestigkeit unterschiedlicher Verblendkunststoffe auf verschiedenen Legierungen im Drei-Punkt-Biegeversuch. Med Diss. (2001)
- (45)** Schütz Dental: Gebrauchsanweisung Sebond Smart; Dialog Pastenopaker; Dialog (03.2003)
- (46)** Schütz Dental: Sicherheitsdatenblatt; Dialog (11.10.2005)

- (47)** Schütz Dental: Sicherheitsdatenblatt; Dialog Pastenopaker (29.04.2003)
- (48)** Schütz Dental: Sicherheitsdatenblatt; Sebond Smart (10.03.2003)
- (49)** Schütz Dental: Zusammensetzung Dialog (08.03.2006)
- (50)** Schütz Dental: Zusammensetzung Dialog Pastenopaker (13.11.2003)
- (51)** Schütz Dental: Zusammensetzung Sebond Smart (26.06.2003)
- (52)** Schütz Dental : Produktinformation Microlit C
- (53)** Schwickerath, H.; Coca, I.: Zur Beanspruchung von Kronen im Frontzahnbereich Dtsch Zahnärztl Z 42, 338-341(1987)
- (54)** Selçuk S.: Intraorale Reparatur von festsitzendem Zahnersatz; Med Diss. (2006)
- (55)** Shofu: EG-Sicherheitsdatenblatt; ML- Primer (15.05.1998)
- (56)** Shofu: EG-Sicherheitsdatenblatt; Solidex Body, Cervical, Incisal, Translucent (15.05.1998)
- (57)** Shofu: EG-Sicherheitsdatenblatt; Solidex Flow Opaque (01.02.2002)
- (58)** Shofu: Persönliche Mitteilung; Polymerisationszeiten des Solidex System mit Dentacolor XS (08.08.2006)
- (59)** Zwick: Betriebsanleitung: Material-Prüfmaschine Z101/TN2A (2000)

9 Anhang

Hier finden sich die Tabellen mit den Werten zur Berechnung der Statistik der S1 Werte, wie sie unter 5.2.5 dargestellt sind, sowie die Tabellen mit den unter dem Mikroskop berechneten Werten der Abbruchflächen, sowie Zusatzabbruchflächen, die mit in die Tabellen unter 5.2.1 -5.2.4 eingegangen sind.

9.1 Daten zur Statistik der S1 Werte

9.1.1 Dialog

[07.08.2006 10:11 "/Data1" (2453954)]
Independent t-Test über Data1 col(A) und col(B):

Daten	Mittel	Varianz	N
S1 Tesa	16,32583	21,02074	12
S1 Folie	16,51667	5,17412	12

t = 0,12916
p = 0,8984

Auf der 0,05 Ebene
sind beide Mittelwerte NICHT bedeutend unterschiedlich.

[07.08.2006 10:23 "/Data1" (2453954)]

Independent t-Test über Data1 col(A) und col(B):

Daten	Mittel	Varianz	N
S1 Tesa	16,32583	21,02074	12
S1 Gewebe	10,40333	27,6067	12

t = -2,94208

p = 0,00754

Auf der 0,05 Ebene
sind beide Mittelwerte bedeutend unterschiedlich.

[07.08.2006 10:20 "/Data1" (2453954)]

Independent t-Test über Data1 col(A) und col(B):

Daten	Mittel	Varianz	N
S2 Folie	16,51667	5,17412	12
S3 Gewebe	10,40333	27,6067	12

t = -3,69878

p = 0,00125

Auf der 0,05 Ebene
sind beide Mittelwerte bedeutend unterschiedlich.

9.1.2 GC-Gradia

[07.08.2006 10:27 "/Data1" (2453954)]

Independent t-Test über Data1 col(A) und col(B):

Daten	Mittel	Varianz	N
S1 Tesa	20,87417	5,20181	12
S1 Folie	19,665	31,1163	12

t = -0,69505

p = 0,4943

Auf der 0,05 Ebene
sind beide Mittelwerte NICHT bedeutend unterschiedlich.

[07.08.2006 10:29 "/Data1" (2453954)]

Independent t-Test über Data1 col(A) und col(B):

Daten	Mittel	Varianz	N
S1 Tesa	20,87417	5,20181	12
S1 Gewebe	25,85417	7,07386	12

t = 4,92377

p = 6,33757E-5

Auf der 0,05 Ebene
sind beide Mittelwerte bedeutend unterschiedlich.

[07.08.2006 10:30 "/Data1" (2453954)]

Independent t-Test über Data1 col(A) und col(B):

Daten	Mittel	Varianz	N
S1 Folie	19,665	31,1163	12
S1 Gewebe	25,85417	7,07386	12

t = 3,46934

p = 0,00218

Auf der 0,05 Ebene
sind beide Mittelwerte bedeutend unterschiedlich.

9.1.3 Solidex

[07.08.2006 10:32 "/Data1" (2453954)]

Independent t-Test über Data1 col(A) und col(B):

Daten	Mittel	Varianz	N
S1 Tesa	6,76833	1,97485	12
S1 Folie	6,94083	1,31334	12

t = 0,32953

p = 0,74487

Auf der 0,05 Ebene
sind beide Mittelwerte NICHT bedeutend unterschiedlich.

[07.08.2006 10:34 "/Data1" (2453954)]

Independent t-Test über Data1 col(A) und col(B):

Daten	Mittel	Varianz	N
S1 Tesa	6,76833	1,97485	12
S1 Gewebe	6,23667	7,33173	12

t = -0,60372

p = 0,55221

Auf der 0,05 Ebene

sind beide Mittelwerte NICHT bedeutend unterschiedlich.

[07.08.2006 10:35 "/Data1" (2453954)]

Independent t-Test über Data1 col(A) und col(B):

Daten	Mittel	Varianz	N
S1 Folie	6,94083	1,31334	12
S1 Gewebe	6,23667	7,33173	12

t = -0,82963

p = 0,41566

Auf der 0,05 Ebene

sind beide Mittelwerte NICHT bedeutend unterschiedlich.

9.1.4 Sinfony

[07.08.2006 10:43 "/Data1" (2453954)]

Independent t-Test über Data1 col(A) und col(B):

Daten	Mittel	Varianz	N
S1 Tesa	10,9975	4,42051	12
S1 Folie	11,38917	4,64177	12

t = 0,4507

p = 0,65662

Auf der 0,05 Ebene

sind beide Mittelwerte NICHT bedeutend unterschiedlich.

[07.08.2006 10:46 "/Data1" (2453954)]

Independent t-Test über Data1 col(A) und col(B):

Daten	Mittel	Varianz	N
S1 Tesa	10,9975	4,42051	12
S1 Gewebe	15,08417	4,35134	12

t = 4,77985

p = 8,99036E-5

Auf der 0,05 Ebene
sind beide Mittelwerte bedeutend unterschiedlich.

[07.08.2006 10:47 "/Data1" (2453954)]

Independent t-Test über Data1 col(A) und col(B):

Daten	Mittel	Varianz	N
S1 Folie	11,38917	4,64177	12
S1 Gewebe	15,08417	4,35134	12

t = 4,26825

p = 3,13338E-4

Auf der 0,05 Ebene
sind beide Mittelwerte bedeutend unterschiedlich.

9.2 Tabellen der Berechnung der Flächen + Zusatzabbruchwerte

9.2.1 Dialog

Tabelle 14: Dialog Flächenberechnung + Zusatzabbruchwerte

DIALOG TESA		DIALOG FOLIE		DIALOG GEWEBE	
Dialog-Tesa-P01	Value (mm ²)	Dialolg-Folie-P01	Value (mm ²)	Dialog-Gewebe-P01	Value (mm ²)
Kreis	30,92	Kreis	30,48	Kreis	34,79
Zusatz Abruch	17,27	Zusatz Abruch	21,12	Zusatz Abruch	32,77
Dialog-Tesa-P02	Value (mm ²)	Dialolg-Folie-P02	Value (mm ²)	Dialog-Gewebe-P02	Value (mm ²)
Kreis	33,62	Kreis	33,62	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	10,29	Zusatz Abruch	0,00	Zusatz Abruch	80,58

Dialog-Tesa-P03	Value (mm ²)	Dialolg-Folie-P03	Value (mm ²)	Dialog-Gewebe-P03	Value (mm ²)
Kreis	33,40	Kreis	30,92	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	13,37	Zusatz Abruch	0,00	Zusatz Abruch	82,73
Dialog-Tesa-P04	Value (mm ²)	Dialolg-Folie-P04	Value (mm ²)	Dialog-Gewebe-P04	Value (mm ²)
Kreis	30,58	Kreis	33,62	Kreis	33,40
Zusatz Abruch	0,00	Zusatz Abruch	17,47	Zusatz Abruch	37,48
Dialog-Tesa-P05	Value (mm ²)	Dialolg-Folie-P05	Value (mm ²)	Dialog-Gewebe-P05	Value (mm ²)
Kreis	30,55	Kreis	33,39	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	0,00	Zusatz Abruch	15,72	Zusatz Abruch	77,80
Dialog-Tesa-P06	Value (mm ²)	Dialolg-Folie-P06	Value (mm ²)	Dialog-Gewebe-P06	Value (mm ²)
Kreis	34,56	Kreis	29,83	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	16,08	Zusatz Abruch	0,00	Zusatz Abruch	86,01
Dialog-Tesa-P07	Value (mm ²)	Dialolg-Folie-P07	Value (mm ²)	Dialog-Gewebe-P07	Value (mm ²)
Kreis	33,86	Kreis	31,58	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	15,94	Zusatz Abruch	0,00	Zusatz Abruch	82,37
Dialog-Tesa-P08	Value (mm ²)	Dialolg-Folie-P08	Value (mm ²)	Dialog-Gewebe-P08	Value (mm ²)
Kreis	32,94	Kreis	31,81	Kreis	29,93
Zusatz Abruch	14,81	Zusatz Abruch	14,23	Zusatz Abruch	21,56
Dialog-Tesa-P09	Value (mm ²)	Dialolg-Folie-P09	Value (mm ²)	Dialog-Gewebe-P09	Value (mm ²)
Kreis	33,62	Kreis	32,03	Kreis	29,82
Zusatz Abruch	0,00	Zusatz Abruch	13,95	Zusatz Abruch	22,23
Dialog-Tesa-P10	Value (mm ²)	Dialolg-Folie-P10	Value (mm ²)	Dialog-Gewebe-P10	Value (mm ²)
Kreis	31,58	Kreis	33,63	Kreis	32,48
Zusatz Abruch	0,00	Zusatz Abruch	16,18	Zusatz Abruch	29,63
Dialog-Tesa-P11	Value (mm ²)	Dialolg-Folie-P11	Value (mm ²)	Dialog-Gewebe-P11	Value (mm ²)
Kreis	32,94	Kreis	30,26	Kreis	32,71
Zusatz Abruch	11,03	Zusatz Abruch	0,00	Zusatz Abruch	27,75
Dialog-Tesa-P12	Value (mm ²)	Dialolg-Folie-P12	Value (mm ²)	Dialog-Gewebe-P12	Value (mm ²)
Kreis	30,48	Kreis	34,79	Kreis	30,70
Zusatz Abruch	8,28	Zusatz Abruch	12,83	Zusatz Abruch	17,53

9.2.2 GC-Gradia

Tabelle 15: GC-Gradia Flächenberechnung + Zusatzabbruchwerte

GC TESA		GC FOLIE		GC GEWEBE	
GC-Tesa-P01	Value (mm ²)	GC-Folie-P01	Value (mm ²)	GC-Gewebe-P01	Value (mm ²)
Kreis	34,10	Kreis	30,48	Kreis	29,61
Zusatz Abruch	9,98	Zusatz Abruch	13,52	Zusatz Abruch	19,35

GC-Tesa-P02	Value (mm ²)	GC-Folie-P02	Value (mm ²)	GC-Gewebe-P02	Value (mm ²)
Kreis	30,04	Kreis	32,94	Kreis	30,92
Zusatz Abruch	10,73	Zusatz Abruch	13,24	Zusatz Abruch	16,35
GC-Tesa-P03	Value (mm ²)	GC-Folie-P03	Value (mm ²)	GC-Gewebe-P03	Value (mm ²)
Kreis	32,71	Kreis	31,14	Kreis	31,58
Zusatz Abruch	7,44	Zusatz Abruch	16,76	Zusatz Abruch	2,58
GC-Tesa-P04	Value (mm ²)	GC-Folie-P04	Value (mm ²)	GC-Gewebe-P04	Value (mm ²)
Kreis	30,70	Kreis	32,48	Kreis	29,83
Zusatz Abruch	10,98	Zusatz Abruch	0,00	Zusatz Abruch	17,18
GC-Tesa-P05	Value (mm ²)	GC-Folie-P05	Value (mm ²)	GC-Gewebe-P05	Value (mm ²)
Kreis	32,26	Kreis	29,39	Kreis	31,36
Zusatz Abruch	7,34	Zusatz Abruch	13,56	Zusatz Abruch	4,81
GC-Tesa-P06	Value (mm ²)	GC-Folie-P06	Value (mm ²)	GC-Gewebe-P06	Value (mm ²)
Kreis	30,26	Kreis	31,81	Kreis	30,04
Zusatz Abruch	9,45	Zusatz Abruch	9,98	Zusatz Abruch	19,67
GC-Tesa-P07	Value (mm ²)	GC-Folie-P07	Value (mm ²)	GC-Gewebe-P07	Value (mm ²)
Kreis	32,26	Kreis	30,04	Kreis	29,61
Zusatz Abruch	0,00	Zusatz Abruch	15,46	Zusatz Abruch	19,10
GC-Tesa-P08	Value (mm ²)	GC-Folie-P08	Value (mm ²)	GC-Gewebe-P08	Value (mm ²)
Kreis	29,61	Kreis	32,94	Kreis	29,61
Zusatz Abruch	12,98	Zusatz Abruch	17,07	Zusatz Abruch	0,00
GC-Tesa-P09	Value (mm ²)	GC-Folie-P09	Value (mm ²)	GC-Gewebe-P09	Value (mm ²)
Kreis	34,56	Kreis	30,26	Kreis	29,39
Zusatz Abruch	7,32	Zusatz Abruch	15,47	Zusatz Abruch	26,05
GC-Tesa-P10	Value (mm ²)	GC-Folie-P10	Value (mm ²)	GC-Gewebe-P10	Value (mm ²)
Kreis	34,36	Kreis	32,94	Kreis	33,17
Zusatz Abruch	11,58	Zusatz Abruch	14,97	Zusatz Abruch	16,27
GC-Tesa-P11	Value (mm ²)	GC-Folie-P11	Value (mm ²)	GC-Gewebe-P11	Value (mm ²)
Kreis	30,48	Kreis	29,39	Kreis	29,82
Zusatz Abruch	6,39	Zusatz Abruch	0,00	Zusatz Abruch	18,07
GC-Tesa-P12	Value (mm ²)	GC-Folie-P12	Value (mm ²)	GC-Gewebe-P12	Value (mm ²)
Kreis	33,17	Kreis	32,71	Kreis	33,40
Zusatz Abruch	9,80	Zusatz Abruch	12,67	Zusatz Abruch	15,14

9.2.3 Solidex

Tabelle 16: Solidex Flächenberechnung + Zusatzabbruchwerte

SOLIDEX TESA		SOLIDEX FOLIE		SOLIDEX GEWEBE	
Sol-Tesa-P01	Value (mm ²)	Sol-Folie-P01	Value (mm ²)	Sol-Gewebe-P01	Value (mm ²)
Kreis	29,83	Kreis	31,81	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	12,75	Zusatz Abruch	20,03	Zusatz Abruch	83,79
Sol-Tesa-P02	Value (mm ²)	Sol-Folie-P02	Value (mm ²)	Sol-Gewebe-P02	Value (mm ²)
Kreis	34,56	Kreis	27,91	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	13,55	Zusatz Abruch	13,83	Zusatz Abruch	86,79
Sol-Tesa-P03	Value (mm ²)	Sol-Folie-P03	Value (mm ²)	Sol-Gewebe-P03	Value (mm ²)
Kreis	30,04	Kreis	31,59	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	12,12	Zusatz Abruch	15,80	Zusatz Abruch	82,53
Sol-Tesa-P04	Value (mm ²)	Sol-Folie-P04	Value (mm ²)	Sol-Gewebe-P04	Value (mm ²)
Kreis	29,61	Kreis	27,49	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	12,11	Zusatz Abruch	19,69	Zusatz Abruch	82,85
Sol-Tesa-P05	Value (mm ²)	Sol-Folie-P05	Value (mm ²)	Sol-Gewebe-P05	Value (mm ²)
Kreis	34,09	Kreis	35,26	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	16,39	Zusatz Abruch	12,89	Zusatz Abruch	81,85
Sol-Tesa-P06	Value (mm ²)	Sol-Folie-P06	Value (mm ²)	Sol-Gewebe-P06	Value (mm ²)
Kreis	31,81	Kreis	28,96	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	16,07	Zusatz Abruch	15,36	Zusatz Abruch	83,85
Sol-Tesa-P07	Value (mm ²)	Sol-Folie-P07	Value (mm ²)	Sol-Gewebe-P07	Value (mm ²)
Kreis	30,92	Kreis	31,59	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	21,60	Zusatz Abruch	19,17	Zusatz Abruch	88,48
Sol-Tesa-P08	Value (mm ²)	Sol-Folie-P08	Value (mm ²)	Sol-Gewebe-P08	Value (mm ²)
Kreis	30,70	Kreis	29,39	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	18,19	Zusatz Abruch	19,51	Zusatz Abruch	81,21
Sol-Tesa-P09	Value (mm ²)	Sol-Folie-P09	Value (mm ²)	Sol-Gewebe-P09	Value (mm ²)
Kreis	33,40	Kreis	32,71	Kreis	28,12
Zusatz Abruch	10,81	Zusatz Abruch	16,49	Zusatz Abruch	30,17
Sol-Tesa-P10	Value (mm ²)	Sol-Folie-P10	Value (mm ²)	Sol-Gewebe-P10	Value (mm ²)
Kreis	33,17	Kreis	27,70	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	15,22	Zusatz Abruch	19,19	Zusatz Abruch	80,17
Sol-Tesa-P11	Value (mm ²)	Sol-Folie-P11	Value (mm ²)	Sol-Gewebe-P11	Value (mm ²)
Kreis	29,18	Kreis	30,48	Kreis	0,00
Zusatz Abruch	15,10	Zusatz Abruch	16,73	Zusatz Abruch	81,27

Sol-Tesa-P12	Value (mm ²)	Sol-Folie-P12	Value (mm ²)	Sol-Gewebe-P12	Value (mm ²)
Kreis	32,71	Kreis	28,96	Kreis	31,81
Zusatz Abruch	14,85	Zusatz Abruch	21,09	Zusatz Abruch	30,71

9.2.4 Sinfony

Tabelle 17: Sinfony Flächenberechnung + Zusatzabbruchwerte

SINFONY TESA		SINFONY FOLIE		SINFONY GEWEBE	
Sin-Tesa-P01	Value (mm ²)	Sin-Folie-P01	Value (mm ²)	Sin-Gewebe-P01	Value (mm ²)
Kreis	33,04	Kreis	29,70	Kreis	32,13
Zusatz Abruch	7,98	Zusatz Abruch	9,35	Zusatz Abruch	12,51
Sin-Tesa-P02	Value (mm ²)	Sin-Folie-P02	Value (mm ²)	Sin-Gewebe-P02	Value (mm ²)
Kreis	29,92	Kreis	31,46	Kreis	30,79
Zusatz Abruch	8,41	Zusatz Abruch	11,41	Zusatz Abruch	14,93
Sin-Tesa-P03	Value (mm ²)	Sin-Folie-P03	Value (mm ²)	Sin-Gewebe-P03	Value (mm ²)
Kreis	32,13	Kreis	30,35	Kreis	28,42
Zusatz Abruch	2,77	Zusatz Abruch	12,56	Zusatz Abruch	0,00
Sin-Tesa-P04	Value (mm ²)	Sin-Folie-P04	Value (mm ²)	Sin-Gewebe-P04	Value (mm ²)
Kreis	29,92	Kreis	33,27	Kreis	31,46
Zusatz Abruch	0,00	Zusatz Abruch	12,30	Zusatz Abruch	16,02
Sin-Tesa-P05	Value (mm ²)	Sin-Folie-P05	Value (mm ²)	Sin-Gewebe-P05	Value (mm ²)
Kreis	31,46	Kreis	32,58	Kreis	31,91
Zusatz Abruch	10,15	Zusatz Abruch	11,81	Zusatz Abruch	13,94
Sin-Tesa-P06	Value (mm ²)	Sin-Folie-P06	Value (mm ²)	Sin-Gewebe-P06	Value (mm ²)
Kreis	31,23	Kreis	32,13	Kreis	30,79
Zusatz Abruch	5,32	Zusatz Abruch	9,49	Zusatz Abruch	10,89
Sin-Tesa-P07	Value (mm ²)	Sin-Folie-P07	Value (mm ²)	Sin-Gewebe-P07	Value (mm ²)
Kreis	29,70	Kreis	29,92	Kreis	29,70
Zusatz Abruch	9,84	Zusatz Abruch	13,58	Zusatz Abruch	15,93
Sin-Tesa-P08	Value (mm ²)	Sin-Folie-P08	Value (mm ²)	Sin-Gewebe-P08	Value (mm ²)
Kreis	32,81	Kreis	33,73	Kreis	34,19
Zusatz Abruch	7,03	Zusatz Abruch	10,60	Zusatz Abruch	11,65
Sin-Tesa-P09	Value (mm ²)	Sin-Folie-P09	Value (mm ²)	Sin-Gewebe-P09	Value (mm ²)
Kreis	32,36	Kreis	33,04	Kreis	31,46
Zusatz Abruch	6,97	Zusatz Abruch	12,63	Zusatz Abruch	15,12
Sin-Tesa-P10	Value (mm ²)	Sin-Folie-P10	Value (mm ²)	Sin-Gewebe-P10	Value (mm ²)
Kreis	30,35	Kreis	30,14	Kreis	32,81
Zusatz Abruch	10,65	Zusatz Abruch	20,56	Zusatz Abruch	13,20

Sin-Tesa-P11	Value (mm ²)	Sin-Folie-P11	Value (mm ²)	Sin-Gewebe-P11	Value (mm ²)
Kreis	30,14	Kreis	29,92	Kreis	30,57
Zusatz Abruch	10,66	Zusatz Abruch	14,11	Zusatz Abruch	14,55
Sin-Tesa-P12	Value (mm ²)	Sin-Folie-P12	Value (mm ²)	Sin-Gewebe-P12	Value (mm ²)
Kreis	32,58	Kreis	29,49	Kreis	31,23
Zusatz Abruch	16,05	Zusatz Abruch	13,47	Zusatz Abruch	13,72

10 Danksagungen

Herrn Prof. Dr. J. Geis-Gerstorfer danke ich für die großzügige Überlassung des Themas, sowie die freundliche Beratung und Betreuung beim Anfertigen dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. H. Weber danke ich für die Möglichkeit, die Messungen in der Abteilung für zahnärztliche Prothetik durchführen zu können.

Frau Ch. Schille danke ich für die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Testreihen.

Der Firma Schütz Dental danke ich für die zur Durchführung der Versuche benötigten Metallprüfkörper.

Meinem Bruder Carsten Hermes für seine konstruktive Kritik an der Formatierung dieser Arbeit.

11 Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name:	Hermes
Vorname:	Kai Jan
Geburtsdatum:	19.03.1982
Geburtsort	Tübingen

Schulbildung:

1988-1992	Grundschule Hechingen
1992-2001	Allgemeines Gymnasium Hechingen
30.06.2001	Abitur am Gymnasium Hechingen

Zivildienst:

01.09.2001-30.06.2002	Zivildienst beim DRK Tübingen mit Ausbildung zum Rettungshelfer
-----------------------	--------------------------------------------------------------------

Hochschulbildung:

2002-2008	Studium der Zahnheilkunde an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen
2003	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
2005	Zahnärztliche Vorprüfung
28.05.2008	Zahnärztliche Prüfung