

Aus der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
- Forschungsbereich Experimentelle Zahnheilkunde -
der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.

**Werkstoffwissenschaftliche
und zahntechnische
Bewertung der dentalen Presskeramik
Carrara Press**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur
Erlangung des Zahnmedizinischen Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg i. Br.

Vorgelegt 2003
von Stefan Schwöbel
geboren in Brebach/Saar

Dekan: Prof. Dr. M. Schumacher
Erstgutachter: Prof. Dr. H. F. Kappert
Zweitgutachterin: Frau P.D. Dr. P. Hahn
Jahr der Promotion: 2003

für Lena, Gertrud und Johanna

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	6
2	GRUNDLAGEN	7
2.1	Entwicklung von Vollkeramiksystemen	7
2.2	Unterteilung dentaler Keramiken	8
2.2.1	Verblendkeramik	8
2.2.2	Gerüstkeramik	9
2.2.2.1	Presskeramik	9
2.2.2.2	Fräs- und Schleifkeramik	10
2.2.2.3	Infiltrationskeramik	11
2.3	Mikrostrukturen der Glaskeramiken	12
2.3.1	Chemischer Aufbau der Glasphase	12
2.3.2	Mikrogefüge der Glaskeramik	14
2.4	Eigenschaften einer Dentalkeramik	16
2.4.1	Mechanische und physikalische Eigenschaften	16
2.4.2	Chemische Eigenschaften	18
2.4.3	Optische Eigenschaften	18
2.4.4	Biokompatibilität	19
3	LITERATURÜBERSICHT	20
3.1	Grundlagen der Prüfverfahren	20
3.1.1	Grundlagen zur biaxialen Biegefestigkeit nach ISO 6872	21
3.1.2	Grundlagen zur chemischen Löslichkeit nach ISO 6872	22
3.1.3	Grundlagen zur Bruchfestigkeit	23
3.1.4	Grundlagen zum Thermoschocktest	24
3.2	Ziel der Arbeit	26
4	MATERIAL	27
4.1	Material zur Untersuchung	27
5	METHODE	29

5.1	Herstellung der Prüfkörper	29
5.1.1	Prüfkörper für den Biegefestigkeitsversuch	29
5.1.1.1	Herstellung der Wachsmodelle	29
5.1.1.2	Pressen der Prüfkörper	30
5.1.2	Prüfkörper für die Löslichkeitsuntersuchung	31
5.1.2.1	Herstellung der Prüfkörper aus Verblendkeramik	32
5.1.2.2	Herstellung der Prüfkörper aus Presskeramik	32
5.1.3	Prüfkörper für die Bruchfestigkeitsprüfung	32
5.1.3.1	Herstellung der Wachsmodelle	33
5.1.3.2	Pressen der Prüfkörper	34
5.1.3.3	Verblenden der Prüfkörper	34
5.1.4	Prüfkörper für den Thermoschocktest	35
5.1.4.1	Herstellung der Prüfkörper	35
5.2	Zahntechnische Verarbeitung	36
5.3	Prüfung nach standardisierten Verfahren	37
5.3.1	Prüfung der biaxialen Biegefestigkeit nach ISO 6872	37
5.3.1.1	Vorbereitung für die Biegefestigkeitsprüfung	37
5.3.1.2	Durchführung der Biegefestigkeitsprüfung	38
5.3.2	Prüfung der chemischen Löslichkeit	38
5.3.2.1	Vorbereitung für die Löslichkeitsprüfung der Verblendkeramik	38
5.3.2.2	Durchführung der Löslichkeitsprüfung der Verblendkeramik	39
5.3.2.3	Vorbereitung für die Löslichkeitsprüfung der Presskeramik	40
5.3.2.4	Durchführung der Löslichkeitsprüfung der Presskeramik	40
5.3.3	Prüfung der Bruchfestigkeit	40
5.3.3.1	Vorbereitung der Bruchfestigkeitsprüfung / adhäsiv befestigte Kronen	40
5.3.3.2	Durchführung der Bruchfestigkeitsprüfung / adhäsiv befestigte Kronen	41
5.3.3.3	Vorbereitung der Bruchfestigkeitsprüfung / zementierte Kronen	42
5.3.3.4	Durchführung der Bruchfestigkeitsprüfung / zementierte Kronen	42
5.3.4	Thermoschocktest	43
5.3.4.1	Vorbereitung des Thermoschocktest	43
5.3.4.2	Durchführung des Thermoschocktest	43
6	ERGEBNISSE	44
6.1	Biaxiale Biegefestigkeit	44
6.1.1	Biaxiale Biegefestigkeit nach ISO 6872	44
6.1.2	Biaxiale Biegefestigkeit nach Löslichkeitsuntersuchung	46

		3
6.2	Chemische Löslichkeit	48
6.2.1	Chemische Löslichkeit der Verblendkeramik	48
6.2.2	Chemische Löslichkeit der Presskeramik	50
6.2.3	Chemische Löslichkeit der Presskeramik / Politur u. Glanzbrand	52
6.3	Bruchfestigkeit der Vollkeramikronen	54
6.3.1	Bruchfestigkeit / adhäsive Befestigung	54
6.3.2	Bruchfestigkeit / zementiert	54
6.3.3	Bruchfestigkeit / adhäsive Befestigung nach Thermoschock	55
6.4	Thermoschocktest	57
6.5	Beobachtungen bei der zahntechnischen Verarbeitung	59
7	DISKUSSION	61
7.1	Versuch der biaxialen Biegefestigkeit	61
7.1.1	Zur Methode	61
7.1.2	Zu den Ergebnissen	61
7.2	Versuch der chemischen Löslichkeit	63
7.2.1	Zur Methode	63
7.2.2	Zu den Ergebnissen	63
7.3	Versuch der Bruchfestigkeit	65
7.3.1	Zur Methode	65
7.3.2	Zu den Ergebnissen	65
7.4	Thermoschockprüfung	68
7.4.1	Zur Methode	68
7.4.2	Zu den Ergebnissen	68
7.5	Bewertung des Systems unter zahntechnischen Gesichtspunkten	69
8	ZUSAMMENFASSUNG	71
9	LITERATURVERZEICHNIS	72

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Tabelle 1: Herstellerangaben zu Carrara Press Core, Carrara Press Inlay und Carrara Vincent	10
Abb. 1: REM Aufnahme von Carrara Press Core ungespresst, geätzt / Vergrößerung: 500-fach	14
Abb. 2: REM Aufnahme von Carrara Press Core ungespresst, geätzt / Vergrößerung: 1000-fach	14
Abb. 3: REM Aufnahme von Carrara Press Inlay ungespresst, geätzt / Vergrößerung: 500-fach	15
Abb. 4: REM Aufnahme von Carrara Press Inlay ungespresst, geätzt / Vergrößerung: 1000-fach	15
Tabelle 2: Brenntabelle für Keramikpressofen Stratos	30
Abb. 5: Pressvorrichtung CP 200 von Elephant	31
Abb. 6: Modellierte Kämpchen an Objekthalter angestiftet	33
Abb. 7: Schnitt eines Carrara Press Core Kämpchens mit einer Schichtdicke von 0,8 mm bis 1,0 mm.	34
Tabelle 3: Brenntabelle für Carrara Vincent	35
Abb. 8: Modellierte Kronen für den Bruchfestigkeitsversuch und den Thermoschocktest	36
Abb. 9: Schematische Darstellung der Prüfanordnung zur biaxialen Biegefestigkeit	37
Abb. 10: Prüfkörper während der biaxialen Biegefestigkeitsprüfung	38
Abb. 11: Prüfanordnung zur chemischen Löslichkeit vor dem Einbringen in den Wärmeschrank	39
Abb. 12: Prüfanordnung mit Prüfkörper nach Voß	41
Tabelle 4: Biegefestigkeit - Versuch 1 / Carrara Press Core	44
Tabelle 5: Biegefestigkeit - Versuch 2 / Carrara Press Inlay	45
Tabelle 6: Biegefestigkeit nach Löslichkeit - Versuch 3 / Carrara Press Core	46
Tabelle 7: Biegefestigkeit nach Löslichkeit - Versuch 4 / Carrara Press Inlay	46
Abb. 13: Die Biegefestigkeit der vier Versuchsdurchläufe im Vergleich	47
Abb. 14: Boxplotdarstellung mit Medianwert und Ausreißer	47
Tabelle 8: Chemische Löslichkeit / Carrara Vincent - schmelz 1	48
Tabelle 9: Chemische Löslichkeit / Carrara Vincent - schmelz 2	49
Tabelle 10: Chemische Löslichkeit / Carrara Vincent - dentin	49
Tabelle 11: Chemische Löslichkeit / Carrara Press - core 1	50
Tabelle 12: Chemische Löslichkeit / Carrara Press - core 2	50
Tabelle 13: Chemische Löslichkeit / Carrara Press - inlay 1	51
Tabelle 14: Chemische Löslichkeit / Carrara Press - inlay 2	51
Tabelle 15: Chemische Löslichkeit / Carrara Press - Core glb	52
Tabelle 16: Chemische Löslichkeit / Carrara Press - Inlay glb	52
Abb. 15: Die chemische Löslichkeit der neun Versuchsdurchläufe im Vergleich	53
Tabelle 17: Bruchfestigkeit - Versuch 1 / Panavia 21 [®]	54
Tabelle 18: Bruchfestigkeit - Versuch 2 / Harvard Zement	54
Tabelle 19: Bruchfestigkeit - Versuch 1 / Panavia 21 [®] nach Thermoschock	55
Abb. 16: Bruchfläche / Befestigung m. Panavia 21 [®] ; Abb. 17: Bruchfläche / Befestigung m. ZnO	55
Abb. 18: Die Bruchfestigkeit der drei Versuchsdurchläufe im Vergleich	56
Abb. 19 / 20: Kronen mit Riss nach Termoschocktest bei 150° C	57
Abb. 21 / 22: Kronen mit Riss nach Termoschocktest bei 160° C	57
Abb. 23 / 24: Kronen mit Riss nach Termoschocktest bei 160° C	58
Abb. 25: Krone mit Riss nach Termoschocktest bei 160° C	58
Abb. 26 / 27: Objekte, die beim Pressen nicht vollständig ausgefüllt wurden	59
Abb. 28 / 29: Prüfkörper mit Bruchflächen	59
Abb. 30: Pressstempel mit Pressfahnen; Abb. 31: angestiftetes Kämpchen mit Pressfahnen	60

Abb. 32: Vergleich der chemischen Löslichkeit von Vollkeramiksystemen (Kappert 1998)	64
Abb. 33: Bruchfestigkeit von Eckzahnkronen im Vergleich (Kappert 2001)	67

1 Einleitung

Dem Wunsch der Patienten nach einem ästhetisch anspruchsvollen und qualitativ hochwertigen Zahnersatz wird von Seiten der Zahnärzte, der Techniker und der Industrie durch stetige Neuentwicklungen und Verbesserungen der Restaurationsmaterialien Folge geleistet. So sind dentale Keramiken in den letzten Jahrzehnten aufgrund ihrer hohen Biokompatibilität und Mundbeständigkeit sowie ihrer hervorragenden ästhetischen Eigenschaften zu einem wichtigen Pfeiler in der Wiederherstellung von dentalen Defekten herangereift. Bei der Herstellung von Einzelzahnrestaurationen bilden Vollkeramische Systeme durch kontinuierliche Verbesserungen ihrer mechanischen Eigenschaften eine echte Alternative zu Goldgussrestaurationen. Durch den Einsatz neuer und innovativer Techniken wurde es möglich, keramische Werkstoffe auch in funktionellen und ästhetisch anspruchsvollen Bereichen der Mundhöhle sicher einzugliedern.

Im Rahmen dieser Dissertation wurde das Vollkeramische System Cararra Press der Firma Elephant Dental untersucht. Hierbei handelt es sich um ein Presssystem zur Herstellung von Kronen und Inlays. Im Vergleich zu schon auf dem Markt befindlichen Produkten unterscheidet sich dieses System durch geringe Anschaffungskosten und die Nutzung bereits vorhandener Geräte. Weiterhin liegt dem Produkt der Systemgedanke zugrunde d.h. Metalllegierung, Presskeramik sowie die zugehörige Aufbrennkeramik kommen aus einer Hand. Bei der Untersuchung wurden sowohl werkstoffkundliche Eigenschaften bezüglich der physikalischen und chemischen Belastbarkeit des Systems, als auch der zahntechnische Herstellungsprozeß bewertet.

2 Grundlagen

2.1 Entwicklung von Vollkeramiksystemen

Die Anfänge der Keramik im zahnärztlichen Bereich gehen auf den Franzosen *Alexis Duchateau* aus dem Jahre 1770 zurück. Er versuchte eine Totale Prothese aus Keramik zu brennen, was ihm aufgrund der massiven Sinterschrumpfung große Probleme bereitete. Eine 1776 entwickelte niedrig schmelzende Keramik wurde von *Dubois* für den gleichen Einsatz mit größerem Erfolg verwendet. Die ersten Porzellaneinzelzähne für Prothesen wurden 1808 hergestellt. Die Entwicklung der Porzellanmantelkrone, die sogenannte Jacketkrone, wird auf das Jahr 1886 datiert und dem Amerikaner *Charles Land* aus Detroit zugeschrieben. 1908 wird von *Schneider* die Bedeutung der Schulterpräparation, welche im Rechten Winkel zur Okklusalkraft anzulegen ist, für die Festigkeit der Jacketkrone beschrieben. Mit dem Brennen der Keramik unter Vakuum wurde 1940 von der Firma Wienand ein wichtiger Schritt bezüglich einer geringeren Porosität der Oberfläche und einem verbesserten optischen Erscheinungsbild getan. Ein weiterer Entwicklungssprung wurde 1965 von *Mc Lean* und *Hughes* durch Zugabe von Aluminiumoxid vollzogen. Das sogenannte Prinzip der Dispersionsverfestigung ist als wichtiger Schritt in der Entwicklung hochfester Keramiken anzusehen. Die ersten Versuche eine Keramik durch eine Heißumformung in Zahnform zu bringen wurden 1968 von *Mc Culloch* veröffentlicht. Weitere neuentwickelte Vollkeramiksysteme wurden für die Press- und Frästechnik in den 80er Jahren auf den Markt gebracht. Gegen Ende der 90er Jahre wurden für die Presstechnik synthetische Glaskeramiken mit bis dahin einzigartigen Materialfestigkeiten vorgestellt. Auch durch stetige Weiterentwicklungen der Schleif- und Fräskeramiken sind nunmehr metallfreie Brückenrestorationen für den Seitenzahnbereich möglich geworden.

2.2 Unterteilung dentaler Keramiken

Um gezielt eine Keramik betrachten zu können, ist es notwendig eine Unterteilung der verschiedenen Produkte zu treffen. Diese kann einerseits bezüglich der chemischen oder physikalischen Eigenschaften oder andererseits nach Anwendungsbereichen erfolgen. In Anbetracht der Thematik dieser Arbeit scheint eine Unterteilung nach Anwendungsbereichen in

1. Verblendkeramik und
2. Gerüstkeramik
 - a. Presskeramik
 - b. Fräs- und Schleifkeramik
 - c. Infiltrationskeramik

als sinnvoll.

2.2.1 Verblendkeramik

Hierbei kann eine Unterteilung nach der chemischen Zusammensetzung bezüglich des Leuzitgehaltes getroffen werden. Leuzithaltige Keramiken können sowohl natürlich als auch synthetisch hergestellt werden. Natürlich hergestellte leuzithaltige Keramiken sind klassische Aufbrennkeramiken wie Carrara Vincent (Elephant, NL-Hoorn) mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK, in $\mu\text{m} / \text{m}\cdot\text{K}$) von $15,1\cdot 10^{-6}\text{K}$ oder Duceram (Degussa, D-Rosbach) mit einem WAK von $13,2\cdot 10^{-6}\text{K}$. Synthetisch hergestellte Leuzitkeramiken wie IPS Classic (Ivoclar, FL-Schaan) (WAK von $12,6\cdot 10^{-6}\text{K}$) gelten als moderne Aufbrennkeramiken. Die in der Glasphase dispers verteilten Leuzitkristalle haben die Aufgabe durch Streuung und Trübung die transparente Glasphase farblich dem Zahnschmelz anzugleichen sowie die Standfestigkeit beim Brennen und die Endfestigkeit unter funktioneller Belastung zu steigern.

Leuzitfreie Schichtkeramiken werden zur Herstellung der Jacketkronen verwendet. Der wohl bekannteste Werkstoff dieser Gruppe ist Vitadur Alpha (Vita, D-Bad

Säckingen). Der WAK von diesem Werkstoff liegt mit $7,0 \cdot 10^{-6} \text{K}$ deutlich unter den Werten der leuzithaltigen Verblendkeramiken. Diese Unterschiede ergeben sich durch einen niedrigeren WAK der Glasphase. Leuzitkristalle haben einen höheren WAK und erhöhen somit durch ihre Einlagerung den Gesamt- WAK. Dies erfordert eine Abstimmung der Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen Gerüstwerkstoff und Verblendwerkstoff, um unerwünschte Spannungen zu vermeiden.

2.2.2 Gerüstkeramik

Gerüstkeramiken sind bezüglich ihrer Herstellungsart in Presskeramik, Fräskeramik und in Infiltrationskeramik zu unterteilen.

2.2.2.1 Presskeramik

Presskeramiken lassen sich ebenfalls bezüglich ihrer chemischen Zusammensetzung in Lithiumdisilikathaltige und Leuzithaltige Keramiken unterteilen. Als Keramiken die Lithiumdisilikat als Kristalltyp aufweisen, sollen Optec OPC 3G (Jeneric Pentron, Kusterdingen) oder Empress 2 (Ivoclar, FL-Schaan) mit einem WAK von $10,6 \cdot 10^{-6} \text{K}$ und $10,3 \cdot 10^{-6} \text{K}$ und einer Biegefestigkeit von ca. 300 MPa, Erwähnung finden. Mit diesen Werkstoffen ist sowohl die Herstellung von Einzelkornen als auch von kleineren Frontzahnbrücken möglich.

Leuzithaltige Glaskeramiken können weiterhin in leuzitverstärkte Glaskeramiken und Glaskeramiken mit einem klassischen Leuzitgehalt unterteilt werden. Als Glaskeramiken bezeichnet man mineralische Massen, die im geschmolzenen Zustand als Glas vorliegen und während der Abkühlphase aus dem Kalifeldspat des Glases Kristalle bilden (*Kappert und Krahl 2001*). Glaskeramiken die als leuzitverstärkt gelten weisen einen WAK von $\sim 16 \cdot 10^{-6} \text{K}$ auf und haben einen Kaliumgehalt bis 14 %. Der wohl bekannteste Vertreter dieser Gruppe ist IPS-Empress (Ivoclar, FL-Schaan). Durch eine optimale Verteilung der Leuzitkristalle in der Glasphase werden Biegefestigkeitswerte, die im Bereich von 150 MPa bis 200 MPa liegen erreicht (*Dong, Lüthy, Wohlwend und Schärer 1992 / Kappert 1996*).

Der uns vorliegende Werkstoff Carrara Press ist mit einem WAK von $13,8 \cdot 10^{-6} \text{K}$ für Core- und $13,2 \cdot 10^{-6} \text{K}$ für Inlay- Material und einem Kaliumgehalt von weniger als 11,4 %, in die Stoffklasse der Presskeramiken mit klassischem Leuzitgehalt einzuordnen. Carrara Press Inlay ist nach DIN ISO 6872 als Typ II, Klasse 2 Keramik zu bezeichnen und zur Herstellung von Inlays und Onlays geeignet. Carrara Press Core wird als Typ I, Klasse 1 Keramik ausgewiesen und wird zur Fertigung der Trägerstruktur von Kronen verwendet. Die angegebene Biegefestigkeit von 134 MPa für Carrara Core und 120 MPa für Carrara Inlay liegt im Vergleich zu anderen Systemen im mittleren bis oberen Bereich (*Kappert und Krah 2001*). Die unten aufgeführte Tabelle vervollständigt die Zusammensetzung und die werkstoffspezifischen Kenndaten sowohl der Presskeramiken als auch der zugehörigen Verblendmasse.

	Carrara Press Core	Carrara Press Inlay	Carrara Vincent
Zusammensetzung			
Siliziumdioxid	56 - 62 %	59 - 65 %	61 - 67 %
Aluminiumoxid	20 - 24 %	16,5 - 20 %	12 - 14 %
Kaliumoxid	9,4 - 11,4 %	9,1 - 11,1 %	9 - 12 %
Natriumoxid	6,1 - 7,1 %	6,7 - 8,7 %	8 - 11 %
Kalziumoxid	0,1 - 0,5 %	0,2 - 0,4 %	
Lithiumoxid	0,2 - 0,6 %		
Pigmente	1,3 - 1,7 %	1,0 - 1,4 %	
Kristalltyp	Leuzitaluminiumoxid	Leuzitaluminiumoxid	Leuzit
Glastyp	Silikat	Silikat	Feldspat
Produkt	natürlich	natürlich	natürlich
WAK	$13,8 \cdot 10^{-6} \text{K}$	$13,2 \cdot 10^{-6} \text{K}$	$15,1 \cdot 10^{-6} \text{K}$
Biegefestigkeit	134 MPa	120 MPa	100 MPa
Befestigungsart	adhäsiv	adhäsiv	

Tabelle 1: Herstellerangaben zu Carrara Press Core, Carrara Press Inlay und Carrara Vincent

2.2.2.2 Fräs- und Schleifkeramik

Auch in der Gruppe der Fräs- und Schleifkeramiken soll vorab eine Unterteilung bezüglich der chemischen Zusammensetzung getroffen werden. So sind Glaskeramiken (Vita Blocks MarkII von Vita, D-Bad Säckingen) zur Herstellung von Inlays und Kronen, Infiltrationskeramiken (In-Ceram Alumina, Spinell und Zirkonia von Vita, D-Bad Säckingen), Aluminiumoxidverstärkte Keramiken (Synthotherm von Elephant, NL-Hoorn), Aluminiumoxid (Procera von Nobel

Biocare, D-Köln) und Zirkoniumoxid zur Fertigung von Kronen und Brücken mittels Fräs- und Schleiftechnik geeignet (*Kappert und Krahl 2001*). Als Vorteil von Restaurationen aus Aluminium- und Zirkoniumoxid gegenüber anderen Vollkeramiken kann eine drei- bis vierfach höhere Biegefestigkeit (600 MPa bis 1000 MPa) sowie Elastizitätsmodule zwischen 200 GPa bis 300 GPa genannt werden. Sie vereint die zur Zeit besten, für die Zahnheilkunde nutzbaren Materialeigenschaften (*Kappert und Krahl 2001*). Ein beachtenswerter Punkt liegt in der Verarbeitungsweise. So kann Zirkoniumoxid einerseits im nachverdichteten, „gehipten“ Zustand unter großem Zeitaufwand beschliffen werden oder andererseits als vorgepresster und vorgesinterter Rohling beschliffen und im anschließenden, mehrstündigen Sinterbrand verdichtet werden.

Die Betrachtung der Herstellungsweise lässt eine Unterteilung in das Kopierschleifverfahren Celay (Mikrona Technology AG, D-Spreitenbach), die echten CAD/CAM-Systeme wie beispielsweise Cerec (Sirona, D-Bensheim), DCS (DCS-Dental, CH-Allschwil), Digident (Girrbach, D-Pforzheim), CAD esthetics (Decim, Skelleftea mit Ivoclar, FL-Schaan), Procera (Nobel Biocare, D-Köln) oder Cicero (Cicero Dental System B.V., NL-Hoorn) und das CAM-System Cercon (Degussa Dental, D-Hanau) zu. Cercon unterscheidet sich von CAD/CAM-Systemen durch eine in Wachs modellierte Restauration, welche eingescannt wird und in einer anschließenden computerunterstützten Fertigungsphase (CAM) gefräst wird.

2.2.2.3 Infiltrationskeramik

In dieser Gruppe stellt die Keramik In-Ceram (VITA, Bad Säckingen) eine wichtige und interessante Variante dar. Es handelt sich hierbei um zwei dreidimensional-infiltrierende Phasen aus Aluminiumoxid und einem Glas. Das Gerüst wird mit Feldspatkeramik beschichtet. Die Festigkeitswerte schwanken, abhängig von der Testmethode, zwischen 236 MPa und 446 MPa und kommen denen von Metallkeramik nahezu gleich. In-Ceram Kronen hatten eine entsprechende Bruchfestigkeit wie metallkeramische Kronen (*Kappert und Krahl 2001*).

2.3 Mikrostrukturen der Glaskeramiken

2.3.1 Chemischer Aufbau der Glasphase

Der chemische Grundbaustein der Glasphase wird durch den SiO_4 -Tetraeder, ein zentrales Siliziumatom welches von vier Sauerstoffatomen umgeben wird, gebildet. Die Sauerstoffatome haben bei dieser Bindung noch eine freie Valenz mit der sie weitere Bindungen zu Siliziumionen eingehen können. Durch diese Art der Verknüpfung entsteht ein dreidimensionales Netzwerk. Liegt nun eine streng gesetzmäßige Verknüpfung über einen weiten Streckenabschnitt (Fernordnung) vor, so spricht man von einer kristallinen Struktur (*Fischer 1996*).

Dieses Prinzip der größtmöglichen Ordnung kann jedoch beim Erreichen tiefer Temperaturen durch äußere Einflüsse derart gestört werden, dass es zwar zur Ausbildung regelrechter SiO_4 -Tetraeder kommt, diese aber untereinander nicht streng aneinander angelagert sind. Durch diesen Umstand wird die Fernordnung so gestört, dass die Schmelze einen ungeordneten Zustand beim Erstarren beibehält. Man erhält somit eine als gläserne Struktur bezeichneten Zustand wie beispielsweise bei Siliziumdioxid. Aufgrund der nicht streng geometrischen Anordnung der SiO_4 -Tetraeder untereinander, erfolgt die Ausbildung eines räumlichen Netzwerkes. Oxide und andere Elemente haben nun die Möglichkeit sich über Haupt- oder Nebenvalenzen zu den Trennstellensauerstoffatomen in die Grundstruktur des Netzwerkes einzulagern. Aufgrund ihrer Eigenschaft Si-O-Si-Bindungen aufzuspalten und so das SiO_2 -Netzwerk zu schwächen, werden sie als Netzwerkwandler bezeichnet. Aus dieser Schwächung resultiert eine größere Beweglichkeit der Bausteine untereinander sowie eine Senkung der Viskosität (*Fischer 1996*). Die durch das Aufreißen der Si-O-Si-Bindungen entstandenen endständigen Sauerstoffatome haben negative Überschussladungen, die durch Alkaliionen (K^+ oder Na^+) abgesättigt werden. Durch diesen Vorgang kommt es zur Senkung der Erweichungstemperatur.

Netzwerk wandler haben weiterhin die Eigenschaft Hohlraumvolumen aufzufüllen. Dies führt zu einer gesteigerten Wärmeausdehnung des Quarzglas, da nun die Wärmeschwingungen der Tetraeder nicht mehr ins Leere laufen, wie dies bei einem größerem Hohlraumvolumen möglich ist, sondern auf benachbarte Strukturen übertragen werden. Hierdurch erhöht sich auch der Wärmeausdehnungskoeffizient (WAK). Sie haben aufgrund der elementaren Wertigkeit verschiedene Eigenschaften und somit auch unterschiedliche Einsatzgebiete. Einwertige Elemente wie beispielsweise K^+ oder Na^+ führen zu einer Unterbrechung des Netzwerkes. Sie senken sowohl die Schmelztemperatur als auch die Korrosions- und Hydrolysebeständigkeit. Zweiwertige Netzwerk wandler wie beispielsweise das Erdalkaliumion Ca^{2+} oder das Hydroxylion OH^- führen ebenfalls zu einer Absenkung der Schmelztemperatur, jedoch bleibt die Korrosionsanfälligkeit im wesentlichen unbeeinflusst (*Hohmann 1993*).

Eine Abgrenzung der Keramik zu Glas kann bezüglich der kristallinen Struktur getroffen werden. Von einem Glas kann dann gesprochen werden, wenn es sich um eine amorphe, d. h. um eine strukturlose Masse handelt, die ohne erkennbare Kristallbildung gekennzeichnet ist. Ein weiterer Unterschied zur Keramik liegt darin, dass sowohl beim Übergang vom flüssigen in den festen Zustand als auch umgekehrt, keine neue Phase gebildet wird. Glas hat eine isotrope Eigenschaft, d.h. es gibt keine Richtungsabhängigkeit bezüglich der physikalischen Eigenschaften (*Claus 1980 / Salmang und Scholze 1982*).

Entscheidend für die Eigenschaften einer Glaskeramik sind Vorgänge, die im Bereich des Mikrogefüges an den Phasengrenzen zwischen Glasmatrix und Kristallphase ablaufen. Hier liegen zwei unterschiedliche Werkstoffphasen dicht nebeneinander. Zum einen, die aus einem Tiefenleuzit bestehende Kristallphase und zum anderen, eine vornehmlich aus Siliziumoxid bestehende Glasphase, welche die Leuzitkristalle umschließt und für das spröde Verhalten der Keramik verantwortlich ist. Charakterisiert ist dieser Gefügestand durch den Aufbau der Glasphase (*Hohmann 1993*). Liegt eine feinkristalline und homogene Verteilung der Leuzitkristalle in der Glasmatrix vor, so wirkt sich dies positiv auf die Festigkeit der Glaskeramik aus. Bei einer Anordnung in Haufwerken bleibt ein größerer Anteil der mechanisch schwächeren Glasphase kristallfrei (*Kappert 1996*).

2.3.2 Mikrogefüge der Glaskeramik

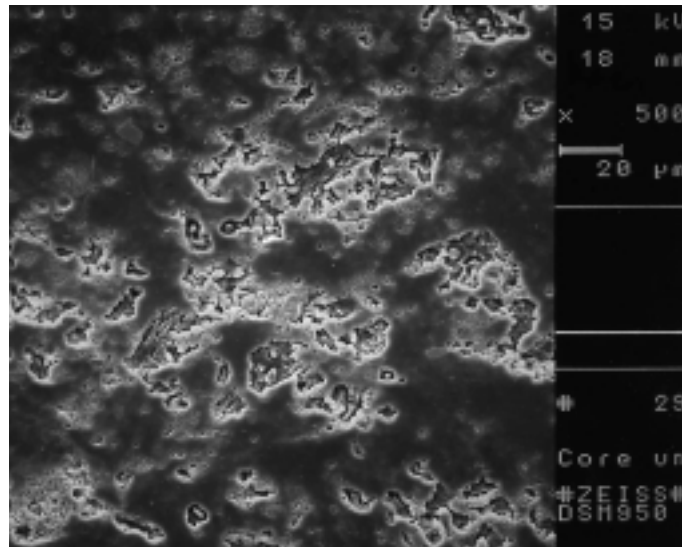


Abb. 1: REM Aufnahme von Carrara Press Core ungepresst, geätzt / Vergrößerung: 500-fach

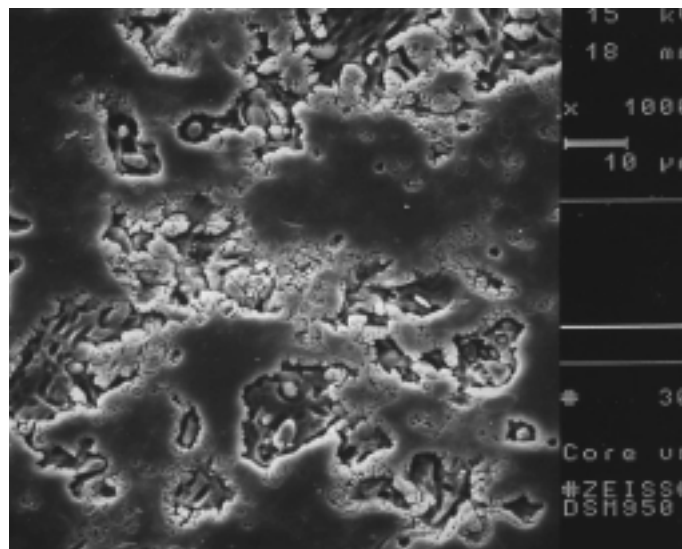


Abb. 2: REM Aufnahme von Carrara Press Core ungepresst, geätzt / Vergrößerung: 1000-fach

Die REM-Aufnahmen zeigen deutlich die aus der Glasmatrix herausgelösten Leuzitkristallbereiche, die sich in Haufwerken mit einem Durchmesser von ca. 10 µm angeordnet finden. Spannungsrisse im Umfeld der Haufwerke, die aufgrund der starken Schrumpfung der Kristalle hervorgerufen werden, sind jedoch nicht zu erkennen. Durch die ungleichmäßige und grobe Verteilung der Leuzitkristalle bei Carrara Press Core besteht demnach die Annahme, dass der Festigkeitswert im mittleren Bereich der Glaskeramiken anzusiedeln ist.

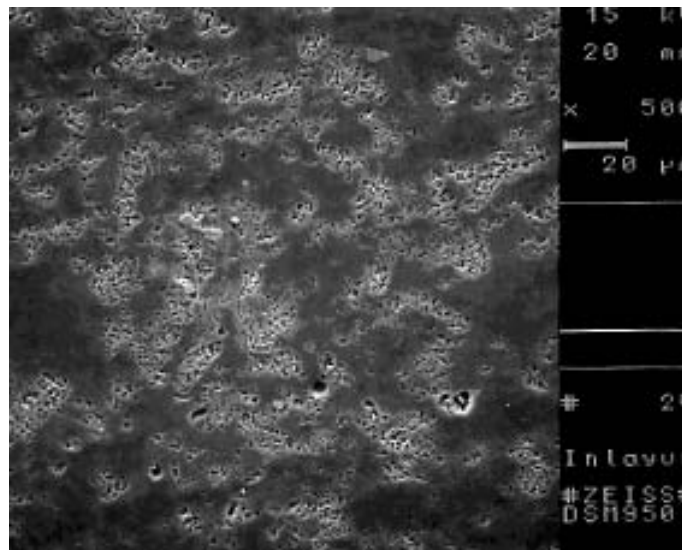


Abb. 3: REM Aufnahme von Carrara Press Inlay ungepresst, geätzt / Vergrößerung: 500-fach

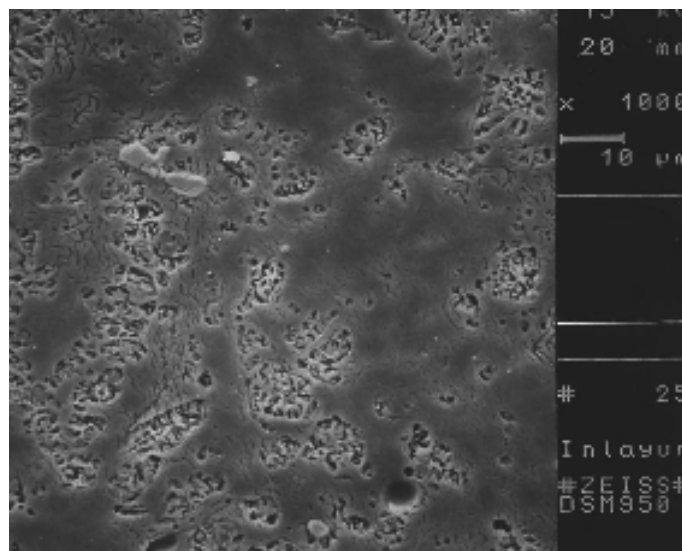


Abb. 4: REM Aufnahme von Carrara Press Inlay ungepresst, geätzt / Vergrößerung: 1000-fach

Die REM-Aufnahmen zeigen im Vergleich zu Core Material eine feinere Verteilung der Leuzitkristalle. Sie sind in Haufwerken von weniger als zehn μm Durchmesser angeordnet. Spannungsrisse sind nicht erkennbar. Demnach besteht auch bei Carrara Press Inlay die Annahme, dass sich die Festigkeit im mittleren Bereich der Glaskeramiken befindet.

2.4 Eigenschaften einer Dentalkeramik

Die Anforderungen an eine Keramik, um sie als zahnärztlichen Werkstoff zu etablieren, sind vielfältig. So ist eine gute mechanische und physikalische Eigenschaft ebenso notwendig wie einfache Handhabung und präzise Verarbeitung. Optische Eigenschaften sowie Verträglichkeit und Beständigkeit in der Mundhöhle, sind weitere Auswahlkriterien bei der Suche nach neuen Werkstoffen im keramischen Bereich.

2.4.1 Mechanische und physikalische Eigenschaften

Um anhand der Festigkeit der Keramik eine Aussage über die Eignung als Zahnersatz geben zu können, müssen Kaukräfte, die an natürlichen Zähnen gemessen wurden, als Vergleichswert herangezogen werden. Die mittlere Belastbarkeit von Einzelzähnen reicht von ca. 150 N bei Frontzähnen bis ca. 360 N für Molaren. Als Maximalwerte können im Molarenbereich Kräfte bis ca. 530 N auftreten. Sie sind im wesentlichen von der Wurzelform, der Wurzelgröße und vom Wurzelquerschnitt abhängig (*Hessel 1976*). Ein Vollkeramiksystem sollte demnach diesen Belastungen standhalten. Ein Versagen gegenüber diesen Belastungen zeigt sich in Form von Rissen, Sprüngen, Abplatzungen oder gar im Bruch der Keramik.

Für einen Gerüstwerkstoff sind der Elastizitätsmodul und die Biegefestigkeit als wichtige Kenngrößen zu nennen. So beschreibt der Elastizitätsmodul den Widerstand gegen eine elastische Verformung. Die Biegefestigkeit ermittelt die elastische Verformung, die durch Druck- und Zugspannung auftritt. Hierbei liegt die einen Bruch auslösende Spannung auf der Zugseite der Keramik, da herstellungsbedingt eine Druckspannung erzeugt wird, aus der eine höhere Druckfestigkeit resultiert. Erreicht die Biegezugspannung den kritischen Wert, bei dem ein Bruch durch Rissbildung eingeleitet wird, so ist die Biegefestigkeit erreicht, welche die Grenze der elastischen Belastbarkeit einer Dentalkeramik darstellt. Beim Überschreiten dieser Grenze erfolgt der unerwünschte Bruch der Restauration (*Kappert und Krahl 2001*). Um eine Beurteilung der Festigkeitseigenschaften einer Keramik vornehmen zu können eignet sich die Prüfung der biaxialen Biegefestigkeit. Klassische

Glaskeramiken haben einen Elastizitätsmodul von ca. 60 GPa bis 80 GPa und eine Biegefestigkeit von 60 MPa bis 80 MPa (*Kappert und Krahl 2001*).

Der Wärmeausdehnungskoeffizient stellt bei Keramikverbundsystemen eine weitere Komponente bezüglich der Gesamtfestigkeit dar. Hierbei sollte der Gerüstwerkstoff einen leichteren, bis 15 % höheren WAK haben als die Verblendmasse, um so die Verblendmasse während der Abkühlphase leicht unter Druck zu setzen. Als Voraussetzung muss jedoch gewährleistet sein, dass der Gerüstwerkstoff der entstehenden Zugspannung sowohl von der Dimension als auch von der Festigkeit her standhält (*Kappert und Krahl 2001*).

Für die Belastbarkeit eines keramischen Verbundsystems ist unter anderem auch die Festigkeit der miteinander verbundenen Schichten von großer Bedeutung. Da es sich hierbei meist um Materialien mit unterschiedlichen Festigkeitswerten handelt, hat die Anordnung und der Querschnitt der einzelnen Schichten einen großen Einfluss auf das Ergebnis. Liegt das Material mit der höheren Festigkeit in einer dickeren Schichtstärke und in einem Bereich mit höherer Beanspruchung vor, so wird die Gesamtkonstruktion um so belastbarer. Eine Steigerung der Belastbarkeit wird auch durch das Verlagern der Kernmassenschicht in den Bereich der Zugzone erreicht (*Schwickerath 1996*). Die Belastbarkeit wird weiterhin durch die Dimension beeinflusst. Sowohl eine hohe Schneidekante als auch eine geringe Dicke im Bereich des Zahnäquators, verringern die Festigkeit einer Keramikrestauration nachweislich (*Coca 1988*). In Seitenzahnbereich ist die okklusale Schichtstärke für die Festigkeit von Bedeutung.

Weiterhin stellt die mechanische Bearbeitung der Oberfläche eine Belastung der Dentalkeramik dar. Sie ist im allgemeinen dem Gleit- und dem Stoss-Gleit-Roll-Verschleiß ausgesetzt, der sich hauptsächlich aus abrasivem und adhäsivem Verschleiß zusammensetzt. Hierbei entstehen durch den Aufprall der Schleifkörper auf der Oberfläche Mikrorisse in der obersten Schicht der Keramik. Die unter Druck stehenden Schleifkörper führen Rollbewegungen aus und bewirken so eine Vergrößerung der Risse und das Absplittern der spröden Keramik. Durch fortschreitende Zerstörung der Oberfläche wird dem Materialabtrag kein wesentlicher Widerstand mehr entgegengesetzt. Dieser Prozess wird sichtbar durch

eine Glanzminderung in der Oberfläche. Die Ursache der Glanzminderung liegt jedoch in der Zunahme des diffusen Reflexionsanteils bei Lichteinfall auf Kosten der regulären Diffusion. Um ähnliche Belastungen, wie sie unter solchen Bedingungen in der Mundhöhle auftreten, zu simulieren, existiert kein geeignetes Testverfahren (*Hennike und Klein 1996*). Im Zusammenhang mit der Oberflächenbeschaffenheit wurde von *Schwickerath (1987)* gezeigt, dass eine glasierte Oberfläche weniger Abrieb zeigt als eine beschliffene, ohne aber den Schmelz des Antagonisten in größerem Masse abzunutzen.

2.4.2 Chemische Eigenschaften

Dentale Keramiken zählen zu der Materialgruppe der Gläser, welche sich durch eine hohe Beständigkeit gegenüber fast allen Chemikalien im üblichen Temperaturbereich auszeichnen. Die Ausnahme bildet hierbei die Flusssäure, welche zu einem sofort sichtbaren Angriff der Oberfläche führt. Gläser und Keramiken sind dennoch nicht unempfindlich bezüglich wässriger Lösungen. Unter Hydrolyseeinfluss treten Reaktionen mit allerdings sehr langsamen Reaktionsgeschwindigkeiten auf (*Scholze 1988*). In der Mundhöhle wird die Keramik mit einer Fülle von chemischen Reaktionen konfrontiert. So sind sowohl die mit der Nahrung aufgenommenen Säuren als auch die von Mikroorganismen in der Plaque gebildeten Säuren als schädigende Substanzen zu nennen. Aufgrund der Häufigkeit einer Säureexposition in der Mundhöhle ist diesem Angriff weit mehr Aufmerksamkeit zu widmen als einem basischen Angriff. Die chemische Löslichkeit einer Keramik hängt jedoch noch von einigen anderen Parametern wie der chemischen Zusammensetzung, der Homogenität sowie dem Zustand und der Vorbehandlung der Oberfläche ab (*Schäfer und Kappert 1993*). Eine Dentalkeramik sollte demnach eine gewisse Beständigkeit gegenüber chemischen Substanzen aufweisen, ohne an Funktion, Struktur oder Ästhetik zu verlieren.

2.4.3 Optische Eigenschaften

Eine dentalkeramische Restauration soll in Farbe und Form so nah wie möglich an das Erscheinungsbild des natürlichen Zahnes herankommen. Dabei sind die

physikalischen Eigenschaften der Keramik in Bezug auf Lichtleitung und Lichtreflexion von großer Bedeutung. Durch Beimengung verschiedener Pigmente in Schmelz- und Dentinmassen wird eine bestimmte Färbung und Transluzenz der Keramik erreicht. Eine glatte Oberflächengestaltung gewährleistet einen ungehinderten Lichttransport in tiefer gelegene Schichten der Restauration. Die Auswahl des Befestigungsmediums spielt im optischen Erscheinungsbild der Restauration ebenso eine wichtige Rolle. Der Lichttransport sollte zwischen keramischer Restauration und präpariertem Zahn ungehindert erfolgen, damit die Farbe des natürlichen Zahnes in die Restauration einstrahlen kann und so bei der Farbgebung mitwirken kann (*Kühn 1996*). Weiterhin sollte sich eine keramische Oberfläche nicht durch in Nahrungs- und Genussmittel enthaltene Substanzen verfärben.

2.4.4 Biokompatibilität

Unter Biokompatibilität verstehen wir die Verträglichkeit und Beständigkeit eines in den Körper eingebrachten Stoffes, ohne hierauf Reaktionen des Körpers auszulösen. Dentalkeramiken zeigen allgemein eine recht gute Biokompatibilität. Im Bereich des marginalen Parodont und der Klebefuge ist eine uneingeschränkte Biokompatibilität jedoch nicht zu erwarten (*Küpper und Biniek 1989*).

Für die Biokompatibilität ist es von besonderer Bedeutung, dass im Bereich des Kronenrandes die Kernmasse nicht bis an die Präparationsgrenze heranreicht. Hierbei zeigten sich vermehrt inhomogene Bereiche und Porositäten, die zu einer vermehrten Plaqueanlagerung und Keimbesiedelung führen (*Küpper und Biniek 1989*). Eine Tendenz zu geringerer Plaqueanlagerung konnte mittels Plaque- Index (Quigley- Hein) und Papillen- Blutungs- Index (Mühlemann) zeigen, dass die glatte Oberfläche einer Vollkeramik den Bereich des marginalen Parodonts weitaus weniger beeinflusst als eine Metallkeramik. Die Biokompatibilität wird weiterhin durch die Art der Befestigung eingeschränkt. Hierbei ist das Augenmerk auf die adhäsiv befestigten Restaurationen zu richten. Probleme, die bei der Befestigung mittels Komposit auftreten können, sind Polymerisationsschrumpfung, Dentinhaftung, Wasseraufnahme und Quellung, sowie langfristige hydrolytische Degradation (*Pröbster 1996*).

3 Literaturübersicht

3.1 Grundlagen der Prüfverfahren

Dentale Werkstoffe sind nach ihrer Eingliederung in der Mundhöhle mechanischen, chemischen und thermischen Belastungen unterworfen. Um eine Beständigkeit der verschiedenen Werkstoffe schon im Vorfeld abschätzen zu können sind standardisierte Prüfverfahren notwendig. Die Festschreibung eines Prüfverfahrens in einer Norm garantiert die Reproduzierbarkeit des Testverfahrens und lässt Vergleiche zu. Weiterhin legt sie mit einem Grenzwert Minimalanforderungen an den Werkstoff fest, der sowohl eine Gesundheitsgefährdung ausschließt als auch einen Qualitätsstandard sichert. In Abhängigkeit von ihrem Einsatzbereich sollten Dentalwerkstoffe verschiedenen Prüfverfahren unterzogen werden, um so eine präklinische Einschätzung bezüglich ihrer Eignung treffen zu können.

Für Vollkeramische Werkstoffe sind die geltenden Anforderungen in der Norm DIN EN ISO 6872 von 1998 aufgeführt. Die Werkstoffe sind bezüglich ihrer Verarbeitungsweise und Indikation in zwei Typen und insgesamt zehn Klassen unterteilt. Der Gerüstwerkstoff Carrara Press Core ist als Typ II, Klasse 1 Keramik einzuteilen, da eine nachfolgende Verblendung mit keramischen Massen von Typ I, Klasse 2 bis 8 erforderlich ist. Carrara Press Inlay ist als Typ II, Klasse 2 Keramik eingeteilt, da keine weitere Verblendung vorgesehen ist.

Für die hier getesteten Werkstoffe wurden die Prüfverfahren der biaxialen Biegefestigkeit und der chemischen Löslichkeit nach ISO 6872 gewählt. Sowohl für die Bruchfestigkeit als auch für den Thermoschocktest, existieren keine festgelegten Grenzwerte. Hier ist einzig der Vergleich mit anderen Versuchsreihen bezüglich der erhaltenen Messwerte möglich.

3.1.1 Grundlagen zur biaxialen Biegefestigkeit nach ISO 6872

Keramische Restaurationen sind nach ihrer Eingliederung verschiedenen mechanischen Belastungen, die durch Kauen, Schlucken oder Zähnepressen hervorgerufen werden, ausgesetzt. Der Versuch zur biaxialen Biegefestigkeit nach ISO 6872 simuliert Zug- und Druckkräfte, die Aufschluss über Brucheigenschaften einer Keramik geben können. Gemäß der Norm liegt ein Prüfkörper von 16 mm Durchmesser und zwei mm Dicke auf drei Punkten in einer Haltevorrichtung und wird mit einem Stempel bis zum Bruch belastet. Die hierbei ermittelten Werte werden anhand einer in der Norm ISO 6872 beschriebenen Formel in einen Festigkeitswert umgerechnet. Die Biegefestigkeit sowie der Elastizitätsmodul stellen bei Gerüstkeramiken wichtige Kenngrößen dar (*Kappert 1996*).

Bei dieser Versuchsanordnung liegt die Hauptbelastung in der Zugzone der Prüfkörper, d. h. auf der dem Prüfstempel abgewandten Seite. Aufgrund dieser Tatsache ist die Beschaffenheit der Oberfläche von besonderer Bedeutung. Mikrorisse können das Messergebnis nachteilig beeinflussen (*Dorsch und Pfeiffer 1996*). Wie *Heinenberg (1990)* berichtet, ist für Inlays und Onlays aus Empress I die Glasur der Oberfläche ein wichtiger Bestandteil, da durch die Ausbildung einer Oberflächendruckspannung die Bruchgefahr erheblich verringert wird. Werte, die diese Aussage bestätigen wurden von *Konrad (1995)* ermittelt. Die Prüfkörper ohne weiteren Brand lagen mit einem Mittelwert von $99,5 \text{ MPa} \pm 17,9 \text{ MPa}$ unterhalb der von der Norm geforderten 100 MPa. Für regulär verarbeitete Prüfkörper der Empress Maltechnik wurde ein Mittelwert von $140,1 \text{ MPa} \pm 20,4 \text{ MPa}$ und der Empress Schichttechnik ein Mittelwert von $109,4 \text{ MPa} \pm 15,3 \text{ MPa}$ erreicht.

Um bei Prüfkörpern aus Keramik eine gleichmäßige Belastung der Plättchenoberfläche zu gewährleisten, wird eine dünne Klebefolie auf der Oberseite angebracht. Dadurch erfolgt eine gleichmäßige Druckverteilung auf der gesamten Oberfläche (*Ban et al. 1992*). Auch die Geschwindigkeit der Belastungssteigerung beeinflusst signifikant die Bruchfestigkeit von Dentalkeramik. So werden bei schneller Belastungssteigerung höhere Bruchlastwerte für glasartige Materialien festgestellt (*Jones 1984*). In den Vorlagen zur Norm ISO 6872 ist eine Kolbengeschwindigkeit von 0,5 mm/min vorgesehen.

3.1.2 Grundlagen zur chemischen Löslichkeit nach ISO 6872

Der Widerstand einer Dentalkeramik gegenüber chemischen Angriffen ist, neben der biaxialen Biegefestigkeit, in hohem Masse für die Mundbeständigkeit der Restauration verantwortlich. Dabei ist der pH-Wert für das Ausmaß der Schädigung entscheidend. Im alkalischen Milieu ist eine um den Faktor zehn höhere Schädigung zu verzeichnen als im sauren Milieu (*Hennicke und Klein 1996*). Die Ursache hierfür liegt in der Aufspaltung von Silizium- Sauerstoffverbindungen des Netzwerks durch OH^- Ionen der Lösung. Als Folge hiervon bilden sich lösliche Silikate und es findet eine Auflösung der Gitterstruktur statt. Entscheidend für die Destruktion durch basische Substanzen ist auch der lineare Verlauf des Prozesses zur Zeit.

Bei einem Säureangriff auf eine keramische Masse werden überwiegend Alkaliionen (Na^+ / K^+) des Netzwerks gegen H^+ Ionen der Lösung ausgetauscht. Die an Alkaliionen verarmte Schicht der Oberfläche stellt nun eine Diffusionsfläche für weitere H^+ Ionen dar. Der zurückgelegte Diffusionsweg wächst proportional zur Wurzel der Kontaktzeit an. Sowohl durch diesen Umstand, als auch durch eine weitere Verarmung an H^+ Ionen der nicht abfließenden Lösung, verlangsamt sich die Reaktion bis sie allmählich zum Stillstand kommt (*Hennicke und Klein 1996*).

Bei zeitlich aufeinanderfolgenden sauren und alkalischen Angriffen mit gesteigerter Temperatur, ist die Geschwindigkeit und das Ausmaß der Zerstörung am größten. Hierbei werden sowohl die Alkaliionen durch H^+ Ionen ausgetauscht, als auch Netzwerkaufspaltungen durch OH^- Ionen hervorgerufen (*Hennicke und Klein 1996*).

Aus klinischer Sicht ist einem Säureangriff jedoch weit mehr Beachtung zu schenken als einem Angriff basischer Substanzen, da die Häufigkeit einer Säureexposition in der Mundhöhle überwiegt. Säuren werden unter anderem von Bakterien der Mundhöhle bei der Verstoffwechselung von Nahrungsbestandteilen gebildet. Der hierbei gebildete pH-Wert von ca. 5,5 reicht bereits für eine geringe Schädigung der Keramikoberfläche aus. Säuren gelangen aber auch über Nahrungsmittel, Medikamente oder Getränke in die Mundhöhle, wobei hier eine starke Schwankung des pH-Wertes zu verzeichnen ist (*Schwickerath 1996*). Eine weitere Belastung der Keramikoberfläche kann durch häufiges Erbrechen des sauren Mageninhaltes

geschehen, welches beispielsweise durch Bulimie, Alkoholismus oder während einer Schwangerschaft hervorgerufen wird (*Hellwig 1995*). Fluoride sind in den physiologischen und therapeutisch verabreichten Mengen als eher unbedenklich für die Keramikoberfläche zu betrachten (*Komma 1993*). Sowohl Oberflächenstruktur als auch Zusammensetzung der Keramik nehmen Einfluss auf das Löslichkeitsverhalten. Eine homogene Oberfläche sowie das vollständige und dichte Sintern der Keramikpartikel, verringern die Angriffsmöglichkeit einer Chemikalie.

Eine Erhöhung der Temperatur begünstigt im Sinne der RGT- Regel die Geschwindigkeit beider Reaktionen und nimmt somit ebenfalls negativ auf die Löslichkeit der Keramik Einfluss. Eine Temperaturerhöhung um 15 - 20 Kelvin bewirkt eine um den Faktor zwei gestiegene Auslaugung der Keramik (*Lorentz 1987*).

Die Betrachtung der Löslichkeit einer Keramik sollte in Abhängigkeit zur Biegefestigkeit erfolgen, da im Mundmilieu diese Vorgänge auch nicht unabhängig und von einander getrennten ablaufen. Herkömmliche Verblendkeramiken reagierten mit einer signifikanten Veränderung der biaxialen Biegefestigkeit nach einem Säureangriff. Die von *Komma (1993)* ermittelten Werte der biaxialen Biegefestigkeit nach Löslichkeit lagen bis zu 30 % unter der Ausgangsfestigkeit. Hydrothermale, mit Hydroxylgruppen versetzte Keramiken, zeigen dagegen eine Zunahme der Biegefestigkeit um bis zu 40 %.

3.1.3 Grundlagen zur Bruchfestigkeit

Um einen begreifbaren Wert zur Festigkeit einer Keramik geben zu können, ist es sinnvoll eine klinische Situation zu simulieren. So stellte *Voß (1969)* in seiner Versuchsanordnung eine bis heute gültige Untersuchungsmethode zur Ermittlung der Bruchfestigkeit auf. In einem Winkel von 30° zur Zahnachse belastete er auf einen Metallstumpf zementierte Metallkeramikronen bis zum Bruch. Dabei stellte er fest, dass die Festigkeit der metallkeramischen Kronen „wohl oberhalb der üblicherweise angewandten Kaukraft liegt“. In einer Untersuchung von Literaturangaben konnten *Körber und Ludwig* einen Wert von 244,5 N ± 31 N als maximale Kaukraft für das Einzelparodont aufstellen (*Körber und Ludwig 1983*). In einem Vergleich zur

Beanspruchung von Front- und Seitenzähnen untersuchte *Hölsch* die Vollkeramiksysteme Dicor/Dicor-Plus-E, IPS-Empress und In-Ceram. Die allgemeine Folgerung, dass die Richtung der Krafteinwirkung die Bruchfestigkeit beeinflusst, konnte in dieser Arbeit bestätigt werden. So erreichte beispielsweise die IPS-Empress-Schichttechnik bei axialer Belastung an Zahn 16 (Mittelwert 1478 N \pm 246 N) höhere Bruchfestigkeitswerte, als die unter 30° belasteten Frontzähne 11 (Mittelwert 867 N \pm 125 N) und die unter 45° belasteten Eckzähne 13 (Mittelwert 590 N \pm 90 N). Weiterhin fand er für die Belastung von Zahn 13 unter 45° sowohl für die IPS-Empress-Schichttechnik (Mittelwert 590 N \pm 90 N) gegenüber der IPS-Empress-Maltechnik (Mittelwert 495 N \pm 102 N), als auch für die Dicor-Vollverblendung (Mittelwert 667 N \pm 162 N) gegenüber der Dicor-Teilverblendung (Mittelwert 547 N \pm 62 N) eine signifikant höhere Bruchfestigkeit (*Hölsch 1996*).

Eine weitere bemerkenswerte Untersuchung befasste sich mit der Befestigungsart vollkeramischer Kronen. So wurden für adhäsiv befestigte IPS-Empress-Kronen (Mittelwert 505 N \pm 97 N) signifikant höhere Festigkeitswerte ermittelt als für konventionell mit Zinkoxidphosphatzement (Mittelwert 308 N \pm 37 N) befestigte (*Ludwig und Joseph 1994*). Bezüglich der Befestigungsart mittels Dualzement oder Phosphatzement wurde an Dicor-Kronen unter einem Belastungswinkel von 30° ein ähnliches Verhalten festgestellt. So wurde für die angeätzten und mit Dualzement (Vivadent) befestigten Dicor-Kronen (Mittelwert 486 N \pm 45 N) eine hochsignifikante Steigerung der Festigkeit im Vergleich zu den konventionell, mit Phosphatzement befestigten Kronen (Mittelwert 305 N \pm 92 N) ermittelt (*Pospiech et al. 1992*).

3.1.4 Grundlagen zum Thermoschocktest

Versuche zur thermischen Belastbarkeit einer Dentalkeramik werden vornehmlich im industriellen Bereich zu internen Kontrollzwecken angewendet. Es existiert derzeit keine ISO - Norm, in der diese Testmethode beschrieben und festgelegt ist. Im Prüflabor der Universitäts-ZMK-Klinik von Freiburg wird dieses Verfahren herangezogen, um die Stabilität einer Keramikoberfläche unter extremen thermischen Bedingungen zu bewerten. Die Prüfung wird nach einer standardisierten

Vorgehensweise durchgeführt und soll dabei als Simulation einer großen Temperaturschwankung in der Mundhöhle dienen.

Mora und O'Brian (1994) untersuchten in einem Thermoschocktest sechs Vollkeramiksysteme mit jeweils sechs Kronen. Sie konnten für Systeme mit einem geringeren WAK für Gerüst- und Verblendmaterial, eine höhere Resistenz gegenüber Thermoschock feststellen. Für Systeme mit höherem WAK wurden bei geringeren Temperaturen Ausfälle beobachtet. Alle getesteten Systeme waren jedoch unter den betrachteten Bedingungen für den klinischen Einsatz geeignet. Ein angepasster WAK der beiden Verbundmaterialien ist als Grundvoraussetzung sowohl bei der Abkühlphase als auch bei thermischen Wechselbelastungen anzusehen (*Fischer, Kappert und Strub 1991*).

3.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit liegt in der Bewertung des Vollkeramischen Presssystems Carrara Press der Firma Elephant Dental (NL-Hoorn) hinsichtlich der werkstoffkundlichen Eigenschaften und der zahntechnischen Verarbeitung. Die Keramik wurde im Rahmen dieser Untersuchung auf ihre biaxiale Biegefestigkeit und chemische Löslichkeit nach ISO 6872 betrachtet. Weiterhin wurde an vollkeramischen Einzelzahnrestorationen die Bruchfestigkeit und das Verhalten unter thermischen Wechselbelastungen bewertet. Anhand der Herstellung der Prüfkörper wurde die zahntechnische Verarbeitung des Systems kritisch betrachtet. Die sich daraus ergebenden Messwerte wurden einer statistischen Auswertung unterzogen und mit Werten anderer Keramiken verglichen.

4 Material

4.1 Material zur Untersuchung

Die eingesetzten Prüfkörper wurden ausnahmslos im Werkstoffkundelabor der Universitäts-ZMK-Klinik von Freiburg hergestellt. Die Pressrohlinge sowie die Verblendwerkstoffe wurden von der Herstellerfirma (Elephant Dental, NL-Hoorn) bereitgestellt.

Materialliste:

unpigmentierte Presspellets:

Carrara Press Core Pellets	Charge 003033
Carrara Press Inlay Pellets	Charge 001989

Einbettmasse:

Carrara Press Investment	Charge 2728
Einbettmassenfließigkeit	Charge VAT 014.

Verblendmaterialien:

Modellierflüssigkeit	Nr. 587
Dentinmassen (Vincent Elephant)	Nr. 901589
Schmelzmassen (Vincent Elephant)	Nr. 10081
Conditioner	

Weitere Verbrauchsmaterialien, nicht herstellergebunden:

Dentalwachs	(Schuler Dentalwachs)
Wachsdraht 3,5 mm stark	(Renfert, D-Hilzingen)
Wachspacer 0.9 mm stark	(Elephant, NL-Hoorn)
Multi-sep Isoliermittel	(GC Technologies)
Dubliermasse	(Wieland, D-Pforzheim)
Simply-Rock Superhartgips	(Albaum)
Cr-Co Legierung Bio-Sil	(Degussa, D-Hanau)

Distanzlack	(Tru-Fit, Jersey City)
Okklusionsspray	(Euro Denta, D-Lützelbach)
Panavia 21 [®]	(Kurary, J-Osaka)
Harvard Zement	(Richter & Hoffmann, D-Berlin)

Die zur Herstellung der Prüfkörper benötigten Arbeitsgeräte sind im Folgenden aufgelistet. Die Pressvorrichtung CP 200 und der Keramikbrennofen Stratos wurden von der Herstellerfirma (Elephant, NL-Hoorn) bereitgestellt.

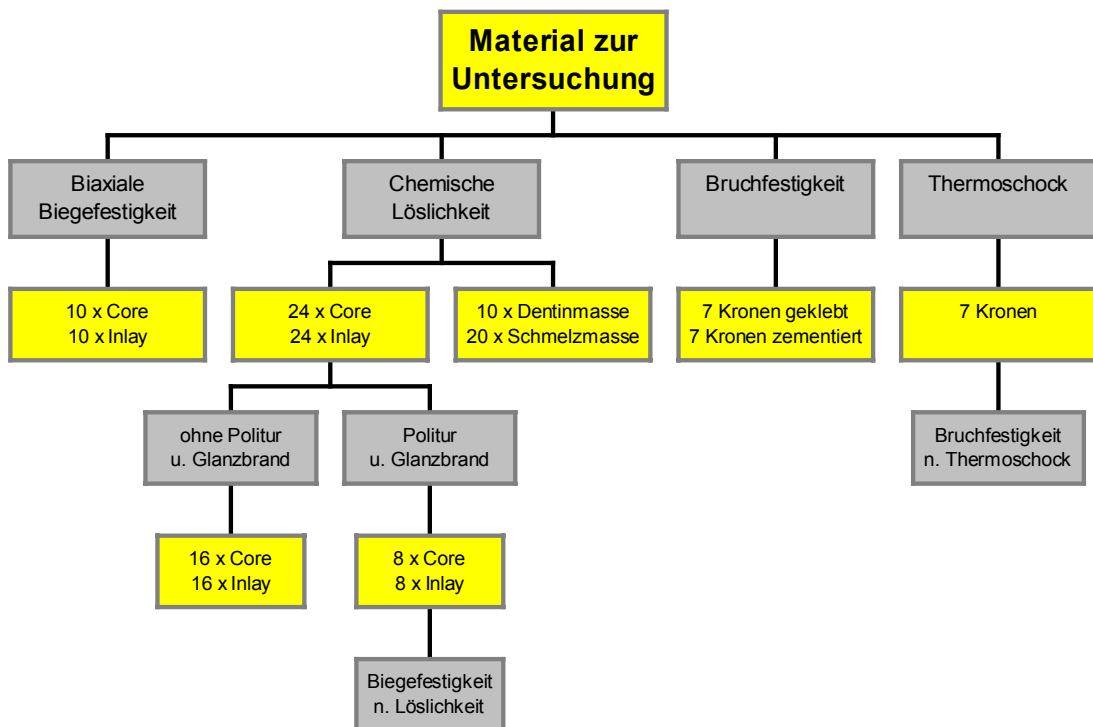
Arbeitsgeräte:

Objekthalter	(Elephant, NL-Hoorn)
Rührgerät Multivac	(Degussa, D-Hanau)
Vibrationsgerät	(Wassermann, D-Hamburg)
Vrowärmofen	(MIHM Vogt, D-Karlsruhe)
Strahlgerät und Spezialstrahlmittel	(Ivoclar, FL-Schaan)
Brenngutträger Mash-Tray	(Renfert, D-Hilzingen)
Tastzeiger	(Kröpelin, D-Berlin)
Ultraschallgerät	(Sonorex Bandelin, D-Berlin)
Universalprüfmaschine Z 010/TN 25 [®]	(Zwick, D-Neu-Ulm)

5 Methode

5.1 Herstellung der Prüfkörper

Zur Übersicht der vier Prüfverfahren wurden verschiedene Proben benötigt. Die nachfolgende Auflistung soll als Übersicht zu Art und Anzahl der einzelnen Prüfkörper dienen.



5.1.1 Prüfkörper für den Biegefestigkeitsversuch

Zur Untersuchung der biaxialen Biegefestigkeit wurden scheibenförmige Prüfkörper benötigt, die nach Angaben der ISO 6872 gefertigt wurden. Es wurden jeweils zehn Prüfkörper aus Core Pellets und aus Inlay Pellets hergestellt.

5.1.1.1 Herstellung der Wachsmodelle

Die Herstellung erfolgte mit Hilfe einer zylindrischen Kunststoffform, in die flüssiges Wachs eingebracht wurde. Nach dem Erstarren wurden die Überstände mit

einer Klinge abgezogen. Die fertigen Wachsmodele wurden mit einem 3,5 mm starken Wachsdraht am Objektrand unter einem Winkel von 45° angestiftet. Es wurden je zwei Objekte an einen Objekthalter angewachst. Das Einbetten der Objekte mit anschließendem Pressen erfolgte nach Herstellerangaben und wird im folgenden beschrieben. Der Muffelboden wurde mit einem 0.9 mm starken Wachsspacer ausgekleidet, um der Expansion der Einbettmasse während der Abbindephase und der Aufheizphase Raum zu gewähren. Die Einbettmasse wurde nach Herstellerangaben mit 50 % Anmischflüssigkeit und 50 % destilliertem Wasser vermengt und für 60 sek. im Rührgerät unter 100 % Vakuum verrührt. Anschließend wurde die Einbettmasse blasenfrei auf einem Vibrationsgerät in die Muffel eingebracht. Nach einer Abbindezeit von 17 min wurde die Muffel vom Objekthalter getrennt und in den auf 800° C vorgewärmten Ofen eingebracht. Nach einer Haltezeit von zehn Minuten bei 800° C wurde die Temperatur kontinuierlich in 15 min auf 950° C erhöht. Diese Temperatur wurde 45 min gehalten. Anschließend wurde die Muffel aus dem Ofen herausgenommen und vier Pellets in den Presskanal eingelegt. Die Anzahl der einzuschmelzenden Pellets wurde anhand des Gewichtes der angestifteten Wachsmodellation ermittelt. Pro 0.9 g Wachsgewicht wurde ein Pellet eingelegt. Die Muffel wurde nun zusammen mit einem Pressstempel in den auf 650° C vorgewärmten Keramikpressofen Stratos gestellt und das hierfür eingestellte Brennprogramm gestartet.

	Trocknen (min)	Starttemp. (°C)	Vakuumstart (°C)	Aufheizrate (°C / min)	Brenntemp. (°C)	Haltezeit (min)
Carrara Core Pellets	6	450	450	55	845	2
Carrara Inlay Pellets	4	450	450	55	840	2

Tabelle 2: Brenntabelle für Keramikpressofen Stratos

5.1.1.2 Pressen der Prüfkörper

Nach Ablauf des Brennprogramms erfolgte das zügige umsetzen der Muffel in die Pressvorrichtung CP 200. Mit dem sofortigen Schließen der Presse erfolgte das Pressen der Objekte bei vier bar Druck für eine Dauer von 90 Sekunden. Dabei sollte der Pressstempel innerhalb von drei Sekunden von der Ausgangsposition bis zur maximalen Ausfahrlänge fahren.



Abb. 5: Pressvorrichtung CP 200 von Elephant

Nach Abkühlung der Muffel auf Raumtemperatur erfolgte das Ausbetten. Hierbei wurden die Objekte mit Glasperlen der Stärke $50\ \mu\text{m}$ und einem Druck von zwei bar abgestrahlt. Der an den Objekten verbliebene Presskanal wurde mit einer Trennscheibe entfernt. Anschließend wurde mit einem Diamanten der Körnung $30\ \mu\text{m}$ die angestiftete Stelle geglättet. Die Proben wurden durch eine Schleifscheibe der Körnung 800 beschliffen und anschließend der Endpolitur mit einer Schleifscheibe der Körnung 1200 unterzogen.

5.1.2 Prüfkörper für die Löslichkeitsuntersuchung

Zur Untersuchung der chemischen Löslichkeit der Keramikverblendmassen wurden zehn Prüfkörper aus Dentinmasse und 20 Prüfkörper aus Schmelzmasse hergestellt. Für den Löslichkeitstest der Presskeramik ohne Oberflächenbearbeitung wurden jeweils 16 Prüfkörper aus Carrara Press Core und Carrara Press Inlay Material hergestellt. Weiterhin wurden je acht Proben aus Core und Inlay Material für einen Löslichkeitstest nach Politur und Glanzbrand benötigt.

5.1.2.1 Herstellung der Prüfkörper aus Verblendkeramik

Die Prüfkörper wurden nach den Vorgaben der ISO 6872 gefertigt. Die Herstellung der Prüfkörper aus Verblendmaterial erfolgte mit Hilfe einer zylindrischen Kunststoffform. Das angerührte Pulver-Flüssigkeitsgemisch wurde in die mit Isoliermittel benetzte Hohlform eingebracht und durch leichte Vibration kondensiert. Die überschüssige Flüssigkeit wurde mit einem Zellstofftuch vorsichtig aufgesaugt. Anschließend wurde die Oberfläche mit einem Mikroskop-Objektträger geglättet. Nachdem die Objekte vorsichtig aus der Form herausgenommen wurden, konnten sie auf einen Mash-Tray Brenngutträger gelegt werden. Jeweils drei Plättchen wurden gemeinsam im Keramikbrennofen Stratos gebrannt. Der Hauptbrand wurde gemäß den Herstellerangaben bei 845° C und 100 % Vakuum durchgeführt. Nach Abkühlung der Prüfkörper auf Raumtemperatur wurde die Oberfläche gleichmäßig mit einem Diamantschleifer der Körnung 30 µm bearbeitet. Der anschließende Glanzbrand erfolgte bei 840° C und 100 % Vakuum.

5.1.2.2 Herstellung der Prüfkörper aus Presskeramik

Die Prüfkörper für diese Versuchsreihe wurden ebenfalls nach den Vorgaben der ISO 6872 gefertigt. Die Herstellung der Proben wurde entsprechend der Prüfanordnung gestaltet und ist unter Punkt 5.1.1.1 und 5.1.1.2 nachzulesen. Für die Versuchsreihe der Biegefestigkeitsprüfung nach Löslichkeit erfolgte eine Politur der Oberfläche mit Schleifscheiben der Körnung 800 und 1200. Der anschließende Glanzbrand wurde bei 750° C ohne Vakuum durchgeführt. Die Versuchsreihe ohne anschließende Biegefestigkeitsprüfung wurde keiner weiteren Oberflächenbearbeitung unterzogen. Hier wurden die Prüfkörper direkt nach dem Abstrahlen mit Spezialstrahlmittel der Körnung 50 µm dem Versuch der chemischen Löslichkeit ausgesetzt.

5.1.3 Prüfkörper für die Bruchfestigkeitsprüfung

Für den Versuch der Bruchfestigkeit wurden 14 Prüfkörper benötigt. Weitere sieben Kronen wurden für den Versuch der thermischen Wechsellast benötigt. Insgesamt wurden 21 Kronen unter gleichen Bedingungen hergestellt. Als Basismaterial

wurden Carrara Press Core Pellets zu Kronenkäppchen verpresst und anschließend mit Dentin- und Schmelzmassen verblendet. Zur Modellation der Käppchen wurde rückstandslos verbrennendes Dentalwachs verwendet.

5.1.3.1 Herstellung der Wachsmodelle

Von einem Prüfstumpf aus einer Chrom-Cobalt Legierung wurden vier Formen aus Doubliermasse hergestellt. In jeder Form wurde ein Gipsstumpf aus Superhartgips ausgegossen. Die ausgehärteten Gipsstümpfe wurden anschließend mit zwei Schichten Distanzlack bis ein Millimeter oberhalb der Präparationsgrenze bestrichen, um eine Schichtstärke von etwa 30 µm zu erhalten. Die Präparationsgrenze wurde mit einem 0,3 mm dünnen Stift markiert, um bei der Modellation des Käppchens den Kronenrand exakt gestalten zu können. Vor der Modellation wurden die Stümpfe mit Multi-Sep isoliert. Die Käppchen wurden mit einer Schichtstärke von 0,8 mm bis 0,9 mm modelliert und mittels Tastzeiger kontrolliert. Anschließend wurde ein 3,5 mm starker Wachsdraht von inzisal an das Käppchen modelliert und auf eine Länge von 10 mm reduziert. An einen Objekthalter wurden drei angestiftete Käppchen im Winkel von etwa 45° zum Presskanal angewachst. Das Einbetten der Objekte erfolgte nach Herstellerangaben und ist unter Punkt 5.1.1.1 nachzulesen.



Abb. 6: Modellierte Käppchen an Objekthalter angestiftet

5.1.3.2 Pressen der Prüfkörper

Auf eine Beschreibung vom Pressen und Ausbetten der Objekte wird an dieser Stelle verzichtet, da dies unter 5.1.1.2 nachzulesen ist. Das Aufpassen der Käppchen auf den Prüfstumpf erfolgte mit Hilfe von Okklusionsspray. Durch mehrfaches aufsetzen des angefärbten Käppchens auf den Gipsstumpf und anschließendem ausschleifen der Druckstelle, wurde die endgültige Passung erreicht.



Abb. 7: Schnitt eines Carrara Press Core Käppchens mit einer Schichtdicke von 0,8 mm bis 1,0 mm.

5.1.3.3 Verblenden der Prüfkörper

Mittels eines Diamanten der Rautiefe 30 μm wurde die Oberfläche der Käppchen beschliffen. Um eine gleichmäßige Dicke von 0,8 mm zu gewährleisten, wurde mit einem Tastzeiger das Ergebnis kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert. Um Schleifstaub und Verunreinigungen zu entfernen, wurden die Käppchen für zehn Minuten in ein mit destilliertem Wasser befüllten Ultraschallbad gereinigt. Nach einer Trockenzeit von 15 Minuten wurde Conditioner auf die Käppchen aufgetragen und über angespitzte Pins auf einen Brenngutträger gelegt. Die Temperatursteuerung der Brennvorgänge erfolgte laut Herstellerangaben und ist in Tabelle drei nachzulesen. Nach dem Abkühlen der Objekte auf Raumtemperatur begann das erste Auftragen der Dentinmasse. Dazu wurde Dentinpulver und Modellierflüssigkeit auf einer Glasplatte in pasteuser Konsistenz angerührt und mit Hilfe eines feuchten Pinsels auf das Käppchen aufgebracht. Der Überstand an Flüssigkeit konnte mit einem Zellstofftuch abgetupft werden, ohne jedoch ein verdichten der aufgetragenen

Masse vorzunehmen. Das Auftragen der Dentinmasse erfolgte bis zur Präparationsgrenze. Es wurden jeweils zwei Käppchen gemeinsam gebrannt. Das Beschleifen der Oberfläche erfolgte mit einem Diamanten der Rautiefe 30 µm. Die Schichtung der Schneidmasse unterlag der gleichen Vorgehensweise wie die der Dentinmasse. Nach Abkühlen auf Raumtemperatur wurden die Kronen wie gewohnt beschliffen, um eine gleichmäßige Oberflächenstruktur zu erhalten. Auf Glasurmasse wurde im vorliegenden Testverfahren verzichtet. Der Glanzbrand wurde ausschließlich über Zeit und Temperatur gesteuert.

	Trocknen (min)	Starttemp. (°C)	Vakuumstart (°C)	Aufheizrate (°C / min)	Brenntemp. (°C)	Haltezeit (min)
Conditioner	4	450	ohne Vakuum	55	810	1
erster Dentinbrand	6	450	450	55	845	2
zweiter Dentinbrand	4	450	450	55	840	2
Glanzbrand	2	450	ohne Vakuum	55	840	2

Tabelle 3: Brenntabelle für Carrara Vincent

5.1.4 Prüfkörper für den Thermoschocktest

Für diese Versuchsreihe wurden die gleichen Ausgangsmaterialien verwendet, wie sie unter 5.1.3 beschrieben sind.

5.1.4.1 Herstellung der Prüfkörper

Die zur Prüfung der thermischen Wechsellast benötigten sieben Prüfkörper wurden zusammen mit den Prüfkörpern der Biegefestigkeitsprüfung hergestellt. Die Beschreibung dieser Arbeitsschritte ist unter Punkt 5.1.3.1 nachzulesen.

5.2 Zahntechnische Verarbeitung

Die Verarbeitung der zahntechnischen Materialien sowie der Umgang mit den Hilfsmitteln und Werkzeugen erfolgte unter der genauen Beachtung der vom Hersteller mitgegebenen vorläufigen Gebrauchs- und Arbeitsanweisung. So wurde in zehn Vorversuchen die Handhabung der Geräte und des Materials erprobt. Hierfür wurden insgesamt 20 scheibenförmige Prüfkörper nach Angaben der ISO 6872, wie unter Punkt 5.1.1 beschrieben, gefertigt. Weiterhin wurde die Herstellung der Prüfkörper für die biaxiale Biegefestigkeit, sowie die Kronenkäppchen für den Bruchfestigkeitsversuch und den Thermoschocktest, in die Bewertung mit einbezogen.



Abb. 8: Modellerte Kronen für den Bruchfestigkeitsversuch und den Thermoschocktest

5.3 Prüfung nach standardisierten Verfahren

5.3.1 Prüfung der biaxialen Biegefestigkeit nach ISO 6872

Zur Prüfung der biaxialen Biegefestigkeit wurde die in der ISO 6872 beschriebene Apparatur in die Universalprüfmaschine vom Typ *Z 010/TN 25*[®] (Zwick, D-Neu-Ulm) eingelegt. Der Transversalvorschub des Prüfstempels betrug 1mm pro Minute. Die bei der Prüfung auftretenden Druckkräfte wurden von einem Schreiber in einem Weg/Kraft Diagramm mit x/y Koordinaten aufgezeichnet.

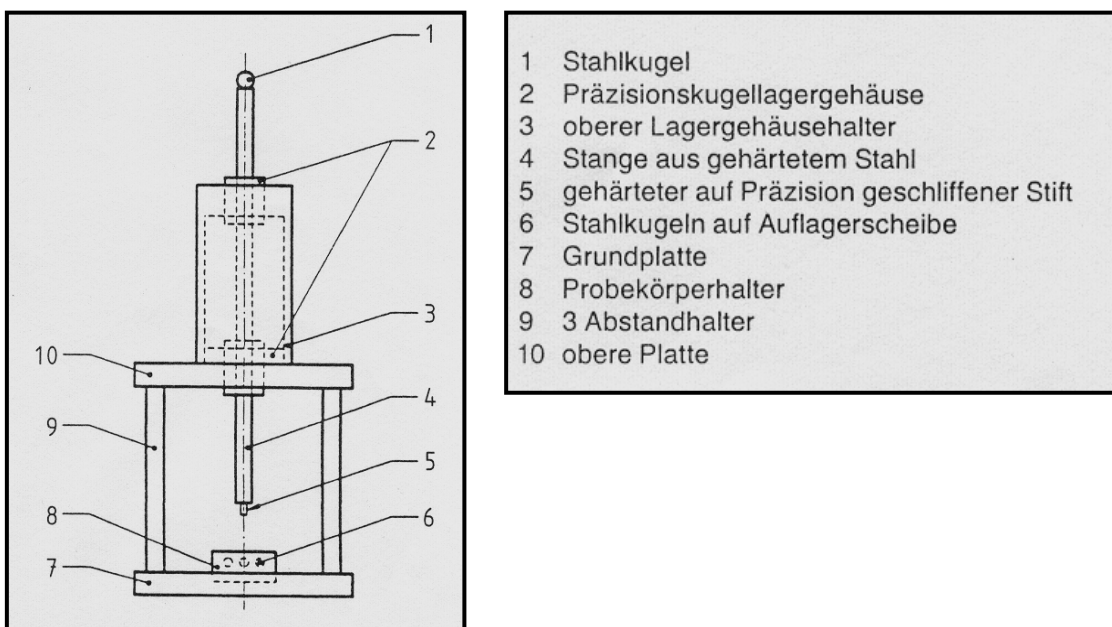


Abb. 9: Schematische Darstellung der Prüfanordnung zur biaxialen Biegefestigkeit

5.3.1.1 Vorbereitung für die Biegefestigkeitsprüfung

Die Prüfkörper wurden in zwei Gruppen zu je zehn Proben unterteilt und auf der Oberseite fortlaufend nummeriert. Die erste Gruppe bestand aus Carrara Press Core Material, die zweite aus Carrara Press Inlay Material. Die Dicke der Proben wurde mit Hilfe einer Bügelmessschraube ermittelt. Dabei durfte eine Parallelitätstoleranz von 0.05 mm nicht überschritten werden. Der Durchmesser wurde mit einem Messschieber gemessen. Die so ermittelten Werte wurden anschließend in eine Tabelle übertragen. Abschließend wurde eine dünne Klebefolie auf einer Seite aufgebracht, um eine punktuelle Druckstelle zu vermeiden.

5.3.1.2 Durchführung der Biegefestigkeitsprüfung

Die Proben wurden ihrer Reihenfolge nach in die abgebildete Apparatur eingelegt und auf ihre Biegefestigkeit hin untersucht. Die ermittelten Messergebnisse wurden durch die in der ISO 6872 beschriebene Formel ausgewertet und sind im Ergebnisteil unter 6.1 zu finden. In der gleichen Vorgehensweise wurden weiterhin jeweils acht Proben aus Carrara Press Core - und Carrara Press Inlay Material untersucht, die zuvor den Versuch der chemischen Löslichkeit durchlaufen haben.

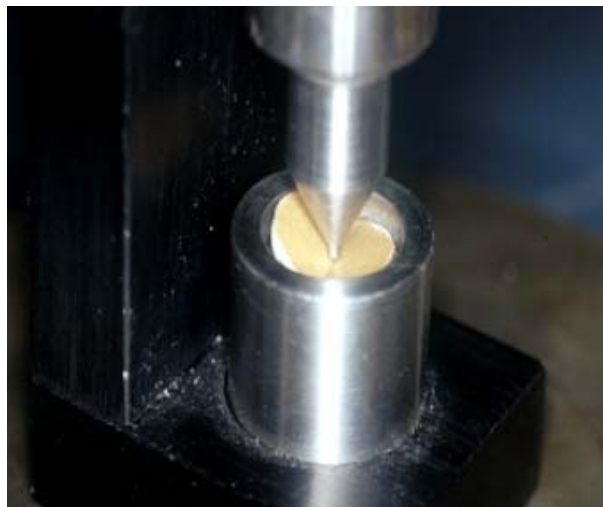


Abb. 10: Prüfkörper während der biaxialen Biegefestigkeitsprüfung

5.3.2 Prüfung der chemischen Löslichkeit

Die Untersuchung der chemischen Löslichkeit wurde gemäß der Neufassung der Prüfmethode in ISO 6872 durchgeführt. Demnach wurden die Proben einer 16 stündigen Lagerung in 4 %iger Essigsäurelösung bei 80° C im Wärmeschrank unterzogen.

5.3.2.1 Vorbereitung für die Löslichkeitsprüfung der Verblendkeramik

Zur Untersuchung der chemischen Löslichkeit wurden die Proben aus Schmelzmasse in zwei Gruppen zu jeweils zehn Prüfkörpern unterteilt. Die Proben aus Dentinmasse wurden in einer Gruppe zu zehn Prüfkörper zusammengefasst. Die Prüfkörper wurden gemäß ISO 9693 mit einer Bügelmessschraube auf Dicke und einem

Messschieber auf Durchmesser vermessen. Anhand der ermittelten Werte wurde die Gesamtoberfläche der im Versuch befindlichen Prüfkörper einer Gruppe ermittelt. Zunächst wurden die Proben mit demineralisiertem Wasser gereinigt. Anschließend kamen sie für vier Stunden in einen auf 150° C vorgeheizten Trockenschrank. Auf einer Dezimalwaage konnte anschließend das Gewicht auf 0,1 mg genau ermittelt werden. Für die Löslichkeitsversuche wurden sieben Gläser mit 100 ml 4%iger Essigsäure befüllt und auf $80 \pm 3^\circ \text{C}$ im Trockenschrank vorgeheizt. Für die Prüfkörper aus Verblendkeramik wurden drei Gläser benötigt.



Abb. 11: Prüfanordnung zur chemischen Löslichkeit vor dem Einbringen in den Wärmeschrank

5.3.2.2 Durchführung der Löslichkeitsprüfung der Verblendkeramik

Die vorbereiteten Prüfkörper konnten nun jeweils in einem Glas mit Essigsäure für 16 Stunden im Wärmeschrank bei $80 \pm 3^\circ \text{C}$ eingebracht werden. Nach Ablauf der Zeit wurden sie aus der Lösung entnommen, mit demineralisiertem Wasser gespült und bei $150 \pm 5^\circ \text{C}$ für vier Stunden im Wärmeschrank getrocknet. Anschließend wurden die Proben erneut gewogen. Die daraus ermittelte Gewichtsänderung ergab eine auf die Oberfläche bezogene Löslichkeit in $\mu\text{g} / \text{cm}^2$. Die Ergebnisse zu diesem Versuche sind unter 6.2.1 aufgeführt.

5.3.2.3 Vorbereitung für die Löslichkeitsprüfung der Presskeramik

Zur Untersuchung der chemischen Löslichkeit, wurden die Proben aus Carrara Press Core Material und Carrara Press Inlay Material in vier Gruppen zu jeweils acht Prüfkörpern unterteilt. Die Vorbereitung der Proben für die Prüfung erfolgte unter den gleichen Bedingungen wie sie unter 5.3.2.1 beschrieben ist.

5.3.2.4 Durchführung der Löslichkeitsprüfung der Presskeramik

Die Durchführung der Löslichkeitsprüfung der Presskeramik verlief analog und zeitgleich der Löslichkeitsprüfung für Verblendkeramik. Die Prüfkörper wurden dazu in die vier vorgesehenen Gläser mit 4 %iger Essigsäure eingelegt. Die weitere Vorgehensweise unterscheidet sich nicht von der unter 5.3.2.2 beschriebenen Versuchsdurchführung. Die Ergebnisse sind im Ergebnisteil unter 6.2.2 aufgeführt.

5.3.3 Prüfung der Bruchfestigkeit

Die 14 Prüfkörper wurden in zwei Gruppen zu je sieben Proben unterteilt. Bei der ersten Gruppe erfolgte die Befestigung auf dem Prüfstumpf mittels einer Klebung mit Panavia 21[®] (Kurary, J-Osaka). Die zweite Gruppe wurde mit Harvard Zement (Richter und Hoffmann, D-Berlin) auf dem Prüfstumpf befestigt.

5.3.3.1 Vorbereitung der Bruchfestigkeitsprüfung / adhäsiv befestigte Kronen

Die fertigen Kronen wurden für zehn Minuten in einem mit destilliertem Wasser befüllten Ultraschallbad (Sonorex Bandelin, D-Berlin) von Schleifstaub und Verunreinigungen befreit. Sowohl Prüfstumpf als auch Prüfkörper wurden vor der adhäsiven Befestigung an den Klebeflächen durch Ausstrahlen mit Spezialstrahlmittel aus Aluminiumoxid der Körnung 100µm (Ivoclar, FL-Schaan) bei einem bar Druck aufgeraut. Anschließend wurde auf der Innenfläche der Krone 5 %ige Flusssäure aufgetragen. Nach 60 Sekunden wurde sie unter fließendem Wasser abgespült. Danach konnte die Krone mit Druckluft getrocknet werden und mit

Monobond S[®] (Vivadent, FL-Schaan) benetzt werden. Nach 60 Sekunden wurde das überschüssige Monobond S[®] mit Druckluft verpustet. Auf einem Anmischblock wurde die vorgegebene Menge Panavia 21[®] verrührt und mit einem Pinsel gleichmäßig in die Restauration eingebracht. Anschließend wurde die Krone mit mäßigem Druck auf dem Prüfstumpf fixiert. Die Überschüsse wurden mit einem Schaumstoffpellet vom Kronenrand entfernt und Oxyguard[®] (Panavia 21[®], J-Osaka) aufgetragen. Um eine dem Mundmilieu ähnliche Aushärtung des Klebstoffes zu gewährleisten, wurde die Probe für 60 Minuten in einen auf 37° C vorgewärmten Trockenschrank gestellt.

5.3.3.2 Durchführung der Bruchfestigkeitsprüfung / adhäsiv befestigte Kronen

Zur Prüfung der Bruchfestigkeit wurde die auf den Prüfstumpf fixierte Krone in die spezielle Halterung der Universalprüfmaschine vom Typ *Z 010/TN 25*[®] (Zwick, D-Neu-Ulm) eingespannt. Dabei erfolgte eine Neigung der Zahnachse um ca. 30° zur Achse des Kraftaufnehmers. Zwischen Kraftaufnehmer und Krone wurde eine doppelt gefaltete 0.4 mm starke Zinnfolie gelegt, um eine punktuelle Belastung der Krone zu vermeiden. Durch starten des Prüfprogramms belastete der Kraftaufnehmer mit einem Vorschub von 1 mm / min die Krone bis zum Bruch. Die auftretenden Kräfte wurden in einem Weg / Kraft Diagramm mit x / y Koordinaten aufgezeichnet. Die Ergebnisse sind unter 6.3.1 aufgeführt.



Abb. 12: Prüfanordnung mit Prüfkörper nach Voß

Die nach der Prüfung am Prüfstumpf befindlichen Bruchstücke der Krone konnten mit leichten Hammerschlägen entfernt werden. Anschließend wurde der Prüfstumpf über der Flamme erhitzt, um die Klebstoffreste mit einem Skalpell abschaben zu können. Für eine erneute adhäsive Befestigung wurde der Prüfstumpf mit Aluminiumoxid der Körnung 100 µm vorsichtig abgestrahlt und gereinigt.

5.3.3.3 Vorbereitung der Bruchfestigkeitsprüfung / zementierte Kronen

Die fertigen Kronen wurden für zehn Minuten in einem mit destilliertem Wasser befüllten Ultraschallbad (Sonorex Bandelin, D-Berlin) von Schleifstaub und Verunreinigungen befreit. Auf einer Glasplatte wurde zu gleichen Teilen Harvard Zement und Anmischflüssigkeit (Richter und Hoffmann, D-Berlin) aufgetragen. Durch gleichmäßiges Vermischen der beiden Komponenten entstand eine homogene, sahnige Konsistenz, die mittels Pinsel in die Innenfläche der Krone eingebracht wurde. Danach wurde die Krone durch mäßigen Druck auf den Prüfstumpf aufgesetzt. Die Überschüsse wurden mit einem Schaumstoffpellet entfernt. Um eine dem Mundmilieu ähnliche Aushärtung des Phosphatzements zu gewährleisten, gaben wir sie für zwei Stunden in einen auf 37° C vorgewärmten Trockenschrank.

5.3.3.4 Durchführung der Bruchfestigkeitsprüfung / zementierte Kronen

Die Prüfung der Bruchfestigkeit der mit Phosphatzement befestigten Kronen verlief analog der Bruchfestigkeitsprüfung der adhäsiv befestigten Kronen. Die Beschreibung der Versuchsdurchführung ist unter 5.3.3.2 nachzulesen. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind unter 6.3.2 nachzulesen.

Die nach der Prüfung am Prüfstumpf befindlichen Bruchstücke der Krone konnten mit leichten Hammerschlägen entfernt werden. Die Reste von Phosphatzement wurden mit Spezialstrahlmittel der Körnung 50µm (Spezialstrahlmittel Ivoclar, FL-Schaan) vorsichtig abgestrahlt und der Prüfstumpf gereinigt.

5.3.4 Thermoschocktest

Die Prüfkörper wurden in einer Gruppe zu sieben Proben zusammengefasst.

5.3.4.1 Vorbereitung des Thermoschocktest

Die fertigen Kronen wurden für zehn Minuten in einem mit destilliertem Wasser befüllten Ultraschallbad (Sonorex Bandelin, D-Berlin) von Schleifstaub und Verunreinigungen befreit. Anschließend erfolgte eine optische Kontrolle der Oberfläche bezüglich Risse oder Abplatzungen der Verblendung unter dem Auflichtmikroskop. So konnte sichergestellt werden, dass Beschädigungen der Oberfläche durch den Test hervorgerufen wurden. Unter Einsatz des Ofens *TV 274*[®] (Memmert, D-Schwabach) wurden die Proben auf Temperatur gebracht.

5.3.4.2 Durchführung des Thermoschocktest

Der Thermoschocktest erfolgte in sechs aufeinanderfolgenden Zyklen mit einer Steigerung der Temperatur um jeweils 15° C. Im ersten Schritt werden die Proben in einer Glasschale in einen auf 90° C vorgewärmten Ofen für 30 min eingebracht. Anschließend werden sie im 0° - 4° C kalten Eiswasser abgeschreckt. Unter dem Auflichtmikroskop wird nun die Oberfläche auf entstandene Schäden wie Risse oder Absprengungen hin untersucht. Ist bei einer Probe eine Beschädigung der Oberfläche aufgetreten, so ist diese für den weiteren Versuchsablauf ausgeschlossen. Die unbeschädigten Proben werden für 30 min in den nächst höheren Temperaturzyklus bei 105° C eingebracht und anschließend in Eiswasser abgeschreckt. Die darauffolgenden Temperaturzyklen sind 120° C, 135° C, 150° C und 165° C. Sofern die Proben alle Temperaturbereiche unbeschadet überstehen, werden sie nach zwei Tagen erneut auf Rissbildung in der Oberfläche hin untersucht. Eine Probe hat den Versuch der thermischen Wechsellast erfolgreich überstanden, wenn nach allen durchlaufenen Zyklen keine Rissbildung an der Oberfläche aufgetreten ist.

6 Ergebnisse

6.1 Biaxiale Biegefestigkeit

Die Ermittlung der biaxialen Biegefestigkeit der Presskeramik wurde in zwei Versuchsdurchgänge unterteilt. Im ersten Versuchsdurchgang wurden die Prüfkörper nach Vorgaben der ISO 6872 vorbereitet und geprüft. Die Prüfkörper der zweiten Versuchsreihe wurden vor der Biegefestigkeitsprüfung einem Löslichkeitstest unterzogen.

6.1.1 Biaxiale Biegefestigkeit nach ISO 6872

Aus der Prüfung zur biaxialen Biegefestigkeit nach ISO 6872 ergaben sich für die Prüfkörper aus Carrara Press Core, die in Tabelle vier zusammengefassten Werte. Der Mittelwert lag bei 112,44 MPa bei einer Standardabweichung von 21,24 MPa.

Carrara Press Core Versuch 1

Probe Nr.	Durchmesser (mm)	Dicke (mm)	Bruchlast (N)	Faktor	Biegefestigkeit (MPa)
1	16,1	1,78	275,12	1,56364	135,78
2	16,1	1,81	228,11	1,56364	108,87
3	16,0	1,72	160,27	1,56497	84,78
4	16,0	1,71	153,49	1,56497	82,15
5	16,0	1,82	253,20	1,56497	119,63
6	16,0	1,80	250,14	1,56497	120,82
7	16,2	2,02	381,29	1,56234	145,99
8	16,0	1,79	246,36	1,56497	120,33
9	16,0	1,80	186,58	1,56497	90,12
10	15,8	1,87	258,51	1,56769	115,89
				Mittelwert	112,44
				Standardabweichung	21,24

Tabelle 4: Biegefestigkeit - Versuch 1 / Carrara Press Core

Aus der Prüfung zur biaxialen Biegefestigkeit nach ISO 6872 ergaben sich für die Prüfkörper aus Carrara Press Inlay, die in Tabelle fünf zusammengefassten Werte. Der Mittelwert lag bei 103,00 MPa bei einer Standardabweichung von 17,59 MPa.

Carrara Press Inlay Versuch 2

Probe Nr.	Durchmesser (mm)	Dicke (mm)	Bruchlast (N)	Faktor	Biegefestigkeit (MPa)
1	16,0	1,64	240,11	1,56497	139,71
2	16,0	1,67	190,05	1,56497	106,65
3	16,0	1,74	198,63	1,56497	102,67
4	16,0	1,71	184,97	1,56497	99,00
5	16,0	1,80	163,79	1,56497	79,11
6	16,1	1,71	151,78	1,56364	81,16
7	16,0	1,71	170,55	1,56497	91,28
8	16,0	1,75	207,80	1,56497	106,19
9	16,0	1,75	209,93	1,56497	107,28
10	16,0	1,73	223,74	1,56497	116,99
				Mittelwert	103,00
				Standard- abweichung	17,59

Tabelle 5: Biegefestigkeit - Versuch 2 / Carrara Press Inlay

6.1.2 Biaxiale Biegefestigkeit nach Löslichkeitsuntersuchung

Für acht Prüfkörper aus Carrara Press Core, die zuvor der chemischen Löslichkeit unterzogen wurden, ergab sich ein Mittelwert von 91,36 MPa bei einer Standardabweichung von 26,23 MPa.

Carrara Press Core Versuch 3

Probe Nr.	Durchmesser (mm)	Dicke (mm)	Bruchlast (N)	Faktor	Biegefestigkeit (MPa)
1	15,6	1,54	145,14	1,57052	96,11
2	15,7	1,65	174,06	1,56909	100,32
3	15,6	1,64	124,81	1,57052	72,88
4	15,6	1,61	143,82	1,57052	87,14
5	15,5	1,52	73,44	1,57197	49,97
6	15,6	1,55	146,96	1,57052	96,07
7	15,7	1,80	293,73	1,56909	142,25
8	15,7	1,74	166,16	1,56909	86,11
				Mittelwert	91,36
				Standard- abweichung	26,23

Tabelle 6: Biegefestigkeit nach Löslichkeit - Versuch 3 / Carrara Press Core

Für die Proben aus Carrara Press Inlay ergab sich in dieser Versuchsanordnung ein Mittelwert von 104,11 MPa mit einer Standardabweichung von 19,98 MPa .

Carrara Press Inlay Versuch 4

Probe Nr.	Durchmesser (mm)	Dicke (mm)	Bruchlast (N)	Faktor	Biegefestigkeit (MPa)
1	15,7	1,55	102,87	1,56909	67,19
2	15,8	1,83	204,65	1,56769	95,80
3	15,8	1,75	234,31	1,56769	119,94
4	15,7	1,75	258,28	1,56909	132,33
5	15,8	1,93	245,83	1,56769	103,46
6	15,7	1,66	161,56	1,56909	92,00
7	15,7	1,53	156,89	1,56909	105,16
8	15,4	1,65	202,47	1,57346	117,02
				Mittelwert	104,11
				Standard- abweichung	19,98

Tabelle 7: Biegefestigkeit nach Löslichkeit - Versuch 4 / Carrara Press Inlay

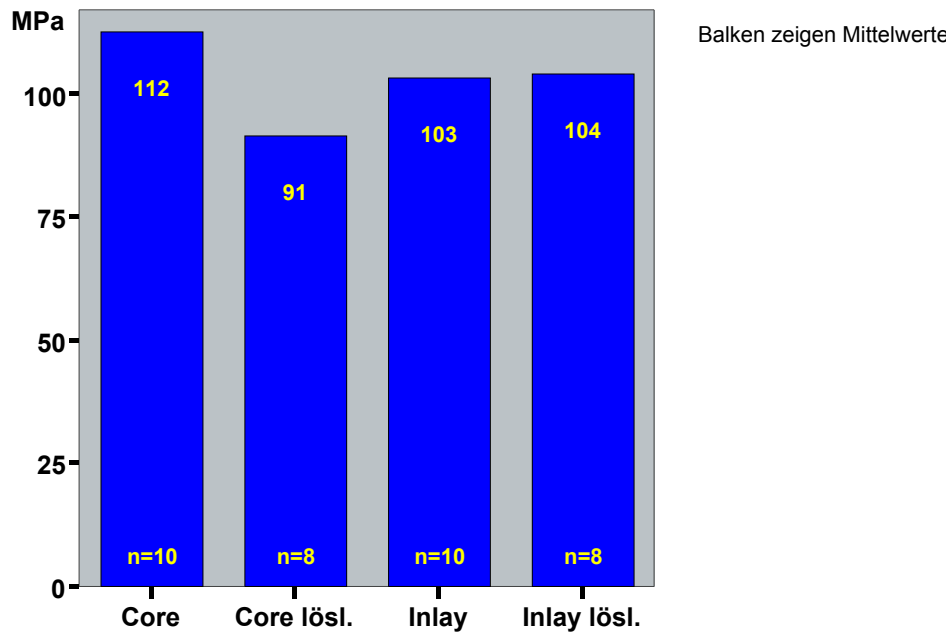


Abb. 13: Die Biegefestigkeit der vier Versuchsdurchläufe im Vergleich

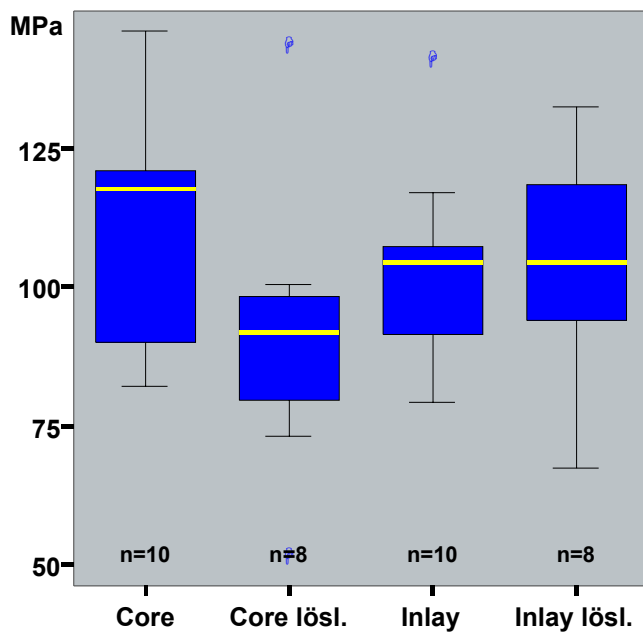


Abb. 14: Boxplotdarstellung mit Medianwert und Ausreißer

6.2 Chemische Löslichkeit

6.2.1 Chemische Löslichkeit der Verblendkeramik

Die Prüfung zur chemischen Löslichkeit ergab für die Prüfkörper aus Schmelzmasse der Carrara Vincent Verblendkeramik, die in Tabelle acht zusammengefassten Werte. In diesem Versuch liegt der Wert der chemischen Löslichkeit bei $16,89 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Carrara Vincent Schmelzmasse Versuch 1

Probe Nr.	Dicke (mm)	Durchmesser (mm)	Anzahl der Wiegevorgänge	Gewicht vor Essigsäure (g)	Gewicht nach Essigsäure (g)
1	1,63	12,6	1	4,58500	4,58449
2	1,54	12,6	2	4,58501	4,58449
3	1,56	12,8	3	4,58501	4,58448
4	1,53	12,5	4	4,58504	4,58451
5	1,47	12,6	5	4,58500	4,58447
6	1,56	13,0	6	4,58503	4,58449
7	1,66	12,9	7	4,58502	4,58448
8	1,66	12,6	8	4,58506	4,58448
9	1,39	13,0	9	4,58503	4,58447
10	1,56	13,0	10	4,58504	4,58451
Mittelwert	1,56	12,8	Mittelwert	4,58502	4,58449
Oberfläche		31,79 cm²	Gewichtsdifferenz		537 µg
				Löslichkeit	16,89 µg / cm²

Tabelle 8: Chemische Löslichkeit / Carrara Vincent - schmelz 1

Für zehn weitere Prüfkörper aus Schmelzmasse der Carrara Vincent Verblendkeramik liegt der Wert der chemischen Löslichkeit bei $15,76 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Die Einzelwerte können der Tabelle neun entnommen werden.

Carrara Vincent Schmelzmasse Versuch 2

Probe Nr.	Dicke (mm)	Durchmesser (mm)	Anzahl der Wiegevorgänge	Gewicht vor Essigsäure (g)	Gewicht nach Essigsäure (g)
1	1,62	12,7	1	4,82982	4,82935
2	1,80	12,8	2	4,82983	4,82934
3	1,73	13,0	3	4,82984	4,82934
4	1,78	12,0	4	4,82983	4,82931
5	1,60	12,8	5	4,82983	4,82933
6	1,75	12,8	6	4,82989	4,82933
7	1,56	12,6	7	4,82988	4,82934
8	1,66	12,8	8	4,82983	4,82933
9	1,60	13,1	9	4,82986	4,82935
10	1,53	13,0	10	4,82986	4,82937
Mittelwert	1,66	12,8	Mittelwert	4,82985	4,82934
Oberfläche		32,23 cm²	Gewichtsdifferenz		508 µg
				Löslichkeit	15,76 µg / cm²

Tabelle 9: Chemische Löslichkeit / Carrara Vincent - schmelz 2

Für zehn Prüfkörper aus Dentinmasse der Carrara Vincent Verblendkeramik liegt der Wert der chemischen Löslichkeit bei 9,14 µg/cm².

Carrara Vincent Dentinmasse Versuch 3

Probe Nr.	Dicke (mm)	Durchmesser (mm)	Anzahl der Wiegevorgänge	Gewicht vor Essigsäure (g)	Gewicht nach Essigsäure (g)
1	1,61	12,8	1	4,66945	4,66914
2	1,52	13,3	2	4,66947	4,66916
3	1,60	13,7	3	4,66946	4,66917
4	1,54	12,7	4	4,66945	4,66917
5	1,48	12,7	5	4,66946	4,66916
6	1,51	13,0	6	4,66948	4,66917
7	1,50	12,7	7	4,66945	4,66917
8	1,54	12,8	8	4,66946	4,66916
9	1,61	13,1	9	4,66948	4,66917
10	1,50	13,0	10	4,66947	4,66916
Mittelwert	1,54	12,8	Mittelwert	4,66946	4,66916
Oberfläche		32,73 cm²	Gewichtsdifferenz		299 µg
				Löslichkeit	9,14 µg / cm²

Tabelle 10: Chemische Löslichkeit / Carrara Vincent - dentin

6.2.2 Chemische Löslichkeit der Presskeramik

Die Prüfung zur chemischen Löslichkeit ergab für die ersten acht Prüfkörper aus Carrara Press Core mit einem Wert von 142,43 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, einen deutlich höheren Wert als im zweiten Durchgang.

Carrara Press Core Versuch 4

Probe Nr.	Dicke (mm)	Durchmesser (mm)	Anzahl der Wiegevorgänge	Gewicht vor Essigsäure (g)	Gewicht nach Essigsäure (g)
1	1,69	16,0	1	6,69143	6,68437
2	1,71	16,0	2	6,69137	6,68438
3	1,71	16,1	3	6,69139	6,68438
4	1,84	15,9	4	6,69138	6,68439
5	1,82	16,0	5	6,69137	6,68438
6	1,82	16,0	6	6,69138	6,68440
7	1,78	16,1	7	6,69139	6,68440
8	1,69	16,0	8	6,69137	6,68441
Mittelwert	1,757	16,0	Mittelwert	6,691384	6,684392
Oberfläche		49,09 cm²	Gewichtsdifferenz		6992,00 μg
				Löslichkeit	142,43 $\mu\text{g} / \text{cm}^2$

Tabelle 11: Chemische Löslichkeit / Carrara Press - core 1

Für weitere acht Prüfkörper aus Carrara Press Core liegt der Wert der chemischen Löslichkeit bei 109,71 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Carrara Press Core Versuch 5

Probe Nr.	Dicke (mm)	Durchmesser (mm)	Anzahl der Wiegevorgänge	Gewicht vor Essigsäure (g)	Gewicht nach Essigsäure (g)
1	1,67	16,0	1	6,67027	6,66486
2	1,67	16,0	2	6,67025	6,66486
3	1,73	16,0	3	6,67027	6,66486
4	1,77	15,9	4	6,67025	6,66489
5	1,84	16,0	5	6,67024	6,66489
6	1,71	16,0	6	6,67024	6,66487
7	1,74	16,0	7	6,67022	6,66480
8	1,78	16,0	8	6,67023	6,66481
Mittelwert	1,738	16,0	Mittelwert	6,670242	6,664882
Oberfläche		48,86 cm²	Gewichtsdifferenz		5360,00 μg
				Löslichkeit	109,71 $\mu\text{g} / \text{cm}^2$

Tabelle 12: Chemische Löslichkeit / Carrara Press - core 2

Für die ersten acht Prüfkörper aus Carrara Press Inlay ergaben sich die in Tabelle 13 zusammengefassten Werte. Hier wurde mit $79,77 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ein erhöhter Wert der chemischen Löslichkeit ermittelt.

Carrara Press Inlay Versuch 6

Probe Nr.	Dicke (mm)	Durchmesser (mm)	Anzahl der Wiegevorgänge	Gewicht vor Essigsäure (g)	Gewicht nach Essigsäure (g)
1	1,77	16,1	1	6,85887	6,85490
2	1,78	16,1	2	6,85888	6,85493
3	1,83	16,0	3	6,85887	6,85494
4	1,81	16,0	4	6,85887	6,85494
5	1,86	16,0	5	6,85888	6,85491
6	1,77	16,0	6	6,85884	6,85492
7	1,79	16,0	7	6,85885	6,85494
8	1,75	16,0	8	6,85886	6,85495
Mittelwert	1,80	16,0	Mittelwert	6,858867	6,854930
Oberfläche		49,35 cm²	Gewichtsdifferenz		3936,60 µg
				Löslichkeit	79,77 µg / cm²

Tabelle 13: Chemische Löslichkeit / Carrara Press - inlay 1

Für acht weitere Prüfkörper aus Carrara Press Inlay ist der Wert der chemischen Löslichkeit mit $88,43 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ebenfalls erhöht und nahe dem zulässigen Grenzwert von $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Carrara Press Inlay Versuch 7

Probe Nr.	Dicke (mm)	Durchmesser (mm)	Anzahl der Wiegevorgänge	Gewicht vor Essigsäure (g)	Gewicht nach Essigsäure (g)
1	1,82	16,0	1	6,83611	6,83171
2	1,76	16,0	2	6,83612	6,83174
3	1,75	16,0	3	6,83613	6,83174
4	1,75	16,1	4	6,83609	6,83175
5	1,78	16,3	5	6,83611	6,83175
6	1,80	16,0	6	6,83608	6,83174
7	1,74	16,0	7	6,83610	6,83174
8	1,81	16,0	8	6,83610	6,83172
Mittelwert	1,78	16,0	Mittelwert	6,836104	6,831736
Oberfläche		49,39 cm²	Gewichtsdifferenz		4368,00 µg
				Löslichkeit	88,43 µg / cm²

Tabelle 14: Chemische Löslichkeit / Carrara Press - inlay 2

6.2.3 Chemische Löslichkeit der Presskeramik / Politur u. Glanzbrand

Die Core - Prüfkörper mit Oberflächenbearbeitung zeigen eine deutlich geringere chemische Löslichkeit als die unbehandelten Core Proben. Mit $81,65 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ wird hier sogar der geforderte Grenzwert für Typ II Klasse 2 Keramiken unterschritten.

Carrara Press Core Versuch 8

Probe Nr.	Dicke (mm)	Durchmesser (mm)	Anzahl der Wiegevorgänge	Gewicht vor Essigsäure (g)	Gewicht nach Essigsäure (g)
1	1,54	15,6	1	6,05367	6,04993
2	1,65	15,7	2	6,05372	6,04995
3	1,64	15,6	3	6,05374	6,04992
4	1,61	15,6	4	6,05371	6,04988
5	1,52	15,5	5	6,05376	6,04992
6	1,55	15,6	6	6,05374	6,04991
7	1,80	15,7	7	6,05377	6,04994
8	1,74	15,7	8	6,05371	6,04992
Mittelwert	1,63	15,6	Mittelwert	6,05371	6,04992
Oberfläche		46,33 cm²	Gewichtsdifferenz		3783,00 μg
				Löslichkeit	81,65 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$

Tabelle 15: Chemische Löslichkeit / Carrara Press - Core glb

Die Prüfkörper aus Carrara Press Inlay zeigen ebenso eine deutlich geringere chemische Löslichkeit nach der Oberflächenbearbeitung. Der Wert von $42,43 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ liegt fast um die Hälfte niedriger als die Werte der unbehandelten Proben.

Carrara Press Inlay Versuch 9

Probe Nr.	Dicke (mm)	Durchmesser (mm)	Anzahl der Wiegevorgänge	Gewicht vor Essigsäure (g)	Gewicht nach Essigsäure (g)
1	1,55	15,7	1	6,28314	6,28112
2	1,83	15,8	2	6,28311	6,28113
3	1,75	15,8	3	6,28312	6,28114
4	1,75	15,7	4	6,28310	6,28111
5	1,93	15,8	5	6,28313	6,28113
6	1,66	15,7	6	6,28313	6,28115
7	1,53	15,7	7	6,28312	6,28112
8	1,65	15,4	8	6,28311	6,28112
Mittelwert	1,70	15,7	Mittelwert	6,28312	6,28112
Oberfläche		47,11 cm²	Gewichtsdifferenz		1999,00 μg
				Löslichkeit	42,43 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$

Tabelle 16: Chemische Löslichkeit / Carrara Press - Inlay glb

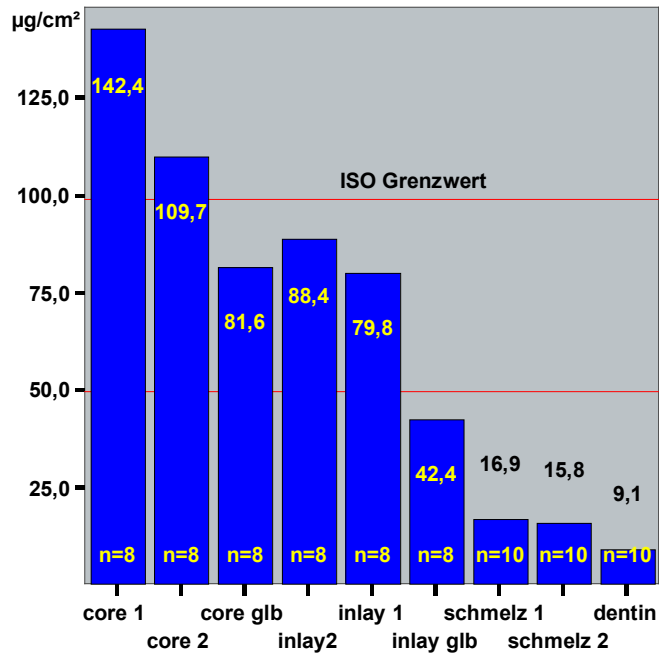


Abb. 15: Die chemische Löslichkeit der neun Versuchsdurchläufe im Vergleich

6.3 Bruchfestigkeit der Vollkeramikronen

6.3.1 Bruchfestigkeit / adhäsive Befestigung

Die Prüfung der Bruchfestigkeit von adhäsiv befestigten Kronen ergab einen Mittelwert von 1129,68 N mit einer Standardabweichung von 161,32 N. Die einzelnen Bruchlastwerte sind in Tabelle 17 aufgeführt.

Proben Nr.	Bruchlast in N
1	1243,29
2	973,02
3	1274,06
4	918,96
5	1029,73
6	1130,61
7	1338,13
Mittelwert	1129,68
Standardabweichung	161,32

Tabelle 17: Bruchfestigkeit - Versuch 1 / Panavia 21®

6.3.2 Bruchfestigkeit / zementiert

Für die zementierten Kronen ergab die Prüfung der Bruchfestigkeit einen Mittelwert von 1264,58 N mit einer Standardabweichung von 164,67 N. Die Bruchlastwerte der einzelnen Proben sind in Tabelle 18 aufgeführt.

Proben Nr.	Bruchlast in N
1	1404,00
2	967,67
3	1281,12
4	1214,66
5	1436,92
6	1379,84
7	1167,84
Mittelwert	1264,58
Standardabweichung	164,67

Tabelle 18: Bruchfestigkeit - Versuch 2 / Harvard Zement

6.3.3 Bruchfestigkeit / adhäsive Befestigung nach Thermoschock

Für adhäsiv befestigte Kronen nach dem Thermoschockversuch ergab die Prüfung der Bruchfestigkeit einen Mittelwert von 995,99 N mit einer erhöhten Standardabweichung von 291,85 N. Die Bruchlastwerte der einzelnen Proben sind in Tabelle 19 aufgeführt.

Proben Nr.	Bruchlast in N
1	1238,38
2	1193,93
3	880,98
4	1226,74
5	1198,73
6	710,56
7	522,62
Mittelwert	995,99
Standardabweichung	291,85

Tabelle 19: Bruchfestigkeit - Versuch 1 / Panavia 21[®] nach Thermoschock

Die Bruchflächen zeigten in allen Versuchen adhäsive Versager. Es wurde bei keinem der Versuche eine übermäßige Beschädigung des Verbundes zwischen Kern- und Verblendmaterial festgestellt.

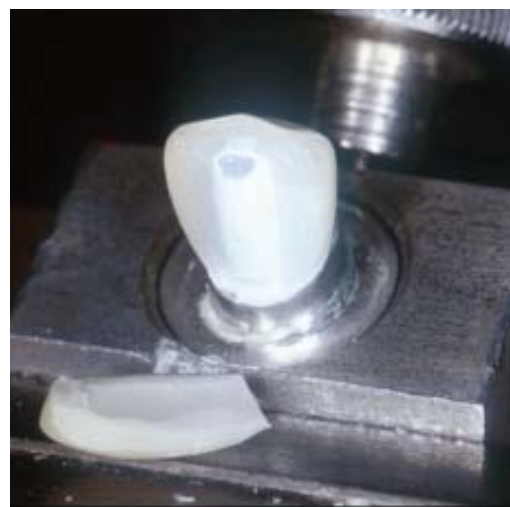


Abb. 16: Bruchfläche / Befestigung m. Panavia 21[®]; Abb. 17: Bruchfläche / Befestigung m. ZnO

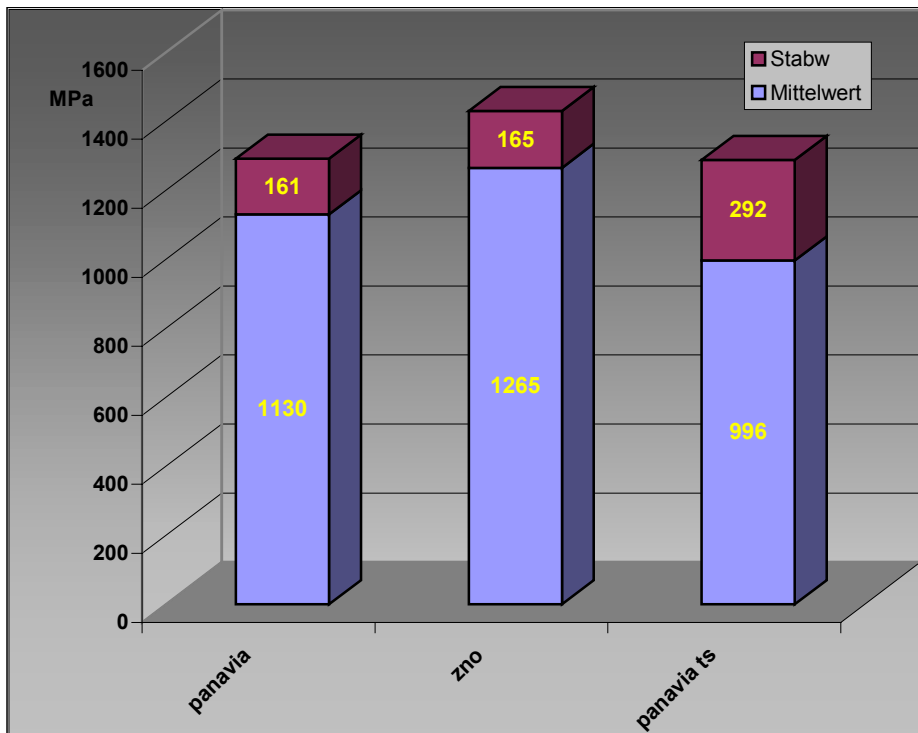


Abb. 18: Die Bruchfestigkeit der drei Versuchsdurchläufe im Vergleich

6.4 Thermoschocktest

Bei der Durchführung des Thermoschocktests zeigten zwei Kronen nach 150° C Risse in der Oberfläche. Fünf Kronen sind im nächst höheren Temperaturbereich bei 160° C durch Rissbildung an der Oberfläche auffällig geworden. Keine der getesteten Kronen hat den Versuch unbeschadet überstanden. Die Frakturlinien der einzelnen Kronen unterscheiden sich in Ausprägung und Verlauf voneinander.

Die Frakturlinien der bei 150° C ausgeschiedenen Kronen sind im Vergleich zu den bei 160° C ausgeschiedenen Kronen recht schwach ausgeprägt. Der Frakturverlauf ist in beiden Fällen im inzisalen Bereich.

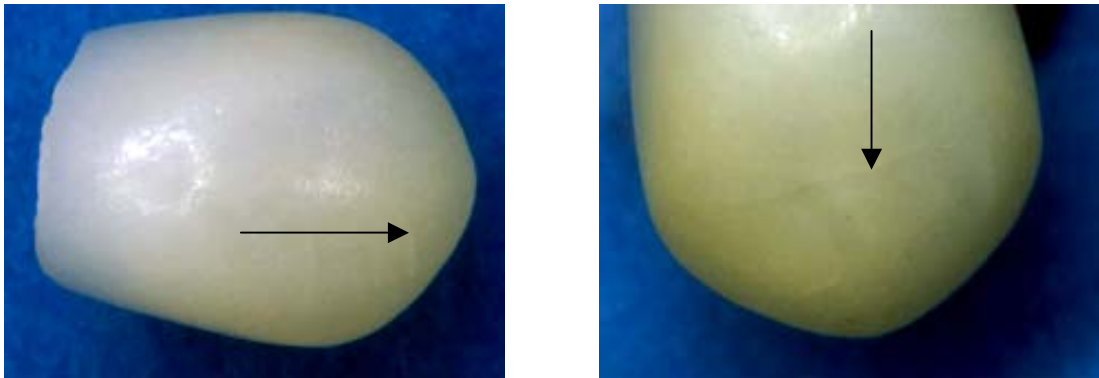


Abb. 19 / 20: Kronen mit Riss nach Termoschocktest bei 150° C

Die bei 160° C aufgetretenen Risse sind deutlich stärker als die bei 150° C. Der Verlauf der Frakturlinie ist in drei Fällen im inzisalen Bereich und bei zwei Kronen im zervikalen Bereich.

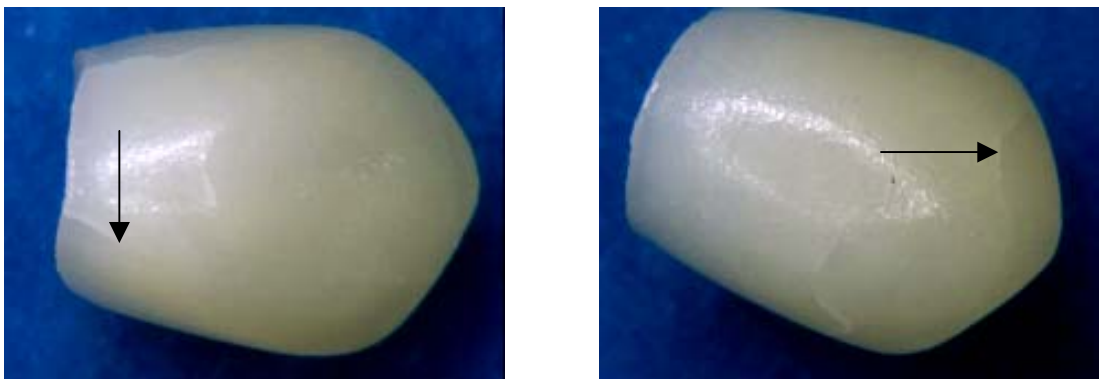


Abb. 21 / 22: Kronen mit Riss nach Termoschocktest bei 160° C



Abb. 23 / 24: Kronen mit Riss nach Termoschocktest bei 160° C

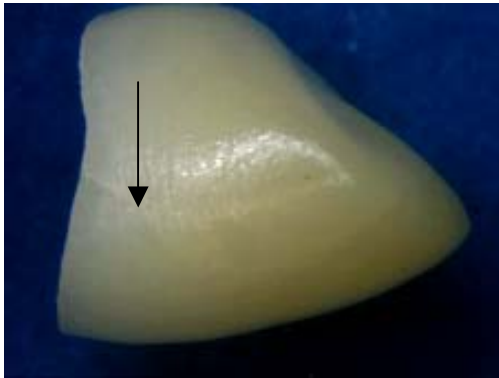


Abb. 25: Krone mit Riss nach Termoschocktest bei 160° C

6.5 Beobachtungen bei der zahntechnischen Verarbeitung

Im Rahmen der Vorversuche, sowie bei der Herstellung der Prüfkörper sind folgende Ereignisse zu bemerken. Bei der Fertigung der Plättchen sind in drei Versuchen die Objekte während des Pressvorgangs nicht vollständig ausgeflossen. Hiervon sind zwei Objekte in Abbildung 26 und 27 dargestellt.

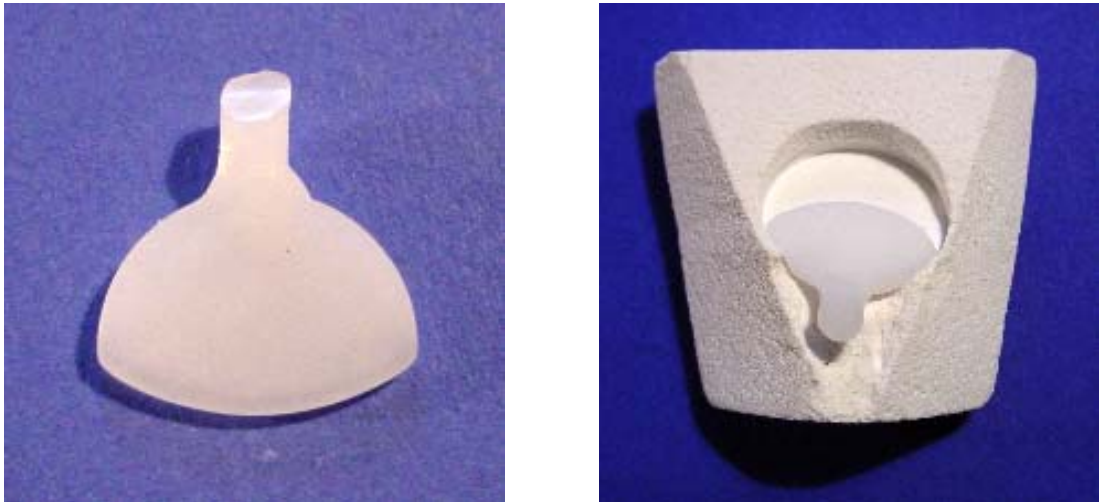


Abb. 26 / 27: Objekte, die beim Pressen nicht vollständig ausgefüllt wurden

Bei fünf Versuchen zeigten die Objekte beim Ausbetten Bruchflächen im Werkstück. In Abbildung 28/29 sind zwei Objekte mit unterschiedlichen Verlaufsrichtungen der Bruchlinie dargestellt. Drei der insgesamt fünf Objekte sind sehr nah am Presskanal in horizontaler Richtung frakturiert. Die Bruchlinie der anderen Prüfkörper verlief quer durch das Objekt.

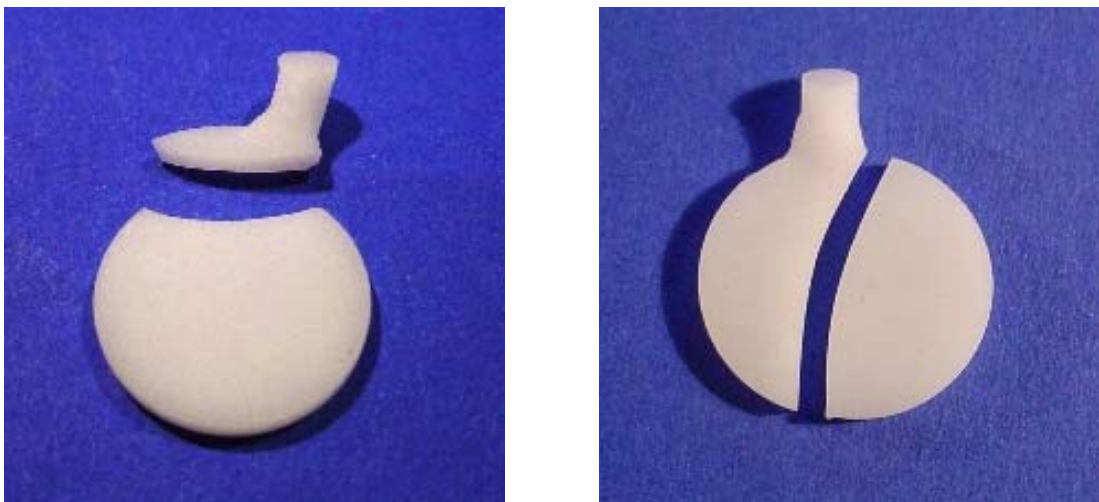


Abb. 28 / 29: Prüfkörper mit Bruchflächen

Bei der Herstellung der Kronenkäppchen sind zwei Versuche durch sichtbare Rissbildung der Einbettmasse im basalen Bereich, sowie Fahnen an Presskanal und Pressstempel auffällig geworden (Abb. 30). In einem Versuch hatte das Objekt Fahnen am Presskanal und zusätzlich eine Bruchfläche. Bei zwei Pressungen ist die Einbettmasse während der Vorwärmphase bei 800° C aus der Metallmuffel herausgesprungen. Hier zeigte sich nur in einem Fall ein Riss im basalen Bereich der Einbettmasse. Die Objekte dieses Versuches hatten ausgeprägte Pressfahnen am Presskanal (Abb. 31).

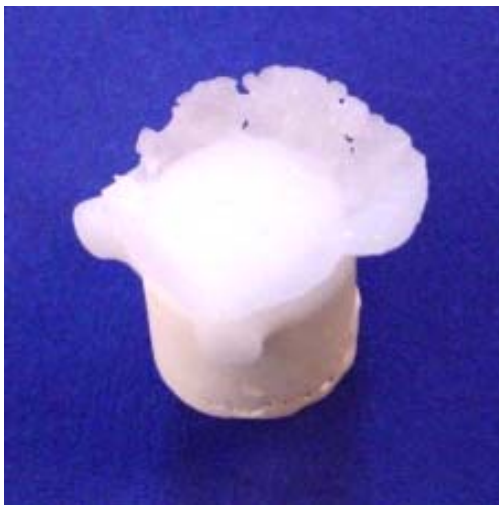


Abb. 30: Pressstempel mit Pressfahnen; Abb. 31: angestiftetes Käppchen mit Pressfahnen

7 Diskussion

7.1 Versuch der biaxialen Biegefestigkeit

7.1.1 Zur Methode

Die Prüfkörper für die Versuche der biaxialen Biegefestigkeit wurden gemäß den Vorgaben der ISO 6872 gefertigt. Um eine unterschiedliche Beschaffenheit der Ausgangsmaterialien zu vermeiden, wurden die Prüfkörper aus jeweils einer Charge Core - und einer Charge Inlay Material gefertigt. Die Herstellung erfolgte unter Verwendung einer Schablone. Mehrfache Kontrollen der Werkstücke mittels Messschieber und Bügelmessschraube sollten Abweichungen so gering wie möglich halten, um so die geforderte Dicke ($1,2 \pm 0,2$ mm) und eine Planparallelität von $\pm 0,05$ mm zu sichern. Trotz größter Sorgfalt sind die Proben jedoch nicht identisch.

Zur Ermittlung der Biegefestigkeit spröder Werkstoffe, hat sich eine Unterstützung der Probe durch drei Kugeln als sinnvoll erwiesen. So haben *Kirstein und Wooley* (in: *Ban et al. 1992*) in einer Versuchsreihe nachgewiesen, dass die Werte unabhängig von Winkeleinstellung und Zahl der Unterstützung waren. Man hat sich daraufhin für das einfache Drei-Ball-System entschieden.

7.1.2 Zu den Ergebnissen

Die ISO 6872 fordert für eine Keramik vom Typ II Klasse 1, für das Bestehen der Prüfung zur biaxialen Biegefestigkeit, dass mindestens acht von zehn Proben den Wert von 100 MPa erreichen. In der von uns durchgeführten Testreihe für Carrara Press Core haben sieben von zehn Proben diesen Wert überschritten. Der Mittelwert liegt bei 112,44 MPa mit einer Standardabweichung von 21,24 MPa. Für eine Keramik vom Typ II Klasse 2 ist ein Wert von 30 MPa gefordert. Alle Proben aus Carrara Press Inlay haben diesen Wert überschritten. Der Mittelwert liegt bei 103,00 MPa mit einer Standardabweichung von 17,59 MPa. Die vom Hersteller

angegebenen Werte von 134 ± 10 MPa für Core Material, und 120 ± 10 MPa für Inlay Material, konnten in unserem Test nicht erreicht werden.

Die ermittelten Werte hatten mit 18,89 % bei Carrara Press Core und 17,07 % bei Carrara Press Inlay eine relativ große Standardabweichung. Eine ähnlich hohe Standardabweichung von 19,7 % wurde von *Pröbster et al. (1990)* in einem Dreipunkt- Biegeversuch für In-Ceram Material beschrieben. Auch *Jones (1984)* und *Schultheiss (1992)* hatten bei normierten Prüfkörpern große Standardabweichungen relativ häufig angetroffen. Diese Werte lassen sich mit einer Aussage von *Jones (1984)* so erklären, dass die mechanische Eigenschaft einer Dentalkeramik hauptsächlich durch das Gefügebild bestimmt wird. Eine mögliche Erklärung hierfür liegt in der Gefügestruktur von Carrara Press Core. Die REM Aufnahme zeigt deutlich, die aus der Glasmatrix herausgelösten Leuzitkristallbereiche (Abb. 1 u. 2).

Die ermittelten Werte von 112,44 MPa für Carrara Press Core und 103,00 MPa für Carrara Press Inlay liegen im Vergleich zu in der Literatur veröffentlichten Werten in einem guten Bereich. *Konrad (1995)* erzielte einen Wert von 140,1 MPa für Empress Maltechnik und 109,4 MPa für Empress Schichttechnik. *Dong et al (1992)* fanden in ihrer Versuchsreihe sogar einen Maximalwert von 182 MPa, den sie auf die Anzahl der Brände zurückführen.

Im direkten Vergleich der beiden Messreihen mit und ohne Löslichkeit, ergab der paarweise T-Test mit dem Statistikprogramm SPSS für Windows® (Version 11.0), einen Wert von 0,0774. Demnach ist der Vergleich der Bruchfestigkeit vor und nach Löslichkeit in unserer Testreihe als nicht signifikant zu bezeichnen. Diese Abweichung der Biegefestigkeit nach Löslichkeit wurde jedoch nur bei Carrara Press Core beobachtet. Der Mittelwert bei Carrara Press Inlay liegt mit 104,11 MPa und einer Standardabweichung von 19,99 MPa nah an dem Wert ohne Löslichkeit.

7.2 Versuch der chemischen Löslichkeit

7.2.1 Zur Methode

Da bei der Löslichkeitsuntersuchung zusätzlich noch eine Schichtkeramik bewertet wurde, sind weitere Punkte zu diskutieren. Die zur Fertigung der Proben benötigte Anmischflüssigkeit übt keinen nachhaltigen Einfluss auf die Löslichkeit aus. Der in der Keramik enthaltene Flüssigkeitsanteil verflüchtigt sich schon während der Vorwärmphase des Brennprogramms, sodass keine Rückstände in der Keramik verbleiben (*Komma 1993*). Sie kann als Verarbeitungshilfe der Keramik angesehen werden. Weitaus mehr Beachtung sollte die genaue Temperaturführung des Ofens während des Brennvorgangs finden. Ein Über- oder Unterbrennen kann erheblichen Einfluss auf das Löslichkeitsverhalten einer Keramik haben. Selbst bei kalibrierten Öfen ist diese Gefahr nie ganz auszuschließen (*Loose 1998*). Das Wiegen der Proben sollte bei gleicher Temperatur und konstanter Luftfeuchtigkeit durchgeführt werden, da so eine Massenzunahme und daraus resultierend eine veränderte Löslichkeit vermieden wird. Bei der Versuchsdurchführung stellt das Trockenschrankverfahren eine Komponente des Versuchs dar, die kritisch zu betrachten ist. Hierbei sollten genormte Gläser verwendet werden, die im befüllten Zustand im Trockenschrank vorgewärmt werden. Mit dem Einbringen der Proben beginnt die Zeitnahme. Durch diese Vorgehensweise können mögliche Folgefehler vermieden werden.

7.2.2 Zu den Ergebnissen

Die zur Prüfung der chemischen Löslichkeit nach DIN 6872 zugrundeliegenden Richtwerte, wurden in diesem Test nicht überschritten. In den Testreihen der Verblendkeramik erreichte die Dentinmasse mit einer Löslichkeit von $9,1 \mu\text{g} / \text{cm}^2$ einen 10fach niedrigeren Wert als in der Norm gefordert. Die Schmelzmasse liegt mit $15,8 \mu\text{g} / \text{cm}^2$ bzw. $16,9 \mu\text{g} / \text{cm}^2$ auch hier deutlich unter den in der Norm geforderten $100 \mu\text{g} / \text{cm}^2$.

Bei den Prüfkörpern aus Presskeramik ohne nachfolgende Oberflächenbearbeitung wurden relativ hohe Werte ermittelt. So liegt Carrara Press Inlay mit einer

Löslichkeit von $79,8 \mu\text{g} / \text{cm}^2$ im ersten Versuch und $88,4 \mu\text{g} / \text{cm}^2$ im zweiten Versuch nah am zulässigen Grenzwert von $100 \mu\text{g} / \text{cm}^2$. Die Kernmasse Carrara Press Core liegt mit $142,4 \mu\text{g} / \text{cm}^2$ im ersten, und $109,7 \mu\text{g} / \text{cm}^2$ im zweiten Versuch deutlich höher als das Inlay Material, jedoch immer noch unter dem hierfür geforderten Grenzwert von $2000 \mu\text{g} / \text{cm}^2$. Die erhöhten Werte lassen sich durch die unbehandelte Oberfläche der Proben erklären. Sie wurden nach dem Ausbetten abgestrahlt und keiner weiteren Oberflächenbehandlung unterzogen. Im klinischen Einsatz ist diese Oberflächenbeschaffenheit jedoch kaum vorzufinden, da durch Beschleifen und nachfolgende Brände die Oberfläche geglättet wird. Proben, bei denen die Oberfläche nach klinischen Gesichtspunkten bearbeitet wurde, zeigten demgegenüber deutlich niedrigere Löslichkeitswerte. Für die Kernmasse wurde eine Löslichkeit von $81,65 \mu\text{g} / \text{cm}^2$ ermittelt und für das Inlay Material ein Wert von $42,43 \mu\text{g} / \text{cm}^2$. Diese Werte liegen jedoch immer noch in einem erhöhten Bereich. Demnach ergibt sich für das Core Material die Forderung der vollständigen Verblendung des Gerüsts. Da für das Inlay Material keine weitere Verblendung oder Beschichtung vorgesehen ist, sollte der Politur sowie dem abschließenden Glanzbrand besonderes Augenmerk zukommen. Im direkten Vergleich mit anderen Keramiken wird der stand von Carrara Press deutlich.

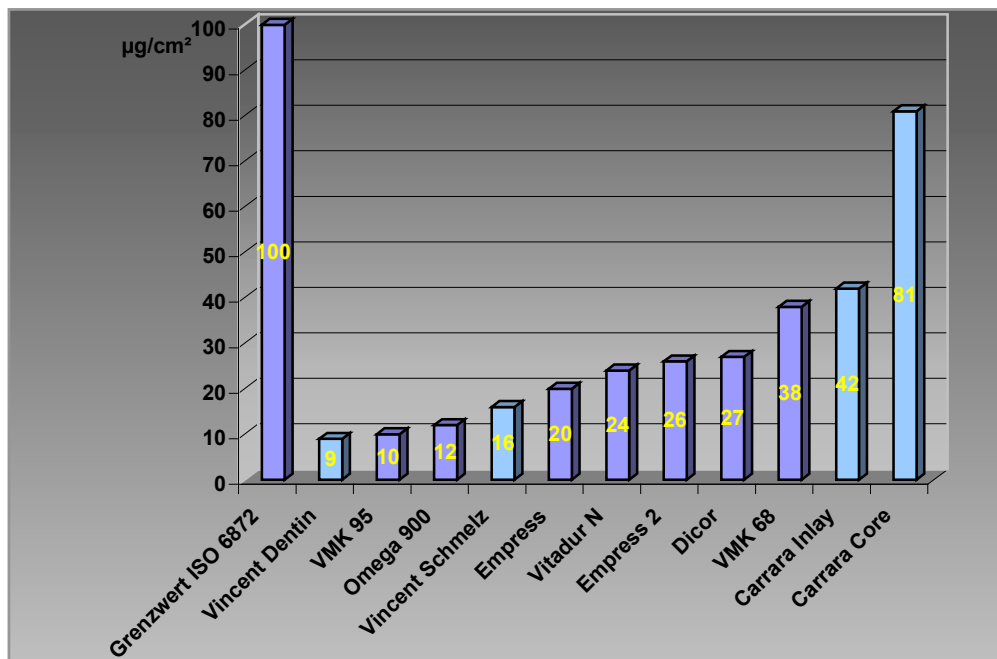


Abb. 32: Vergleich der chemischen Löslichkeit von Vollkeramiksystemen (Kappert 1998)

Die in diesem Test ermittelten Werte liegen innerhalb des von der ISO Norm 6872 geforderten Grenzwertes von $100 \mu\text{g} / \text{cm}^2$ für Verblendkeramiken und $2000 \mu\text{g} / \text{cm}^2$ für Kernmassen. Nach einer Aussage von *Komma (1993)* kann demnach davon ausgegangen werden, dass die Dentalkeramik über mindestens 20 Jahre im Mundmilieu gegen chemische Angriffe beständig ist.

7.3 Versuch der Bruchfestigkeit

7.3.1 Zur Methode

Zur Ermittlung der Bruchfestigkeit von Einzelzahnrestorationen existiert derzeit keine Normvorschrift. Die Prüfkörper wurden, unter Berücksichtigung der Herstellerangaben, nach allgemein gültigen Kriterien für einen oberen Eckzahn gefertigt. Besondere Aufmerksamkeit wurde auf die gleichmäßige Dicke im Bereich des Zahnäquators und eine geringe Höhe der Schneidekante gelegt. Auf den Einsatz einer Schablone wurde verzichtet, da sich in einer Untersuchung von *Körber und Ludwig (1986)* relativ hohe Standardabweichungen zeigten. Um individuelle Schwankungen bei der Herstellung zu vermeiden, wurden alle Prüfkörper von einer Person gefertigt.

Durch die Neigung der Zahnachse um ca. 30° zur Achse des Kraftaufnehmers soll vermieden werden, dass ein zu frühes Abplatzen der Inzisalkante die Messwerte verfälscht. Das Auflegen einer Zinnfolie sollte den Kontakt von Prüfstempel zu Prüfkörper langsam einleiten, um ebenfalls ein frühes Abplatzen der Keramik zu verhindern.

7.3.2 Zu den Ergebnissen

Eine Beurteilung anhand festgelegter Grenzwerte kann bezüglich der Bruchfestigkeit nicht erfolgen, da keine eigene ISO-Norm vorliegt. Vergleiche mit anderen Untersuchungen sind demnach nur unter Vorbehalt möglich. Die Versuchsergebnisse liegen sowohl für die zementierten Proben mit $1265 \text{ N} \pm 165 \text{ N}$, als auch für die adhäsiv befestigten Proben mit $1130 \text{ N} \pm 161 \text{ N}$ in einem guten Festigkeitsbereich.

Da für den klinischen Einsatz eine adhäsive Befestigung vorgesehen ist, sollte diesen Werten erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden.

In der Vergangenheit wurde eine Forderung bezüglich der Festigkeit formuliert, die eine Ausgangsfestigkeit von 400 N für den Frontzahnbereich und 600 N für den Seitenzahnbereich fordert (Schwickerath 1986, 1988, Schwickerath und Coca 1987). Hierbei wird von einer Dauerfestigkeit ausgegangen, die nur ca. 60 % der Anfangsfestigkeit beträgt. Bei einer maximalen Kaubelastung von 200 N im Frontzahnbereich und 300 N im Seitenzahnbereich (Körber und Ludwig 1983) sollte demnach eine Restauration, bei einer täglichen Kraftspitze im Maximalbereich, mindestens drei bis vier Jahre (dies entspricht etwa 1000 Belastungszyklen) halten (Kappert 1998). Carrara press liegt mit einem Wert von 1130 N fast doppelt so hoch wie die geforderte Anfangsfestigkeit von 600 N.

Bezüglich der Befestigungsart konnte für zementierte Prüfkörper ein Wert von $1265 \text{ N} \pm 165 \text{ N}$ ermittelt werden. Für geklebte Prüfkörper waren es $1130 \text{ N} \pm 161 \text{ N}$. Im direkten Vergleich ist hier ein Unterschied von 135 N zu Gunsten der zementierten Kronen ersichtlich. Der paarweise T-Test mit dem Statistikprogramm SPSS für Windows® (Version 11.0), ergab einen Wert von 0,1475. Demnach ist der Vergleich der Befestigungsart in unserer Testreihe als nicht signifikant zu bezeichnen. In einer Untersuchung von Ludwig und Körber (1994) wurde eine Steigerung der Festigkeit um bis zu 40 % zwischen adhäsiv befestigten IPS-Empress Kronen gegenüber konventionell befestigten IPS-Empress Kronen gezeigt. Diese Tendenz konnte in unserer Testreihe nicht beobachtet werden.

Eine Auswertung der Bruchfläche ergab in allen Fällen adhäsive Versager, d. h. dass der Verbund zwischen Gerüstmaterial und Verblendung stärker ist als der Verbund von Keramik zu Befestigungsmedium und Prüfstumpf. Für den keramischen Verbund ist dies als positiv zu werten.

Große Standardabweichungen sind auch in einem normierten Test relativ häufig anzutreffen, da nach Angaben von Jones (1984) die mechanischen Eigenschaften einer Dentalkeramik hauptsächlich durch das Gefügebild bestimmt werden. Eine weitere Erklärung der großen Standardabweichung kann in unterschiedlich starken

Zementschichten gesucht werden, wodurch sich die Abweichungen der einzelnen Werte ergeben können.

Als kritisch ist jedoch die Tatsache zu werten, dass der WAK von Carrara Press Core ($13,8 \cdot 10^{-6}$ K) mit 9,4 % niedriger liegt als der WAK der Verblendmasse Carrara Vincent ($15,1 \cdot 10^{-6}$ K). Der gewünschte Effekt einer Verspannung von Gerüstmasse zu Verblendmasse, bedingt durch einen leicht höheren WAK (bis 15 %) der Gerüstmasse (Kappert und Krahl 2001), ist aufgrund dieser Tatsache nicht anzunehmen.

In einem unter Vorbehalt zu wertenden Vergleich zu anderen Keramiken, lässt sich eine Tendenz erkennen. So liegt Carrara Press mit der adhäsiven Befestigung ($1130 \text{ N} \pm 161 \text{ N}$) im Mittelfeld der Presskeramiken. Die mit Harvard-Zement befestigten Kronen zeigen einen noch höheren Wert ($1265 \text{ N} \pm 165 \text{ N}$) auf, der jedoch für den klinischen Einsatz nicht von Bedeutung ist, da dieses System nur zur adhäsiven Befestigung vorgesehen ist.

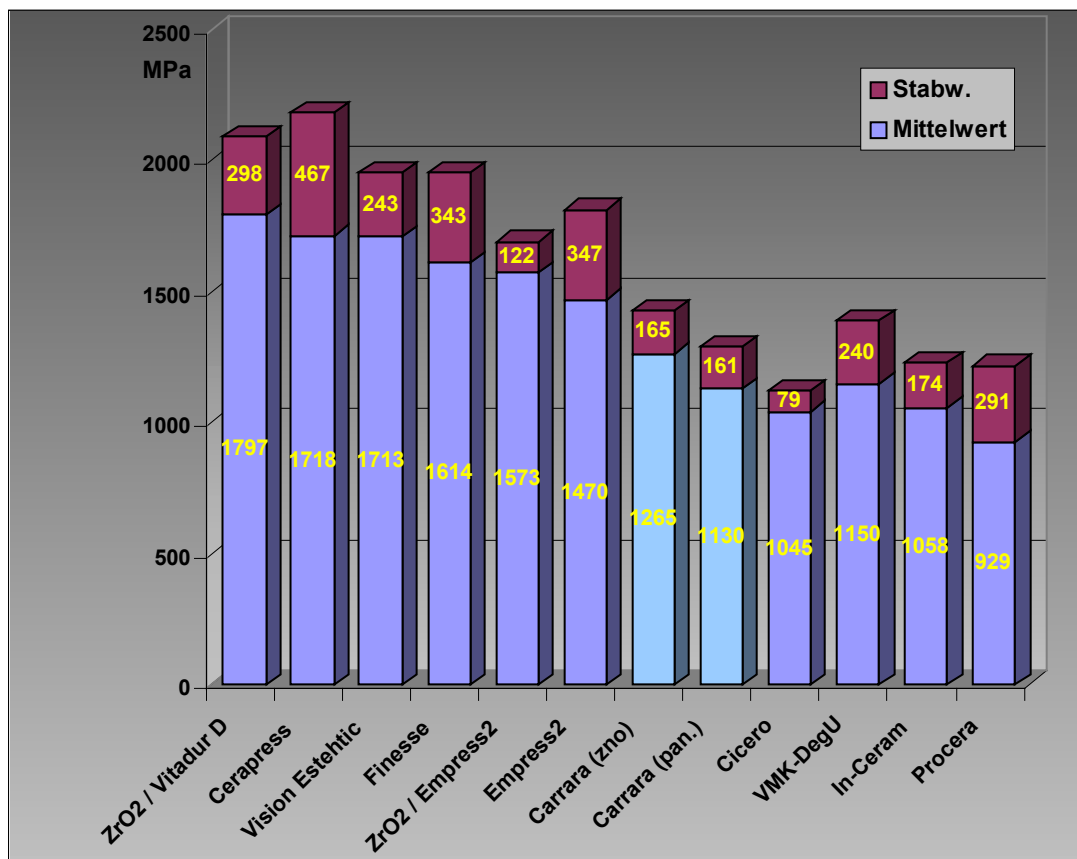


Abb. 33: Bruchfestigkeit von Eckzahnkronen im Vergleich (Kappert 2001)

7.4 Thermoschockprüfung

7.4.1 Zur Methode

Da auch diese Versuchsanordnung keiner Normvorschrift unterliegt, wurde die Thermoschockprüfung nach einem modifizierten Verfahren nach *Mora und O'Brian (1994)* durchgeführt. Als Kriterium über Erfolg und Misserfolg, entscheidet die optische Bewertung der Oberfläche unter dem Lichtmikroskop auf Rissbildung. Mikrorisse und Läsion, die sich nicht an der Oberfläche befinden, können mit dieser Art der Kontrolle nicht erfasst werden.

7.4.2 Zu den Ergebnissen

In unserer Testreihe zeigten zwei von sieben Kronen bei 150° C Risse im Auflichtmikroskop. Die fünf weiteren Proben sind bei der letzten Temperaturstufe von 160° C durch Rissbildung auffällig geworden. Das Frakturverhalten war im einzelnen unterschiedlich. Die von *Mora und O'Brian (1994)* beschriebene Beobachtung, dass bei einem höheren WAK der Verblendkeramik gegenüber der Gerüstkeramik, die Frakturlinie in occlusal / gingivaler Richtung verläuft, konnte in unserer Untersuchung nicht gemacht werden. Die Forderung, nach angepassten Wärmeausdehnungskoeffizienten von Gerüst- und Verblendmaterial, wurde bei dem uns vorliegenden System erfüllt (*Schmidt, Fischer, Hoffmann und Strub*). Durch diesen Umstand wird ein Keramiksystem, sowohl während der Abkühlphase als auch unter thermischen Wechselbelastungen in der Mundhöhle, durch eine geringere Frakturanfälligkeit auffällig. Das Ergebnis kann als durchweg positiv gewertet werden, da sich die Auffälligkeiten im Bereich der letzten Temperaturstufe zeigten.

7.5 Bewertung des Systems unter zahntechnischen Gesichtspunkten

Um eine Bewertung über die zahntechnischen Verarbeitung geben zu können, wurden 21 Kronen und insgesamt 72 Plättchen gefertigt. Die daraus gesammelten Erfahrungen, werden im folgenden diskutiert.

In drei Versuchen ist das Objekt während des Pressvorganges nicht vollständig ausgeflossen. Eine mögliche Ursache kann in dem zu schnellen Erkalten der Muffel liegen. Dies kann durch eine zu geringe Anzahl an Presspellets entstehen, die nach dem Pressen das Wärmezentrum im inneren der Muffel bilden und dadurch Einfluss auf das kontrollierte Erkalten nehmen. Die ungünstige geometrische Form der Prüfkörper kann auch ursächlich mit diesem Problem in Verbindung gebracht werden. Beim Anstiften laut Herstellerangaben unter 45° befinden sich Teile des Objektes in der Randlage der Muffel. Da diese schneller erkaltet als der Kern, kann hier die Temperatur zur plastischen Verformung unterschritten werden und somit das Objekt nicht vollständig ausgepresst werden. Eine Verringerung des Winkels auf 30° und durch Zugabe eines weiteren Pellet konnte dieser Effekt behoben werden.

Bei fünf Versuchen zeigten die Objekte beim Ausbetten Bruchflächen im Werkstück. Die Ursache kann auch hier während der Abkühlphase gesucht werden. Durch die große Masse des Objektes bildete sich ein zusätzlicher Wärmespeicher im Objektzentrum. Durch die Kontraktion zum Wärmezentrum hin, kommt es während der Abkühlphase zu Spannungen zwischen dem Wärmezentrum der Muffel und dem im Objektzentrum. Dies führt zum Bruch im schwach dimensionierten Bereich bzw. an der Überschneidungsfläche der beiden Wärmefelder. Dieser Umstand konnte durch Zugabe eines Pellet, welches als zusätzlicher Wärmespeicher während des Pressvorgangs dient, behoben werden.

Zwei Versuche waren durch sichtbare Rissbildung der Einbettmasse im basalen Bereich und Fahren an Presskanal und Objekt gekennzeichnet. Dieses Phänomen kann auf zu schnelles oder zu starkes erhitzen der Einbettmasse zurückgeführt werden. Da in unserer Testreihe eine programmgesteuerte Aufwärmphase stattgefunden hat, besteht der begründete Verdacht, dass die Einbettmasse noch nicht vollständig abgebunden war als die Aufwärmphase gestartet wurde. Bei zwei

Objekten ist die Einbettmasse während der Aufwärmphase bei ca. 800° C aus der Metallmuffel herausgesprungen. Eine mögliche Ursache hierfür kann in der großen Expansion der Einbettmasse liegen. Um die Expansion der Einbettmasse nicht zu behindern, wurde nach diesen Vorfällen am Muffelboden ein 0,2 mm starker Wachspacer eingelegt.

Alle hier beschriebenen Misserfolge sind bei der Herstellung der Prüfplättchen aufgetreten. Die Ursachen der gehäuften Fehler sollten jedoch primär in der ungünstigen Dimension der Prüfkörper und der Einarbeitung in ein neues System gesucht werden. Werkstücke mit ähnlichen Dimensionen sind im klinischen Bereich für dieses System sehr unwahrscheinlich. Somit können die aufgetretenen Probleme auch nicht ohne weiteres auf die vorgesehene Anwendung übertragen werden. Bei der Herstellung der Käppchen sind, bis auf das Auftreten von vereinzelt Pressfahnen an Objekt und Presskanal, keine Beanstandungen zu vermelden.

8 Zusammenfassung

Mit dieser Arbeit wurde das von Elephant Dental (NL-Hoorn) entwickelte Vollkeramiksystem Carrara Press hinsichtlich seiner werkstoffkundlichen Eigenschaften und der zahntechnischen Verarbeitung untersucht und bewertet. So wurde die biaxiale Biegefestigkeit und die chemische Löslichkeit nach Vorgaben der ISO 6872 ermittelt. Die Prüfung der Bruchfestigkeit von Eckzahnkronen, sowie die Thermoschockprüfung unterliegt keiner Normvorschrift. Die Bewertung der zahntechnischen Verarbeitung erfolgte anhand der Herstellung der Prüfkörper.

Für die biaxiale Biegefestigkeit wurde ein Wert von 112 ± 21 MPa für Core Material und 103 ± 18 MPa für Inlay Material ermittelt. In der Versuchsanordnung nach chemischer Löslichkeit zeigte das Core Material eine um 18,7 % verringerte Biegefestigkeit von 91 ± 26 Mpa. Das Inlay Material blieb mit einem Wert von 104 ± 20 Mpa konstant. Die Bruchfestigkeit der mit Panavia 21[®] befestigten Kronen wurde mit 1130 ± 161 N ermittelt. Die chemische Löslichkeit ohne Oberflächenbearbeitung liegt für Core Material bei 142,4 bzw. 109,7 $\mu\text{g} / \text{cm}^2$ und für Inlay Material bei 79,8 bzw. 88,6 $\mu\text{g} / \text{cm}^2$. Nach Politur und Glanzbrand konnte ein Wert von 81,6 $\mu\text{g} / \text{cm}^2$ für Core - und 42,4 $\mu\text{g} / \text{cm}^2$ für Inlay Material erzielt werden. Die Schmelzmasse der Verblendkeramik Vincent liegt mit 16,9 bzw. 15,7 $\mu\text{g} / \text{cm}^2$ ebenso wie die Dentinmasse mit 9,1 $\mu\text{g} / \text{cm}^2$ weit unter dem geforderten Grenzwert. Im Thermoschockversuch sind zwei Kronen bei 150° C und fünf Kronen bei der höchsten Temperaturstufe von 160° C durch Rissbildung auffällig geworden.

Die Bewertung der zahntechnischen Verarbeitung zeigte hauptsächlich bei der Herstellung der normierten Prüfkörper für biaxiale Biegefestigkeit und chemische Löslichkeit bemerkenswerte Ereignisse. Die Fertigung der Kronenkäppchen hingegen lief ohne größere Beanstandungen ab. Es ist anzunehmen, dass sich auch solche unerwünschten Ereignisse mit der geübten Hand eines erfahrenen Zahntechnikers recht schnell beheben. Die ermittelten Messwerte belegen dem System Carrara Press im Vergleich zu anderen auf dem Markt befindlichen Werkstoffen eine gute Position und lassen ein indikationsbezogene Anwendung befürworten.

9 Literaturverzeichnis

Ban, S. (1992)

Effect of loading conditions on a biaxial flexure strength of dental cements.

Dent. Mater 8, 100 - 104

Claus, H. (1980)

Werkstoffkundliche Grundlagen der Dentalkeramik.

Dental- Labor 28, 1743 - 1750

Coca, I. (1988)

Der Einfluss der Abmessungen auf das Festigkeitsverhalten von Kronen.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 43: 539 - 541

Dorsch, P., Pfeiffer, T. (1996)

Wirkung verschiedener Einflussgrößen auf die biaxiale Festigkeit von Dentalkeramiken.

Quintessenz Zahntech. 22: 905 - 914

Dong, J. K., Lüthy, H., Wohlwend, A. und Schärer, P. (1992)

Heat- pressed ceramics: thechnology and strength.

Int. J. Prosthodont 5, 9 – 16

Fischer, J. (1996)

Mikrostruktur und Verstärkungsmechanismen dentalkeramischer Werkstoffe

In: Kappert; H. F.: Vollkeramik Werkstoffkunde, Zahntechnik, klinische Erfahrung.

Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, 55 - 68

Fischer, J., Kappert, H. F., Strub, J. R. (1991)

Gefügeausbildung der dentalkeramischen Kernmasse In-Ceram und thermische Dehnung ihrer Einzelkomponenten.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 46: 461

Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T. (1996)

Einführung in die Zahnerhaltung.

Urban und Schwarzenberg, 31 - 32

Hennike, H.W., Klein, S. (1996)

Nichtmetallisch- anorganische Werkstoffe im Dentalbereich

In: Kappert; H. F.: Vollkeramik Werkstoffkunde, Zahntechnik, klinische Erfahrung.

Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, 19 - 43

Heienberg, B.-J. (1990)

Vorstellung eines neuartigen metallfreien Keramiksystems.

Quintessenz Zahntechnik 16: 809 - 812

Hessel, J. (1976)

Belastbarkeitsmessungen an Prämolaren und Molaren in Abhängigkeit von

Wurzelform und Einbetttiefe.

Med. Diss. Köln

Hölsch, W. (1996)

Festigkeitsprüfung von vollkeramischem Einzelzahnersatz für
den Front- und Seitenzahnbereich.

Zahnmed. Diss. Freiburg

Kappert, H. F. (1998)

Empress Brücke / in-vitro Studie.

Untersuchungsbericht an Ivoclar AG, Schaan

Kappert, H. F. (1996)

Dental materials: New ceramic systems.

Academy of Dental Materials (ed). Transactions 9, 180-199 (1996)

Kappert, H. F. (1998)

Keramik als zahnärztlicher Werkstoff.

In: Strub, J., Türp, J., Witkowski, S., Hürzeler, M., Kern, M.,: Curriculum Prothetik
Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, 640 - 660

Kappert, H. F., Krah, M. (2001)

Keramiken - eine Übersicht.

Quintessenz Zahntechnik 27, 6, 668 - 704

Kappert, H. F. (2001)

Untersuchungsbericht - Vergleichende Prüfung der Bruchfestigkeit von
Eckzahnkronen aus drei verschiedenen Presskeramiken.

Untersuchungsbericht Freiburg

Kühn, Th. (1996)

Vollkeramische Restaurationen aus zahntechnischer Sicht

In: Kappert; H. F.: Vollkeramik Werkstoffkunde, Zahntechnik, klinische Erfahrung.
Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, 133 - 144

Küpper, H., Bienek, K.W. (1989)

Hi-Ceram und Parodont; Eine klinische Studie.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 44: 795

Knöde, H. (1996)

Vollkeramischer Zahnersatz mit In-Ceram: ausgewählte Beispiele

In: Kappert; H. F.: Vollkeramik Werkstoffkunde, Zahntechnik, klinische Erfahrung.
Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, 211 - 221

Komma, O. (1993)

Hydrothermale Dentalkeramiksysteme.

Dokumentation Ducera Dental GmbH, Rosbach v.d.H.

Konrad, S. (1995)

Die Bestimmung der Biegefestigkeit verschiedener Dentalkeramiken mit dem biaxialen Biegeversuch.

Zahnmed. Diss. Freiburg

Körber, K. H., Ludwig, K. (1983)

Maximale Kaukraft als Berechnungsfaktor zahntechnischer Konstruktionen.

Dental- Labor 31, 55- 60

Lorentz, E. (1987)

Säurebeständigkeit.

In: Petzold, A.: Email und Emailiertechnik.

Springer Verlag, Berlin, 360 - 366

Loose, J.-P. (1998)

Temperaturabhängige Prüfung der chemischen Löslichkeit von Dentalkeramiken

Zahnmed. Diss. Freiburg

Ludwig, K., Joseph, K. (1994)

Untersuchung zur Bruchfestigkeit von IPS-Empress-Kronen in Abhängigkeit von den Zementiermodalitäten.

Quinssenz Zahntechnik 20, 247- 256

Mora, G., O'Brian, W. (1994)

Thermal shock resistance of core reinforced all-ceramic crown systems.

Journal of Biomedical Materials Resarch, Vol 28, 189 - 194

Pröbster, L. (1996)

Klinische Erfahrung mit vollkeramischem Zahnersatz- Ein Rückblick

In: Kappert; H. F.: Vollkeramik Werkstoffkunde, Zahntechnik, klinische Erfahrung.

Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, 103 - 116

Pröbster, L., Diehl, J. (1990)

Klinik und Technik des keramischen Kronen- und Brückensystems In-Ceram

Quintessenz Zahnärztl. Lit. 41: 613- 620

Pospiech, P., Rammelsberg, P., Gernet, W., Geymeier, D. (1992)

Vergleichende Untersuchung zur Druckscherfestigkeit von Mirage-, Dicor- und VMK-Kronen

Dtsch. Zahnärztl. Z. 47: 630 - 633

Salmang, H., Scholze, H. (1982)

Keramik Teil 1: Allgemeine Grundlagen und wichtige Eigenschaften. 6. verbesserte u. erw. Auflage.

Julius Springer Verlag, Berlin, 122 - 134

Schmid, M., Fischer, J., Hoffmann, C., Strub, J. R. (1990)

Chemische und thermische Kompatibilität vollkeramischer Verbundsysteme.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 45: 505 - 508

Schäfer, R., Kappert, H.F. (1993)

Die chemische Löslichkeit von Dentalkeramiken.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 48: 625 - 628

Scholze, H. (1988)

Glas. Natur, Struktur und Eigenschaften.

Springer, Berlin, 305 - 307

Schwickerath, H. (1987)

Werkstoffkundliche Bewertung keramischer Kronen.

Zahnärztl. Mitteilung 77: 2422- 2427

Schwickerath, H. (1986)

Dauerfestigkeit von Keramik.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 41: 264- 266

Schwickerath, H., Coca, I. (1987)

Einzelkronen aus Glaskeramik.

Phillip. J. 4: 336 - 338

Schwickerath, H. (1988)

Vollkeramische Brücken – Gerüste aus Kern- oder Hartkernmassen.

Dent. Lab. 36: 1081 - 1083

Schwickerath, H. (1996)

Werkstoffprüfung von Vollkeramik- Systemen

In: Kappert; H. F.: Vollkeramik Werkstoffkunde, Zahntechnik, klinische Erfahrung.

Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, 87 - 103

Voß, R. (1969)

Die Festigkeit metallkeramischer Kronen.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 24: 726 - 731

Danksagung

Allen voran möchte ich Herrn Prof. Dr. H. F. Kappert meinen besonderen Dank für die Überlassung des Themas, sowie für die fachliche Unterstützung während der Bearbeitung aussprechen.

Frau P.D. Dr. P. Hahn möchte ich für die Übernahme des Zweitgutachten recht herzlich danken.

Frau M. Wieland gebührt an dieser Stelle ein Sonderlob! Durch ihre freundliche und stets hilfsbereite Art und ihre fachliche Unterstützung konnte bei der Herstellung der Prüfkörper das beste Ergebnis erzielt werden.

Frau B. Saaler möchte ich meinen Dank bezüglich der Anfertigung der Gefügebilder aussprechen.

Für die Überlassung der Prüfmaterialien und die Bereitstellung der Presse und des Brennofens möchte ich mich bei der Firma Elephant Dental recht herzlich bedanken. Im Speziellen gilt mein Dank Herrn J. Hinz, der durch organisatorische Fähigkeiten Engpässe vermieden hat.

Herrn H. C. Scholz möchte ich an dieser Stelle für die gemeinsame Zeit während des Studiums danken.

Bei meiner Familie, meinen Freunden und im Besonderen bei Andrea, möchte ich mich für die Unterstützung während dieser Zeit bedanken.

Bei der Person, welche eine Woche vor der geplanten Abgabe in unsere Wohnung einbrach und meinen Computer mit sämtlichen Dissertationsdokumenten entwendete, möchte ich mich nicht bedanken!

Nun ist es auch an der Zeit mich bei Ihnen, werte Leserin und Leser zu bedanken, dass sie Ruhe und Geduld aufbringen konnten, um der Danksagung auch bis zum Schluss folge zu leisten. Besten Dank hierfür.

Lebenslauf

Name: Stefan Egon Schwöbel

Anschrift: Eschholzstr. 57, 79106 Freiburg

Geburtsdatum: 10.04.69
als Sohn der Eheleute Gertrud und Erwin Schwöbel

Geburtsort: Brebach / Saar

Schulbildung: von 1975 - 1979 Grundschule in Bliesransbach
von 1979 - 1984 Hauptschule in Kleinblittersdorf

Ausbildung: von 1984 - 1988 Ausbildung zum Maschinenschlosser bei
der Halbergerhütte GmbH

Beruf: von 1988 - 1990 Maschinenschlosser im Unterhaltbetrieb
des Hochofens der Halbergerhütte GmbH

Schulbildung: von 1987 - 1990 Abendrealschule am Technisch-
Gewerblichen Berufsbildungszentrum in
Saarbrücken
von 1990 - 1993 Allgemeine Hochschulreife am Saarland
Kolleg in Saarbrücken

Tätigkeit: von 1993 - 1994 Freiwilliges-Soziales-Jahr im Kreis-
Altenheim in Kirchzarten

Studium: von 1994 - 2000 WS`94 bis SS`2000 Studium der
Zahnmedizin an der Albert- Ludwigs-
Universität in Freiburg i. Br.

Beruf: seit 2001 Vorbereitungsassistent in der
Gemeinschaftspraxis Dres. P. und F.
Langenmair in Freiburg i. Br.