

Aus der Abteilung für Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie der  
Medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin  
Berlin

DISSERTATION

**Vergleichende Untersuchung zur Bruchfestigkeit von voll- und  
teilgepressten EMF-Kronen**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Emilie Stiller

aus Münster

Gutachter: 1. Priv.-Doz. Dr. R. Strietzel  
2. Priv.-Doz. Dr. I. Peroz  
3. Prof. Dr. M. Gente

Datum der Promotion: 01.02.2013

Meinem lieben Mann, süßesten Kindern und lieben Eltern gewidmet

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT</b> .....	<b>3</b>
2.1	Keramik in der Zahnheilkunde .....	3
2.1.1	Geschichte der Dentalkeramik .....	3
2.1.2	Entwicklung der Dentalkeramik .....	4
2.1.3	Die Zusammensetzung der Dentalkeramik.....	4
2.1.4	Einteilung der Dentalkeramik .....	7
2.1.5	Verarbeitung der Dentalkeramik.....	9
2.1.6	Eigenschaften der Dentalkeramik.....	12
2.2	Legierungen in der Zahnheilkunde.....	15
2.2.1	Einteilung der Dentallegierungen .....	15
2.2.2	Aufbrennfähige Dentallegierungen .....	17
2.2.3	Cobalt-Chrom-Legierungen.....	17
2.2.4	Nickel-Chrom-Legierungen .....	17
2.2.5	Eigenschaften von Aufbrennlegierungen.....	18
2.3	Einfluss der Verarbeitung der Materialien .....	19
2.3.1	Gerütherstellung.....	19
2.3.2	Verblenden von Metallgerüsten.....	20
2.4	Metall-Keramik-Verbund .....	24
2.4.1	Verbundmechanismen .....	24
2.5	Werkstoffprüfung/Prüfmethoden .....	25
2.5.1	Biegedruckversuch nach VOSS .....	26
2.5.2	Drei-Punkt-Biegescherversuch nach SCHWICKERATH.....	27
2.5.3	Druckscherversuch nach SCHMITZ/SCHULMEYER.....	27
2.5.4	Zugscherversuch nach SCHELL/NIELSON.....	28
2.5.5	Zugversuch nach NALLY und BERTA.....	28
2.6	Klinische Situation .....	28
2.6.1	Überlebenswahrscheinlichkeit von Metall-Keramik-Restaurationen.....	28
2.7	Kaukraftbelastungen.....	30
2.8	Fehlerursachen für das Versagen des Metall-Keramik-Verbundes .....	32
<b>3</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN</b> .....	<b>36</b>
3.1	Verwendete Materialien .....	36
3.1.1	Verwendete Keramiken.....	36

---

3.1.2	Verwendete Legierungen .....	38
3.2	Herstellung der Prüfkörper .....	40
3.2.1	Herstellung der Metallkippchen .....	40
3.2.2	Keramikverblendung .....	41
3.3	Herstellung der Referenzserie .....	50
3.4	Herstellung der Prüfstümpfe .....	51
3.5	Vorbereitung und Durchführung des VOSS-Testes.....	52
3.6	visuelle Begutachtung.....	53
3.7	Übersicht der Versuchsreihe.....	54
3.8	Statistik.....	56
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>57</b>
4.1	Wirobond 280 .....	57
4.1.1	Wirobond 280 Maltechnik.....	57
4.1.2	Wirobond 280 Schichttechnik.....	59
4.1.3	Wirobond 280 Mal-, Schichttechnik & Referenzserie.....	60
4.2	Wirobond C.....	62
4.2.1	Wirobond C Maltechnik .....	62
4.2.2	Wirobond C Schichttechnik .....	64
4.2.3	Wirobond C Mal-, Schichttechnik & Referenzserie .....	66
4.3	Wiron Light .....	68
4.3.1	Wiron Light Maltechnik.....	68
4.3.2	Wiron Light Schichttechnik.....	70
4.3.3	Wiron Light Mal-, Schichttechnik & Referenzserie .....	71
4.4	Vergleich der Legierungen in der Maltechnik .....	73
4.5	Vergleich der Legierungen in der Schichttechnik .....	74
4.6	Referenzserien .....	75
4.6.1	Vergleich Wirobond 280, Wirobond C, Wiron Light der Referenzserien.....	75
4.7	Vergleich aller Legierungen und Serien .....	76
4.7.1	Vergleich der Legierungen .....	77
4.8	Visuelle Auswertung .....	79
<b>5</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>83</b>
5.1	Fehleranalyse .....	83
5.1.1	Prüfkörperherstellung.....	83
5.1.2	Versuchsdurchführung .....	87
5.2	Diskussion der Messwerte .....	89
5.2.1	Vergleich der Ergebnisse mit Literaturwerten .....	89

---

5.2.2	Wirobond 280.....	90
5.2.3	Wirobond C.....	91
5.2.4	Wiron Light.....	92
5.2.5	Vergleich der Legierungen .....	93
5.2.6	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	96
5.3	Praktische Bedeutung.....	97
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>99</b>
6.1	Summary .....	101
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>103</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>114</b>
8.1	Zusatzmaterialien .....	114
8.2	Geräteliste .....	114
8.3	Tabellen.....	115
	<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>122</b>
	<b>LEBENS LAUF .....</b>	<b>123</b>
	<b>ERKLÄRUNG .....</b>	<b>124</b>

## 1 EINLEITUNG

Das Porzellan wurde 1709 durch den Apotheker BÖTTGER in Meißen wiederentdeckt. Trotz dieser frühen Entdeckung kam es erst 1962 zum großen Erfolg der Dentalkeramiken, als die Firmen VITA Zahnfabrik (Bad Säckingen) und DEGUSSA (Pforzheim) das Vita-Metall-Keramik-(VMK)-System auf den Markt brachten [STRUB, 1992], [KRUMBHOLZ, 1996]. Dieses bestand aus einer Gold-Platin Legierung und einer Verblendkeramik.

Für den langlebigen, funktionierenden Verbund zwischen der Keramik und dem Metall ist der Wärmeausdehnungskoeffizient (WAK), der bei beiden Werkstoffen möglichst ähnlich sein sollte, entscheidend. Außerdem ist die Aufbrenntemperatur der Keramik von großer Bedeutung. Sie sollte mindestens 50 °C niedriger sein als das Schmelzintervall der Legierung [STRIETZEL, 2005], um eine Verformung des Gerüsts zu vermeiden. Dank der Entwicklung aufbrennfähiger, edelmetallfreier Legierungen Anfang der 1970er Jahre durch die Firma Bremer Goldschlägerei (BEGO) [WEISS, 1978] war man zum Einen in der Lage eine kostensparende Alternative zu den edelmetallhaltigen Legierungen zu schaffen [CLAUS, 1980 [2]], [EICHNER, 1988]. Zum Anderen war die Differenz zwischen den Aufbrenntemperaturen der Keramiken und den Soliduspunkten der Legierungen aufgrund der hohen Schmelzintervalle groß genug, dass man ein Verziehen des Metallgerüsts während des Aufbrennvorgangs der Keramik ausschließen konnte.

Der Wunsch der Patienten nach ästhetisch und funktionell einwandfreien Versorgung, die neben einer hohen Biokompatibilität und Haltbarkeit ein gutes Preis-Leistungsverhältnis aufweisen, nimmt stetig zu. Um diesen Bedürfnissen gerecht zu werden, versucht die Dentalindustrie immer wieder neue Herstellungsverfahren und Materialien zu entwickeln. So ist es möglich auch bei der Verarbeitung der Verblendkeramiken Kosten zu sparen, ohne auf die Vorteile der Ästhetik und der Biokompatibilität verzichten zu müssen. Bei der Presskeramik werden industriell hergestellte Keramikrohlinge mittels Druckverfahren in eine Muffelhohlform gepresst, wodurch Poren eliminiert und demzufolge die Ausbildung von Mikrorissen vermieden wird [WOHLWEND, SCHÄRER, 1990]. Die durch das Druckverfahren erzielte gleichmäßige Verteilung der Leuzitkristalle in der Glasmatrix bewirkt eine zusätzliche Festigkeitssteigerung der Keramik [DONG et al., 1992, [1] + [2]]. Um nicht auf die Vorteile gepresster Verblendkeramiken gegenüber konventionell hergestellter Verblendkeramiken verzichten zu müssen (Kostenreduktion,

keine Schrumpfung, Festigkeitssteigerung), brachte die Firma BEGO die Verblendkeramik BeCePress auf den Markt. Sie verfügt über einen sehr brennstabilen WAK und besteht aus einem zweiphasigen, leuzitverstärkten Silikatkeramik-Werkstoff als Basismaterial, fluoreszierenden Malfarben und mehreren Individualmassen.

Die Besonderheit dieses Werkstoffes liegt in der Möglichkeit, die Presstechnik mit der Schichttechnik zu kombinieren und somit ästhetisch hochwertige Restaurationen herzustellen. Nach dem Pressen eines Dentinkerns erfolgen Schmelzschichtungen, die in Form und Farbe individualisiert werden können. Der Erfolg einer Restauration liegt jedoch nicht nur in der Ästhetik, sondern ist auch von seiner Festigkeit und somit seiner Langlebigkeit abhängig. Es stellt sich die Frage, wie sich die Bruchfestigkeit mit der BeCePress Keramik-Schichttechnik (teilgepresst) hergestellter Restaurationen gegenüber der Bruchfestigkeit von Restaurationen, die mit Hilfe der BeCePress Keramik-Maltechnik (vollgepresst) gefertigt wurden, verhält. Stellt man Ästhetik und Bruchfestigkeit gegenüber, erkennt man die Wichtigkeit beider Faktoren und den Wunsch nach Materialien in der Dentalindustrie, die diesen Eigenschaften gerecht werden.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Festigkeit voll- und teilgepresster edelmetallfreier Kronen mit Hilfe des VOSS-Testes zu vergleichen.

## 2 LITERATURÜBERSICHT

### 2.1 Keramik in der Zahnheilkunde

#### 2.1.1 Geschichte der Dentalkeramik

Bereits im dritten bzw. zweiten Jahrtausend v. Chr. fand man in babylonischen und ägyptischen Gräbern Zahnersatz [HOFMANN-AXTHELM, 1985], welcher aus Elfenbein, Tierzähnen oder Knochen hergestellt wurde. Mit Hilfe von Drähten wurde der Zahnersatz an noch vorhandenen Restzähnen im Mund fixiert. Aufgrund dieser Funde erkannte man, dass der Wunsch nach Ästhetik schon sehr lange existierte.

Das Porzellan wurde 700 n. Chr. in China entwickelt, kam aber erst ab dem 18. Jahrhundert zur Herstellung von Zahnersatz in Europa zum Einsatz [EICHNER, 1997]. Nachdem 1709 durch den Apotheker BÖTTGER weißes Porzellan in Meißen entwickelt wurde, begann die Entstehung von Porzellanmanufakturen in Europa. 1710 war es GUILLEMEAU möglich eine Substanz herzustellen, die zu zahnfarbenem Zahnersatz führte. Sie bestand aus Mastix, gepulverter Koralle und Harz und konnte mit Hilfe von Metalloxiden unterschiedliche Farben realisieren [EICHNER, 2000 [1]].

1788 wurden von CHEMANT die ersten aus einem Stück gebrannten Porzellangebisse gefertigt. FONZI erfand 1808 Keramikzähne, die auf der Rückseite mit einem Platinhaken versehen waren und mit einer Metallbasis verlötet wurden. Die Jacketkrone kam 1896 durch den Amerikaner LAND auf den Markt. Er entwickelte ein Verfahren zur Herstellung von metallfreien Mantelkronen, indem er als Brennträger eine Platinfolie benutzte. Anfang des 20. Jahrhunderts folgte die Entwicklung keramisch verblendeter Metallkronen. Ein materialspezifisches Problem war dabei die thermische Inkompatibilität beider Werkstoffe. Durch die verschiedenen WAK-Werte kam es beim Abkühlen nach dem Brennvorgang zu Spannungen und zum Abplatzen der Verblendkeramik vom Metallgerüst. 1962 brachten die Firmen VITA-Zahnfabrik und Degussa das erste in Europa entwickelte metallkeramische System mit aufeinander abgestimmten WAK-Werten auf den Markt (sog. „VMK-Technik“; Verbund-Metall-Keramik). Die besondere Herausforderung war es Legierungen und Keramiken herzustellen, die so zueinander passten, dass die Metall-Keramik-Verbindung dauerhaft von Bestand war und ebenso die Festigkeit des Metalls groß genug war [HENNING, 1976].

### 2.1.2 Entwicklung der Dentalkeramik

Das Porzellan mit den Hauptbestandteilen Kaolin, Feldspat und Quarz war Vorläufer für die Entwicklung keramischer Restaurationen. So entstand die Bezeichnung „Porzellanzahn“, die aber nicht zutreffend ist [MEINERS, 1978], [CLAUS, 1981, [1]], [MARXKORS, MEINERS, 2001]. Die erforderliche Festigkeit erreichte die Dentalkeramik durch den erhöhten Feldspatanteil, so dass der Anteil an Kaolin reduziert werden konnte. Dies beeinflusst die Ästhetik positiv, da sich während des Brennvorgangs Kaolin in die weiße Kristallphase Mullit umwandelt und es somit einen ungünstigen Einfluss auf die Opazität der Keramik hat [GEIS-GERSTORFER, 1997]. Die Keramik erhält durch Reduzierung des Kaolinanteils einen glasähnlichen Charakter. Den Hauptbestandteil der heutigen Dentalkeramiken bilden die Mineralien Feldspat und Quarz, was zur Umbenennung des Porzellans in „Keramik“ führte [EICHNER, 1979], [CLAUS, 1981 [1]].

Tab. 1: Dentalkeramik und Porzellan im Vergleich ihrer Hauptbestandteile [KAPPERT, EICHNER, 2008]

	<b>Feldspat</b>	<b>Quarz</b>	<b>Kaolin</b>
<b>Porzellan</b>	12 - 30 Gew. %	20 - 30 Gew. %	40 - 70 Gew. %
<b>Dentalkeramik</b>	60 - 80 Gew. %	15 - 25 Gew. %	0 - 5 Gew. %

### 2.1.3 Die Zusammensetzung der Dentalkeramik

Keramische Werkstoffe (griech. Keramos = Ton oder aus Ton Hergestelltes) sind durch Brennen (Sintern) hergestellte, kristalline, anorganisch-nichtmetallische Erzeugnisse. Pulverförmige Erden werden bei Raumtemperatur zu keramischen Massen geformt und anschließend beim Brennen in einen festen, dauerhaften Werkstoff überführt [STRIETZEL, 2005].

Abbildung 1 zeigt die Lage der Keramik im Dreistoffsystem Tonmineralsubstanz-Feldspat-Quarz [SALMANG, SCHOLZE, 1983], [EICHNER, KAPPERT, 2005]. Die Dentalkeramik liegt im Ausscheidungsbereich der Kristallphase Leuzit ( $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$ ) [CLAUS, 1980 [1]] [CLAUS, 1981 [2]], wohingegen sich das Porzellan im Ausscheidungsbereich der Mullitkristalle ( $3 Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2$ ) befindet [CLAUS, 1980 [2]], [SALMANG, SCHOLZE, 1983], [BARREIRO et al., 1989].

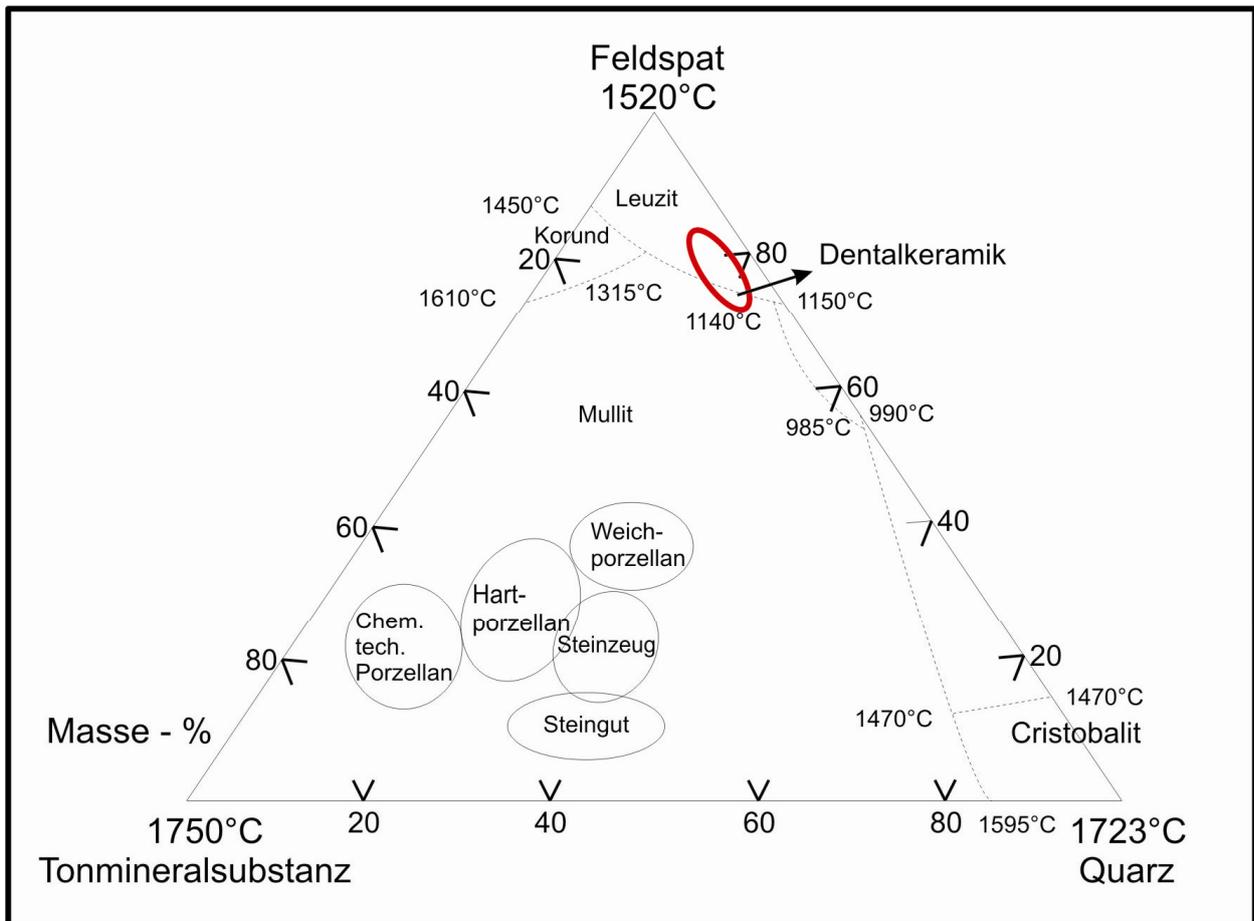


Abb. 1: Lage einiger keramischer Produkte im Dreistoffsystem Tonerde-Feldspat-Quarz [EICHNER, KAPPERT, 2005]

### 2.1.3.1 Feldspat

Feldspat ist der Hauptbestandteil der Dentalkeramik. Er ist chemisch gesehen den Silikaten zuzuordnen. Feldspat ist in der Lage große Anteile von Kaolin und Quarz innerhalb seines Schmelzintervalls (1160 - 1500 °C) zu lösen und wird deshalb auch 'keramisches Flussmittel' genannt. Sein niedriger Schmelzpunkt variiert je nach seiner Zusammensetzung [EICHNER, 1985].

Tab. 2: Zusammensetzung verschiedener Feldspäte und deren mineralogischen Bezeichnung [STRIETZEL, 2005]

	Zusammensetzung	Mineral	gebildet aus
<b>Kalifeldspat</b>	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	Orthoklas	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$
<b>Natronfeldspat</b>	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	Albit	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$
<b>Kalkfeldspat</b>	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	Anorthit	$\text{Ca}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$

Kali- und Natronfeldspat gehören zu der Gruppe der Alkalifeldspäte [STRIETZEL, 2005] und besitzen einen Schmelzpunkt von etwa 1150 °C.

Natronfeldspat schmilzt kongruent, wohingegen Kalifeldspat inkongruent schmilzt. Dies bedeutet, dass Schmelze und Feststoff eine unterschiedliche Zusammensetzung aufweisen. In der flüssigen Schmelze bilden sie Leuzitkristalle ( $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4 SiO_2$ ) [GEHRE, 2000]. Die siliziumdioxidreiche Schmelze bildet beim Erstarren die Glasphase, das entstandene Leuzit ( $KAlSi_2O_6$ ) eine kristalline, siliziumdioxidarme Phase. Der neu entstandene Stoff, Leuzit, erhöht die Viskosität beim Brennen und dient der Einstellung des WAK [KRUMBHOLZ, 1983]. Durch langsames Abkühlen, wie auch in dieser Studie durchgeführt, hält man die Temperatur für eine gewisse Zeit über 600 °C und ermöglicht den Zerfall des Kalifeldspates in u. a. Leuzit, welches den WAK erhöht [STRIETZEL, 2005].

### 2.1.3.2 Quarz

Quarz ( $SiO_2$ ) steigert die Standfestigkeit der Keramik, da es während des Brennvor-gangs zu einer erhöhten Viskosität der Dentalkeramik kommt [GEIS-GERSTORFER, 1997]. Es wird als Magerungsmittel eingesetzt. Da es thermovolumetrisch ist, minimiert es die Schwindung der Keramik beim Sintern [CLAUS, 1980, [2]], [CLAUS, 1981, [2]]. [KAPPERT, EICHNER, 2008]. Die Schmelzpunkte des Quarzes variieren je nach Art der Erhitzung. Schnelles Erhitzen bewirkt ein Schmelzen bei 1470 °C, während bei einer langsamen Erwärmung ein Zwischenprodukt, das  $\alpha$ -Tridymit entsteht, welches wiederum in  $\alpha$ -Cristobalit umgewandelt wird, sobald die Temperatur über 1470 °C steigt. So wird der Schmelzpunkt auf 1710 °C erhöht. Nach Abkühlung verfestigt sich die Quarzschmelze ( $SiO_4$ -Tetraeder) zu Glas [HOHMANN, HIELSCHER, 2003].

### 2.1.3.3 Kaolin

Kaolin ( $Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 2 H_2O$ ) sintert bei 1600 °C zusammen [HOHMANN, HIELSCHER, 2003]. Es besitzt einen hohen Schmelzpunkt (über 1750 °C) und verleiht der dentalkeramischen Schmelze hierdurch Plastizität sowie Formbeständigkeit. Es steigert die Festigkeit der Keramik [CLAUS, 1980, [2]]. Kaolin beeinflusst die Opazität von Dentalkerami-ken, indem es in der Lage ist mit Feldspat bei einer Temperatur zwischen 1160 - 1290 °C Mullitkristalle ( $3 Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2$ ) herzustellen [GEHRE, 2000].

### 2.1.3.4 Additiva

Aus ästhetischen Gründen werden den Dentalkeramiken Farbzusätze wie Metalloxide und -salze beigemischt [GEIS-GERSTORFER, 1997], [HOHMANN, HIELSCHER, 2003].

Tab. 3: Farbzusätze von Dentalkeramiken

Eisenoxid	Gold	Chromoxid
rot/gelb	purpur	grün
Iridium	Kobalt	Titan
schwarz	blau	gelb/braun
Silber	Nickel	Zinn
orange	grau	weiß

Der Ästhetik dienen desweiteren Fluoreszenzbildner (Cäsium, Samarium, Uran) [TOUATI et al., 2001] als Additiva. Ebenfalls kommen Trübungsmittel zum Einsatz, dies sind u.a. Zinnoxid ( $\text{SnO}_2$ ), Ceroxid ( $\text{CeO}_2$ ) und Baddeleyit ( $\text{ZrO}_2$ ) [CLAUS, 1980 [1]], [CLAUS, 1981 [2]]. Die Trübungsmittel findet man in der Opakermasse, da diese, wie es ihr Name schon sagt, dank ihrer Opazität das Metallgerüst abdecken.

### 2.1.4 Einteilung der Dentalkeramik

Die Einteilung der Dentalkeramiken erfolgt je nach Gesichtspunkt nach dem Herstellungsprozess, dem Verwendungszweck oder der chemischen Zusammensetzung. Anhand der Inhaltsstoffe kann man Dentalkeramiken wie folgt klassifizieren [LINDEMANN, 2000]:

#### 2.1.4.1 Die Silikatkeramik

Zur Silikatkeramik gehören die Glaskeramik und konventionelle Feldspatkeramik [POSPIECH et al., 2004]. Bestandteile sind eine amorphe Glasmatrix aus Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) mit oxidischen Zusätzen (Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Magnesiumoxid ( $\text{MgO}$ ), Zirkoniumdioxid ( $\text{ZrO}_2$ )) und eine kristalline Struktur [HAHN, LÖST, 1992]. Die Verarbeitung von konventioneller Feldspatkeramik erfolgt durch Sinterung eines Keramikschlickers aus Pulver und Liquid [POSPIECH et al., 2004]. Aus der Feldspatphase Kalifeldspat entwickeln sich Leuzitkristalle [POSPIECH et al., 2004], die die Festigkeit der Keramik steigern und die Transparenz der Glasphase verringern. Die Feldspatkeramiken ähneln den Glaskeramiken. Glaskeramiken bestehen zu Beginn aus einer

Glasphase. Während einer sekundären, kontrollierten Kristallisation von Gläsern durch Wärmezufuhr werden Glaskeramiken hergestellt [POSPIECH et al., 2004]. Die Festigkeit der Glaskeramik wird erhöht, indem der Anteil der Kristallstruktur vermehrt und die Glasphase vermindert wird [HAHN, LÖST, 1992]. In dieser Gruppe unterscheidet man die leuzitverstärkte und glimmerverstärkte Glaskeramik [HEINZELMANN, KRONBERG, 1999]. Die Zugabe von Leuzit oder Glimmer (kristalline Phase) kann die Bruchfestigkeit von Silikatkeramiken erhöhen [FISCHER et al., 1989], [LINDEMANN, 2000], [PRÖBSTER, 2000].

Als Salze der Kieselsäure besitzen die Silikate als Grundbaustein ein Siliciumatom mit 4 tetraedisch verbundenen Sauerstoffatomen. Silicium-Sauerstoff-( $\text{SiO}_4$ )-Tetraeder verbinden sich zu einem Kristallgitter. Erfolgt ein Austausch der vierwertigen Siliciumatome durch dreiwertige Aluminiumatome, muss es durch Bindung eines einwertigen Kations wie Kalium zum elektrostatischen Ladungsausgleich kommen [LINDEMANN, 2000]. Generell spricht man dann von Alumosilikaten [HOHMANN, 1993], [LINDEMANN, 2000], kommt es zur Bindung von Kalium, lässt sich weiter in Kaliumalumosilikate unterteilen.

#### 2.1.4.2 Die Oxidkeramik

Oxidkeramiken sind entweder polykristallin, d. h. sie bestehen aus einer komplett kristallinen Struktur oder sind glasinfiltriert, d. h. sie besitzen einen kleinen Glasanteil. Die Hochleistungskeramiken, wie Aluminiumoxid und Zirkoniumdioxid gehören zu den Oxidkeramiken [PRÖBSTER, 2000], [TINSCHERT et al., 2000], [MCLEAN, 2001], [POSPIECH et al., 2004]. Oxidkeramiken enthalten darüber hinaus noch andere Oxide, wie z. B. Calciumoxid ( $\text{CaO}$ ) und Magnesiumoxid ( $\text{MgO}$ ). Sie erhalten so erhöhte Stabilität. Eigenschaften wie Sprödigkeit, Anfälligkeit gegenüber Löslichkeit und Belastungen werden verbessert. Gefügedefekte werden besser toleriert [CLAUSSEN, 1986]. Eine Einteilung zeigt Tabelle 4.

Tab. 4: Einteilung der Oxidkeramiken [STEPHAN, NICKEL, 1998]

einfache Oxidkeramik	komplexe Oxidkeramik mit Verstärkung durch Mischoxide
> Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )-Keramik > Zirkoniumdioxid ( $\text{ZrO}_2$ )-Keramik	> z. B. Spinellen

Eine Modifikation des Aluminiumoxids kennt man auch unter dem Namen 'Korund'. Es findet Anwendung als Schleifmittel. Zirkoniumdioxid ist ein metallisches Element und

kommt in Vulkangestein oder Granat vor [STRIETZEL, 2005]. Die Bruch-, Druck- und Zugfestigkeit kann durch Addition von Aluminiumoxid und Zirkoniumdioxid gesteigert werden. Aufgrund der hohen Opazität der Kristallphasen der zugesetzten Oxide werden die Gerüstkeramiken zur Verbesserung der Ästhetik mit der passenden Silikatkeramik verblendet [POSPIECH et al., 2004].

Die Einteilung der Keramiken nach dem Verwendungszweck ist in folgender Tabelle (5) festgehalten:

Tab. 5: Die Einteilung der Dentalkeramiken nach ihrem Verwendungszweck

<b>KERAMIK</b>	
<b>GERÜSTKERAMIK</b>	<b>VERBLENDKERAMIK</b>
Aluminiumoxid Zirkoniumdioxid	konventionelle VK LFC (low fusing ceramic) Verblendkeramiken für: Aluminiumoxidgerüste Titan Zirkoniumdioxidgerüste

Beschreibt man Keramiken nach ihrem Herstellungsprozess, spricht man von niedrigbrennenden Keramiken mit einer Sintertemperatur unter 800 °C, mittelbrennenden Keramiken mit Sintertemperaturen zwischen 800 - 900 °C und hochbrennenden Keramiken, die Sintertemperaturen von über 900 °C besitzen [LUDWIG, 2005].

### 2.1.5 Verarbeitung der Dentalkeramik

Es gibt verschiedene Methoden keramischen Zahnersatz herzustellen. Keramiken können gepresst, gesintert, gegossen oder gefräst werden. Zuvor werden je nach Keramikart die Ausgangsmaterialien vermischt und zu einer sogenannten Fritte gebrannt, wodurch die kristalline Phase des Feldspates reduziert wird. Die einzelnen Brennvorgänge verändern die Struktur und physikalischen Werte der Keramik [KAPPERT, EICHNER, 2008], so dass so oft gebrannt werden muss, bis sich die Keramikstruktur nicht mehr störend ändert. Nachdem die Schmelze abgeschreckt wurde, wird sie zu Pulver gemahlen.

### 2.1.5.1 Presskeramik

Bereits 1943 gelang es dem holländischen Zahnarzt DRÖGE leuzitverstärkte Glaskeramik im Heißpressverfahren herzustellen [SCHMIDSEDER, 1988]. 1986 arbeitete die Firma Ivoclar Vivadent (Neunstadt) zusammen mit der Züricher Universität [WOHLWEND et al., 1990] an einer Verbesserung. Die leuzitverstärkte Glaskeramik erreicht ihre Festigkeitssteigerung vor allem durch die Ablenkung der Mikrorisse an den Leuzitkristallen [SEGHI, SORENSEN, 1995]. Bekannte Presskeramiken sind z. B. BeCePress (BEGO) und Empress (IVOCLAR VIVADENT).

Die BeCePress Keramik ist für die Verblendung von

- Kronen und Brücken aus edelmetallhaltigen und edelmetallfreien Legierungen, auch mit keramischer Schulter
- Inlays, Onlays mit Metallgerüst, sowie Inlaybrücken und Marylandbrücken
- für vollkeramische Restaurationen wie Inlays, Onlays, Veneers, Front- und Prämolarenkronen

indiziert [BEGO, 2011]. Nach der Wachsmodellation und dem Einbetten der zu pressenden Restauration in Silikonmuffeln werden die vorgefertigten Keramikpellets bei 920 °C (BeCePress) bzw. 1075 °C (Empress) geschmolzen. Nachdem das Wachs rückstandslos verbrannt ist, wird die erweichte Keramik bei einem Druck von 4,5 - 5 bar je nach Pelletgröße mit Hilfe eines Aluminiumoxid-Press-Stempels oder Einweg-Press-Stempels in die Hohlform gepresst. Bei diesem Druckverfahren werden noch vorhandene Poren geschlossen, die Ausbildung von Mikrorissen reduziert und die Sinterschrumpfung vermieden [WOHLWEND et al., 1990]. Die Passgenauigkeit wird verfeinert und mechanische Eigenschaften verbessert. Durch die kontrollierte, industrielle Herstellung der vorkeramisierten Rohlinge wird die Presskeramik stabiler gegenüber geschichteter Keramik. Die Leuzitkristalle verteilen sich gleichmäßig in der Glasmatrix [DONG et al., 1992 [1]], [DONG et al., 1992, [2]].

Druckspannungszonen um die Leuzitkristalle verhindern die Ausbreitung von Mikrorissen in der Glasmatrix. Ein weiterer positiver Effekt ist die Möglichkeit des wirtschaftlichen Bemalens anhand von vorhandenen Malfarben, die eine gute Ästhetik ermöglichen. Ästhetisch akzeptable Ergebnisse erzielt auch die Verwendung von unterschiedlichen Grundfarben, so dass teilweise noch ein Arbeitsschritt eingespart werden kann [HALLER, BISCHOFF, 1993]. Auch der wegfallende Keramisierungsprozess trägt zur Ar-

beitserleichterung bei, so dass der wirtschaftliche Aspekt dieses System auszeichnet [NOACK, 1994].

Lithium-Disilikat-Glaskeramik, wie Empress 2 (IVOCLAR VIVADENT AG SCHAAN, LIECHTENSTEIN), ist seit 1998 auf dem Markt und wird ebenfalls im Pressverfahren hergestellt. Die Biegefestigkeit liegt hier bei 350 MPa, wodurch auch vollkeramische Seitenzahnkronen und dreigliedrige Brückenkonstruktionen im Frontzahn- und Prämolarenbereich möglich sind [WISSENSCHAFTLICHER DIENST DER FA. IVOCLAR, 1998], [HÖLAND, 2000], [HÖLAND et al., 2000)]. Die Lithium-Disilikat-Keramik besteht aus einer Gerüst- und Schichtglaskeramik mit dem Hauptbestandteil Siliziumoxid. Sie ist eine polykristalline, opake Keramik. Das beigemischte Lithiumoxid als basisches Oxid besitzt die Fähigkeit das dreidimensionale Netzwerk aufzulösen, so dass Lithiumdisilikat- und Lithiumorthophosphat-Kristalle einfacher einlagern können. Aufgrund des Lithiumoxids senkt sich außerdem das Schmelzintervall. Die Presstemperatur liegt bei 920 °C im Gegensatz zu 1079 °C (Empress) [JANDA, 2007, [1]], [[JANDA, 2007], [2]]. Das fertige Gerüst wird mit einer Sinter-Glaskeramik bei 800 °C verblendet. Die kristalline Phase besteht vor allem aus Fluorapatit-Kristallen [WISSENSCHAFTLICHER DIENST DER FA. IVOCLAR, 1998].

### **2.1.5.2 Sinterkeramik**

Bei denen aus Quarz, Feldspat und Kaolin zusammengesetzten Sinterkeramiken entsteht beim Sintern eine Glasmatrix mit eingebetteten Kristallen. Die pulverförmigen Massen verschmelzen beim oberflächlichen Brennen und verfestigen sich [KREJCI et al., 1992]. Zur Form- und Farbgestaltung von metallkeramischen und keramischen Restaurationen wird bei der Verblendung von Kronen und Brücken die Sintertechnik genutzt. Es wird ein Sägemodell des zu restaurierenden Zahnstumpfes hergestellt und dieser dubliert. Das gefrittete Keramikpulver wird mit einem vom Hersteller empfohlenen Liquid zu einem Keramikschlicker vermischt und auf den dublierten, feuerfesten und gewässerten Stumpf aufgetragen. Das Wässern vermindert den Wasserentzug des Schlickers durch den porösen Stumpf. Soll ein Gerüst verblendet werden, wird der Keramikschlicker auf das opakisierte Gerüst aufgetragen. Während des Auftrags sollte man durch Riffeln oder vorsichtiges Klopfen überschüssiges Liquid an die Oberfläche befördern und mit einem Papiertuch absaugen. Hierdurch wird das Material verdichtet und eine spätere Sinterschrumpfung reduziert. Diese beträgt bis zu 20 %

[STRIETZEL, 2005]. Nach dem Vortrocknen im Ofen wird die Keramik gebrannt. Die Pulverkörner an der Oberfläche verbinden sich miteinander und verdichten sich immer mehr. Schließlich entsteht ein Festkörper.

Die zu sinterne Keramikrestauration ist abhängig von der Temperaturführung (660 - 980 °C) und anschließenden Abkühlung, da sie die Kristallisation verändern können. Es kommt zu unterschiedlichen physikalisch-mechanischen Werten [KRÄMER et al., 1995].

### **2.1.6 Eigenschaften der Dentalkeramik**

Die positiven Eigenschaften wie hohe Biokompatibilität [LINDEMANN, 2000], [POSPIECH, 2002], [KUNZELMANN et al., 2007], natürliches Aussehen [FENSKE et al., 2000], [POSPIECH, 2002], geringe Plaqueanlagerung [CHAN, WEBER, 1986], [ABBOUD, STARK, 2003], [POSPIECH et al., 2004], geringe thermische Leitfähigkeit [STRUB et al., 1999], [KUNZELMANN et al., 2007], Farbbeständigkeit, chemische Widerstandsfähigkeit und Härte [KUNZELMANN et al., 2007] vermitteln der Keramik im Dentalbereich eine hohe Attraktivität. Aufgrund der ungesättigten Oxidationsstufenform der Metalloxide innerhalb der Keramik ist diese im Mundmilieu säureresistent und so gut wie unlöslich [MARX, 1993]. Durch das chemisch inerte Verhalten der Keramik aufgrund der abgesättigten Valenzelektronen entseht die geringe Plaqueanlagerung [HICKEL, 1997]. Die geringe thermische Leitfähigkeit beruht auf einem Mangel an freien Elektronen [KAPPERT, KRAH, 2001].

#### Bruchfestigkeit

Die Bruchkraft (Bruchlast) ist die Kraft in [N], die nötig ist, um einen Prüfkörper zu zerstören. Die Bruchfestigkeit eines Werkstoffes zeigt den Schwellenwert an, dem ein Material auf Druck-, Zug- und Scherbelastung standhält [HOFMANN-AXTHELM, 1983].

Bruchfestigkeitswerte zählen nicht zu den Werkstoffparametern, da sie aufgrund der schwierigen Reproduzierbarkeit von Prüfkörpern sehr unterschiedlich sein können. Sie dienen der Orientierung, wie ein Werkstoff einzustufen ist [POSPIECH, 2004]. Konventionelle Dentalkeramiken erreichen hohe Druckfestigkeiten. Diese liegen zwischen 800 - 1000 MPa. Folgende Tabelle zeigt die mechanischen Durchschnittswerte konventioneller Dentalkeramiken:

Tab. 6: mech. Werte konventioneller Keramik [KAPPERT und EICHNER, 2008]

DRUCKFESTIGKEIT	800 - 1000 MPa
HÄRTE nach Vickers	4000 - 5000 MPa
E-MODUL	60.000 - 130.000 MPa
BIEGEFESTIGKEIT	100 - 180 MPa
ZUGFESTIGKEIT	40 - 100 MPa

Hieraus wird deutlich, dass die Nachteile in der geringen Biege- und Zugfestigkeit liegen [GEHRE, 1996]. Tolerierte Druckbelastungen erreichen bis zu 10-mal höhere Werte verglichen mit Belastungen auf Biegung oder Zug [POSPIECH et al., 2004].

Dies ist auf ihre bei Zimmertemperatur praktisch nicht vorhandene Duktilität zurückzuführen. Die Atombindungen in der Glasmatrix und der Kristallphase sind sehr stabil, so dass es bei Scher-/Biegebeanspruchung nicht wie bei Metallen zu Verformungen kommen kann. Die harte und druckfeste Keramik ist elastisch deformierbar, durch die geringe Biege- und Zugfestigkeit aber nicht plastisch verformbar [BREUSTEDT, 1965], [KNISCHEWSKI, GROSSE, 1975], [WEILER, 1991], [EICHNER, KAPPERT, 1996], [FISCHER et al., 1999], [RÖSLER et al., 2003]. Diese Sprödigkeit führt beim Überschreiten der Biege- und Zugwerte zum spontanen Bruch [FISCHER et al., 1999], [TINSCHERT, MARX, 1997], [FISCHER, MARX, 2000], [RUDOLPH et al., 2005].

Die Problematik der Sprödigkeit von Keramiken zeigt sich in ihrer Empfindlichkeit gegenüber minimaler Strukturfehler wie z. B. Poren oder Verunreinigungen. Die Widerstandsfähigkeit von Keramiken könnte durch Reduzierung/Eliminierung solcher Strukturdefekte stark erhöht werden, da durch Konzentration der auf die Restauration wirkenden Kräfte an diesen Fehlstellen Mikrorisse beginnen [RÖSLER et al., 2003], [KAPPERT, EICHNER, 2008].

Die Sprödigkeit bewirkt bei Zug- und Biegebelastungen ein Vertiefen der Mikrorisse, auftretende Druckspannungen sind aufgrund der Sprödigkeit und des E-Moduls der Keramik in der Lage Risse am Fortschreiten durch Verschließen zu hindern [MARX, 1993], [EICHNER, KAPPERT, 1996], [KAPPERT, EICHNER, 2008].

Zum subkritischen Risswachstum können auch Belastungen unterhalb der kritischen Werte führen und eine von außen nicht wahrnehmbare Verlängerung der Mikrorisse provozieren. Folge ist ein plötzlicher Sprödbbruch [BIENIEK, MARX, 1994], [HICKEL, 1997], [FISCHER, MARX, 2000], [RUDOLPH et al., 2005], [KAPPERT, EICHNER, 2008].

Man unterscheidet zwischen statischer Festigkeit und Dauerfestigkeit. Durch Einflüsse wie Speichel wird das Risswachstum (Spannungsrissskorrosion) auf ein vielfaches erhöht. Löslichkeit innerhalb der Verbundzone sowie dynamische Kaukräfte reduzieren langfristig ebenso die Dauerfestigkeit der Keramik [TINSCHERT, MARX, 1997]. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass der Wert der Dauerfestigkeit halb so groß als der Wert der statischen Festigkeit ist [KAPPERT, EICHNER, 2008].

Keramiken verfügen über ein Schmelzintervall. Aufgrund ihrer geringen Wärmeleitfähigkeit schmelzen sie nur langsam. Schichtkeramiken schrumpfen beim Brennen, da sich während des Sinterns die Pulverpartikel zusammenlagern (Reduzierung des interpartikulären Abstandes) und es zur Verdunstung des Liquids kommt. Eine Reduzierung der Volumenminderung nach dem Brand und demzufolge auch Reduzierung der Korrekturbrenne erreicht man durch Verdichtung des Keramikschlickers [BREUSTEDT, LENZ, 1978], [CLAUS, 1981, [2]].

### Bruchzähigkeit

Als Bruchzähigkeit wird der Widerstand eines Werkstoffes bezeichnet, den er gegen Risswachstum besitzt. Im Vergleich zu Metallen, die Bruchzähigkeiten von über 60 MPa  $\sqrt{\text{m}}$  aufbringen können, ist die Bruchzähigkeit der Keramik von bis zu 5 MPa  $\sqrt{\text{m}}$  eher gering.

Tab. 7: ↑ Bruchzähigkeit durch Zugabe von

Metalloxiden (z.B. Aluminiumoxid/Zirkoniumdioxid)	Leuzitkristallen
Spinelle (Magnesium-Aluminiumoxidkristalle)	Whisker (lange nadelförmige Einkristalle)

Man spricht von einer Risswegverlängerung, wenn ein fortschreitender Mikroriss dank festerer Partikel umgelenkt wird. Die zum Brechen der Restauration führende Kraft wird gemindert oder eliminiert.

Zur Reduzierung des Keramikbruchs ist es notwendig bei der Verarbeitung dentalkeramischer Massen porearme Restaurationen herzustellen, um Mikrorissen entgegenzuwirken. Folgende Tabelle (8) zeigt worauf bei der Verarbeitung zu achten ist:

Tab. 8: Stärkung der Bruchzähigkeit von Keramiken durch Verarbeitung

Vakuumbrennverfahren → ↓ Gaseinschlüsse [MARXKORS, MEINERS, 1988]
exakte Brandführung
exakte Verarbeitung
durch Riffeln/Klopfen Verdichtung vor Brandführung
Keramikpulver mit kleiner Korngröße verwenden → ↑ Verdichtung [BREUSTEDT, LENZ, 1978]

## 2.2 Legierungen in der Zahnheilkunde

Als Legierung (lat.: legare = vereinigen) bezeichnet man Verbindungen von verschiedenen Metallen oder von Metallen mit nicht metallischen Komponenten [HOHMANN, HIELSCHER, 1993]. Eine Legierung besteht immer zum größten Teil aus einem Metall. Diese sogenannte Legierungsbasis verleiht der Legierung seinen Namen [STRIETZEL, 2005].

Die Zugabe anderer Komponenten bewirkt Änderungen in der Biokompatibilität/Korrosion, der Festigkeit, dem WAK, der Verarbeitbarkeit und im Schmelzintervall [LUDWIG, 2005], so dass es möglich ist, Legierungen nach den jeweiligen Bedürfnissen herzustellen [HOLDT, 1999].

Aufgrund der geringen mechanischen Stärke sind reine Metalle im dentalen Bereich weniger häufig vertreten. Eine Ausnahme bildet hier z. B. das Titan [LUDWIG, 2005].

Im Gegensatz zu reinen Metallen verfügen Legierungen über ein Schmelzintervall und haben keinen exakten Schmelzpunkt. Erst beim Erreichen des Liquiduspunktes verflüssigt sich die Legierung [EICHNER, 2000 [2]].

### 2.2.1 Einteilung der Dentallegierungen

#### Einteilung nach der Legierungsbasis

Es existieren Edelmetall- (EM), Nichtedelmetall- (NEM) und edelmetallfreie (EMF) Legierungen [STRIETZEL, 2005].

Tab. 9: Einteilung von Edelmetall-Legierungen nach der Legierungsbasis

<b>EM-LEGIERUNGEN</b>		
<b>GOLDLEGIERUNGEN</b> hochgoldhaltig goldreduziert	<b>SILBERLEGIERUNGEN</b> Silber-Palladium-Legierungen Silber-Gold-Legierungen	<b>PALLADIUMLEGIERUNGEN</b> silberhaltig kupferhaltig

Tab. 10: Einteilung von edelmetallfreien Legierungen nach der Legierungsbasis

<b>NEM-/ EMF-LEGIERUNGEN</b>			
<b>NICKEL-LEGIERUNGEN</b> Nickel-Chrom-Legierungen Nickel-Titan-Legierungen	<b>EISEN-LEGIERUNGEN</b> Stähle	<b>COBALT-LEGIERUNGEN</b>	<b>TITAN &amp; TITAN-LEGIERUNGEN</b> Rein-Titan Titan-Legierungen

EMF-Legierungen haben eine geringe Wärmeleitfähigkeit, hohe Steifigkeit, eine gute Korrosionsresistenz und eine gute Haftung zur Keramik [SIEBERT, 1989]. Aufgrund ihres höheren Elastizitätsmoduls lassen sich feinere EMF-Gerüste herstellen, als es für EM-Legierungen möglich ist [TAUBER, EYKMANN, 2006].

Sie sind außerdem preisgünstiger als EM-Legierungen und besitzen ein geringeres Kriechverhalten (= Creep) bei hohen Keramikbrenntemperaturen [MCLEAN, 1978], [YILMAZ, DINCER, 1999].

Als Nachteil ist die erschwerte Bearbeitung aufgrund ihrer Härte anzusehen [WIRZ, 1995] und die kompliziertere Verarbeitung bei Brennvorgängen mit Keramik. Hier entsteht je nach Vorbehandlung der Legierung und Brennzeit eine unterschiedlich dicke Oxidschicht an der Metall-Keramik-Grenze [MCLEAN, 1981]. In Bezug auf die Passgenauigkeit sind die EM-Legierungen den EMF-Legierungen überlegen [MCLEAN, 1981], [LAUER et al., 1998].

#### Einteilung nach der Aufbrennfähigkeit

Den edelmetallhaltigen Aufbrennlegierungen sind die Elemente Indium (In), Zinn (Sn), Gallium (Ga), Eisen (Fe) und Mangan (Mn) zugesetzt. Diese werden als Haftoxidbildner für den Metall-Keramik-Verbund benötigt. Gleiches bewirkt der Zusatz des Chroms (Cr) bei den edelmetallfreien Legierungen [STRIETZEL, 2002].

## 2.2.2 Aufbrennfähige Dentallegierungen

### 2.2.2.1 Aufbrennfähige Edelmetall-Legierungen

Tab. 11: Einteilung aufbrennfähiger Edelmetall-Legierungen [ROBERTS et al., 2009]

Aufbrennfähige EM-Legierungen	
Gold-Legierungen	Palladium-Legierungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gold-Platin-Palladium-Legierungen</li> <li>• Gold-Palladium-Legierungen</li> <li>• Gold-Palladium-Silber-Legierungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Palladium-Silber-Legierungen</li> <li>• Palladium-Silber-Gold-Legierungen</li> <li>• hochpalladiumhaltige Legierungen: &gt; Palladium-Kupfer-/Palladium-Cobalt-/Palladium-Gallium-Legierung</li> </ul>

### 2.2.2.2 Aufbrennfähige edelmetallfreie Legierungen

Tab. 12: Einteilung aufbrennfähiger EMF-Legierungen [ROBERTS et al., 2009]

Aufbrennfähige EMF-Legierungen		
Cobalt-Chrom-Legierungen	Nickel-Chrom-Legierungen	Titan
	Beryllium-haltig/Beryllium-frei	Rein-Titan/Titan-Legierungen

### 2.2.3 Cobalt-Chrom-Legierungen

Cobalt-Chrom-Legierungen verdanken ihre Härte dem zu 62 - 65 % enthaltenen Cobalt. Die Aufgabe der Haftoxidbildung und Korrosionsresistenz übernimmt das Chrom (27 - 30 %). Durch Zugabe von Molybdän (4 - 6 %) gewinnt die Legierung an Dehnbarkeit. Zusätze wie Eisen, Aluminium, Bor, Cer, Mangan oder Silizium tragen zur besseren Festigkeit und Verarbeitbarkeit bei [KÖRBER, 1982], [WEBER, 1983], [LINDIGKEIT, 1989].

### 2.2.4 Nickel-Chrom-Legierungen

Der Anteil an Nickel beträgt im Durchschnitt 70 %. Nach ihrem Anteil an Chrom können Nickel-Chrom-Legierungen eingeteilt werden in über 20 % Chromanteil oder unter 15 % Chromanteil. Der Nickelanteil birgt aufgrund von Korrosion die Gefahr der Allergieentwicklung, ein bekanntes Phänomen bei nickelhaltigen Schmuckstücken. Bei bekannter Nickelallergie ist eine Cobalt-Chrom-Legierung eine Alternative [ROBERTS et al., 2009].

### 2.2.5 Eigenschaften von Aufbrennlegierungen

Legierungen, die für die Verblendung mit Keramiken zugelassen sind, fallen unter die DIN EN ISO 9693. Dabei spielt das Herstellungsverfahren oder die Zusammensetzung der Legierung keine Rolle [DIN EN ISO 9693, 2001].

Um ein funktionierendes Metall-Keramik-System zu erhalten, sind gewisse Eigenschaften der Aufbrennlegierung unerlässlich:

- Vermeidung von Gerüstverformungen während des Brennvorgangs der Keramik durch einen um mindestens 100 - 150 °C höheren Soliduspunkt der Legierung im Vergleich zur Brenntemperatur der Keramik [EICHNER, KAPPERT, 2005], [KAPPERT, EICHNER, 2008].
- Zugabe von Haftoxidbildnern wie Chrom für EMF-Legierungen oder Gallium für EM-Legierungen.
- Erzeugung einer mäßigen Druckspannung der Keramik an der Verbundzone der Legierung nach Abkühlen, indem der WAK der Legierung höher ist als der WAK der Keramik [BÖHM, 2001], [TAUBER, 2006, [1]] und daraus resultierende Verminderung der Rissbildung und Rissausbreitung. Der WAK beschreibt die Längen- oder Volumenänderung eines Materials in Bezug zur Temperaturänderung und wird auch als Raum-/Längenausdehnungszahl bezeichnet [STEINBERG, SCHMITZ, 1968]. Unerlässlich für das Funktionieren eines Metall-Keramik-Systems ist die genaue Abstimmung beider WAK-Werte (Legierung/Keramik) [FISCHER, ZIERZ, 2001]. Im Gegensatz zu den WAK-Werten der Keramiken, bleiben die WAK-Werte der meisten Dentallegierungen konstant und verändern sich nicht aufgrund der Häufigkeit von Brennzyklen [PRASAD et al., 1991].
- Hohe Härte und Steifigkeit der Aufbrennlegierungen sind für den Metall-Keramik-Verbund essentiell. Bei zu starker Gerüstverbiegung durch Kaukraft wäre ein Versagen des Haftverbundes vorprogrammiert [DIETSCHI, 2000]. Der Elastizitätsmodul beschreibt die Steifigkeit eines Werkstoffes [SCHWICKERATH, 1995]. Er beschreibt den Widerstand des Materials gegen elastische Deformation. Je höher der Elastizitätsmodul, umso höher der Widerstand gegen elastische Deformation [ZUKUNFT, 1985].
- Minimierung allergischer Reaktionen und toxikologischer Erkrankung durch geringe Korrosionswerte [PFEIFFER et al., 1997]:

> Herabsetzung der Freisetzung von Ionen nach längerer Tragedauer mit Hilfe der Erzeugung einer Passivierungsschicht durch Zulegieren von Chrom und Molybdän [SCHWICKERATH, 1993].

> Abtrag von 20 µm der keramikfreien Bereiche der Legierung und anschließender Politur nach Keramikbrand, um die erhöhten Korrosionsraten zu reduzieren. Demzufolge ist eine Übermodellation der Kronenränder sinnvoll [PFEIFFER et al., 1997].

## 2.3 Einfluss der Verarbeitung der Materialien

### 2.3.1 Gerütherstellung

Das Funktionieren eines Metall-Keramik-Systems ist nicht nur von den Materialeigenschaften abhängig. Ein Versagen eines Haftverbundes zwischen Legierung und Keramik ist auch auf eine Fehlkonstruktion der Gerüste zurückzuführen. Hierbei ist die Form, Größe und Dicke eines Metallgerüsts wichtig, aber auch die Form und Stärke der Verbinder [KIM et al., 2007], [STRIETZEL, 2007].

Tab. 13: Werte für Mindestschichtstärken von Legierungen [TAUBER, EYKMAN, 2006], [TAUBER, KAPPERT, 2006], [BEGO, 2008/03]

EM-Legierungen & Titan	0,5 mm
NEM/EMF-Legierungen	kann etwas dünner ausfallen (0,4 mm)

Mengenmäßig soll der größte Volumenanteil der Gesamtkonstruktion aus Metall bestehen und nicht aus Keramik. Sollbruchstellen der Keramik durch scharfe Kanten müssen vermieden werden [STRIETZEL, 2002], [STRIETZEL, 2005], [STRIETZEL, 2007]. Die Geometrie und Formgestaltung des Gerüsts sollte einer verkleinerten Zahnform ähneln [NIKELLIS et al., 2005], [TAUBER, 2006, [1]]. Um Luft einschließen und Überlappungen auf der Gerüstoberfläche entgegenzuwirken, sollte immer mit scharfen Schleifkörpern gearbeitet werden [HOHMANN, HIELSCHER, 1987]. Anschließend ist ein Abstrahlen zur Vergrößerung der Oberfläche und Verbesserung der Haftung durch Mikroretention von größter Bedeutung [TILLER et al., 1985, [1]], [RAU, STRÖBEL, 1992], [STRIETZEL, 2007]. Der Strahl Druck bei EM-Legierungen liegt bei 2 bar und bei EMF-Legierungen bei 4 bar. EM-Legierungen werden mit 110 µm, EMF-Legierungen mit 250 µm abgestrahlt. Optimalerweise beträgt der Strahlwinkel 45° [STRIETZEL, 2005], [HOPP, BIFFAR, 2006].

Im Anschluss an das Abstrahlen sollte direkt mit dem Auftragen des Opakers auf die Gerüstoberfläche begonnen werden, um sich der erzeugten Oberflächenenergie nützlich zu machen [TILLER et al., 1985, [2]], [STRIETZEL, 2002]. Hierdurch ergibt sich eine bessere Benetzbarkeit der Legierungsoberfläche und ein intensiverer Auftrag des Keramikschlickers [TILLER et al., 1985, [2]]. Es sollte nur mit Griffelstrahler gearbeitet werden. Umlaufstrahler bergen die Gefahr einer Verunreinigung und verminderten Kraft durch Abrundung des Strahlmittels [STRIETZEL, 2007].

Ferner muss vor dem Opakisieren eine Reinigung der Oberfläche durch einen Dampfstrahler erfolgen, um sie fett- und staubfrei zu bekommen. Andernfalls könnte Schmutz während des Opakisierens verdampfen und Lufteinschlüsse bilden. Desweiteren wird die Oberflächenbenetzung erschwert [SCHWICKERATH, 1983, [1]], [LENZ, 1990].

### **2.3.2 Verblenden von Metallgerüsten**

Das Verblenden von Metallgerüsten kann auf konventionelle Weise durch Schichten oder mittels Presstechnik erfolgen. Aus ästhetischen Gründen können beide Methoden miteinander kombiniert werden, um Farbe und Form zu individualisieren. Beide Methoden beginnen mit den Grundmasse- bzw. Opakerbränden der Gerüste. Diese Grundmassen enthalten viele Metalloxide, da sie in erster Linie der Metallabdeckung dienen. Aufgrund des hohen Gehaltes an Metalloxiden sind die Grundmassen am stabilsten und bilden den Grundbaustein für ein funktionierendes Metall-Keramik-System [WOOD et al., 2007]. Es gibt Pasten und Pulveropaker. Pulveropaker komplizieren das Herstellen der geeigneten Konsistenz durch selbstständiges Zugeben des Liquids [STRIETZEL, 2005]. Dies wird bei vorgefertigten Pastenopakern vermieden. Vor Gebrauch sollte dieser allerdings gut durchgemischt werden. Damit das im Pastenopaker vorhandene Glycerin (siedet erst bei 290 °C) [LIDE, 1993] bei der Trocknung verdampfen kann, müssen Brennprogramme gegebenenfalls verlängert werden [STRIETZEL, 2005]. Insgesamt werden zwei Grundmassebrände durchgeführt [WEBER, 1983]. Ein erster, nicht deckender Washbrand und ein zweiter, deckender Opakerbrand [HÜRZELER et al., 1995]. Es wird lediglich eine dünne Grundmasseschicht auf das Gerüst einmassiert. Das Einmassieren und die dünnflüssige Konsistenz des Opakerschlickers ist für einen guten Haftverbund essentiell, um auch die durch das Abstrahlen erzeugten tieferen Mikroporositäten zu benetzen [STRIETZEL, 2005]. Der Washbrand hat zum Ziel, einen Verbund zwischen Legierung und 2. Opakerbrand zu schaffen. Dies wird erzielt durch

das Auftragen einer nur dünnen Schicht und Erzeugung sogenannter Keramik-Nester nach der Brandführung [STRIETZEL, 2005]. Durch Riffeln mittels Le-Cron-Instrumentengriff oder vorsichtiges Klopfen des Modells auf der Arbeitsfläche wird die Keramikmasse verdichtet.

#### Gerüstverblendung durch konventionelle Schichttechnik

Das Ziel beim Verblenden von Legierungen ist es, ein sehr gut funktionierendes Metall-Keramik-System mit hohen Verbundwerten zwischen Legierung und Keramik und Festigkeitswerten der Keramik herzustellen. Bei der Keramikschiichttechnik ist deshalb schon bei der Keramikpulverauswahl auf eine kleine Korngröße zu achten. Im Grünzustand (= ungesinterter Zustand) sind die Keramikpartikel dank kleiner Korngröße dicht zusammen und ermöglichen so eine verbesserte Sinterung und geringere Porenzahl nach dem Brand [STRIETZEL, 2005]. Wie bereits beschrieben (siehe Kapitel 2.1.6), bilden Fehlstellen wie Poren in der gebrannten Keramik Anfangspunkte für Mikrorisse. Aus Dentinmassepulver und dem dazugehörigen Liquid wird ein Keramikslicker gemischt. Dentinmassen weisen im Vergleich zu Opakermassen weniger Pigmente auf und sind somit transluzenter. Um eine beständige Modellierbarkeit zu gewährleisten, sollte die Suspension weder zu dick noch zu dünn sein. Beim anschließenden Schichten der Keramik auf das opakisierte Gerüst, muss eine hohe Verdichtung durch Riffeln mittels Le-Cron-Instrumentes oder Klopfen des Modells erfolgen. Das an der Oberfläche austretende Liquid wird mit einem Tuch abgesaugt. Die Verdichtung hat eine Minimierung von Poren und Spalten in der gebrannten Keramik zur Folge. Außerdem birgt zu viel Liquid in der Schlickermasse die Gefahr der unzureichenden Verdampfung während der Trocknung und Blasenbildung in der gesinterten Keramik [CLAUS, 1990], [EICHNER, KAPPERT, 2005]. Ein weiterer positiver Effekt ist die Reduzierung der Sinterschrumpfung, da es durch Reduzierung des Wasseranteils und durch Verdichtung der Keramikpartikel vor dem Brennen zu weniger Wasserverlust und geringerem Unterschied des interpartikulären Abstandes nach dem Brennen kommt. Eine Reduzierung der Sinterschrumpfung ermöglicht dem Techniker ein genaueres Arbeiten und die Zahl der Brände auf ein Minimum zu reduzieren. Somit kann der WAK der Keramik stabilisiert werden. Keinesfalls sollte der Schlickermasse zu viel Liquid entzogen werden. Dies könnte zur Rissentwicklung und Ablösung der Schlickermasse vom Metall führen. Eine zu starke Verdichtung ist ebenfalls zu vermeiden. Dies könnte schalenartige Abspaltungen der nächsten Keramikschiicht nach sich ziehen [STRIETZEL, 2005]. Man

unterscheidet zwischen Dentinbrand und Korrekturbrand. Nach erfolgtem Dentinbrand, bei dem durch den Sintervorgang und durch Wasserverlust eine Volumenschrumpfung von bis zu 20 % am gebrannten Objekt entstehen kann, sollte ein Korrekturbrand (oder 2. Dentinbrand) erfolgen [STRIETZEL, 2005]. Aufgrund der Sinterschrumpfung sollte der Keramikschlicker im leichten Überschuss aufgetragen werden. Der gebrannte Dentinkern wird mit Schleifkörpern in Form geschliffen, abgedampft und vor anschließendem Korrekturbrand mit Schmelzmasse die endgültige Zahnform aufgebaut. Es sollte die Keramikmindestschichtstärke von 0,8 mm beachtet werden [KAPPERT, EICHNER, 2008]. Als letzter Brand folgt der Glanzbrand. Er bewirkt eine Glättung der Oberfläche und mindert folglich die Anlagerung von Plaque. Außerdem ermöglicht er das Verschließen von Poren an der Keramikoberfläche und demzufolge eine Reduzierung von Sollbruchstellen. Nach erfolgtem Glanzbrand sollte die Oberfläche wenn möglich nicht mehr beschliffen werden. Sollte dies aufgrund von Einpassen der Restauration im Patientenmund nicht möglich sein, ist das Nachpolieren mittels Gummipolierer wichtig, um eventuell entstandene Mikrorisse zu minimieren. Der Glanzbrand bewirkt zusätzlich eine bessere Ästhetik.

Ein allgemeiner Grundsatz für die durchzuführenden Brände ist das Brennen unter Vakuum. GATZKA erkannte, dass das für die Festigkeit und Ästhetik wichtige Entweichen von Wasser oder Glycerin aus dem Keramikschlicker während des Brennvorgangs beim Brennen unter Vakuum möglich ist [EICHNER, 1985]. Hierdurch werden Eintrübungen und Defekte durch Blasen in der gebrannten Keramik eliminiert. Für das Funktionieren einer Restauration aus ästhetischen Aspekten ist es wichtig einen klaren Keramikkörper zu erhalten, der durch gezielte Zugabe von Zusätzen in Farbe und Transluzenz variieren kann. Der Glanzbrand findet herstellerabhängig unter Vakuum oder atmosphärisch (ohne Vakuum) statt, da materialabhängig z. B. mit oder ohne Glasurmasse (unpigmentiert) gebrannt wird.

Ein weiterer wichtiger Faktor für das Funktionieren eines Metall-Keramik-Systems sind die Temperatureinstellungen des Ofens. Aufheizrate, Temperatur und Brandzeit muss so eingestellt werden, dass der gewünschte Brenngrad erzielt wird. Der von CLAUS [CLAUS, 1990] bekannte Test ermöglicht es alle Brennparameter zielführend einzustellen. Als Referenzobjekt dient ein vom Hersteller optimal gebrannter Prüfkörper. Außerdem muss der Brennofen regelmäßig gewartet werden. Kalibrierung (Silberprobe) und Säuberung des Ofens sind Voraussetzungen für positive Brennergebnisse. Ist die Ke-

ramik unterbrannt, wirkt sie matt und stumpf. Es kann zu Aufblähungen der Keramik kommen, wenn die Aufheizrate oder Brenntemperatur zu hoch ist. Dieser Effekt wird durch zu lange Vakuumzeiten erhöht [CLAUS, 1990], [OGINNI, 2005]. Ein Überbrennen von Keramik kann auch zu Grün- oder Grauverfärbungen führen [OGINNI, 2005]. Zu lange Aufheizzeiten, Haltezeiten und zu hohe Temperaturen haben ebenso Einfluss auf die Ästhetik. Die Glasphasen wachsen und die Sinterphasen reduzieren sich. Gebrannte Keramik ist transluzenter, je höher der Anteil an Glasphase ist [CLAUS, 1990]. Eine geringe Anzahl an Bränden ist anzustreben [SCHWICKERATH, 1985]. Mit steigender Anzahl an Brennvorgängen steigt der WAK der Keramik. Ein Überschreiten des WAK-Wertes der Keramik über den WAK der Legierung ist aufgrund von damit verbundener Zugspannung der Keramik unbedingt zu vermeiden [STRIETZEL, 2005]. Andererseits kann durch längere Leuzitbildung bei Langzeitabkühlungen über 600 °C die Erhöhung des WAK-Wertes der Keramik auch erwünscht sein. Beachtet man die Brandführungen nach Herstellerangaben, kommt es zur Annäherung der WAK-Werte der Verbundpartner und zu einer Reduzierung der Spannung in der Keramik [DORSCH, 1990].

#### Gerüstverblendung durch Presstechnik bzw. kombinierte Press-/Schichttechnik

Wie bereits erwähnt, werden die Gerüste opakisiert. Man unterscheidet nun zwischen voll- und teilgepressten verblendeten Restaurationen. Hierbei variiert man die Wachsmodellation der zu pressenden Verblendung. Bei vollgepressten Restaurationen wird mit rückstandslos verbrennendem Wachs die zu rekonstruierende Zahnkrone anatomisch und funktionell aufgebaut. Danach folgt das Einbetten und Pressen. Dank der fehlenden Sinterschrumpfung wird nach dem Brennen das vollanatomische Pressobjekt nur noch von Einbettmasseresten und Pressfahnen mit Schleifinstrumenten unter Wasserkühlung befreit. Durch vorherige Farbauswahl der Press-Ingots erreicht man ästhetisch gute Ergebnisse, welche mittels Malfarben während eines nachträglich möglichen Malfarbenbrands individualisiert werden können. Bei der Wachsmodellation für teilgepresste Verblendungen wird zunächst wie bei der vollgepressten Modellation eine vollanatomische Zahnform aufgebaut, als Hilfe für die spätere Schmelzmassenschichtung ein Silikonvorwall angefertigt und anschließend durch die Cut-Back-Technik ein Dentinkern geformt. Nach Einbetten und Pressen wird der Dentinkern ähnlich der konventionellen Schichttechnik mit Schmelzmassen nach individuellen Bedürfnissen in Farbe und Form aufgebaut. Die Press-Ingots der Schichttechnik (teilgepresst) sind opaker als die Press-Ingots der Maltechnik, so dass die transluzentere Schmelzmasse den

gepressten Dentinkern hindurchschimmern lässt. Dies führt zu einer besseren Ästhetik. Den letzten Brand bildet der Glanzbrand bei beiden Methoden [BEGO, 2011].

## 2.4 Metall-Keramik-Verbund

EICHNER unterteilt die Haftverbunde nach ihrem Vorkommen wie folgt:

Tab. 14: Haftverbundverteilung nach EICHNER [EICHNER, 1979]

Van-der-Waals-Kräfte	2 %
mechanische Retentionskräfte	22 %
Kompressionskräfte beim 'Aufschrumpfen'	26 %
chemische Bindung an Haftoxiden	50 %

Die Wahl der Werkstoffzusammensetzung ist ausschlaggebend für den Verbund zwischen Keramik und Legierung [KAPPERT, EICHNER, 2008]. Allerdings haben Untersuchungen ergeben, dass die chemische Bindung als Verbundmechanismus sehr häufig besteht [VOSS, 1969], [EICHNER, 1997].

### 2.4.1 Verbundmechanismen

Von entscheidender Bedeutung für das Funktionieren eines Verbundes zwischen Legierung und Keramik ist das Anpassen der physikalischen Eigenschaften dieser Materialien [BÖHM, 2001].

#### 2.4.1.1 Physikalische Kräfte

##### a) Kontraktionskräfte

Sind die WAK-Werte der verwendeten Materialien richtig aufeinander abgestimmt, kommt es durch den höheren WAK der Legierung während der Abkühlphase zum Aufschrumpfen der Keramik auf die Legierung. Hieraus resultiert eine gewünschte leichte Druckspannung in der Keramik [SCHWICKERATH, 1983, [2]], [EICHNER, 2000 [1]]. Diese sogenannten Kompressionskräfte bewirken eine Erhöhung der mechanischen Bindung zwischen den Verbundmaterialien [HOPP, BIFFAR, 2006], [KAPPERT, EICHNER, 2008].

## b) Mechanische Retention

Eine Erhöhung der Haftkräfte durch mechanische Retention erreicht man, indem man die Oberflächen der Legierungen vergrößert. Dies erzielt man beispielsweise durch Abstrahlen oder mit Hilfe von rotierenden Instrumenten [MCLEAN, 1981], [CAESAR, ERNST, 1987]. Hierbei wird die erzielte Rautiefe bestimmt durch die Legierungshärte, der Körnung des Strahlmittels und dem verwendeten Druck während des Abstrahlens [CAESAR, ERNST, 1987]. Im Ergebnis resultiert eine mikromechanische Verzahnung zwischen Keramik und Metall [VON RADNOTH, LAUTENSCHLÄGER, 1969], [HENNING, 1976], [WOLFF, 1997], [GRAHAM et al., 1999], [AL MUTAWA et al., 2000], [KAPPERT, EICHNER, 2008].

### 2.4.1.2 Chemische Kräfte

Die Bildung von Haftoxiden aus Nichtedelmetallen bewirkt eine chemische Bindung [VON RADNOTH, 1970], [WIRZ, SCHMIDLI, 1990], [STRIETZEL, 1999], [STRIETZEL, 2002], [SCHWEITZER et al., 2005]. Hier kommen z. B. Zinn (Zn), Indium (In), Eisen (Fe), Chrom (Cr) oder Mangan (Mn) zur Anwendung, wobei bei aufbrennfähigen Edelmetalllegierungen Oxidbildner wie Eisen oder Indium zulegiert werden müssen [CLAUS, 1983], [REPPEL, 1986]. Die Haftoxide lösen sich während des Brennvorgangs der Keramik, behalten aber als Gitteratome die Verbindung zur Legierung [CLAUS, 1983], [CAESAR, ERNST, 1987].

### 2.4.1.3 Adhäsion

Van-der-Waals-Kräfte sind als Dipolkräfte verantwortlich für die Oberflächenspannung der Keramik. Durch die Zugabe von u.a. Natriumoxid oder Kaliumoxid wird die Oberflächenspannung herabgesetzt, um der Keramik eine gleichmäßige Verteilung auf der angerauhten Legierungsoberfläche zu ermöglichen [EICHNER, 2000, [1]], [BÖHM, 2001].

## 2.5 Werkstoffprüfung/Prüfmethoden

Es gibt verschiedene Prüfmethoden mit denen man Metall-Keramik-Verbundsysteme prüfen kann:

1. Biegedruckversuch nach VOSS
2. Drei-Punkt-Biegeversuch nach SCHWICKERATH
3. Druck-Scherversuch nach SCHULMEYER
4. Zugscherversuch nach SHELL UND NIELSEN
5. Zugversuch nach NALLY UND BERTA

Die angewandten in vitro Prüfmethode sollten die Übertragbarkeit in klinische Situationen berücksichtigen, um auch dort relevante Aussagen zu erhalten. Hierzu wird ein Bewertungsmaßstab für die evaluierten Messwerte erforderlich [SCHMITZ, SCHULMEYER, 1975], [SIEBERT, 1989].

Für eine Stabilität in der Messgenauigkeit und generelle Anwendbarkeit sollte die Anfertigung der Prüfkörper und später durchgeführte Verbundprüfung anwenderfreundlich und simpel sein [KAPPERT, EICHNER, 2008].

### **2.5.1 Biegedruckversuch nach VOSS**

VOSS führte Belastungstests an labial- und vollverblendeten oberen Eckzahnkronen durch [VOSS, 1969]. Hierbei wurden die keramikverblendeten Kronen auf einen Metallprüfstumpf zementiert und in eine Universalprüfmaschine eingespannt. Anschließend belastet man die Prüfkrone auf der Inzisalkante mit einem Druckstempel im 45°-Winkel zur Zahnachse bis zum Bruch [VOSS, 1969], [SIEBERT, 1989]. Mit Hilfe dieses Drucktestes kann die Bruchfestigkeit der keramisch verblendeten Restauration getestet werden, um Aussagen zu Verbund- und Materialeigenschaften erheben zu können. Vorteilhaft am Versuchsaufbau ist die Übertragbarkeit auf klinische Situationen. Klinisch gesehen können vergleichbare Belastungen bei der Eckzahnführung auftreten [COCA, SCHWICKERATH, 1986], [SIEBERT, 1989]. Als Nachteil ist die Reproduzierbarkeit des VOSS-Testes anzusehen und die daraus eventuell resultierende höhere Fehlerquote, zum Einen in Bezug auf die Positionierung der Prüfkörper in der exakt gleichen Ausrichtung zum Angriffspunkt der Kraft und zur Druckrichtung und zum Anderen in der Herstellung exakt identischer Prüfkronen. Aufgrund dessen kommt es zu einem vergrößerten Messergebnisbereich/-intervall [VOSS, 1957], [VOSS, 1969], [SIEBERT, 1989].

Die folgende Tabelle zeigt unterschiedliche Testergebnisse verschiedener Untersucher:

Tab. 15: unterschiedliche Ergebnisse des VOSS-Versuchs [SCHWALBE, 2009]

KAPPERT [KAPPERT et al., 1985]	Mittelwert 1150 N
MIETKO [MIETKO, 2008]	1400 - 2836 N
STAPPERT [STAPPERT et al., 2005]	483 - 713 N
KU [KU et al., 2002]	Mittelwert 1317 N

### 2.5.2 Drei-Punkt-Biegescherversuch nach SCHWICKERATH

Der 3-Punkt-Biegeversuch nach SCHWICKERATH testet die Verbundfestigkeit zwischen Keramik und Metall unter Biegelast [LENZ et al., 1995]. Gegen diese Biegelast wirken die Steifigkeit der Keramik und des Metalls und der Metall-Keramik-Verbund [SIEBERT, 1989]. Im Gegensatz zum VOSS-Test ist die Prüfkörpergeometrie klar definiert und reproduzierbar. Die Prüfkörperherstellung ist wenig kostenintensiv und einfach [SCHWICKERATH, 1983, [1]], [SCHWICKERATH, 1986], [SCHWARZ et al., 1988], [DÖRFLER et al., 1995].

Zur Durchführung des Biegeversuches in der Universalprüfmaschine werden 0,5 mm (+/- 0,05 mm) dicke, 3 mm (+/- 0,1 mm) breite und 25 mm lange Metallplättchen benötigt. Auf diesen brennt man eine Keramikmasse mit einer Länge von 8 mm und einer Höhe von 1 mm in der Metallplättchenmitte auf [KAPPERT et al., 1985], [DÖRFLER et al., 1995]. Die Druckfinne wirkt mittig im 90°-Winkel auf das Prüfplättchen auf der nicht verblendeten Seite und übt Druck auf das Prüfplättchen aus. Die Metall-Keramik-Verbundzone befindet sich in der Zugzone.

Aus dem DIN Modell 13927 für metallkeramische Systeme entstand nach weiterer Forschung schließlich die DIN EN ISO 9693 für dentale restaurative Metall-Keramik-Systeme [DIN 13927 (Entwurf 09/90), 1990], [DIN EN ISO 9693, 2001].

Der Begriff 'Scher/Verbundfestigkeit' wird durch Ablöse/Rissbeginn-Festigkeit ersetzt [GÜRTLER et al., 2005]. Eine Mindestgröße von 25 MPa für die Ablöse/Rissbeginn-Festigkeit wird für die Anwendung in der Praxis gefordert [KAPPERT, EICHNER, 2008].

### 2.5.3 Druckscherversuch nach SCHMITZ/SCHULMEYER

Beim Scherversuch nach SCHMITZ/SCHULMEYER wird ein Metallquader (6 x 6 x 6 mm) auf einer Seite mit Keramik verblendet (3 mm dick, 3 mm lang, 6 mm breit). Anschließend wird der Keramikprüfkörper durch einen Druckstempel, der in

einem Winkel von  $45^\circ$  angeschrägt ist, vom Metallquader abgeschert. Der Druckstempel bewegt sich hierbei mit einem Vorschub von 1,0 mm/min [SCHWEBKE, 2002]. Teilt man die ermittelte Abscherkraft durch die Haftfläche, erhält man die maximale Abscherspannung in MPa [KAPPERT et al., 1985], [SIEBERT, 1989].

#### **2.5.4 Zugscherversuch nach SCHELL/NIELSON**

Bei diesem Versuch wird ein Metall-Rundstab mit einer Keramik-Grundmasse opakisiert und mit Dentinmasse verblendet. Anschließend befestigt man ihn in einer speziellen Apparatur und zieht ihn in axialer Richtung heraus. Betrachtet werden die Werte, die zum Zerreißen führen [SHELL, NIELSEN, 1962].

#### **2.5.5 Zugversuch nach NALLY und BERTA**

Bei diesem Zugtest besteht der Prüfkörper aus zwei durch aufgebrannte keramische Grundmasse miteinander verbundenen Metallrundstäben. Der Kraftangriff erfolgt an den beiden verbleibenden Enden in axialer Richtung und bewirkt eine Zugkraft auf die Keramik. Sobald die Metallstäbe durch Bruch der Keramik nicht mehr miteinander verbunden sind, gilt der Versuch als beendet und man protokolliert die zum Bruch benötigte Kraft [SCHMITZ, SCHULMEYER, 1975], [ARLOM, 1998].

### **2.6 Klinische Situation**

#### **2.6.1 Überlebenswahrscheinlichkeit von Metall-Keramik-Restaurationen**

Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass je mehr Fehler zusammen auftreten, umso größer ist das Risiko des Versagens, wohingegen es bei Auftreten nur eines Fehlers nicht unbedingt zum Bruch kommen muss [STRIETZEL, 2007].

Als eines der Hauptkriterien für die Überlebenswahrscheinlichkeit von Metall-Keramik-Systemen gilt zum Einen die Verbundfestigkeit der Materialien, zum Anderen die materialspezifischen Eigenschaften wie Festigkeit und elastische Merkmale der Verbundpartner [MCLEAN, 1978], [SCHWICKERATH, 1978].

### **2.6.1.1 In-vitro-Überlebenswahrscheinlichkeit**

Bei der Entwicklung von neuen Materialien ist es sinnvoll, diese mit Hilfe verschiedener Prüfverfahren (siehe Kapitel 2.5) zu testen, bevor es zur Anwendung am Patienten kommt. So können experimentelle Laborstudien zur Prüfung der Bruchfestigkeit oder Verbundfestigkeit z. B. zeigen, ob ein Material überhaupt aufgrund der gemessenen Werte dafür geeignet ist, den im Mund auftretenden Kräften stand zu halten. Es lassen sich die verschiedensten Eigenschaften von Materialien in-vitro untersuchen und anschließend einsatzspezifisch optimieren. So kann die Qualität eines aus diesen Materialien hergestellten Zahnersatzes besser beurteilt werden.

Um genauere Angaben über die Verweildauer von Zahnersatz in der Mundhöhle machen zu können, sind in-vivo-Untersuchungen von großer Bedeutung. Die unterschiedlichen Einflüsse, die im Mundmilieu auf eine Restauration wirken, können nur am inserierten Zahnersatz erfasst werden [LEEMPOEL et al., 1989].

### **2.6.1.2 In-vivo-Überlebenswahrscheinlichkeit**

Klinische Studien, die Restaurationen nach einer festgelegten Tragedauer beobachten, werden als sogenannte Querschnittsstudien bezeichnet. Longitudinalstudien zeichnen Werte über einen längeren Zeitraum auf. Vor Beginn dieser in-vivo-Retrospektivstudien werden die zu messenden Parameter festgelegt. Die bei der Nachuntersuchung festgestellten Veränderungen werden festgehalten und Ursachen für die Veränderung gesucht [KERSCHBAUM, 1983].

Einen Unterschied hierzu bilden die sogenannten Prospektivstudien. Durch parallel verlaufende Kontrollgruppen mit anderen Parametern können die Untersuchungsparameter als Auslöser für Veränderungen enttarnt werden. Wichtig für den Erfolg einer solchen Studie sind ein langes Zeitintervall und regelmäßige Kontrollen [KERSCHBAUM, 1983], so dass Langzeitstudien mit einem hohen logistischen und organisatorischen Aufwand verbunden sind. Dies kann zu Unregelmäßigkeiten bei Patienten und zu Beobachtungsfehlern aufgrund der wechselnden Untersucher führen [KERSCHBAUM, 1983]. Der Erfahrungszeitraum bei in-vivo-Untersuchungen beträgt bei Langzeituntersuchungen mindestens 5 Jahre [KERSCHBAUM, 2004]. Ergebnisse zu Langzeitstudien von Metall-Keramik-Systemen zeigt Tabelle 16.

Tab. 16: Ergebnisse verschiedener Langzeitstudien zum Versagen von Metall-Keramik-Systemen

STUDIE	DEFEKT	VERSAGENSQUOTE
[TROESTER, (1977)]	9 von 262 Restaurationen Defekt am Metall-Keramik-System	3,4 %
[KERSCHBAUM, (1986)]	Metall-Keramik-System	2,2 %
[SIEPER, (1988)]	Abplatzung Keramik	EM-Keramik-System: 1,7 % EMF-Keramik-System: 2,7 %

### 2.6.1.3 In-vitro Untersuchungen vs. klinische Studien

Um die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus in-vitro-Prüfungen auf in-vivo-Untersuchungen beurteilen zu können, müssen sie miteinander verglichen werden.

Lassen sich die Werte übertragen, kann von der Korrektheit der Ergebnisse ausgegangen werden. Um die Übertragbarkeit von in-vitro-Versuchen auf klinische Fälle zu vereinfachen, wird versucht die Prüfkörperherstellung den Restaurationen der Praxis anzugleichen. Dies geht zu Lasten der Reproduzierbarkeit von Prüfkörpern und man erhält als Nachteil die Erhöhung der Fehlermöglichkeiten [STRIETZEL, 2005].

Problematisch ist außerdem, dass anhand der Prüfverfahren nur einzelne Materialeigenschaften der Prüfkörper getestet werden, während die Ereignisse in der Mundhöhle wesentlich komplexer sind.

Laut KERSCHBAUM können in-vitro-Versuche nicht vor klinischen Misserfolgen bewahren [KERSCHBAUM, 2004].

## 2.7 Kaukraftbelastungen

Von entscheidender Bedeutung, um Aussagen über das Funktionieren von Metall-Keramik-Systemen in der Klinik tätigen zu können, ist die Größe der tatsächlich im Mund erreichbaren Kaukräfte. Tabelle 17 zeigt die Werte, die anhand von unterschiedlichen Studien gemessen wurden.

Tab. 17: Kaukraftbestimmungen verschiedener Studien [MIETKO, 2008]

MAXIMALE KAUKRÄFTE						
Frontzähne		Seitenzähne		Seitenzähne		STUDIE
männlich	weiblich	männlich	weiblich	Bruxismus	Ø Bruxismus	
190 N	-	471 N	-	489 N	441 N	[HELMKINO, INGERVALL, 1978]
250 N nicht unterschieden		300 N nicht unterschieden		-	-	[KÖRBER, LUDWIG, 1983]
-	-	531 - 611 N	409 - 470 N	-	-	[BAKKE et al., 1990]
287 N	243 N	847 N	597 N	-	-	[WALTIMO, KÖNÖNEN, 1993]
300 N nicht unterschieden		450 N nicht unterschieden		-	-	[BALZER, KAUFMANN-JINOIAN, 2002]
146 - 190 N	94 - 120 N	306 N	235 N	-	-	[FERRARIO et al. , 2004]
-	-	1009 N	668 N	806 N	859 N	[COSME et al., 2005]
-	-	587 N	425 N	490 N	522 N	[CALDERON, KOGAVA, 2006]
-	-	1009 N	698 N	-	-	[CANABARRO et al, 2006]

Kräfte, die durch die Zerkleinerung von Nahrung im Mund auftreten, zeigen eine Abhängigkeit von Härte bzw. Konsistenz dieser Nahrung. Hier beträgt die Durchschnittskraft 40 N [EICHNER, 1964], [DE BOEVER et al., 1978], [JÄGER et al., 1989].

Die in der Mundhöhle auftretenden Kaukräfte sind nicht immer axial gerichtet. Auch extraaxiale Scherkräfte [COCA, SCHWICKERATH, 1987] sind möglich. Die Kombination von Druck- und Zugkräften bilden Scher- und Torsionskräfte [STRIETZEL, 2005]. Man unterscheidet zwischen Belastung (N) und Beanspruchung (MPa = 1 N/ 1 mm<sup>2</sup>). Die Belastung wirkt auf den Prüfkörper, die Beanspruchung setzt die Belastung in Bezug zu einer Fläche [STRIETZEL, 2005].

Die Druckfestigkeit eines Materials beschreibt die auf eine bestimmte Fläche bezogene Kraft, die benötigt wird, um einen Körper zu zerbrechen (Keramik) oder zu verformen (Metall). Diese Kraft kann mit den in der Mundhöhle auftretenden Kräften verglichen werden. Die Durchschnittswerte für die maximal auftretenden Kaukräfte liegen bei 150 -

500 MPa. Wichtig ist die Unterscheidung der Belastungsart. Es gibt kurze Maximalbelastungen und zyklische Belastungen [STRIETZEL, 2005].

Es finden zwischen 250.000 - 300.000 Kauzyklen im Jahr statt. Diese Dauerbelastungen können schon bei geringer Kaukraftbelastung das Mikrorisswachstum an vorhandenen Defekten bewirken [DE LONG et al., 1985] und die Frakturgefahr erhöhen [CRAIG, 1989], [STRIETZEL, 2005]. Es kommt zum Bruch, sobald die Kaukräfte der Festigkeit des Verbundsystems überlegen sind.

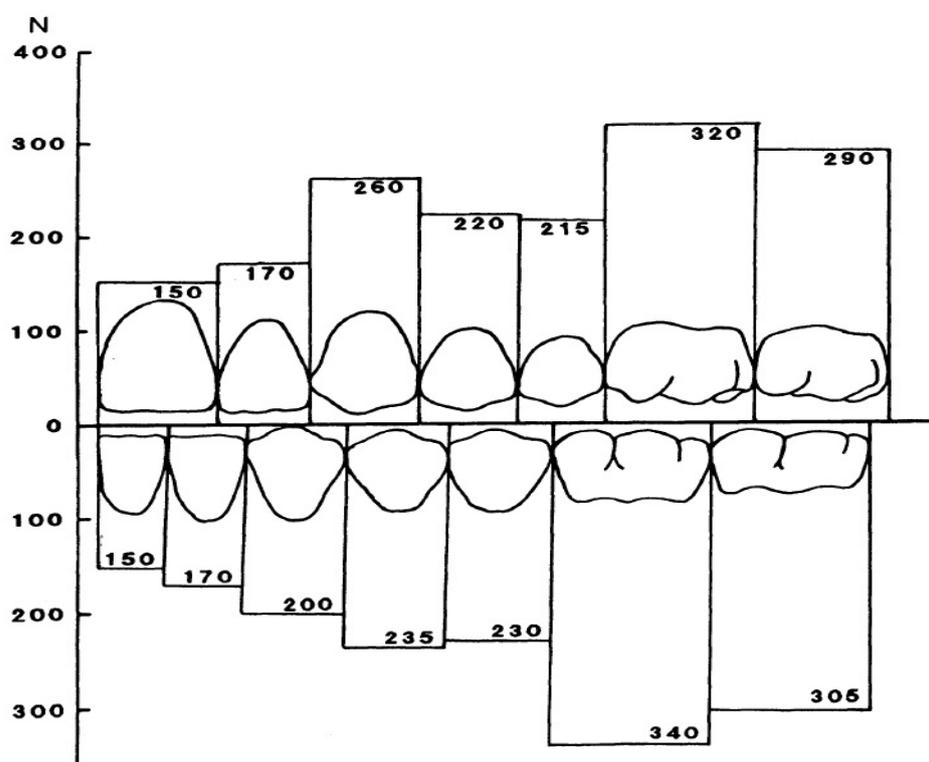


Abb. 2: Durchschnittswerte für Kaukräfte [SCHWICKERATH, 1992], [SCHWALBE, 2009]

## 2.8 Fehlerursachen für das Versagen des Metall-Keramik-Verbundes

Versagen von Metall-Keramik-Systemen äußern sich durch kohäsive Brüche (innerhalb der Keramik) als Ausdruck einer unzureichenden Bindung zwischen dem Verblendmaterial oder adhäsive Brüche (Abplatzung mit Metallgerüstfreilegung) bei mangelnder Bindung zwischen Metall und Keramik [STRIETZEL, 2005]. Bezogen auf den Metall-Keramik-Verbund ist die geringere Anzahl an adhäsiven Brüchen und höhere Rate an kohäsiven Brüchen positiv. Dies deutet auf eine geringere Festigkeit der Keramik und ei-

nen höheren Verbund zwischen Legierung und Keramik hin [STRIETZEL, 2005]. Prüft man die Festigkeit der Keramik, ist die geringere Anzahl an kohäsiven Brüchen im Vergleich zu adhäsiven Brüchen erwünscht. Vor Auftreten der Brüche kann zwischen Haarrissen und Sprüngen unterschieden werden [PSOCH et al., 2006]. Häufige Defekte bei Metall-Keramik-Systemen sind Risse oder muschelförmige Absprengungen am Kronenrand [AUTERHOFF, LENZ, 1985].

### KLINISCHE FEHLERURSACHEN

- Missbeachten der Kontraindikationen, wie ungenügendem Platzangebot, kurze klinische Kronen, zu große Brückenspannen [VOSS, MEINERS, 1980].
- Ungenügende Präparation, so dass im Labor nicht die erforderlichen Keramikschichtstärken eingehalten werden können. Funktionell und ästhetisch unzufriedenes Ergebnis [SEYMOUR et al., 1996], [TAUBER, 2006, [2]].
- Nachträgliches Beschleifen und Entfernen der beim Glanzbrand entstandenen Glanzschicht kann zu Mikrorissen/Sollbruchstellen führen, das Reflexionsverhalten wird reduziert > ↓ Festigkeit und Ästhetik [STRIETZEL, 2005].
- Nicht entfernte Vorkontakte führen zu Keramikabplatzungen [ANUSAVICE et al., 2007].

### LABORTECHNISCHE FEHLERURSACHEN

- Spannungen durch unzureichende Abstimmung der Verbundpartner (z. B.: WAK) führen zum Versagen [SCHWICKERATH, MOKBEL, 1983], [SCHNETTGER et al., 2006], [ANUSAVICE et al., 2007].
- Gerüstmodellation mit scharfen Kanten bilden Ausgangspunkte für Risse in der Keramik [STRIETZEL, 2002], [STRIETZEL, 2005], [STRIETZEL, 2007].
- Zu dünne Gerüste führen zu Verbiegungen beim Aufbrennen der Keramik oder Verformung durch Belastung. Es kommt zu Spannung in der Keramik, Rissen und schließlich zum Versagen des Metall-Keramik-Systems [TAUBER, KAPPERT, 2006], [STRIETZEL, 2007].
- Zu dick verbleibende Oxidschicht auf Gerüstoberfläche führt unter Belastung zum Bruch innerhalb Schicht [STRIETZEL, 2002] und vermindert Haftverbund [SCHWICKERATH, 1989].

- Die Verwendung von stumpfen, rotierenden Schleifkörpern kann Überlappungen und Lufteinschlüsse auf der Metalloberfläche bewirken [HOHMANN, HIELSCHER, 1987] > ↑ Blasenbildung in der Keramik oder Verbundschicht > ↓ Stabilität, ↓ Verbundfestigkeit.
- Mangelnde Bearbeitung (Abstrahlen) kann Bindemittel aus Diamantschleifkörpern hinterlassen [RAU, STRÖBEL, 1992] und zur Blasenbildung in der Keramik führen > ↓ Stabilität und Haftverbund; mangelnde Säuberung (Abdampfen) der Kronenaußen- und -innenflächen hinterlässt Schleifstaub, der beim Brennen oxidiert und grünliche bis gelbliche Verfärbungen erzeugen kann > ↓ Ästhetik [STRIETZEL, 2002/2005].
- Mangelnde Mikroretention der Oberfläche sowie fehlende Erhöhung der Oberflächenenergie durch fehlendes Abstrahlen > ↓ Verbundfestigkeit [TILLER et al., 1985, [1]], [STRIETZEL, 2007], [FISCHER et al., 2009].
- Zeit zwischen Abstrahlen und Opakisieren über 15 Minuten führt zu Verlust der erzeugten Oberflächenenergie und schlechteren Benetzbarkeit der Gerüstoberfläche > ↓ Verbund [TILLER et al., 1985, [2]], [STRIETZEL, 2005].
- Querkontamination mit Schmutz oder anderen Legierungen durch Verwendung gebrauchten Strahlmittels > ↓ Haftverbund [STRIETZEL, 2007].
- Korundreste auf Gerüstoberfläche durch zu großen Strahldruck führen zur Blasenbildung in der Keramik > ↓ Keramikstabilität [BRÄMER, PETTER, 1990]
- Verschmutzungen durch z. B. Fette auf der Legierungsoberfläche durch unzureichendes Abdampfen oder Rekontaminierung der Oberfläche durch Handberührung können Blasenbildung innerhalb der Verbundzone zur Folge haben > ↓ Verbund [WALTER, 1988], [LENZ, 1990].
- Zu dünnflüssige Opaker führen zur Blasenbildung durch unzureichende Verdampfung der Flüssigkeit während der Trocknungsphase, zu dickflüssige Opaker erreichen nicht die gewünschte Benetzung der Gerüstoberfläche > ↓ Haftverbund [STRIETZEL, 2005].
- Zu dünn aufgetragener Keramikschlicker führt zur erschwerten Modellierbarkeit und Formgestaltung; ↑ Blasenbildung und ↑ Schrumpfung während Brandführung aufgrund von unzureichender Verdichtung und ungenügender Verdampfung der Flüssigkeit während Trocknungsphase [STRIETZEL, 2005].

- Keramikschlicker zu trocken führt zu Aufrissen und Abhebungen an der gebrannten Keramikoberfläche > ↓ Keramikfestigkeit, ↓ Verbund [EICHNER, 2000, [3]].
- Verunreinigungen durch Fette/Öle auf der Oberfläche zwischen den Keramikschichtungen durch unzureichendes Abdampfen führen zur Blasenbildung > ↓ Verbund [BEGO, 2011].
- Verunreinigungen im Keramikschlicker und unzureichende Kondensation durch Riffeln, Klopfen und anschließendes Absaugen des Liquids bedingt Poren-/Rissbildung > ↓ Festigkeit der Keramik [EICHNER, KAPPERT, 2005].
- Zu hohe Temperaturen beim Abdampfen durch zu geringen Abstand oder zu langes Verbleiben an einer Stelle führt zur Rissbildung und ↓ Festigkeit [BEGO, 2008/09].
- Zu viele Keramikbrandführungen erhöhen den WAK der Keramik (pro Brand um 0,2 %), dies bedeutet eine Divergenz der WAK der Verbundpartner. Steigt der WAK der Keramik über den WAK der Legierung, kommt es in der Keramik zu Zugspannungen mit der Folge von Rissen/Abplatzungen der Keramik [STRIETZEL, 2005], [ANUSAVICE et al., 2007].
- Ist die Aufheizrate zu schnell oder die Temperatur beim Trocknen zu hoch, kommt es zur unvollständigen Verdampfung des Liquids aufgrund vorzeitiger Sinterung der Keramik an der Oberfläche. Dies ist vor allem bei glyzerinhaltigen Liquids der Fall, da Glycerin langsamer verdampft. Folge ist Blasenbildung in der Keramik und ↓ Festigkeit [STRIETZEL, 2007]; umgekehrt können zu hohe Aufheizraten einen zu schnellen Wasserentzug des Schlickers provozieren > ↑ Porenbildung > ↓ Festigkeit [STRIETZEL, 2005].
- Brennen ohne Vakuum des Opaker-, Dentin-, und Korrekturbrandes lässt das Wasser/Glyzerin des Schlickers nicht entweichen. Es kommt zur Blasenbildung und Trübung > ↓ Festigkeit + ↓ Ästhetik [EICHNER, 1985].
- Zu große Hitzeentwicklung der Keramik beim Beschleifen kann zu Rissen führen > ↓ Festigkeit [BEGO, 2011].

### 3 MATERIAL UND METHODEN

Es wurden insgesamt 198 Prüfkörper aus drei verschiedenen aufbrennfähigen Dentallegierungen der Firma BEGO hergestellt, mit der Presskeramik BeCePress der Firma BEGO verblendet und die Bruchfestigkeit in vitro mit Hilfe des VOSS-Testes in Abhängigkeit verschiedener Brenntemperaturen des Washbrandes und unterschiedlicher Keramikverblendetechniken gemessen. Als Referenzserie dienten Prüfkörper, die mit Hilfe der konventionellen Schichttechnik mit Keramik der Firma VITA (VM 13) verblendet wurden.

#### 3.1 Verwendete Materialien

##### 3.1.1 Verwendete Keramiken

Als Verblendungsmaterial wurde die BeCePress Keramik (Fa. BEGO) genutzt. Insgesamt stellte man 90 Prüfkörper mittels der Keramik-Maltechnik aus BeCePress Ingots CP und weitere 90 Prüfkörper mit Hilfe der Keramik-Schichttechnik aus BeCePress-Ingots CPO (Fa. BEGO) mit opaker Dentineinfärbung zur Pressung des Dentinkerns im Cutback Verfahren her. Letztere wurden anschließend mit der BeCePress Enamel B3 (Fa. BEGO) Schichtmasse aufgebaut. Als Referenzserie verblendete man 18 Kronen in der konventionellen Schichttechnik mit der Feldspat-Verblendkeramik VM 13 (Fa. VITA).

Tab. 18: Zusammensetzung BeCePress Press-Ingot CP/CPO (Fa. BEGO):

Beschreibung		Silikatkeramik mit Alkalimetallen, Erdalkalimetallen, Erdmetallen
Inhaltsstoffe		Oxide (Silicium, Aluminium, Kalium, Natrium, Calcium, Bor, Cer, Titan, Barium), Pigmente
Bestandteil	Oxide	Pigmente
Gehalt	97 - 99,9 %	0,1 - 3 %

Tab. 19: Physikalische und chemische Eigenschaften BeCePress Press-Ingot CP/CPO (Quelle: Fa. BEGO)

Aggregatzustand	fest
Form	zylindrischer Keramikkörper
Farbe	verschiedene Zahnfarben

Geruch	geruchlos	
Siedepunkt/Siedebereich	2230 °C (Siliciumdioxid) 2980 °C (Aluminiumoxid)	
Schmelztemperatur/-bereich	ca. 1000 °C 1610 °C (Siliciumdioxid) 2015 °C (Aluminiumoxid)	
Relative Dichte	2,40 g/mL (20 °C)	
Löslichkeit:		
Wasserlöslichkeit	unlöslich	
Fettlöslichkeit	unlöslich	
Löslichkeit in organischen Lösungsmitteln	unlöslich	
Keramik	BeCePress	
Typ	II	
Klasse	1	
WAK 2 x Brand (25 - 500 °C) [ $\times 10^{-6} K^{-1}$ ]	13,0	
WAK 4 x Brand (25 - 500 °C) [ $\times 10^{-6} K^{-1}$ ]	13,0	
Tg 2 x/ 4 x Brand [°C]	590	
chem. Löslichkeit [ $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ]	Messwert	$\leq 20$
	ISO 6872	$< 100$
3-Punkt-Biegefestigkeit [MPa]	Messwert	$\geq 125$
	ISO 6872	$> 100$
Chargennummer: CP4 à 5 g/ CP4 à 2 g	020606/020606	
CPO4 à 5 g/ CPO4 à 2 g	011008/630608	

Tab. 20: Eigenschaften der Keramik VM 13 (Quelle: Fa. VITA)

Physikalische Eigenschaften	Maßeinheit	Wert
WAK(25 - 500 °C) OPAQUE	$10^{-6} K^{-1}$	13,6 - 14,0
Transformationspunkt OPAQUE	°C	ca. 570/577
WAK (25 - 500 °C) BASE DENTINE	$10^{-6} K^{-1}$	13,1 - 13,6
Erweichungspunkt BASE DENTINE	°C	ca. 635
Transformationspunkt BASE DENTINE	°C	ca. 560/565
Löslichkeit BASE DENTINE	$\mu\text{g}/\text{cm}^2$	ca. 12
Dichte BASE DENTINE	$\text{g}/\text{cm}^3$	ca. 2,5
Biegefestigkeit BASE DENTINE	MPa	ca. 120
Mittlere Korngröße BASE DENTINE	$\mu\text{m}$	ca. 18
Verbundprüfung (nach ISO 9693) BASE DENTINE	MPa	ca. 43

### 3.1.2 Verwendete Legierungen

Zur Herstellung der Metallkappchen wurden 3 verschiedene edelmetallfreie Aufbrennlegierungen verwendet. Die nickel- und berylliumfreien Legierungen Wirobond C und Wirobond 280 und das Wiron Light der Firma BEGO.

#### WIROBOND C

Tab. 21: Eigenschaften von Wirobond C (Quelle: Fa. BEGO)

Hersteller	BEGO
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	8,5
BEGO Farbcode	silber
WAK [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	25 - 500 °C 20 - 600 °C
	14,0 14,2
Elastizitätsmodul [GPa]	ca. 210
Vickershärte (HV 10) nach Brand	310
Bruchdehnung (A <sub>5</sub> ) [%]	6
Zugfestigkeit (R <sub>m</sub> ) [MPa]	680
Dehngrenze (R <sub>p 0,2</sub> ) [MPa]	480
Schmelzintervall [°C]	1370 - 1420
Gießtemperatur [°C]	ca. 1500
Typ	4 (extrahart)
Chargennummer	3424/3356

Tab. 22: Zusammensetzung von Wirobond C (Quelle: Fa. BEGO)

Legierungszusammensetzung (in Masse %)						
Kobalt	Chrom	Molybdän	Wolfram	Silizium	Eisen	Cer
Co	Cr	Mo	W	Si	Fe	Ce
61,0	26,0	6,0	5,0	1,0	+	+

#### WIROBOND 280

Tab. 23: Eigenschaften von Wirobond 280 (Quelle: Fa. BEGO)

Hersteller	BEGO
BEGO Farbcode	silber
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	8,5
WAK [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	25 - 500 °C 20 - 600 °C
	14,0 14,2

Elastizitätsmodul [GPa]	ca. 220
Vickershärte (HV 10) nach Brand	280
Bruchdehnung ( $A_5$ ) [%]	14
Zugfestigkeit ( $R_m$ ) [MPa]	680
Dehngrenze ( $R_{p\ 0,2}$ ) [MPa]	540
Schmelzintervall [°C]	1360 - 1400
Gießtemperatur [°C]	ca.1500
Typ	5
Chargennummer	12464/12399

Tab. 24: Zusammensetzung von Wirobond 280 (Quelle: Fa. BEGO)

Legierungszusammensetzung (in Masse %)						
Kobalt	Chrom	Molybdän	Wolfram	Gallium	Silizium	Mangan
Co	Cr	Mo	W	Ga	Si	Mn
60,2	25	4,8	6,2	2,9	+	+

## WIRON LIGHT

Tab. 25: Eigenschaften von Wiron Light (Quelle: Fa. BEGO)

Hersteller	BEGO
BEGO Farbcode	silber
Dichte [ $\text{g/cm}^3$ ]	8,2
WAK [ $10^{-6} \text{K}^{-1}$ ]	25 - 500 °C 13,8 20 - 600 °C 14,1
Elastizitätsmodul [GPa]	ca. 200
Vickershärte (HV 10) nach Brand	260
Bruchdehnung ( $A_5$ ) [%]	10
Zugfestigkeit ( $R_m$ ) [MPa]	880
Dehngrenze ( $R_{p\ 0,2}$ ) [MPa]	470
Schmelzintervall [°C]	1200 - 1280
Gießtemperatur [°C]	ca. 1350
Typ	4
Chargennummer	12546/12547

Tab. 26: Zusammensetzung von Wiron Light (Quelle: Fa. BEGO)

Legierungszusammensetzung (in Masse %)						
Nickel	Chrom	Molybdän	Silizium	Niob	Mangan	Bor
Ni	Cr	Mo	Si	Nb	Mn	B
64,5	22	10	2,1	+	+	+

## 3.2 Herstellung der Prüfkörper

Es wurden für die Materialprüfung vollverblendete Kronen für den Zahn 21 hergestellt, da der VOSS-TEST eine keramisch verblendete Krone vorsieht [VOSS, 1969].

### 3.2.1 Herstellung der Metallkappchen

Es wurden Prüfkörper aus drei aufbrennfähigen, edelmetallfreien Legierungen der Firma BEGO hergestellt. Die Prüfkörperanzahl betrug 198, wobei jeweils 66 Prüfkörper aus einer Legierung gegossen wurden. Die Herstellung der Metallkappchen war in Anlehnung an die Richtlinien des Biegedruckversuches nach VOSS bei allen Legierungen dieselbe. Nach den Vorgaben von VOSS wird an einem Gipsmodell der linke mittlere obere Frontzahn beschliffen [VOSS, EICHNER, 1978]. Diese Stumpfpräparation dient als Vorlage zur Herstellung von vorgefertigten, rückstandslos verbrennbaren Frontzahn-Kunststoffkappchen.



Abb. 3: Kunststoffkappchen

Zur Stabilisierung der Kunststoffkappchen in der Muffel und zur besseren Handhabung beim späteren Opakisieren wurde jedes Kappchen an der Palatinalfläche mit einer Y-

Retention versehen. Insgesamt wurden 15 Muffeln mit jeweils 12 Kunststoffkämpchen und 3 Muffeln mit jeweils 6 Kunststoffkämpchen eingebettet. Die Kunststoffkämpchen fixierte man mit Hilfe von Gusskanalwachs auf einen trichterförmigen Einbettsockel. Um der Expansion der Einbettmasse entgegenzuwirken, wurde der Muffelring mit Fließpapier ausgekleidet. Als Einbettmasse diente das phosphatfreie Bellavest SH (Fa. BEGO), welches mit der Einbettflüssigkeit Begosol HE (Fa. BEGO) in einer Konzentration von 40 % im Vakuummischgerät D-VM 10 (Fa. HARNISCH & RIETH) gemischt wurde. Nach Abbinden der Einbettmasse wurden die Metallkämpchen nach Herstellerangaben aus der jeweiligen Legierung gegossen. Als Vorwärmofen wurde ein Program Controller S 17 (Fa. NABERTHERM) verwendet. Der Guss wurde in einer Induktionsschleuder SEF-Erscem Typ CV 10 (Fa. COWADENTAL) durchgeführt. Nach dem Ausbetten wurden alle Metallkämpchen mit Korox 250 (Aluminiumoxid) der Fa. BEGO bei einem Druck von 4 bar in einem Abstrahlgerät Basic Quattro (Fa. RENFERT) abgestrahlt. Es wurde bewusst kein Umlaufstrahlgerät genutzt, um einer Reduzierung der Haftung zwischen Keramik und Metall durch die Verschmutzung der Metalloberfläche mit Feinstaub von Einbettmasseresten entgegen zu wirken. Die Gusskanäle wurden mit einer Trennscheibe entfernt und die Kämpchen mit Hilfe eines Handstücks und rotierenden kreuz- und feinverzahnten Hartmetallfräsern bearbeitet. Die gesamte Oberfläche wurde von Gussperlen befreit und auf die erforderliche Dicke von 0,4 mm reduziert. Dabei wurde nur in eine Richtung geschliffen. Jedes Kämpchen wurde auf die erforderliche Schichtdicke mit Hilfe eines Tasterzirkels überprüft.

### **3.2.2 Keramikverblendung**

Aufgrund von unterschiedlichen Verblendungsmethoden wurden die insgesamt 66 Metallkämpchen pro Legierung in 5 Gruppen à 12 Kämpchen und einer Gruppe à 6 Kämpchen, die als Referenzserie diente, unterteilt. Jede der 5 Gruppen à 12 Kämpchen wurde nochmals in 2 Untergruppen à 6 Kämpchen unterteilt, um statistisch relevante Ergebnisse zu erzielen. Somit wurden insgesamt pro Legierung 11 Serien mit je 6 Kronen geprüft. Bei den 5 Gruppen à 12 Kämpchen wurden die Brenntemperaturen des 1. Opakerbrandes (1. OB) variiert. Es erfolgte pro Gruppe der 1. OB mit einer Temperatur von entweder 900 °C, 950 °C, 1000 °C, 1050 °C oder 1150 °C. Die 6. Gruppe à 6 Kämpchen diente als Referenzserie und wurde konventionell nach Herstellerangaben gefertigt.

### 3.2.2.1 Opakisieren

Alle Käppchen wurden vor dem 1. Opakisieren mit dem Abstrahlgerät Basic Quattro (Fa. RENFERT) mit Korox 250 (Fa. BEGO) bei 3 - 4 bar abgestrahlt. Um staub- und fettfreie Käppchen für einen besseren Verbund zur Keramik zu erhalten, mussten alle Prüfkörper gründlich gereinigt werden. Hierbei kam das Dampfstrahlgerät Steamy Mini (Fa. REITEL) zum Einsatz. Danach wurden sie nur noch mit Hilfe einer Arterienklemme an der extra angebrachten Y-Retention gehalten, um eine mögliche Verunreinigung zu vermeiden. Um die erzeugte Oberflächenaktivierung durch das Abstrahlen für eine bessere Benetzbarkeit auszunutzen, erfolgte der 1. OB innerhalb der nächsten 15 Minuten, so dass der aufgetragene Opaker-Schlicker besser in die Mikroporositäten der Legierung eindringen konnte [STRIETZEL, 2005]. Als Opaker wurde in den Gruppen 1 - 5 BeCePress Opaque Paste B3 (Fa. BEGO) für den 1. und 2. OB verwendet. In der Gruppe 6 opakisierete man die 6 Käppchen für den 1. OB mit der Wash Opaque Paste VM 13 und für den 2. OB mit der Opaque Paste VM 13 (Fa. VITA) nach Herstellerangaben. In den Gruppen 1 - 5 wurde vor Aufbringen der Opakermasse diese mit Hilfe eines Achatspatels gut durchmischt und gegebenenfalls mit etwas Liquid Opaque Paste (Fa. BEGO) verdünnt, um für alle Käppchen einen gleichmäßigen Schlicker herzustellen. Die erste Opakerschicht wurde mit Hilfe eines dünnen Pinsels auf die Metalloberfläche einmassiert, um eine möglichst hohe Benetzung des Opakerschlickers auch der tieferen Porositäten des Gerüsts zu erzielen. Die gesamte Oberfläche war nach dem 1. OB zu ca. 70 % mit Opaker bedeckt. Bei jedem Brennvorgang wurden insgesamt 6 Käppchen auf einem Brenngutträger im Programmat P300 (Fa. IVOCLAR) gebrannt. Die jeweils 5 unterschiedlichen Endtemperaturen der 1. OB in jeder Gruppe (1 - 5) zeichneten sich optisch durch eine Abnahme des Glanzgrades der Oberfläche mit abnehmender Temperatur ab. Zwischen 1. und 2. Opakerbrand wurde jedes Käppchen wieder gründlich abgedampft. Der 2. Opakerauftrag deckte das Metallkäppchen vollständig ab. Hier erfolgte die Brandführung nach Herstellerangaben. Die Käppchen der Referenzserie wurden nach Herstellerangaben opakisiert. Hier erfolgten ebenfalls 1. und 2. OB.

Tab. 27: Opaker-Brenntabelle für BeCePress (Fa. BEGO) 1. Opakerbrand

	Start- temperatur °C	Ofen- schließzeit min	Temperatur- anstieg °C	Vaku- um- start °C	End- temperatur °C	Haltezeit min
1.Opaker- brand	400	8	80	450	nach Vorgabe der Frage- stellung der Dissertation	1

Tab. 28: Opaker-Brenntabelle für BeCePress (Fa. BEGO) 2. Opakerbrand

	Start- temperatur °C	Ofen- schließzeit min	Temperatur- anstieg °C	Vaku- um- start °C	End- temperatur °C	Haltezeit min
2.Opaker- brand	400	8	80	450	950	1

Tab. 29: Opaker-Brenntabelle für VM 13 (Fa. VITA): Washbrand

	Start- temperatur °C	Ofen- schließzeit min	Temperatur- anstieg °C	End- temperatur °C	Haltezeit min	Vaku- um- haltezeit min
Paste	500	4	75	940	2	5.52

Tab. 30: Opaker-Brenntabelle für VM 13 ( Fa. VITA): Opakerbrand

	Start- temperatur °C	Ofen- schließzeit min	Temperatur- anstieg °C	End- temperatur °C	Haltezeit min	Vaku- um- haltezeit min
Paste	500	4	75	920	1	5.36

### 3.2.2.2 Herstellung der vollgepressten Prüfkörper

Nach dem Opakisieren der Käppchen wurden alle Y-Retentionen auf ca. 1 mm gekürzt, damit die Käppchen in einen vorgefertigten Silikonschlüssel passten. Jedes Metallgerüst wurde erneut abgedampft. In jeder der Gruppen 1 - 5 wurden jeweils 6 Käppchen mittels der Keramik-Maltechnik und 6 Käppchen mit Hilfe der Keramik-Schichttechnik der Fa. BEGO verblendet, so dass man pro Legierung 30 vollgepresste (VG) und 30 teilgepresste (TG) Prüfkörper erhielt. Zur Herstellung der vollgepressten keramisch verblendeten Kronen nutzte man zur Standardisierung der Kronenform ein vorgefertigtes,

auf die Käppchen abgestimmtes Frontzahn-Gipsmodell mit Silikonschlüssel, in welchen man flüssiges Wachs (Modellierwachs FC; Fa. BEGO) laufen ließ und nach dem Aushärten eine fertig aufgewachste Frontzahnkrone ausbettete. Fehlerhafte Wachsstellen wurden per Hand ausgebessert und die Kronenränder gleichmäßig mittels eines Aufwachsinstrumentes nachgezogen. Alle aufgewachsenen Kronen wurden mit einem Tasterzirkel auf gleichmäßige Schichtstärke überprüft (labial 1,3 mm; palatinal 1,6 mm; inzisal 2,6 mm). Aus Gründen der Zeitersparnis wurden die Gipsmodelle samt Silikonschlüssel mehrmals doubliert, so dass 6 Kronen einer Serie parallel aufgewachst werden konnten.



Abb. 4: vorgefertigtes Gipsmodell mit opakiertem, abgedampftem Käppchen und Silikonschlüssel

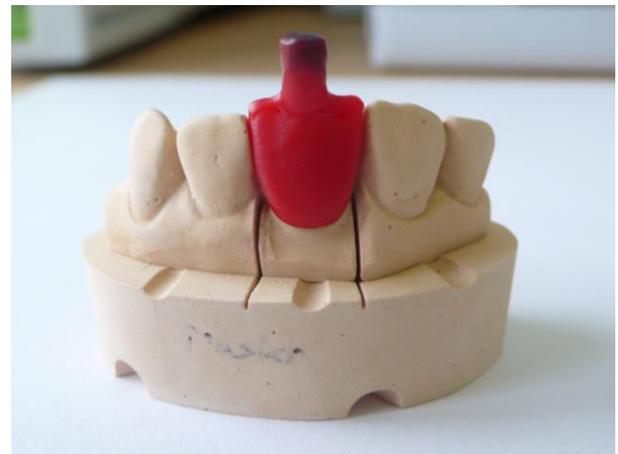


Abb. 5: aufgewachste Frontzahnkrone auf Gipsmodell nach dem Ausbetten aus Silikonschlüssel und Versäubern

Anschließend wurden diese 6 Prüfkörper einer Serie auf den Presssockel einer Pressmuffel über den gestrichelten Sektorenlagen am Presskanalformer angestiftet und die Linien durch einen Wachspunkt markiert. Um Pressfehler zu vermeiden, musste jede Krone mit einem separaten Presskanal ( $\varnothing$  3 mm, 3 - max. 7 mm lang) im Abstand von 5 mm zueinander und 10 mm von der äußeren Begrenzung der Muffeloberfläche angestiftet werden. Um Einschlüsse von Einbettmasse im gepressten Objekt zu vermeiden, wurden die Ansatzstellen an der Muffelbasis und der Presskanäle am Pressobjekt abgerundet. Muffelbasis und Muffellehre wurden vor jedem Gebrauch sehr dünn mit Silikonspray benetzt. So konnte eine hohe Trennung zur Einbettmasse gewährleistet werden. In diesem Fall wurde das einzubettende Objekt vor dem Einbetten nicht gewogen, um die Keramik-Pellet Menge zu ermitteln. Die richtige Pelletauswahl (5 g und

2 g) erfolgte aufgrund von Erfahrungswerten und war bei allen zu pressenden Muffeln wegen der gleichen Anzahl an Kronen (6 pro Muffel) gleich.



Abb. 6: Zum Einbetten angestiftete Kronen auf Presssockel



Abb. 7: Einbetten der aufgewachsenen Prüfkronen

Als Muffelsystem wurde das BeCePress Muffelsystem SecuPress für 300 g Einbettmasse genutzt. Als Einbettmasse diente die phosphatgebundene Präzisionseinbettmasse Bellavest SH (Fa. BEGO), welche mit der Einbettmassenflüssigkeit BegoSol HE (Fa. BEGO) mit einer Liquidkonzentration von 70 % in einem Vakuumanmischgerät Twister Evolution (Fa. RENFERT) angemischt wurde. Mit Hilfe eines kleinen Pinsels wurden zuerst die Kronen bestrichen und anschließend auf einem Rüttler die restliche Einbettmasse in einem dünnen Strahl bis knapp unter die Begrenzungsmarkierung in die Pressmuffel eingebracht. Danach wurde die Muffellehre bis zum Anschlag in den Muffelring geschoben, so dass zu viel eingebrachte Einbettmasse aus der oberen Öffnung austreten konnte und somit auch die restliche Luft aus der Muffel verdrängt wurde. Zum Aushärten wurde jede Muffel an einen ruhigen Ort gestellt und es wurde die vom Hersteller empfohlene Aushärtezeit von 27 Minuten beachtet. Dadurch konnte der Gefahr von Mikrorissen in der Einbettmasse und ein späteres Platzen beim Pressen entgegengewirkt werden. Das Abbinden erfolgte ohne Druck. Nach dem Entfernen der Muffel, Muffelbasis und Muffellehre wurden eventuelle Einbettmassenüberschüsse im Hohlraum der Muffellehre geglättet, damit eine kippsichere Position auf dem Dreifuß im Pressofen gewährleistet werden konnte. Zum Austreiben des Wachses wurde jede Muffel mit der Öffnung nach unten in den Vorwärmofen Miditherm 100 (Fa. BEGO) gestellt. Das Vorwärmen erfolgte schnell (speed), damit eine zu starke Oxidbildung der

edelmetallfreien Oberfläche vermieden werden konnte. Die Vorwärmtemperatur betrug 850 °C und die Vorwärmzeit mit Temperaturhaltezeit 90 Minuten. Zum Pressen wurden Einweg-Press-Stempel der Firma BEGO verwendet. Es wurden BeCePress CP Ingots (Fa. BEGO) der Größe 2 g und 5 g verwendet. Der 2-g-Press-Ingot lag dabei auf dem 5-g-Press-Ingot. Vor dem ersten Pressen wurde sichergestellt, dass der Keramikpressofen Vario Press 300 (Fa. ZUBLER) vorgewärmt war. Die Muffel wurde auf dem Dreifuß des Pressofens kippstabil positioniert, die beiden Press-Ingots in die Muffel eingebracht, der Einweg-Press-Stempel in die Muffelöffnung gesteckt und das Pressprogramm gestartet. Bevor der darauffolgende Pressvorgang gestartet wurde, kühlte der Pressofen wieder auf die Starttemperatur von 700 °C ab.

Tab. 31: Presstabelle BeCePress CP Ingots (Fa. BEGO)

Muffelgröße [g]	300
Starttemperatur [°C]	700
Temp.-Steigrate [°C/min]	60
Pressmenge [g]	1 x 2 und 1 x 5
Presstemperatur [°C]	920
Haltezeit [min]	30
Presszeit [min]	15
Pressdruck [bar]	5
Vakuum (Absolutdruck)	50 hPa (mbar) bzw. 720 mmHg

Durch die hohe Staubentwicklung wurde beim Ausbetten mit Schutzbrille und Staubmaske gearbeitet. Um Schäden an den auszubettenden Objekten zu vermeiden, bestimmte man die Einpresstiefe des Stempels mittels eines neuen Stempels und markierte diese mit einem Bleistift. Desweiteren wurden die durch die Wachspunkte markierten Sektoren der Pressobjekte auf der Außenfläche der Muffel gekennzeichnet. Daraufhin kürzte man die Muffel auf Höhe der Einpresstiefe des Press-Stempels horizontal und gegenüberliegend an der äußeren horizontalen Linie. Es kamen diamantierte Trennscheiben (Fa. HORICO) mit einem Durchmesser von 45 mm zum Einsatz. Die entstandene Einbettmassenscheibe strahlte man zunächst mit Perlablast micro 50 µm (Fa. BEGO) bei 4 bar ab und tastete sich vorsichtig an die freizulegenden Prüfkörper heran. Sobald die Kronen erreicht wurden, änderte man den Abstrahlruck von 4 auf 2 bar.



Abb. 8: ausgebettete, abgestrahlte vollgepresste Prüfkörper

Die Presskanäle trennte man unter ausreichender Benetzung der Oberfläche mit Wasser mittels scharfer und dünner Diamanttrennscheiben ab (Fa. KOMET) und glättete mit Hilfe von rotierenden Instrumenten die Oberfläche. Um hohe Schleiftemperaturen zu vermeiden, wurde darauf geachtet mit nicht zu hohem Anpressdruck zu arbeiten. Wie schon bei den aufgewachsenen Kronen geschehen, prüfte man mittels Tasterzirkel erneut die richtigen Schichtdicken und korrigierte gegebenenfalls, so dass alle Kronen die gleichen Maße (la: 1,3 mm, i: 2,6 mm, pal: 1,6 mm) aufwiesen. Vor dem Glanzbrand wurden alle Kronen erneut abgedampft, wobei darauf geachtet wurde nicht zu lange mit dem Dampfstrahler auf einer Stelle zu bleiben, um zu hohe Temperaturen und ein Abplatzen der Keramik zu vermeiden. Anschließend wurden die 6 Prüfkörper mit der Glasurpaste Glaze Paste (Fa. BEGO) beschickt und im Keramikbrennofen Programat P 300 (Fa. IVOCLAR) gebrannt. Durch das Auftragen der Glasurmasse wurde die Oberfläche geglättet und die Prüfkörper erhielten ihren Glanz. Die Glasurpaste wurde großzügig aufgetragen, um einen gleichmäßigen Glanz auf der Oberfläche zu erzielen.

Tab. 32: Brenntabelle Glasurbrand für vollgepresste BeCePress Kronen (Fa. BEGO)

	Starttemperatur °C	Ofenschließzeit min	Temp.anstieg °C/min	Vakuumsstart °C	Endtemperatur °C	Temp.haltezeit min	Langzeitabkühlung °C
Glasurbrand	400	5	45	-	790	1	600

Der Metallrand wurde mit Gummis poliert und die Kronen wurden zum Entfernen des Oxids intracoronal mit Korox 50 (Fa. BEGO) bei 2 - 2,5 bar abgestrahlt.



Abb. 9: vollgepresste Prüfkronen nach Glanzbrand

### 3.2.2.3 Herstellung der teilgepressten Prüfkörper

Zur Herstellung der teilgepressten keramisch verblendeten Kronen bediente man sich der BeCePress Keramik-Schichttechnik. Man ging wie bei den bereits beschriebenen vollgepressten keramisch verblendeten Kronen vor. Es wurde ebenfalls zur Standardisierung der Kronenform ein vorgefertigtes, auf die Käppchen abgestimmtes Frontzahn-Gipsmodell mit Silikonschlüssel genutzt. Im Unterschied zu den vollgepressten Kronen bettete man bei den teilgepressten Kronen (Modellierwachs FC; Fa. BEGO) eine Frontzahnkrone mit aufgewachstem Dentinkern aus. Hier wurden ebenfalls mit einem Tasterzirkel die richtigen Schichtdicken überprüft und gegebenenfalls korrigiert (Ia: 1,0 mm; pal: 1,6 mm). Als Presskeramik verwendete man BeCePress Keramik-Opak-Ingots (CPO). Die weitere Verarbeitung erfolgte nach der gleichen Methode wie zur Herstellung der vollgepressten Prüfkörper.

Nach dem Ausbetten der teilgepressten Prüfkörper wurden die Presskanäle mit dünnen Diamanttrennscheiben abgetrennt und die gesamte Oberfläche des opaken Dentinkerns mit rotierenden Diamantschleifkörpern bearbeitet, um die Keramik von Reaktionskontakten mit der Einbettmasse zu reinigen. Der opake Dentinkern wurde inzisal in Form geschliffen und die richtigen Schichtdicken erneut mittels Tasterzirkel kontrolliert, um bei allen Prüfkörpern die gleichen Maße zu erzielen. Anschließend dampfte man alle Prüfkörper mit dem Dampfstrahler Steamy Mini (Fa. REITEL) ab und achtete dabei auf einen genügenden Abstand, um eine Überhitzung der Keramik zu vermeiden. Danach wurden alle Prüfkörper nur noch mit einer Arterienklemme gehalten.

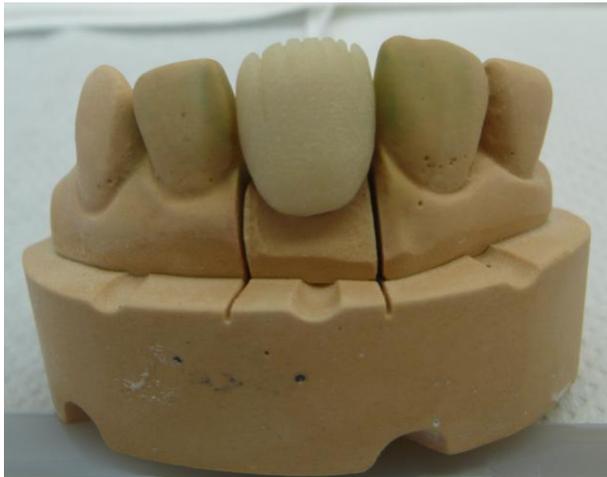


Abb. 10: teilgepresster Dentinkern in Keramik auf Gips-Modell

Alle Frontzahnkronen wurden auf einem Gipsmodell mit der BeCePress Keramik Enamel B3 (Fa. BEGO) geschichtet, welches jeweils vorher mit dem Isolierstift Modisol (Fa. VITA) gegen Keramik isoliert wurde. Hierdurch konnte ein Festkleben der Schichtkeramik am Modell und ein Abziehen der Flüssigkeit in den Gips vermieden werden. Bei der ersten Schichtung wurde die Frontzahnkronenform überkonturiert, da es bei Keramikschichtungen zu Sinterschrumpfungen kommt (20 %). Zum Verdichten der Keramik wurde die überschüssige Flüssigkeit BeCePress Liquid Modelling (Fa. BEGO) durch Riffelbewegungen mittels eines Instrumentengriffes oder durch vorsichtiges Klopfen des Modells auf der Arbeitsfläche an die Oberfläche der geschichteten Keramik befördert und mit Hilfe eines saugfähigen Tuches abgesaugt. Anschließend wurden jeweils 6 Kronen einer Gruppe auf einem Brenngutträger positioniert und nach Herstellerangaben gebrannt. Nach dem ersten Individualbrand wurde jede Frontzahnkrone mit scharfen Diamantschleifkörpern beschliffen und auf die erforderlichen Schichtdicken reduziert. Überprüft wurden die Maße (la: 1,3 mm/ pal: 1,6 mm/ i: 2,6 mm) erneut durch die Benutzung eines Tasterzirkels. Fehlstellen und durch die Sinterschrumpfung entstandene zu geringe Schichtstärken wurden durch erneute Schichtung mit BeCePress Enamel B3 (Fa. BEGO) ausgebessert und jede Gruppe mit einem zweiten Individualbrand gebrannt. Vor der zweiten Keramikschichtung wurde jede Krone gründlich abgedampft.

Tab. 33: Brenntabelle 1.+ 2. Individualbrand für teilgepresste Kronen (Fa. BEGO)

	Start- temperatur °C	Ofen- schließzeit min	Temp. anstieg °C/min	Vaku- um- start °C	End- tempe- ratur °C	Temp. halte- zeit min	Entspannungs- kühlen °C
1. Individual- brand	400	4	45	450	830	1	600
2. Individual- brand	400	4	45	450	820	1	600

Nachdem alle Kronen auf gleiche Schichtstärken hin überprüft und mittels Diamant-schleifkörper auf gleiche Form und Größe geschliffen worden waren, wurden sie abgedampft und es erfolgte der Glanzbrand wie bei der Herstellung der vollgepressten Frontzahnkronen nach Herstellerangaben. Alle 1. und 2. Individualbrände und Glanzbrände wurden im Keramikbrennofen Programat P300 (Fa. IVOCCLAR) durchgeführt.

Tab. 34: Brenntabelle Glasurbrand für teilgepresste Kronen BeCePress Glaze Paste (Fa. BEGO)

	Start- temperatur °C	Ofen- schließzeit min	Temp. anstieg °C/min	Vaku- um- start °C	End- tempe- ratur °C	Temp. halte- zeit min	Entspannungs- kühlen °C
Glasur- brand	400	4	45	450	800	1	600

Abschließend strahlte man alle teilgepressten Frontzahnkronen mit KOROX 50 (Fa. BEGO) bei 2 - 2,5 bar intracoronal vorsichtig aus und entfernte so die durch den Brand entstandene Oxidschicht.

### 3.3 Herstellung der Referenzserie

Die Käppchen der Gruppe 6 schichtete man konventionell mit Base Dentine VM 13 (Fa. VITA) auf demselben Gipsmodell wie auch die teilgepressten Kronen zuvor und führte den 1. Dentinbrand durch. Anschließend wurde der gebrannte Dentinkern mittels eines Handstücks und rotierenden Instrumenten in Form geschliffen, so dass man einen Dentinkern erhielt, der die gleiche Form und Schichtstärken aufwies wie die Dentinkerne der teilgepressten Frontzahnkronen. Anschließend wurden die Kronen gründlich abgedampft und die Schmelzanteile der Kronen geschichtet. Auch bei der zweiten Schichtung verwendete man Base Dentine VM 13 (Fa. VITA). Aufgrund der Sinter-

schrumpfung wurde die Keramik etwas überdimensioniert aufgetragen. Nach dem 2. Dentinbrand wurden die Kronen mittels Tasterzirkel auf gleiche Schichtstärke (la: 1,3 mm; pal: 1,6 mm; i: 2,6 mm) hin überprüft und mit Diamantschleifkörpern korrigiert, so dass alle 18 Kronen in Form und Stärke denen der anderen Gruppen gleich waren. Vor dem letzten Brand, dem Glanzbrand, dampfte man jede Krone gründlich ab und brannte anschließend jeweils die 6 Kronen einer Legierung auf einem Brenngutträger nach Herstellerangaben. Es wurde keine Glasurpaste aufgetragen.

Abschließend strahlte man alle konventionell geschichteten Frontzahnkronen mit KOROX 50 (Fa. BEGO) bei 2 - 2,5 bar intracoronal vorsichtig ab und polierte den Metallrand mit einem Gummi.

Tab. 35: Brenntabelle für die Keramik VM 13 (Fa. VITA)

	Start- temperatur °C	Ofen- schließ- zeit min	Aufheiz- zeit min	Temp. anstieg °C/min	End- temperatur °C	Haltezeit für Endtemp. min	Vaku- um- haltezeit min
Wash- brand	500	4	5.52	75	940	2	5.52
Opaker- brand	500	4	5.36	75	920	1	5.36
1. Dentin- brand	500	6	6.55	55	880	1	6.55
2. Dentin- brand	500	6	6.44	55	870	1	6.44
Glanz- brand	500	0	4.45	80	880	2	-

### 3.4 Herstellung der Prüfstümpfe

Zur Durchführung des VOSS-Testes wurden Metallstümpfe aus WIRONIT extrahart (Fa. BEGO) hergestellt. Hierzu ließ man rückstandslos verbrennendes FC-Wachs (Fa. BEGO) in eine vorgefertigte Silikonform laufen. Nach dem Aushärten des Wachses bettete man den Wachsstumpf aus und wiederholte den Vorgang bis man insgesamt 12 Wachsstümpfe erhielt. Mittels Lineal und Tasterzirkel überprüfte man die Länge (30 mm Präparationsgrenze - in Prüfmaschine einzubringendes Ende) und die Dicke (5 mm) der Stümpfe und besserte Wachsfehler aus. Anschließend wurden pro Muffel 4 Wachs-

stümpfe auf einen Muffelsockel angestiftet. Als Einbettmasse diente erneut Bellavest SH (Fa. BEGO). Einbetten und Gießen erfolgte nach Herstellerangaben. Nach dem Ausbetten wurden die Prüfstümpfe mit KOROX 250 (Fa. BEGO) abgestrahlt und Gussperlen mittels rotierenden Instrumenten entfernt. Zum Abschluss gummierte man die Oberfläche der Stümpfe mit Gummis.

Tab. 36: Eigenschaften Wironit extrahart (Fa. BEGO)

Hersteller	BEGO
BEGO Farbcode	weiß (8)
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	8,2
Vorwärmtemperatur [°C]	950 - 1000
Elastizitätsmodul [GPa]	ca. 225
Vickershärte (HV 10) nach Guss/Brand	375
Bruchdehnung (A <sub>5</sub> ) [%] nach Guss/Brand	4,1
Zugfestigkeit (R <sub>m</sub> ) [MPa]	910
Dehngrenze (R <sub>p 0,2</sub> ) [MPa]	625
Schmelzintervall [°C]	1260 - 1305
Gießtemperatur [°C]	ca. 1420
Vorwärmtemperatur [°C]	950 - 1000
Typ	5
Chargennummer	12568

Tab. 37: Zusammensetzung von Wironit extrahart (Fa. BEGO)

Legierungszusammensetzung (in Masse %)					
Kobalt	Chrom	Molybdän	Silizium	Mangan	Kohlenstoff
Co	Cr	Mo	Si	Mn	C
63,0	30,0	5,0	1,1	+	+

### 3.5 Vorbereitung und Durchführung des VOSS-Testes

Vor Durchführung des VOSS-Testes wurden jeweils 6 Kronen einer Gruppe auf die fertig hergestellten Prüfstümpfe aus WIRONIT extrahart mit Harvardzement schnellhärtend fest zementiert. Anschließend ließ man den Zement 24 Stunden aushärten. Diesen Vorgang wiederholte man jeweils mit zwei weiteren Gruppen, so dass man nach einem Tag insgesamt 18 fertig zementierte Kronen erhielt.

Der VOSS-Test wurde an einer Universalprüfmaschine ZWICK, Modell Z010, durchgeführt. An der Oberseite der Maschine montierte man einen planen Stempel und an der Unterseite die Probenhalterung zur Fixierung der Prüfkörper. Um sicherzustellen, dass die Prüfkörper in etwa den gleichen Kräften ausgesetzt waren, wurde nach jedem Prüfkörperwechsel der Stempel zum Prüfkörper neu ausgerichtet. Es war darauf zu achten, den Stempel mittig über der Inzisalkante und im 45°-Winkel zur Prüfkörperachse zu platzieren (Abb. 12). Als Versuchsergebnis ergab sich der Wert der maximalen Druckbelastung bis zum Bruch der Keramik. Der Kraftverlauf wurde mit Hilfe eines angeschlossenen Computerprogramms in einem Diagramm festgehalten.



Abb. 11: Versuchsaufbau Voss-Test

Tab. 38: Parameter Voss-Test (Quelle: Technische Abteilung Fa. BEGO)

obere Kraftgrenze	10000,00 N
untere Kraftgrenze	-10000,00 N
Vorkraft	1 N
Vorkraft-Geschwindigkeit	10 mm/min
Zeit bis Vorkraft	30 s
Prüfgeschwindigkeit	1,5 mm/min
Kraftabschaltsschwelle	10 % F max.

### 3.6 visuelle Begutachtung

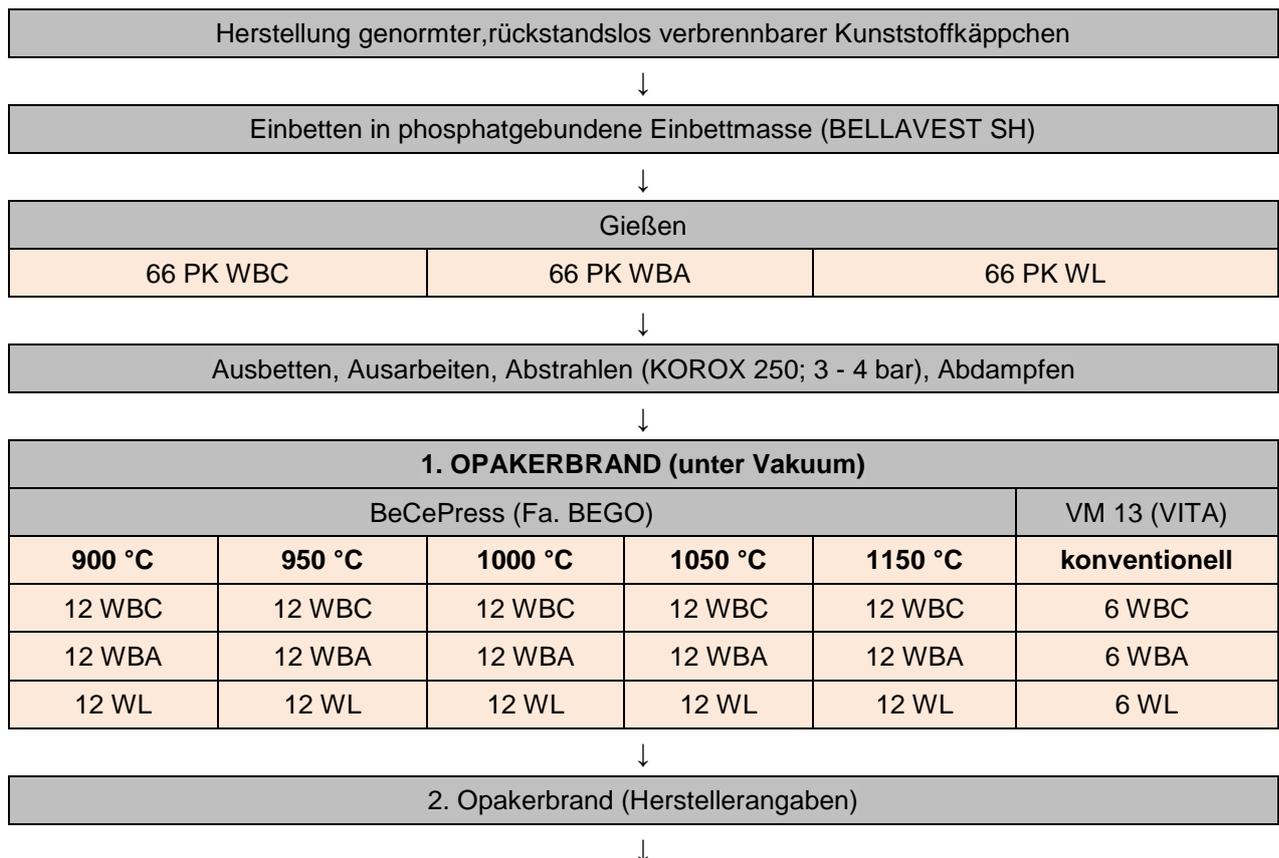
Nach visueller Betrachtung des Frakturverlaufs jeder einzelnen Krone wurden diese je nach Tiefe und Größe der Fraktur in verschiedene Klassen eingeteilt. (Tab. 51, siehe Kapitel 4.8)

### 3.7 Übersicht der Versuchsreihe

Tab. 39: Gruppenverteilung pro Legierung

Legierung n=66										
↓		↓		↓		↓		↓		↓
Gruppe 1 1.OB 900 °C n=12		Gruppe 2 1. OB 950 °C n=12		Gruppe 3 1. OB 1000 °C n=12		Gruppe 4 1. OB 1050 °C n=12		Gruppe 5 1. OB 1150 °C n=12		Gruppe 6 konventionell n=6
VG n=6	TG n=6	VG n=6	TG n=6	VG n=6	TG n=6	VG n=6	TG n=6	VG n=6	TG n=6	konventionell n=6
Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6	Serie 7	Serie 8	Serie 9	Serie 10	Serie 11

Flussdiagramm zur Herstellung der Prüfkörper (PK):



**KERAMIKVERBLENDUNG**

Teil 1

1. Opakerbrand	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C	1150 °C	konventionell
vollgepresst BeCePress PressIngotCP4 vollanatomisch	6 WBC	6 WBC	6 WBC	6 WBC	6 WBC	-
	6 WBA	6 WBA	6 WBA	6 WBA	6 WBA	-
	6 WL	6 WL	6 WL	6 WL	6 WL	-
teilgepresst BeCePress PressIngotCPO4 Dentinkern	6 WBC	6 WBC	6 WBC	6 WBC	6 WBC	-
	6 WBA	6 WBA	6 WBA	6 WBA	6 WBA	-
	6 WL	6 WL	6 WL	6 WL	6 WL	-
konventionell VITABaseDentine 1. Dentinbrand	-	-	-	-	-	6 WBC
	-	-	-	-	-	6 WBA
	-	-	-	-	-	6 WL

**KERAMIKVERBLENDUNG**

Teil 2: Reduktion der Keramik, Formgebung, Schichtung

1. Opakerbrand	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C	1150 °C	konventionell
vollgepresst BeCePress vollanatomisch	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
teilgepresst BeCePressEnamel Schmelzaufbau	6 WBC	6 WBC	6 WBC	6 WBC	6 WBC	-
	6 WBA	6 WBA	6 WBA	6 WBA	6 WBA	-
	6 WL	6 WL	6 WL	6 WL	6 WL	-
konventionell VITABaseDentine 2. Dentinbrand	-	-	-	-	-	6 WBC
	-	-	-	-	-	6 WBA
	-	-	-	-	-	6 WL

**Formgebung mittels eines Diamanten****Glanzbrand****VOSS-Test****visuelle Auswertung**

### 3.8 Statistik

Aufgrund der nicht normal verteilten Werte nutze man zum Vergleich der Gruppen den U-Test nach MANN-WHITNEY. Der Test erfolgte zweiseitig. Als Ergebnis erhielt man einen p-Wert. Generell gilt ein Signifikanzniveau von 5 % ( $p = 0,05$ ). Beträgt der p-Wert gleich oder weniger 0,05 spricht man von einem signifikanten Ergebnis.

Das Statistikprogramm SPSS Statistics Version 20 (Fa. IBM) diente zur Berechnung dieser paarweisen Signifikanztests und zur graphischen Darstellung der Ergebnisse. Zur besseren Übersicht erstellte man Kreuztabellen der Werte der statistischen Auswertung. Als Diagrammart wählte man Balkendiagramme zur einfacheren und verständnisreicheren Darstellung.

## 4 ERGEBNISSE

Für jede Prüfkörpergruppe wurde mittels der Messwerte des VOSS-Testes die beschreibende Statistik mit Mittelwert, Median, Quotient aus Mittelwert und Median, Standardabweichung, Variationskoeffizient, Minimal- und Maximalwert berechnet.

Liegt der Quotient aus Mittelwert und Median zwischen 0,95 und 1,05 ist von einer Normalverteilung auszugehen. Liegt der Quotient außerhalb dieses Bereiches sind die Werte nicht normal verteilt. Die Werte der beschreibenden Statistik sind tabellarisch im Anhang aufgeführt. Da einige Serien nicht normal verteilt waren, wurde der U-Test nach MANN-WHITNEY angewendet. Die Messwertstatistik der geprüften Kronen ist den unten aufgeführten Tabellen zu entnehmen. Alle anderen Messwerte der einzelnen Prüfkörper sind im Anhang unter Kapitel 8 angegeben. Für jede Serie und jede Serienvergleiche fertigte man Balkendiagramme an. Die Ergebnisse des U-Testes nach MANN-WHITNEY sind jeweils in Kreuztabellen zusammengefasst. Als Referenzserie dienten die für jede Legierung hergestellten 6 Prüfkronen, die mit Hilfe der konventionellen Schichttechnik (Keramik VM 13, Fa. VITA) verblendet wurden.

### 4.1 Wirobond 280

#### 4.1.1 Wirobond 280 Maltechnik

Die Medianwerte der Bruchfestigkeit der Legierung WBA in der Maltechnik lagen zwischen 1073,5 - 1445 N, wobei der höchste Medianwert in der Serie 9 (VG 1150 °C) auftrat. Standardabweichungen zwischen 148 - 380 N ergaben Variationskoeffizienten von 11,6 - 36,7 %. Den Maximalwert aller Serien erreichte die Serie 7 (VG 1050 °C) mit 1902 N, den Minimalwert die Serie 3 (VG 950 °C) mit 517 N. Die Serie 5 (VG 1000 °C) zeigte keine Normalverteilung der Werte. Abbildung 12 zeigt die graphische Darstellung. Die Ergebnisse des U-Testes findet man in Tabelle 40. Es ergaben sich signifikante Unterschiede der Referenzserie im Vergleich zu den Serien 1 (VG 900 °C), 3 (VG 950 °C), 5 (VG 1000 °C) und 7 (VG 1050 °C).

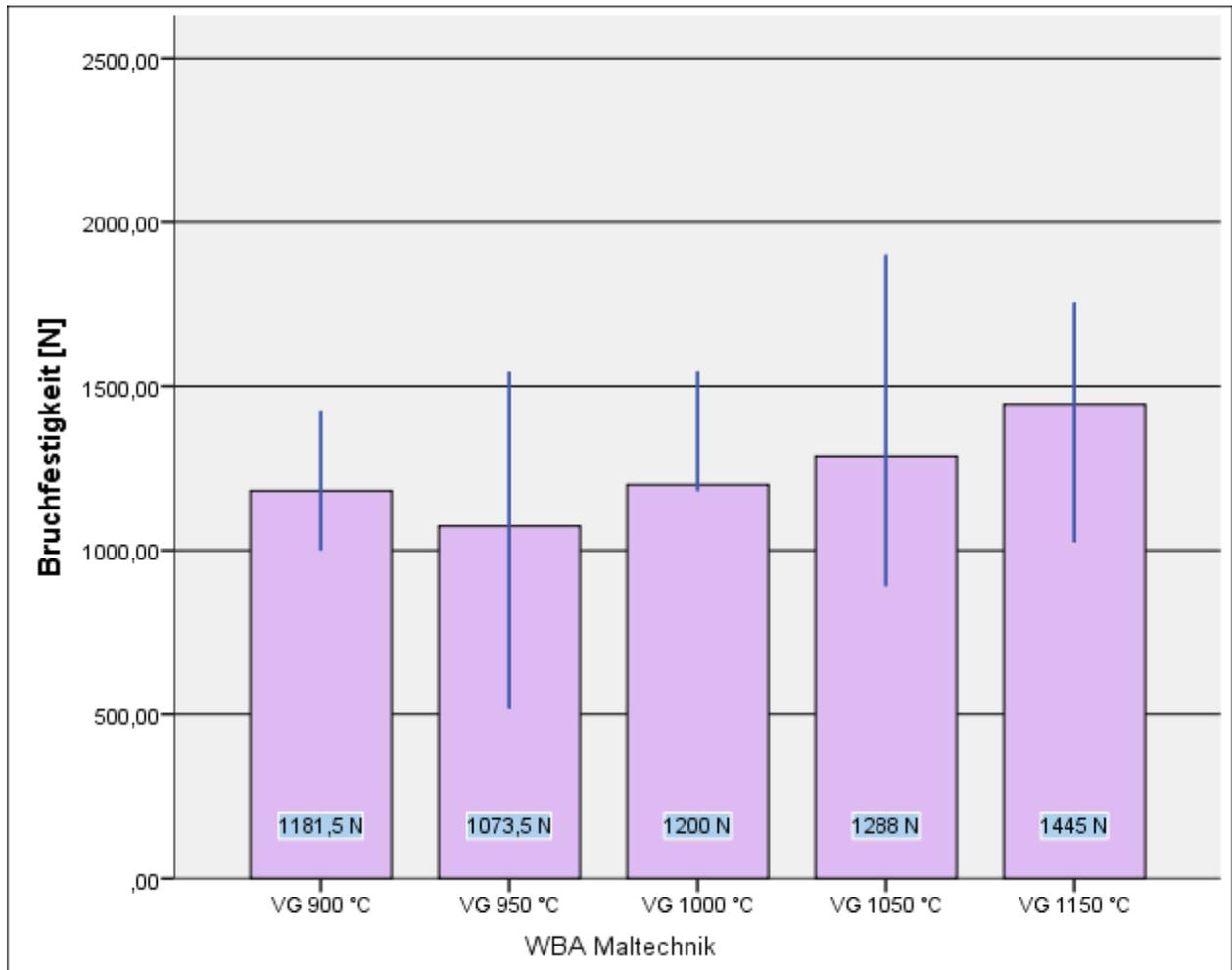


Abb. 12: Balkendiagramm der Medianwerte der Legierung WBA in der Maltechnik mit Darstellung der Minimum- und Maximumwerte  
 VG (900 - 1150 °C) = vollgepresst 900 - 1150 °C

Tab. 40: Kreuztabelle zum U-Test nach MANN-WHITNEY der Messwerte des VOSS-Testes: Vergleich der Serien WBA in der Maltechnik; p = 0,05; n. s. = nicht signifikant; \* = signifikanter Unterschied

WBA VG	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C	1150 °C	Referenz
900 °C		0,589	0,288	0,288	0,310	0,002
950 °C	n. s.		0,455	0,223	0,132	0,009
1000 °C	n. s.	n. s.		0,662	0,563	0,009
1050 °C	n. s.	n. s.	n. s.		0,563	0,013
1150 °C	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.		0,065
Referenz	*	*	*	*	n. s.	

### 4.1.2 Wirobond 280 Schichttechnik

Die Medianwerte der Bruchfestigkeit der Legierung WBA in der Schichttechnik lagen zwischen 873,5 - 1420 N, wobei der höchste Medianwert in der Serie 10 (TG 1150 °C) auftrat. Standardabweichungen zwischen 74,4 - 385,1 N ergaben Variationskoeffizienten von 8,4 - 30,6 %. Den Maximalwert aller Serien erreichte die Serie 2 (TG 900 °C) mit 1747 N, den Minimalwert die Serie 4 (TG 950 °C) mit 643 N. Alle Serien zeigten keine Normalverteilung der Werte außer die Serie 8 (TG 1050 °C). Abbildung 13 zeigt die graphische Darstellung. Die Ergebnisse des U-Testes findet man in Tabelle 41. Es ergaben sich signifikante Unterschiede der Referenzserie im Vergleich zu den Serien 2 (TG 900 °C), 4 (TG 950 °C), 6 (TG 1000 °C) und 8 (TG 1050 °C).

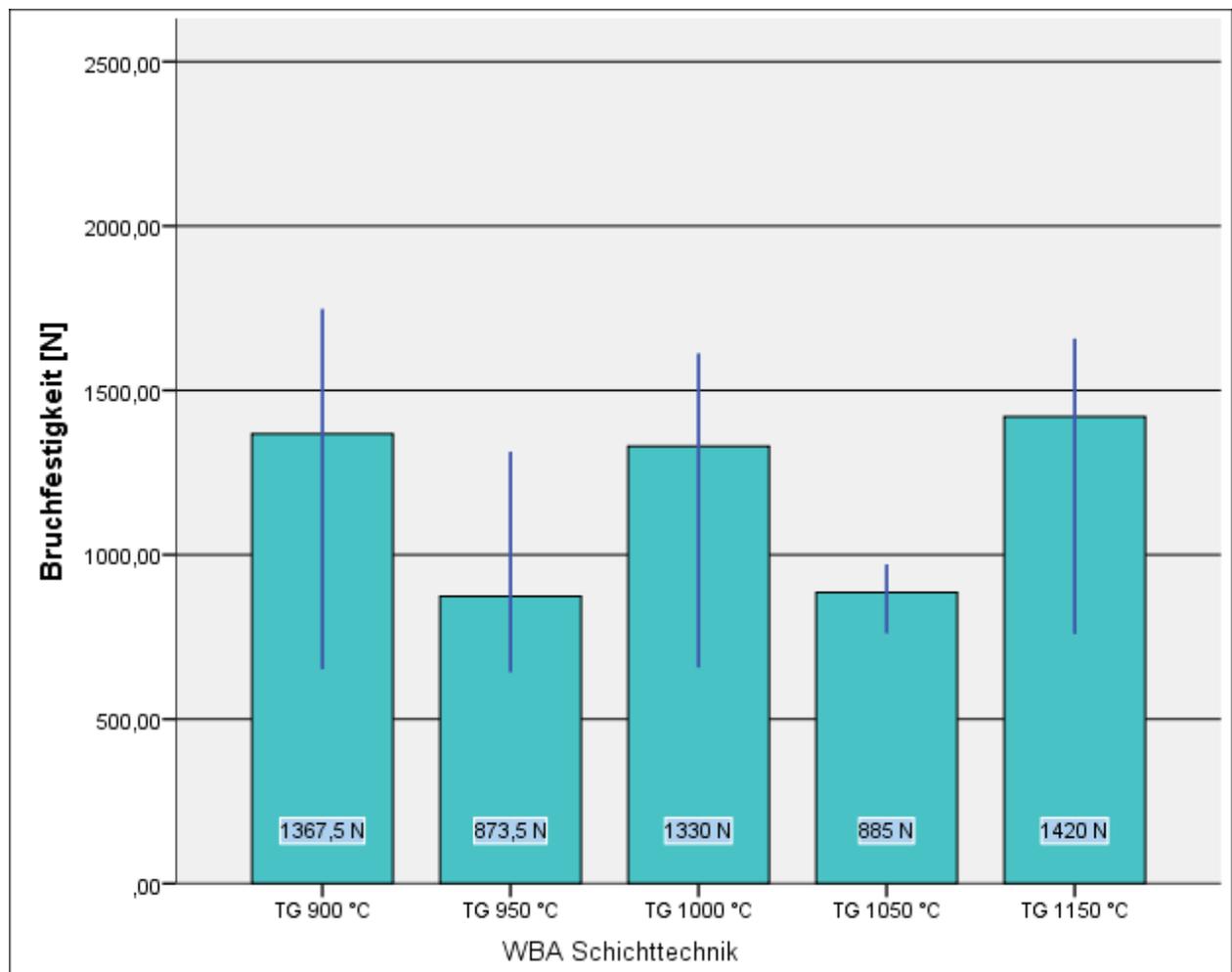


Abb. 13: Balkendiagramm der Medianwerte der Legierung WBA in der Schichttechnik mit Darstellung der Minimum- und Maximumwerte  
 TG (900 - 1150 °C) = teilgepresst 900 - 1150 °C

Tab. 41: Kreuztabelle zum U-Test nach MANN-WHITNEY der Messwerte des VOSS-Testes: Vergleich der Serien WBA in der Schichttechnik;  $p = 0,05$ ; n. s. = nicht signifikant; \* = signifikanter Unterschied

WBA TG	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C	1150 °C	Referenz
900 °C		0,065	0,818	0,065	0,818	0,026
950 °C	n. s.		0,093	1,0	0,065	0,002
1000 °C	n. s.	n. s.		0,065	0,589	0,009
1050 °C	n. s.	n. s.	n. s.		0,065	0,002
1150 °C	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.		0,93
Referenz	*	*	*	*	n. s.	

### 4.1.3 Wirobond 280 Mal-, Schichttechnik & Referenzserie

Beim Vergleich der Werte der Maltechnik, der Schichttechnik und der Referenzserie zeigte sich, dass der Medianwert der Bruchfestigkeit der Referenzserie mit 1862 N deutlich über den Medianwerten der anderen Serien lag. Auch den Maximalwert fand man in der Referenzserie mit 2455 N. Den Minimalwert zeigte die Serie 3 (VG 950 °C) mit 517 N. Im Vergleich der Median- und Maximalwerte der Maltechnik und der Schichttechnik zeigte sich bei der Legierung WBA der höchste Medianwert in der Serie 9 (VG 1150 °C) mit 1445 N und der höchste Maximalwert in der Serie 7 (VG 1050°C) mit 1902 N.

Abbildung 14 zeigt die graphische Darstellung. Die Ergebnisse des U-Testes findet man in Tabelle 42. Im Vergleich der Serien der Mal- und Schichttechnik und der Referenzserie mittels U-Test ergaben sich zwischen der Serie 4 (TG 950 °C) mit der Serie 9 (VG 1150 °C) und der Referenzserie jeweils signifikante Unterschiede. In der Serie 8 (TG 1050 °C) ergaben sich insgesamt 5 signifikante Unterschiede. Die Referenzserie zeigte außer im Vergleich zu den Serien 9 (VG 1150 °C) und 10 (TG 1150 °C) zu jeder Serie signifikante Unterschiede.

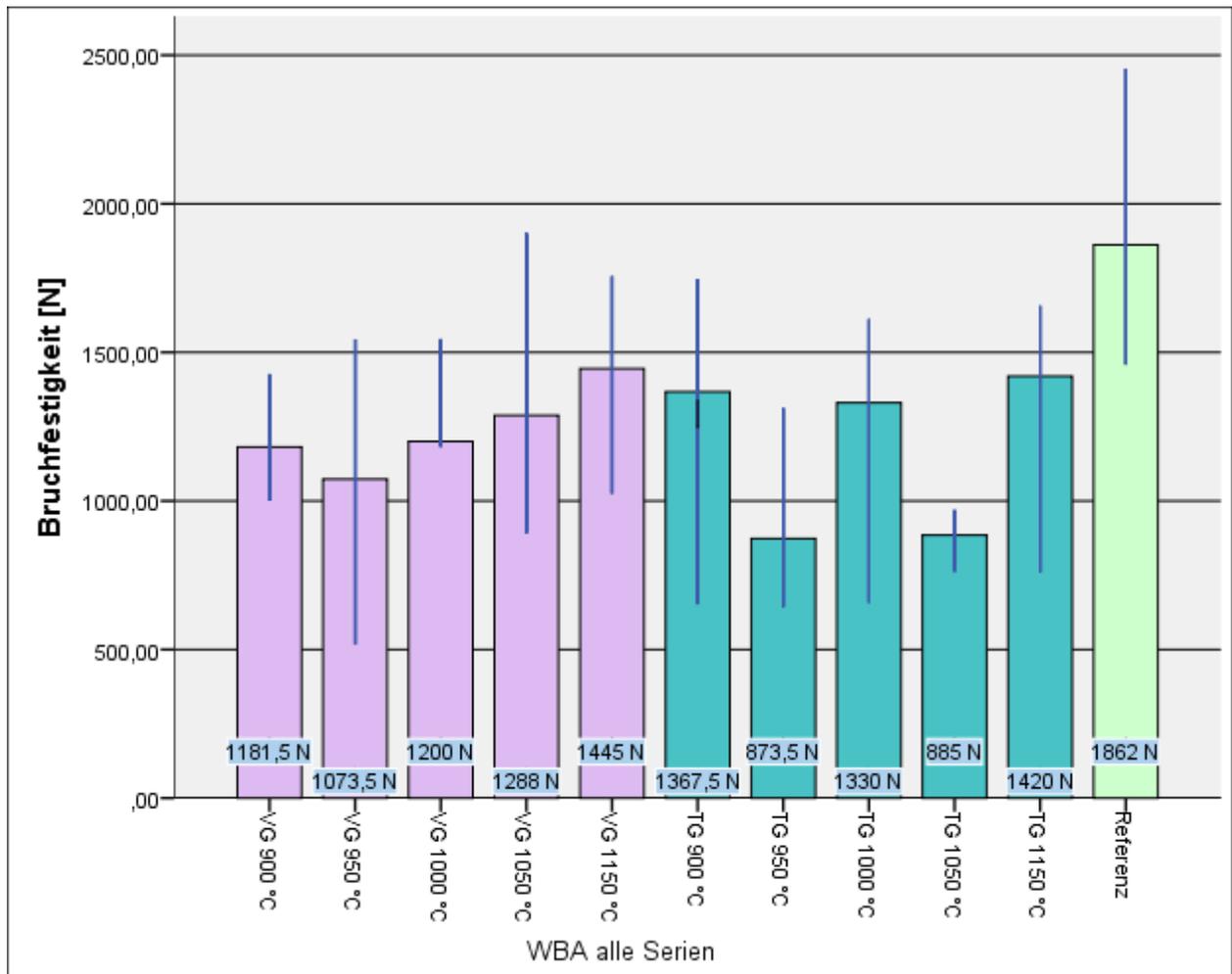


Abb. 14: Balkendiagramm der Medianwerte der Legierung WBA für alle Serien mit Darstellung der Minimum- und Maximumwerte

VG (900 - 1150 °C) = vollgepresst 900 - 1150 °C

TG (900 - 1150 °C) = teilgepresst 900 - 1150 °C

Referenz = konventionelle Serie

Tab. 42: Kreuztabelle zum U-Test nach MANN-WHITNEY der Messwerte des VOSS-Testes: Vergleich der Verblindmethoden innerhalb der Legierung WBA;  $p = 0,05$ ; n. s. = nicht signifikant; \* = signifikanter Unterschied

WBA	900 °C VG	950 °C VG	1000 °C VG	1050 °C VG	1150 °C VG	900 °C TG	950 °C TG	1000 °C TG	1050 °C TG	1150 °C TG	Referenz
900 °C VG		0,589	0,288	0,288	0,310	0,485	0,180	0,485	0,002	0,485	0,002
950 °C VG	n. s.		0,455	0,223	0,132	0,310	0,589	0,310	0,589	0,180	0,009
1000 °C VG	n. s.	n. s.		0,662	0,563	0,784	0,119	0,900	0,002	0,669	0,009
1050 °C VG	n. s.	n. s.	n. s.		0,563	0,784	0,084	0,900	0,009	0,784	0,013
1150 °C VG	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.		0,485	0,026	0,485	0,002	0,699	0,065
900 °C TG	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.		0,065	0,818	0,065	0,818	0,026
950 °C TG	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.		0,093	1,0	0,065	0,002
1000 °C TG	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.		0,065	0,589	0,009
1050 °C TG	*	n. s.	*	*	*	n. s.	n. s.	n. s.		0,065	0,002
1150 °C TG	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.		0,93
Referenz	*	*	*	*	n. s.	*	*	*	*	n. s.	

## 4.2 Wirobond C

### 4.2.1 Wirobond C Maltechnik

Die Medianwerte der Bruchfestigkeit der Legierung WBC in der Maltechnik lagen zwischen 798,5 - 1405 N, wobei der höchste Medianwert in der Serie 1 (VG 900 °C) auftrat. Standardabweichungen zwischen 142,5 - 246,6 N ergaben Variationskoeffizienten von 10,7 - 23,1 %. Den Maximalwert aller Serien erreichte die Serie 3 (VG 950 °C) mit 1564 N, den Minimalwert die Serie 9 (VG 1150 °C) mit 727 N. Die Serien 5 (VG 1000 °C) und 7 (VG 1050 °C) zeigten keine Normalverteilung der Werte. Abbildung 15 zeigt die graphische Darstellung. Die Ergebnisse des U-Testes findet man in Tabelle 43. Es ergaben sich mit 9 zu 6 mehr signifikante als nicht signifikante Unterschiede. Die Serie 5 (VG 1000 °C) zeigt außer zur Serie 9 (VG 1150 °C) zu allen Serien signifikante

Unterschiede. Die Serie 9 (VG 1150 °C) zeigt zur Serie 1 (VG 900 °C) und zur Referenzserie signifikante Unterschiede. Die Referenzserie zeigt zu allen Serien signifikante Unterschiede.

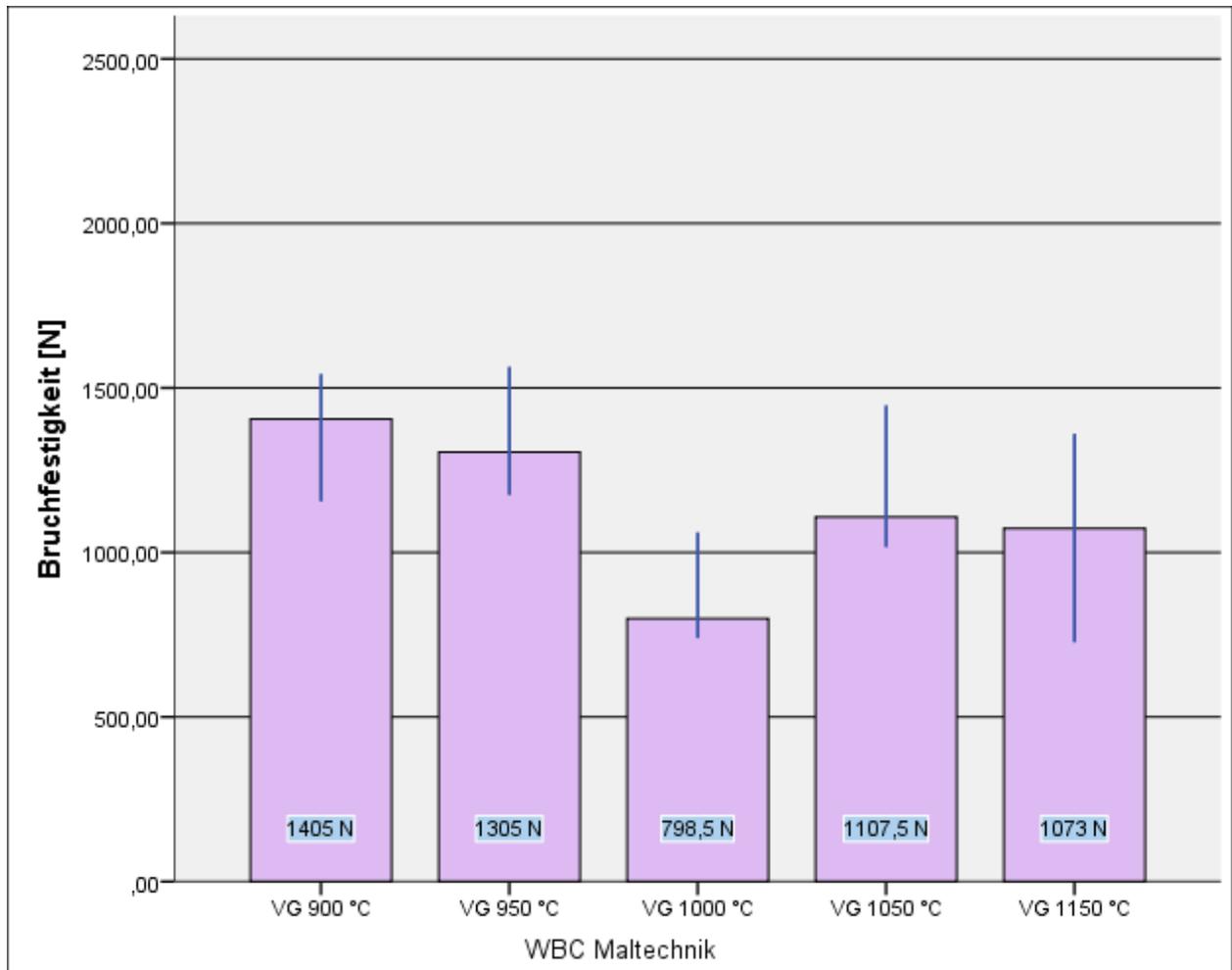


Abb. 15: Balkendiagramm der Medianwerte der Legierung WBC in der Maltechnik mit Darstellung der Minimum- und Maximumwerte  
 VG (900 - 1150 °C) = vollgepresst 900 - 1150 °C

Tab. 43: Kreuztabelle zum U-Test nach MANN-WHITNEY der Messwerte des VOSS-Testes: Vergleich der Serien WBC in der Maltechnik;  $p = 0,05$ ; n. s. = nicht signifikant; \* = signifikanter Unterschied

WBC VG	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C	1150 °C	Referenz
900 °C		0,937	0,002	0,065	0,026	0,002
950 °C	n. s.		0,002	0,132	0,093	0,002
1000 °C	*	*		0,009	0,180	0,002
1050 °C	n. s.	n. s.	*		0,394	0,002
1150 °C	*	n. s.	n. s.	n. s.		0,002
Referenz	*	*	*	*	*	

#### 4.2.2 Wirobond C Schichttechnik

Die Medianwerte der Bruchfestigkeit der Legierung WBC in der Schichttechnik lagen zwischen 955,5 - 1333 N, wobei der höchste Medianwert in der Serie 2 (TG 900 °C) auftrat. Standardabweichungen zwischen 233,4 - 410,2 N ergaben Variationskoeffizienten von 20,5 - 33,35 %. Den Maximalwert aller Serien erreichte die Serie 2 (TG 900 °C) mit 1830 N, den Minimalwert die Serie 6 (TG 1000 °C) mit 617 N. Alle Serien zeigten eine Normalverteilung der Werte außer die Serie 10 (TG 1150 °C). Mit einem Quotienten aus Mittel- und Medianwert von 1,09 war sie nicht normal verteilt. Abbildung 16 zeigt die graphische Darstellung. Die Ergebnisse des U-Testes findet man in Tabelle 44. Es ergaben sich signifikante Unterschiede der Referenzserie im Vergleich zu allen anderen Serien.

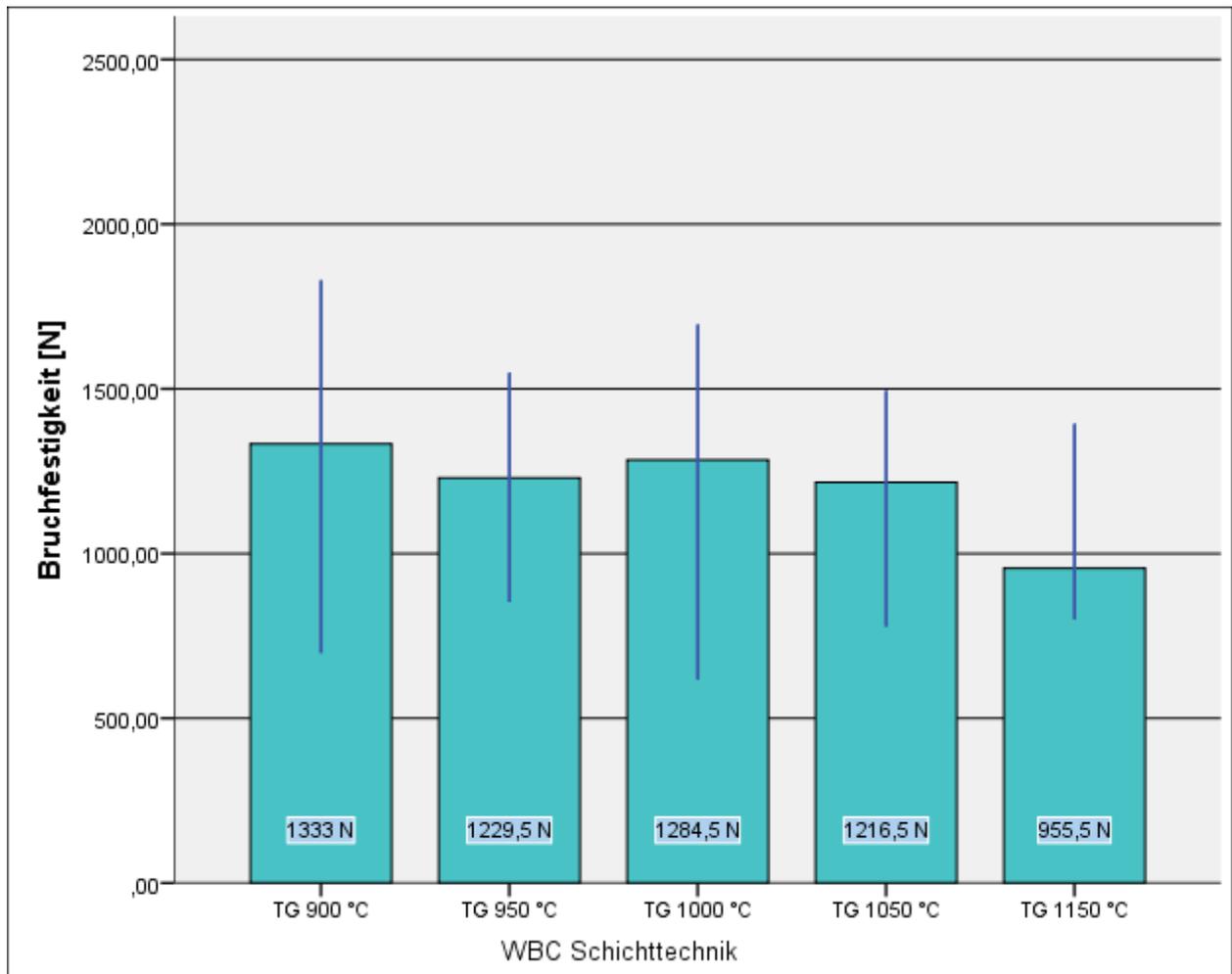


Abb. 16: Balkendiagramm der Medianwerte der Legierung WBC in der Schichttechnik mit Darstellung der Minimum- und Maximumwerte  
 TG (900 - 1150 °C) = teilgepresst 900 - 1150 °C

Tab. 44: Kreuztabelle zum U-Test nach MANN-WHITNEY der Messwerte des VOSS-Testes: Vergleich der Serien WBC in der Schichttechnik; p = 0,05; n. s. = nicht signifikant; \* = signifikanter Unterschied

WBC TG	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C	1150 °C	Referenz
900 °C		0,699	0,818	0,699	0,240	0,015
950 °C	n. s.		0,699	0,937	0,394	0,002
1000 °C	n. s.	n. s.		0,818	0,485	0,004
1050 °C	n. s.	n. s.	n. s.		0,394	0,002
1150 °C	n. s.	n. s.	n.s.	n. s.		0,002
Referenz	*	*	*	*	*	

### 4.2.3 Wirobond C Mal-, Schichttechnik & Referenzserie

Beim Vergleich der Werte der Maltechnik, der Schichttechnik und der Referenzserie zeigte sich, dass der Medianwert der Bruchfestigkeit der Referenzserie mit 1881 N deutlich über den Medianwerten der anderen Serien lag. Auch den Maximalwert fand man in der Referenzserie (Serie 11) mit 2007 N. Den Minimalwert zeigte die Serie 6 (TG 1000 °C) mit 617 N. Im Vergleich der Median- und Maximalwerte der Maltechnik und der Schichttechnik zeigte sich bei der Legierung WBC der höchste Medianwert in der Serie 1 (VG 900 °C) mit 1405 N und der höchste Maximalwert in der Serie 2 (TG 900°C) mit 1830 N.

Abbildung 17 zeigt die graphische Darstellung. Die Ergebnisse des U-Testes findet man in Tabelle 45. Im Vergleich der Bruchfestigkeiten der Serien der Mal- und Schichttechnik und der Referenzserie mittels U-Test ergaben sich für die Referenzserie im Vergleich zu allen anderen Serien signifikante Unterschiede. Die Serie 5 (VG 1000 °C) mit 6 und die Serie 1 (VG 900 °C) mit 4 signifikanten Unterschieden folgten der Referenzserie. In den Serien 2 (TG 900 °C) und 6 (TG 1000 °C) ergaben sich außer zur Referenzserie keine signifikanten Unterschiede. In allen anderen Serien fand man 2 signifikante Unterschiede.

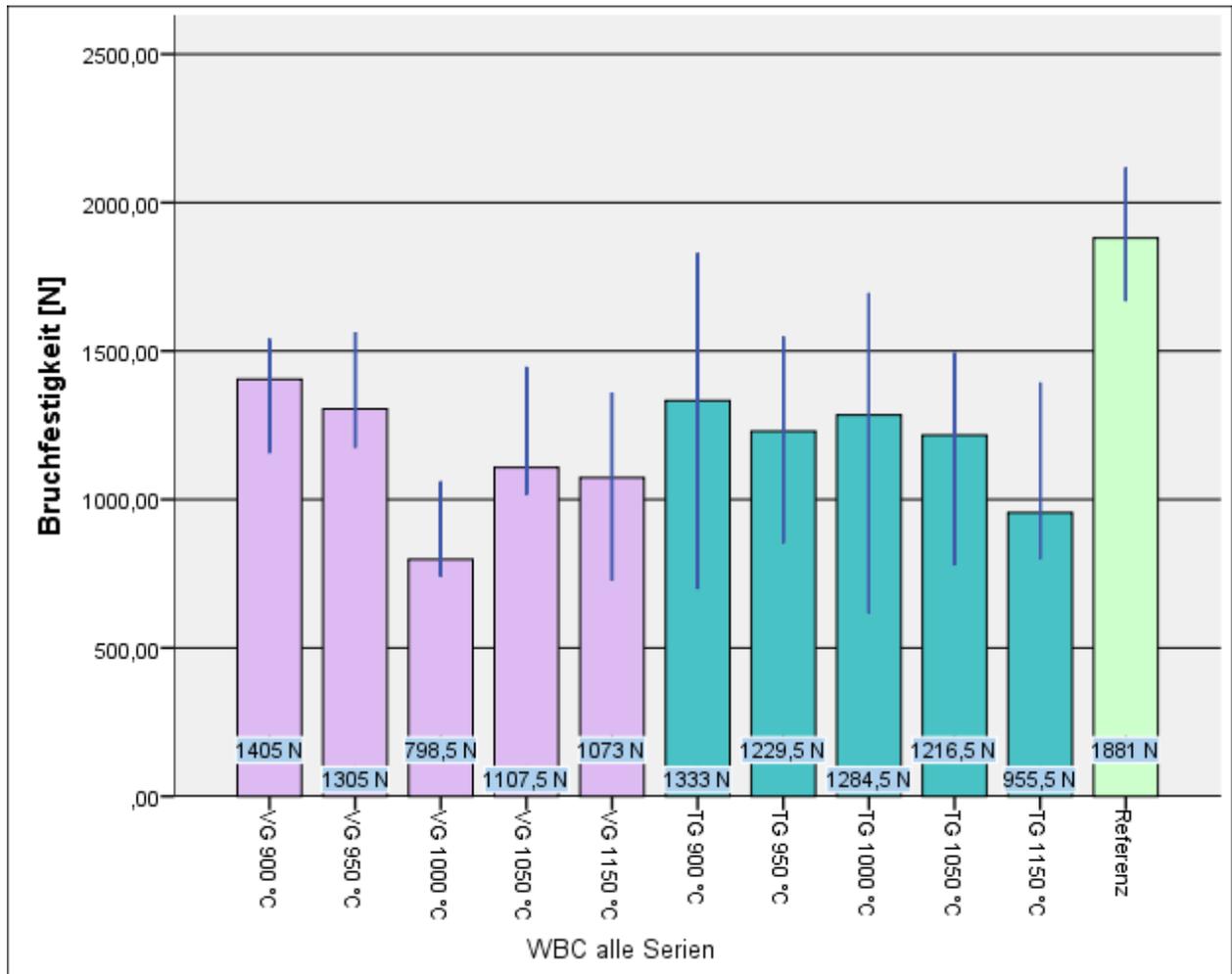


Abb. 17: Balkendiagramm der Medianwerte der Legierung WBC für alle Serien mit Darstellung der Minimum- und Maximumwerte

VG (900 - 1150 °C) = vollgepresst 900 - 1150 °C

TG (900 - 1150 °C) = teilgepresst 900 - 1150 °C

Referenz = konventionelle Serie

Tab. 45: Kreuztabelle zum U-Test nach MANN-WHITNEY der Messwerte des VOSS-Testes: Vergleich der Verblindmethoden innerhalb der Legierung WBC; p = 0,05; n. s. = nicht signifikant; \* = signifikanter Unterschied

WBC	900 °C VG	950 °C VG	1000 °C VG	1050 °C VG	1150 °C VG	900 °C TG	950 °C TG	1000 °C TG	1050 °C TG	1150 °C TG	Referenz
900 °C VG		0,937	0,002	0,065	0,026	1,0	0,589	0,818	0,240	0,026	0,002
950 °C VG	n. s.		0,002	0,132	0,093	0,937	0,485	0,853	0,394	0,065	0,002
1000 °C VG	*	*		0,009	0,180	0,065	0,026	0,132	0,015	0,180	0,002
1050 °C VG	n. s.	n. s.	*		0,394	0,485	0,818	0,699	0,485	0,180	0,002
1150 °C VG	*	n. s.	n. s.	n. s.		0,310	0,485	0,485	0,310	0,937	0,002
900 °C TG	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.		0,699	0,818	0,699	0,240	0,015
950 °C TG	n. s.	n. s.	*	n. s.	n. s.	n. s.		0,699	0,937	0,394	0,002
1000 °C TG	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.		0,818	0,485	0,004
1050 °C TG	n. s.	n. s.	*	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.		0,394	0,002
1150 °C TG	*	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.		0,002
Referenz	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

### 4.3 Wiron Light

#### 4.3.1 Wiron Light Maltechnik

Die Medianwerte der Bruchfestigkeit der Legierung WL in der Maltechnik lagen zwischen 1053 - 1511,5 N, wobei der höchste Medianwert in der Serie 9 (VG 1150 °C) auftrat. Standardabweichungen zwischen 193,8 - 308 N ergaben Variationskoeffizienten von 17,6 - 21,9 %. Den Maximalwert aller Serien erreichte die Serie 9 (VG 1150 °C) mit 1829 N, den Minimalwert die Serie 3 (VG 950 °C) mit 839 N. Die Serie 1 (VG 900 °C) zeigte mit einem Quotienten von 1,09 keine Normalverteilung der Werte. Abbildung 18 zeigt die graphische Darstellung. Die Ergebnisse des U-Testes findet man in Tabelle 46. Es ergaben sich signifikante Unterschiede der Serien 5 (VG 1000 °C), 9 (VG

1150 °C) und der Referenzserie (Serie 11) in Bezug zur Serie 3 (VG 950 °C). Alle anderen Vergleiche der Bruchfestigkeitswerte ergaben keine signifikanten Unterschiede.

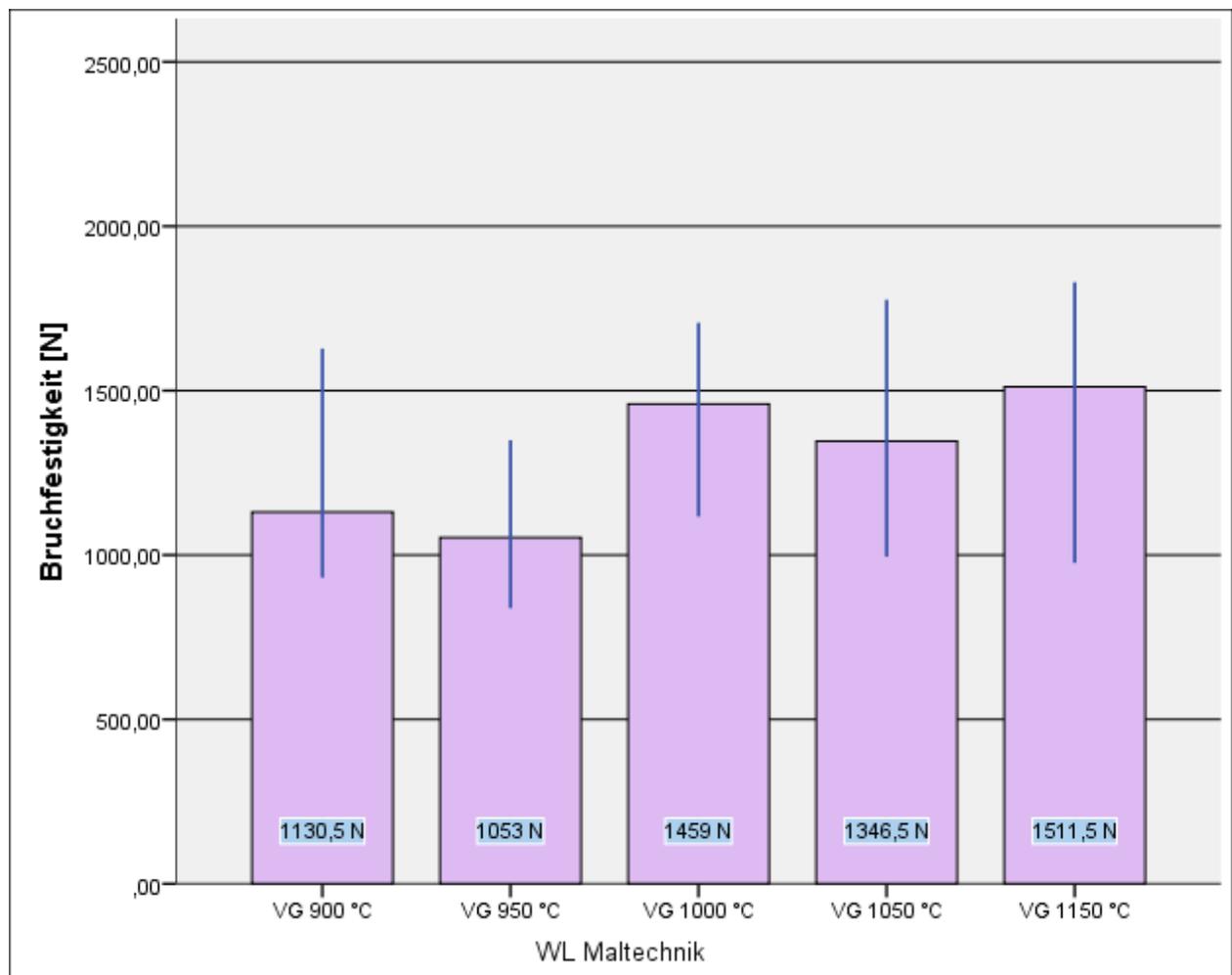


Abb. 18: Balkendiagramm der Medianwerte der Legierung WL in der Maltechnik mit Darstellung der Minimum- und Maximumwerte  
 VG (900 - 1150 °C) = vollgepresst 900 - 1150 °C

Tab. 46: Kreuztabelle zum U-Test nach MANN-WHITNEY der Messwerte des VOSS-Testes: Vergleich der Serien WL in der Maltechnik; p = 0,05; n. s.= nicht signifikant; \* = signifikanter Unterschied

WL VG	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C	1150 °C	Referenz
900 °C		0,310	0,180	0,485	0,240	0,240
950 °C	n. s.		0,026	0,093	0,041	0,009
1000 °C	n. s.	*		0,699	0,699	0,937
1050 °C	n. s.	n. s.	n. s.		0,589	0,394
1150 °C	n. s.	*	n. s.	n. s.		1,0
Referenz	n. s.	*	n. s.	n. s.	n. s.	

### 4.3.2 Wiron Light Schichttechnik

Die Medianwerte der Bruchfestigkeit der Legierung WL in der Schichttechnik lagen zwischen 743,5 - 1362 N, wobei der höchste Medianwert in der Serie 8 (TG 1050 °C) auftrat. Standardabweichungen zwischen 201,6 - 394,9 N ergaben Variationskoeffizienten von 16,5 - 31,4 %. Den Maximalwert aller Serien erreichte die Serie 6 (TG 1000 °C) mit 1780 N, den Minimalwert die Serie 4 (TG 950 °C) mit 515 N. Die Serien 6 (TG 1000 °C) und 10 (TG 1150 °C) zeigten keine Normalverteilung der Bruchfestigkeitswerte. Abbildung 19 zeigt die graphische Darstellung. Die Ergebnisse des U-Testes findet man in Tabelle 47. Es ergaben sich signifikante Unterschiede im Vergleich der Bruchfestigkeit der Serien 6 (TG 1000 °C), 8 (TG 1050 °C), 10 (TG 1150 °C) und der Referenzserie (Serie 11) mit der Serie 4 (TG 950 °C). Die Referenzserie zeigte ebenfalls einen signifikanten Unterschied zur Serie 2 (TG 900 °C).

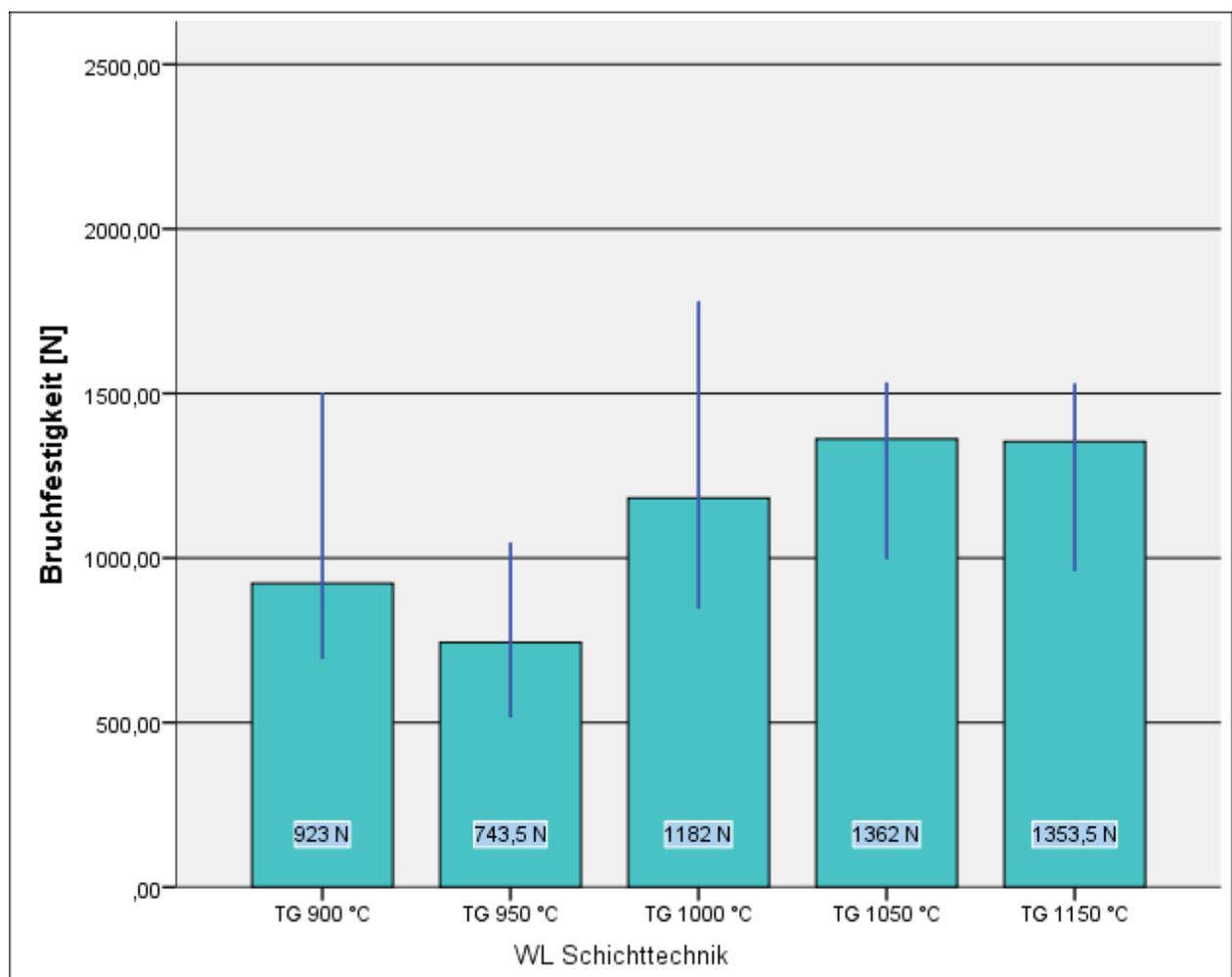


Abb. 19: Balkendiagramm der Medianwerte der Legierung WL in der Schichttechnik mit Darstellung der Minimum- und Maximumwerte

TG (900 - 1150 °C) = teilgepresst 900 - 1150 °C

Tab. 47: Kreuztabelle zum U-Test nach MANN-WHITNEY der Messwerte des VOSS-Testes: Vergleich der Serien WL in der Schichttechnik;  $p = 0,05$ ; n. s.= nicht signifikant; \* = signifikanter Unterschied

WL TG	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C	1150 °C	Referenz
900 °C		0,240	0,240	0,065	0,180	0,026
950 °C	n. s.		0,026	0,004	0,009	0,002
1000 °C	n. s.	*		0,699	0,818	0,394
1050 °C	n. s.	*	n. s.		0,589	0,589
1150 °C	n. s.	*	n. s.	n. s.		0,240
Referenz	*	*	n. s.	n. s.	n. s.	

### 4.3.3 Wiron Light Mal-, Schichttechnik & Referenzserie

Beim Vergleich der Werte der Maltechnik, der Schichttechnik und der Referenzserie zeigte sich, dass der Medianwert der Bruchfestigkeit der Referenzserie (Serie 11) mit 1483 N über den Medianwerten der anderen Serien lag (mit Ausnahme der Serie 9 (VG 1150 °C)). Auch den Maximalwert fand man in der Referenzserie mit 1993 N. Den Minimalwert zeigte die Serie 4 (TG 950 °C) mit 515 N. Im Vergleich der Median- und Maximalwerte der Maltechnik und der Schichttechnik zeigte sich bei der Legierung WL der höchste Medianwert mit 1511,5 N und der höchste Maximalwert mit 1829 N in der Serie 9 (VG 1150 °C).

Abbildung 20 zeigt die graphische Darstellung. Die Ergebnisse des U-Testes findet man in Tabelle 48. Im Vergleich der Bruchfestigkeiten der Serien der Mal- und Schichttechnik und der Referenzserie mittels U-Test ergab sich für jede Serie mindestens ein signifikanter Unterschied. Die Serie 4 (TG 950 °C) mit 9 Fällen bildete die Serie mit der höchsten Anzahl an signifikanten Unterschieden zu anderen Serien. Für die Serie 3 (VG 950 °C) stellte man 4 signifikante Unterschiede zu anderen Serien fest, gefolgt von den Serien 2 (TG 900 °C), 5 (VG 1000 °C), 9 (VG 1150 °C) und der Referenzserie (Serie 11), die 3 signifikante Unterschiede der Bruchfestigkeit im Vergleich mit den anderen Serien zeigten. Bei allen übrigen Serien fand man jeweils einen signifikanten Unterschied.

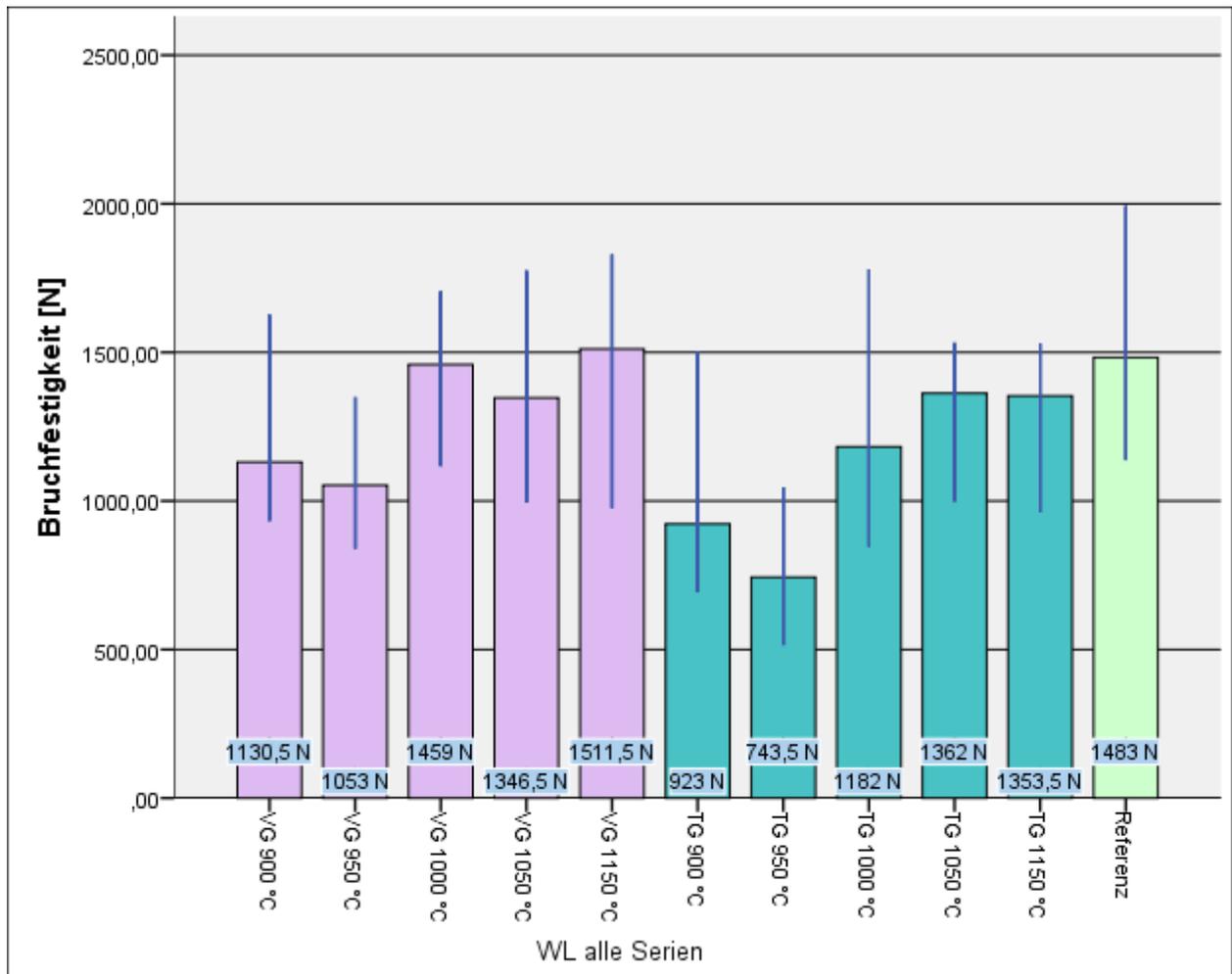


Abb. 20: Balkendiagramm der Medianwerte der Legierung WL für alle Serien mit Darstellung der Minimum- und Maximumwerte

VG (900 - 1150 °C) = vollgepresst 900 - 1150 °C

TG (900 - 1150 °C) = teilgepresst 900 - 1150 °C

Referenz = konventionelle Serie

Tab. 48: Kreuztabelle zum U-Test nach MANN-WHITNEY der Messwerte des VOSS-Testes: Vergleich der Verblindmethoden innerhalb der Legierung WL; p = 0,05; n. s.= nicht signifikant; \* = signifikanter Unterschied

WL	900 °C VG	950 °C VG	1000 °C VG	1050 °C VG	1150 °C VG	900 °C TG	950 °C TG	1000 °C TG	1050 °C TG	1150 °C TG	Referenz
900 °C VG		0,310	0,180	0,485	0,240	0,093	0,004	1,0	0,485	0,937	0,240
950 °C VG	n. s.		0,026	0,093	0,041	0,240	0,015	0,589	0,132	0,240	0,009
1000 °C VG	n. s.	*		0,699	0,699	0,015	0,002	0,394	0,589	0,310	0,937
1050 °C VG	n. s.	n. s.	n. s.		0,589	0,093	0,004	0,699	1,0	0,699	0,394
1150 °C VG	n. s.	*	n. s.	n. s.		0,041	0,004	0,310	0,310	0,240	1,0
900 °C TG	n. s.	n. s.	*	n. s.	*		0,240	0,240	0,065	0,180	0,026
950 °C TG	*	*	*	*	*	n. s.		0,026	0,004	0,009	0,002
1000 °C TG	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*		0,699	0,818	0,394
1050 °C TG	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.		0,589	0,589
1150 °C TG	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.	n. s.		0,240
Referenz	n. s.	*	n. s.	n. s.	n. s.	*	*	n. s.	n. s.	n. s.	

#### 4.4 Vergleich der Legierungen in der Maltechnik

Beim Vergleich der Medianwerte der Bruchfestigkeit aller Legierungen in der Maltechnik zeigten die Legierungen WBA und WL einen ähnlichen Verlauf. Die Werte der Serien 1 und 3 (VG 900 °C/950 °C) zeigten niedrigere Werte als die Serien 5, 7 und 9. Bei der Legierung WBC verhielt es sich umgekehrt. Der höchste Medianwert von 1511,5 N lag in der Serie 9 (VG 1150 °C) der Legierung WL. Den niedrigsten Medianwert von 798,5 N fand man in der Serie 5 (VG 1000 °C) der Legierung WBC. Abbildung 21 zeigt die graphische Darstellung.

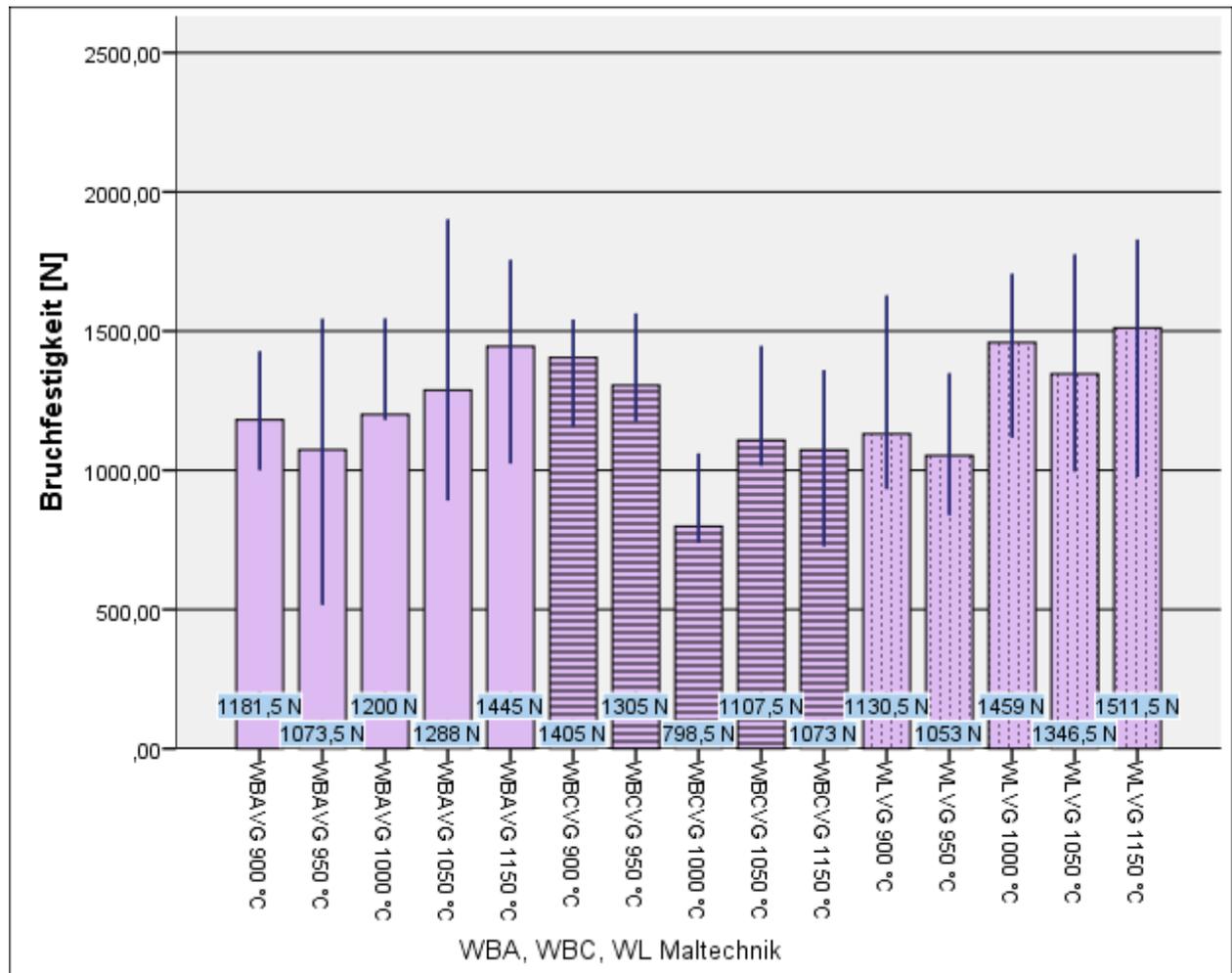


Abb. 21: Balkendiagramm der Medianwerte aller Legierungen (WBA, WBC ≡, WL ≡) in der Maltechnik mit Darstellung der Minimum- und Maximumwerte  
 VG (900 - 1150 °C) = vollgepresst 900 - 1150 °C

#### 4.5 Vergleich der Legierungen in der Schichttechnik

Beim Vergleich der Medianwerte der Bruchfestigkeit aller Legierungen in der Schichttechnik zeigte jede Legierung einen anderen Verlauf. Bei der Legierung WBA zeigten die Serien 2, 6 und 10 (TG 900 °C, 1000 °C, 1150 °C) relativ ähnlich hohe Bruchfestigkeitswerte. Die Werte der Serien 4 und 8 (TG 950 °C, 1050 °C) grenzten sich mit abfallenden Werten bis 873,5 N ab. Die Legierung WBC zeigte relativ konstante Bruchfestigkeitswerte in den ersten vier Serien 2, 4, 6 und 8 (TG 900 °C, 950 °C, 1000 °C, 1050 °C). Serie 10 (TG 1150 °C) wies einen Abfall bis 956 N auf. Die Legierung WL zeigte in den Serien 2 und 4 (TG 900 °C, 950 °C) einen Abfall der Bruchfestigkeitswerte. Die Serien 6, 8 und 10 (TG 1000 °C, 1050 °C, 1150 °C) erreichten mit 1182 - 1362 N höhere Werte. Der höchste Medianwert von 1420 N lag in der Serie 10 (TG

1150 °C) der Legierung WBA. Den niedrigsten Medianwert von 743,5 N fand man in der Serie 4 (TG 950 °C) der Legierung WL. Abbildung 22 zeigt die graphische Darstellung.

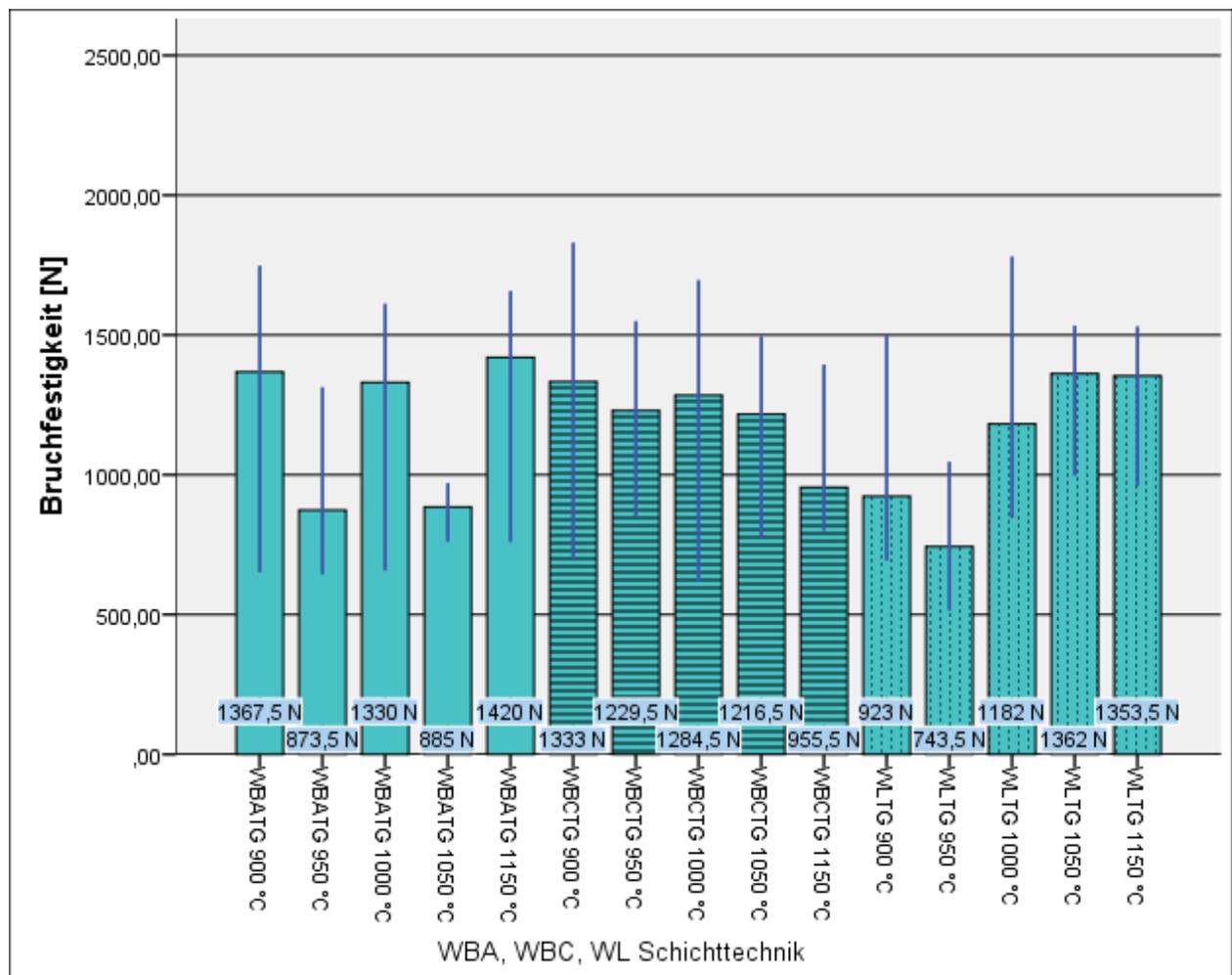


Abb. 22: Balkendiagramm der Medianwerte aller Legierungen (WBA, WBC ≡, WL ≡) in der Schichttechnik mit Darstellung der Minimum- und Maximumwerte  
 TG (900 - 1150 °C) = teilgepresst 900 - 1150 °C

## 4.6 Referenzserien

### 4.6.1 Vergleich Wirobond 280, Wirobond C, Wiron Light der Referenzserien

Beim Vergleich der Medianwerte aller Legierungen in den Referenzserien zeigte die Legierung WBC mit 1881 N den höchsten Wert und die Legierung WL mit 1483 N den niedrigsten Wert. Die Legierungen WBA und WBC zeigten einen ähnlich hohen Medianwert. Abbildung 23 zeigt die graphische Darstellung.

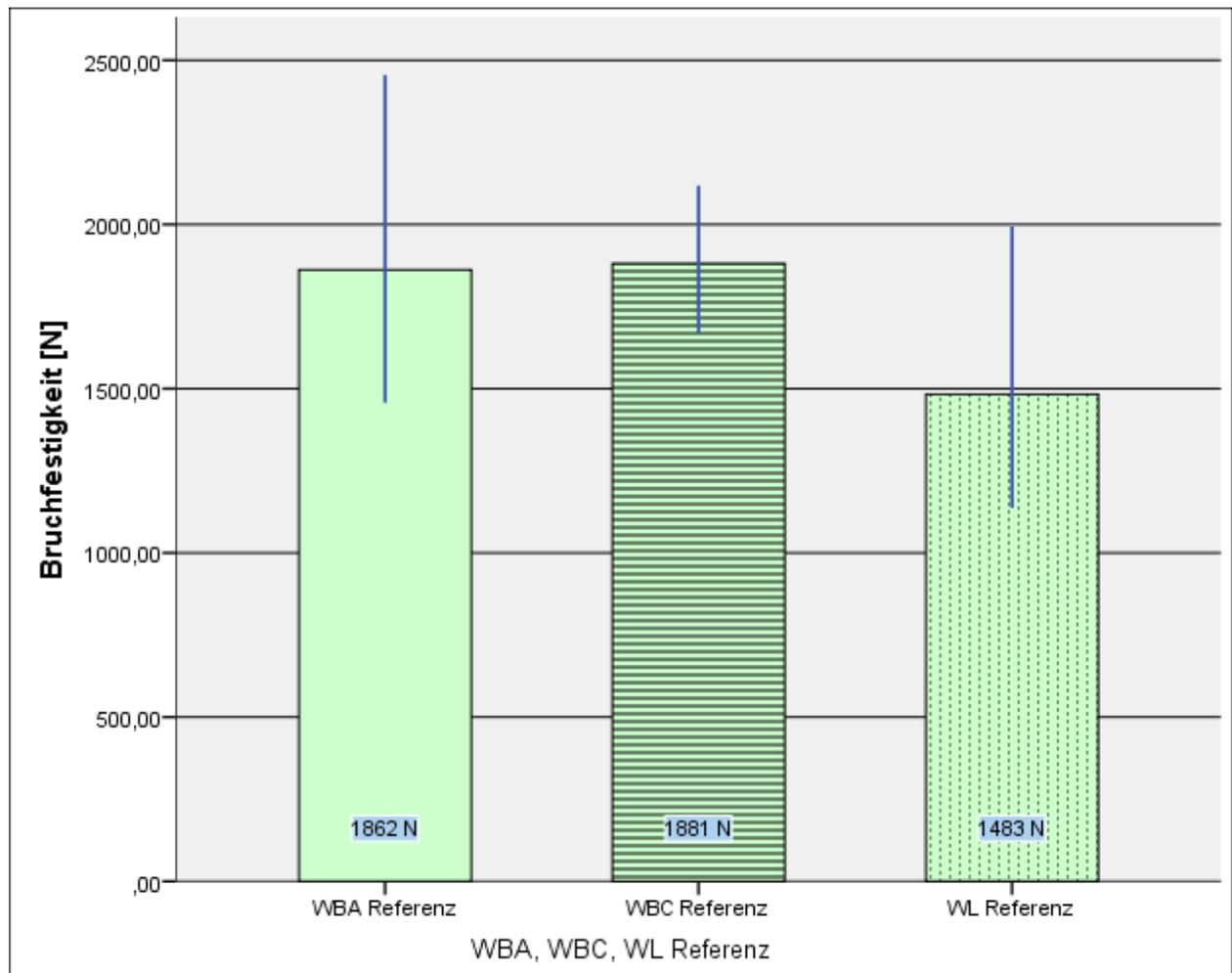


Abb. 23: Balkendiagramm der Medianwerte aller Legierungen ( WBA, WBC ≡, WL ) für die Referenzserien mit Darstellung der Minimum- und Maximumwerte  
 Referenz = konventionelle Serie

### 4.7 Vergleich aller Legierungen und Serien

Beim Vergleich aller Serien jeder Verblindmethode zeigten die Referenzserien der Legierungen WBA und WBC die höchsten Medianwerte der Bruchfestigkeit an. Die Gegenüberstellung der Bruchfestigkeitswerte der Maltechnik und Schichttechnik ergab doppelt so viele Serien mit höheren Medianwerten der Bruchfestigkeit bei der Maltechnik (10 Serien in der Maltechnik zu 5 Serien in der Schichttechnik). Den höchsten Medianwert der Bruchfestigkeit erreichte mit 1881 N die Serie 11 (Referenz) der Legierung WBC, den niedrigsten Messwert erzielte die Legierung WL mit 744 N in der Serie 4 (TG 950 °C). Abbildung 24 zeigt die graphische Darstellung.

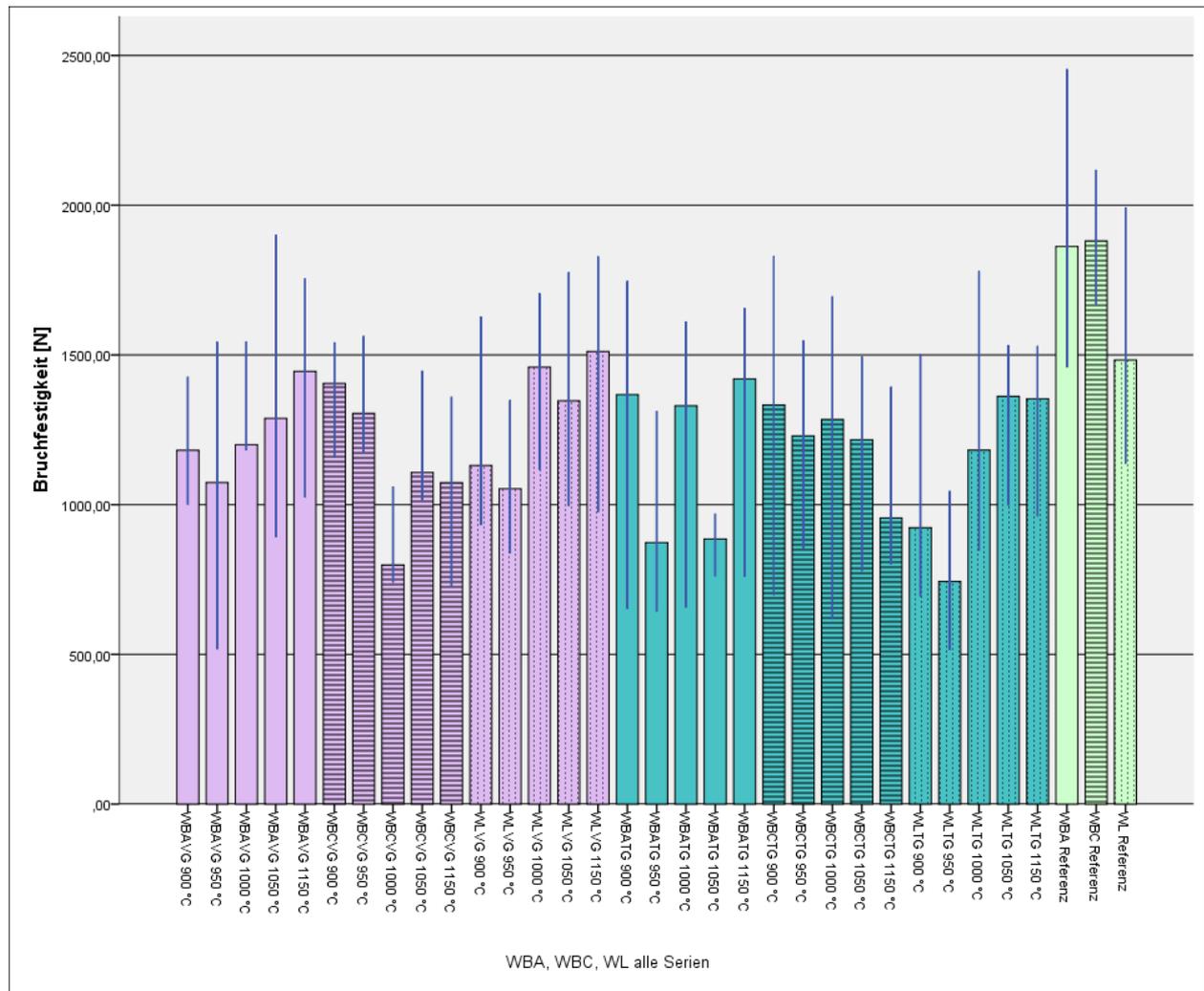


Abb. 24: Balkendiagramm der Medianwerte aller Legierungen ( WBA, WBC ≡, WL ) für alle Serien mit Darstellung der Minimum- und Maximumwerte

 VG (900 - 1150 °C) = vollgepresst 900 - 1150 °C

 TG (900 - 1150 °C) = teilgepresst 900 - 1150 °C

 Referenz = konventionelle Serie

#### 4.7.1 Vergleich der Legierungen

Zur Vereinfachung des Vergleiches der Legierungen untereinander wurde die beschreibende Statistik der Serien 3 (= VG) und 4 (= TG) der Gruppe 2 (= 1. OB bei 950 °C nach Herstellerangaben) und der Referenzserie tabellarisch fixiert (siehe Tab. 49). Hier ergaben sich Medianwerte der Bruchfestigkeit zwischen 743,5 - 1881 N, wobei der höchste Medianwert in der Serie WBC Referenz (Serie 11) lag. Der Maximalwert der Bruchfestigkeit von 2455 N war in der Serie WBA Referenz (Serie 11) zu finden, wohingegen ein minimalster Wert der Bruchfestigkeit von 515 N in der Serie WL 4 (TG 950 °C) lag. Der Signifikanztest der Werte der Bruchfestigkeit zwischen den

Legierungen WBA, WBC und WL wurde für eine bessere Übersicht ebenfalls für die gleichen Messwerte wie oben beschrieben durchgeführt (siehe Tab. 50). Die Referenzserie WBC (Serie 11) ergab die meisten Fälle (7) an signifikanten Unterschieden. Gefolgt von der Serie WBA Referenz (Serie 11) und der Serie 4 WL (TG 950 °C) mit 6 signifikanten Unterschieden. In den restlichen Serien ergaben sich signifikante Unterschiede von 2 - 4 Fällen.

Tab. 49: beschreibende Statistik des VOSS-Tests 'WBA, WBC, WL Mal- und Schichttechnik 950 °C und Referenzserie'

	WBA VG 950 °C	WBA TG 950 °C	WBC VG 950 °C	WBC TG 950 °C	WL VG 950 °C	WL TG 950 °C	WBA Refe- renz	WBC Refe- renz	WL Refe- renz
Mittelwert [N]	1035,17	928,33	1336,67	1202,17	1092,33	763,67	1879,67	1893,67	1499,83
Median [N]	1073,5	873,5	1305	1229,5	1053	743,5	1862	1881	1483
Mittelwert/ Median	0,96	1,06	1,02	0,98	1,04	1,03	1,01	1,01	1,01
Standard- abweich- ung [N]	380,09	284,09	143,31	286,13	193,82	201,62	397,85	160,85	278,72
Variations- koeffizient [%]	36,72	30,6	10,72	23,8	17,74	26,4	21,17	8,49	18,58
Minimal- wert [N]	517	643	1175	853	839	515	1458	1668	1137
Maximal- wert [N]	1544	1313	1564	1549	1349	1046	2455	2118	1993

Tab. 50: Kreuztabelle zum U-Test nach MANN-WHITNEY der Messwerte des VOSS-Testes: Vergleich aller Legierungen in der Maltechnik, Schichttechnik bei einem 1. OB von 950 °C nach Herstellerangaben und der Referenzserien; p = 0,05; n. s.= nicht signifikant; \* = signifikanter Unterschied

950 °C	WBA VG	WBA TG	WBC VG	WBC TG	WL VG	WL TG	WBA Referenz	WBC Referenz	WL Referenz
WBA VG		0,589	0,180	0,589	0,699	0,240	0,009	0,002	0,093
WBA TG	n. s.		0,026	0,189	0,310	0,394	0,002	0,002	0,009
WBC VG	n. s.	*		0,485	0,065	0,002	0,009	0,002	0,310
WBC TG	n. s.	n. s.	n. s.		0,589	0,026	0,015	0,002	0,180
WL VG	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.		0,015	0,002	0,002	0,009
WL TG	n. s.	n. s.	*	*	*		0,002	0,002	0,002
WBA Referenz	*	*	*	*	*	*		0,937	0,065
WBC Referenz	*	*	*	*	*	*	n. s.		0,026
WL Referenz	n. s.	*	n. s.	n. s.	*	*	n. s.	*	

#### 4.8 Visuelle Auswertung

Nach durchgeführtem VOSS-Test erfolgte eine visuelle Auswertung jeder Krone. Hierbei ergaben sich unterschiedliche Bruchmuster, alle ausgehend von einem beginnenden Riss an der Inzisalkante. Es zeigten sich Kronen mit minimalen Abplatzungen der Keramik inzisal bis hin zu großflächigen Defekten mit Gerüstfreilegungen vestibulär und palatinal, die sich vestibulär bis zum cervicalen Rand ausdehnten. Allen Kronen gemeinsam war der Bruchlinienverlauf beginnend von der Inzisalkante nach vestibulär verlaufend mit Abplatzungen der vestibulären Facette. Danach erfolgte die Abgrenzung in unterschiedliche Klassen aufgrund unterschiedlicher Defektgrößen (siehe Tabelle 51). In den meisten Fällen ergab sich ein Bruchverlauf von inzisal nach vestibulär und palatinal mit einer Gerüstexposition vestibulär und Keramiksprüngen palatinal. Die überwiegenden Bruchmuster zeigten demzufolge Frakturverläufe innerhalb der

Keramikschichten bis hin zur Verbundzone von Keramik und Legierung (Abbildung 25 - 27). Mithilfe der Einteilung der Bruchverläufe konnte die Bruchartverteilung (kohäsiv = innerhalb der Keramik oder adhäsiv = innerhalb der Verbundzone) besser abgeschätzt werden. Dies ergab eine Einschätzung, ob die Quelle des Restorationsversagens innerhalb der Keramik oder der Metall-Keramik-Verbundzone lag. Der Vergleich aller Serien jeder Legierung zeigte ein höheres Auftreten an adhäsiven Brüchen und demzufolge ein vermehrtes Versagen der Verbundzone zwischen Keramik und Legierung.

Tab. 51: Einteilung des Bruchverlaufes der Keramik in Klassen 1 - 6

BILD	KLASSE	BESCHREIBUNG
	1	muschelförmige Abplatzungen an der Inzisalkante & vestibulär, intakte Oxid- & Opakerschicht, teilweise Sprünge palatinal
	2	Bruchverlauf inzisal & vestibulär, minimale Gerüstfreilegung vestibulär, Oxidschicht auf Legierungsoberfläche defekt, teilweise Sprünge palatinal
	3	Bruchverlauf inzisal, vestibulär & teilweise palatinal, mittlere Gerüstfreilegung vestibulär, Oxidschicht auf Legierungsoberfläche defekt, Sprünge palatinal
	4	Bruchverlauf inzisal, vestibulär & palatinal, minimale bis mittlere Gerüstfreilegung vestibulär, Oxidschicht auf der Legierungsoberfläche defekt, teilweise Sprünge palatinal

	<p>5</p>	<p>Bruchverlauf inzisal, vestibulär &amp; palatinal, großflächige Gerüstfreilegung vestibulär, Oxidschicht auf der Legierungsoberfläche defekt, Sprünge palatinal</p>
	<p>6</p>	<p>Bruchverlauf inzisal, vestibulär &amp; palatinal, Gerüstfreilegung vestibulär bis zu 2/3, minimale Gerüstfreilegung palatinal, Oxidschicht auf der Legierungsoberfläche defekt, teilweise Sprünge palatinal</p>



Abb. 25: prozentuale Verteilung der Klassen der visuellen Beurteilung pro Serie für die Legierung WBA

Serie 1: VG 900 °C; 3: VG 950 °C; 5: VG 1000 °C; 7: VG 1050 °C; 9: VG 1150 °C

Serie 2: TG 900 °C; 4: TG 950 °C; 6: TG 1000 °C; 8: TG 1050 °C; 10: TG 1150 °C

Serie 11: Referenz

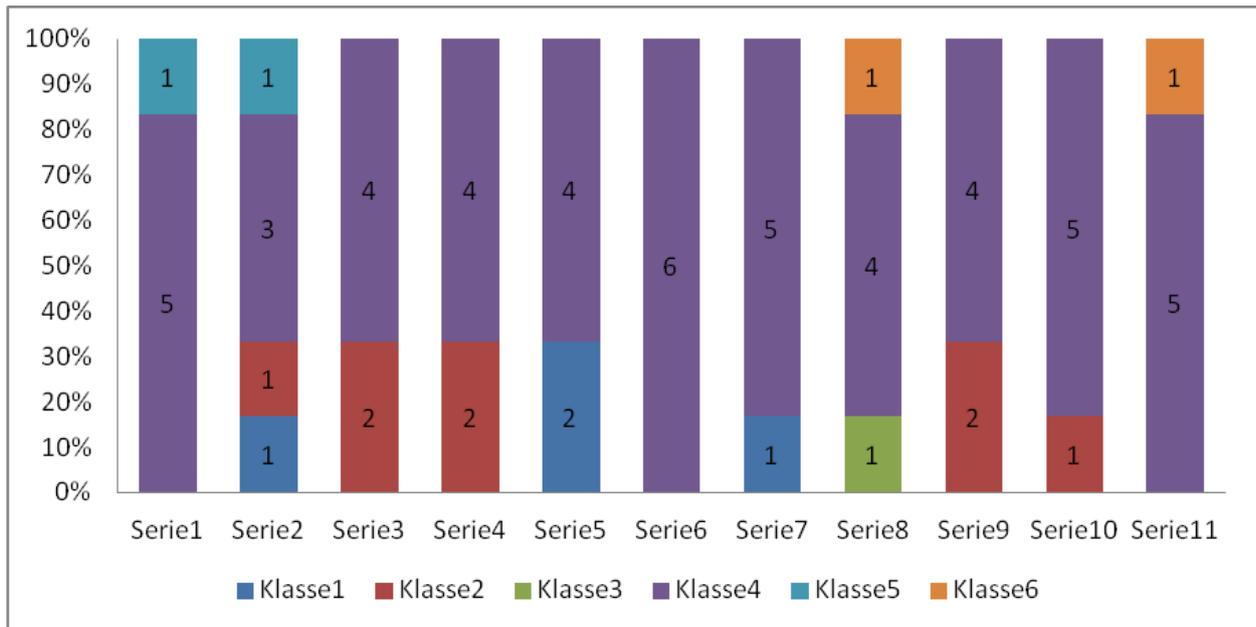


Abb. 26: prozentuale Verteilung der Klassen der visuellen Beurteilung pro Serie für die Legierung WBC

Serie 1: VG 900 °C; 3: VG 950 °C; 5: VG 1000 °C; 7: VG 1050 °C; 9: VG 1150 °C  
 Serie 2: TG 900 °C; 4: TG 950 °C; 6: TG 1000 °C; 8: TG 1050 °C; 10: TG 1150 °C  
 Serie 11: Referenz

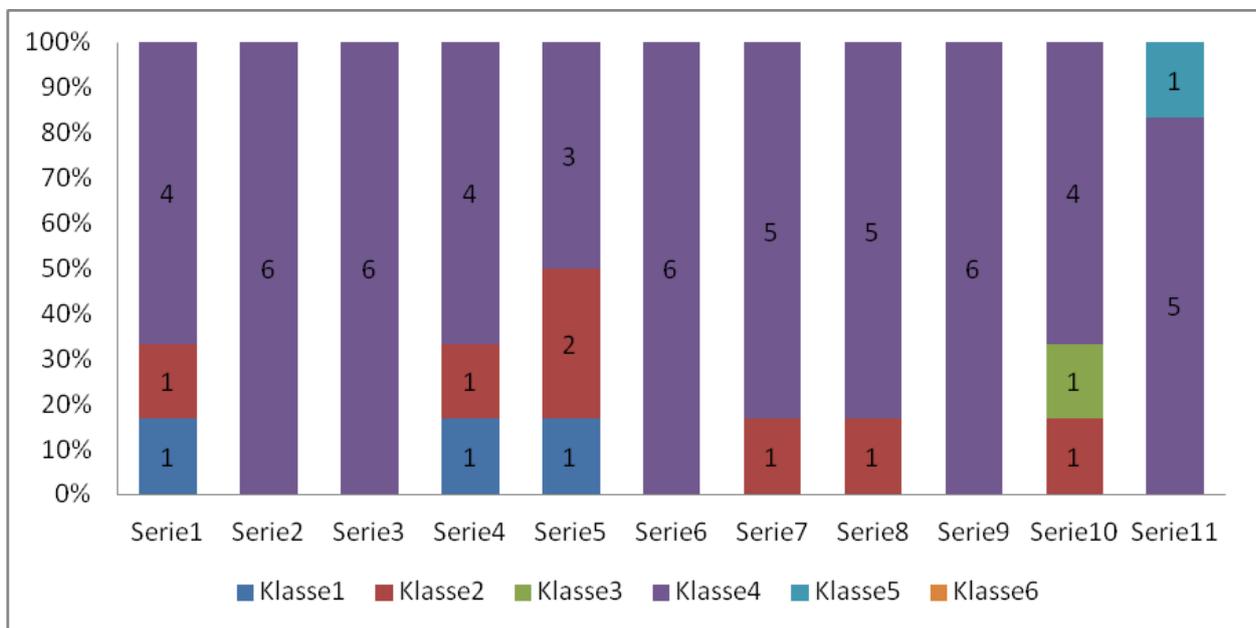


Abb. 27: prozentuale Verteilung der Klassen der visuellen Beurteilung pro Serie für die Legierung WL

Serie 1: VG 900 °C; 3: VG 950 °C; 5: VG 1000 °C; 7: VG 1050 °C; 9: VG 1150 °C  
 Serie 2: TG 900 °C; 4: TG 950 °C; 6: TG 1000 °C; 8: TG 1050 °C; 10: TG 1150 °C  
 Serie 11: Referenz

## **5 DISKUSSION**

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit der Frage, wie sehr die Verblendmethode zur Herstellung von keramisch vollverblendeten EMF-Frontzahnkronen Einfluss auf die Bruchfestigkeit hat. Desweiteren wurde untersucht, wie sich eine Änderung der Brenntemperatur des 1. Opakerbrandes unter- bzw. oberhalb der empfohlenen Herstellerangabe auf die Bruchfestigkeit auswirkt. Um die Ergebnisse der vorliegenden Dissertation analysieren zu können, ist eine Betrachtung der möglichen Fehler beim Herstellen der Prüfkörper und späteren Durchführung des VOSS-Versuches unerlässlich. Fehlerquellen beeinflussen die Messwerte. Durch ihre Kenntnis ist es möglich, Versuchsreihen und Ergebnisse zu optimieren.

### **5.1 Fehleranalyse**

Für die Vergleichbarkeit der Messwerte ist es wichtig, dass alle Prüfkörper unter identischen Bedingungen hergestellt werden und in Form und Dimension annähernd gleich sind. So wurde auch bei der Herstellung der Prüfkörper dieser Dissertation darauf geachtet, möglichst keine Änderung während des Herstellverfahrens jedes Prüfkörpers zuzulassen. Eine Ausnahme bildete die Variation der Brenntemperatur des 1. Opakerbrandes, die keramische Verblendung der Prüfkäppchen und Herstellung der Kontrollgruppe. Hier wurde gruppenweise nach der Fragestellung des Dissertationsthemas differenziert. Die Prüfkörper wurden pro Legierung in 11 Serien à 6 Prüfkronen unterteilt. Die 11. Serie bildete die Referenzserie. Diese wurde auf konventionelle Art mit einer auf dem Markt langjährig bewährten Keramik (VM 13, Fa. VITA) verblendet und diente als Kontrollgruppe. So konnte die Qualität der übrigen Prüfkörperserien geprüft werden.

#### **5.1.1 Prüfkörperherstellung**

##### **5.1.1.1 Herstellung der Metallkäppchen**

Aufgrund der Möglichkeit der unterschiedlichen Zusammensetzung verschiedener Chargen trotz gleicher Legierung sollte bei der Herstellung der Metallkäppchen auf eine Chargenkonstanz geachtet werden. Bei der vorliegenden Dissertation wurden bei allen drei Legierungen Metallkäppchen aus zwei unterschiedlichen Chargen hergestellt. Dies stellt sicherlich eine erste Fehlerquelle dar, die bei genügender Menge an Metallzylinder-

dern pro Charge hätte vermieden werden können. Da diese Vorgehensweise pro Legierung stattfand, ist von gleichen Bedingungen zwischen den Gruppen auszugehen. Die drei verwendeten aufbrennfähigen EMF-Legierungen (Fa. BEGO) stehen für handelsübliche EMF-Legierungen wie sie in der täglichen Praxis Gebrauch finden. Fehler, die durch die Verarbeitung der Legierungen entstehen, wurden reduziert, indem man sich bei jeder Legierung an die Herstellerangaben hielt. Zur Vereinfachung und besseren Reproduzierbarkeit gleicher Metallkäppchen, nutzte man vorgefertigte Kunststoffkäppchen. So war man in der Lage 198 gleichgeformte Metallkäppchen herzustellen. Fehlerhafte Metallkäppchen wurden aussortiert, um gleiche Bedingungen für jede Prüfkrone zu schaffen. Ein Wiedervergießen fehlerhafter Prüfkäppchen wurde vermieden, da dies zu geringeren Haftwerten führen würde [MIRKOVIC, 2007]. Bei der Ausarbeitung der Käppchen war sicherzustellen, Metallkäppchen mit nahezu gleichen Schichtdicken zu erhalten. Dies gelang durch die Verwendung eines Tasterzirkels. Die Käppchen wurden auf allen Flächen vielfach kontrolliert. Als Ergebnis erhielt man Metallkäppchen mit Schichtdicken von 0,4 mm. In der Literatur findet man Studien zum VOSS-Test mit Schichtdicken von 0,3 mm. Aufgrund der weniger starken Verbiegung der Metallkäppchen während des Prüfvorgangs und somit geringeren Spannung innerhalb der Keramik besteht die Möglichkeit der Verschiebung der Ergebnisse in den positiven Bereich. Die Vergleichbarkeit innerhalb der Ergebnisse dieser Studie ist nicht betroffen, da alle Käppchen auf annähernd gleiche Schichtdicken überprüft wurden und somit gleiche Bedingungen bestanden. Da die Oberflächenbeschaffenheit der Legierung eine entscheidende Rolle für den Haftverbund des Metalls zur Keramik spielt [LENZ et al., 2001], wurde auf eine gleichartige Bearbeitung jedes Käppchens geachtet. Alle Prüfkäppchen wurden auf die gleiche Weise mit dem Abstrahlgerät Basic Quattro (Fa. RENFERT) abgestrahlt. Der Haftverbund kann durch raue Legierungsoberflächen im Gegensatz zu glatten Oberflächen gesteigert werden [STRIETZEL, 2005]. Durch anschließendes Abdampfen säuberte man die Käppchen von Staub- und Fettresten. Lufteinschlüssen, die den Haftverbund herabsetzen, konnte dementsprechend entgegengewirkt werden und die Metalloberflächenbenetzung mit der Opakermasse wurde so verbessert [LENZ, 1990], [WALTER, 1988]. Man ging gruppenweise vor, um sicherzustellen, dass alle Käppchen innerhalb von 15 min nach dem Abstrahlen opakisiert werden konnten und somit gleiche Bedingungen der Nutzung der durch das Abstrahlen erzeugten Oberflächenenergie zu gewährleisten. Die erhöhte Oberflächenenergie führt zu einer

höheren Benetzbarkeit der Legierungsoberfläche mit Keramik und einem höherem Haftverbund zwischen Metall und Keramik [STRIETZEL, 2005], [TILLER et al., 1985 [2]].

### 5.1.1.2 Keramikverblendung

Aufgrund der Dissertationsvorgabe wurden die Endtemperaturen der ersten Opakerbrände der verschiedenen Serien variiert. Hier wurde der Ofen in regelmäßigen Abständen mit Hilfe der Silberprobe kalibriert, um möglichst sicher zu sein, die geforderte Temperatur auch zu erreichen. Bei der Einstellung der Endtemperatur der zweiten Opakerbrände und aller weiteren Einstellparameter wie Starttemperatur, Ofenschließzeit, Temperaturanstieg, Vakuum und Haltezeit wurde sich an die Herstellerangaben gehalten, um Messfehler durch reduzierte Verbundfestigkeiten durch falsche Brennparameter zu reduzieren. Es wurde darauf geachtet, jede Serie nach erfolgtem Brennvorangang aus der Brennkammer auf die dafür vorgesehene Abkühlplatte zu stellen und den Ofen wieder zu schließen. So wurde gewährleistet, dass die gebrannten Prüfkörper nicht unnötigen Temperaturmehrbelastungen ausgesetzt wurden. Vor jedem neuen Brand wurde sichergestellt, dass der Ofen die erforderliche Starttemperatur hatte.

Auch die Position der Prüfkörper im Keramikbrennofen kann unterschiedliche Temperaturen bewirken. Da aber jede Prüfkörperserie auf gleiche Weise betroffen ist, ist diese Fehlerquelle vernachlässigbar. Die Herstellung identischer Prüfkörperverblendungen ist für Anwender eine Herausforderung. So versuchte man, wie auch bei der Herstellung der Metallkappchen durch Verwendung genormter Kunststoffkappchen geschehen, die Reproduzierbarkeit gleicher Keramikverblendungen zu vereinfachen. Dies ermöglichte man in der Gruppe der vollgepressten Kronen durch die Nutzung von Silikonformen. Das Gipsmodell der Stumpfpräparation wurde mit opakisiertem, abgedampften Metallkappchen in die Silikonform gesteckt und mit rückstandslos verbrennbarem Wachs aufgefüllt. Die ausgebettete Wachsmodellation wurde mittels Tasterzirkel auf die erforderliche Schichtdicke überprüft und gegebenenfalls ausgebessert. So war man in der Lage zeitsparend auch als ungeübter Anwender gleiche vollgepresste Prüfkörper herzustellen. Messwertfehler aufgrund unterschiedlicher Prüfkörpergeometrien wurden minimiert. In der Gruppe der teilgepressten Prüfkörper nutzte man ebenfalls Silikonformen zum Herstellen der gepressten Dentinkerne. Die spätere Schichtung des Schmelzanteils erforderte deutlich mehr Geschick. Um nicht über den geforderten zwei Individualbränden durch Brennschrumpfung zu liegen, wurden ein paar Testkappchen zur Probe ge-

schichtet und anschließend gebrannt. Im Praxisalltag lassen sich Mehrfachbrände aufgrund von Form- und Farbkorrekturen vor allem bei unerfahrenen Technikern teilweise nicht vermeiden. Dies führt zu einer Erhöhung der Leuzitbildung und somit auch zu einem höheren WAK der Keramik und einer eventuellen zu großen Diskrepanz zwischen den WAK-Werten der Legierung und der Keramik, was sich nachteilig auf den Haftverbund ausübt [CARL, 1988], [KRUMBHOLZ, 1983], [SCHWICKERATH, MOKBEL, 1983], [ANUSAVICE et al., 2007]. Eine zu große Anzahl an Bränden lässt die Keramik glasig schmelzen und beeinflusst somit ebenfalls die Farbwirkung und Transparenz der Keramik nachteilig [CLAUS, 1990], [KAPPERT, 1998]. Ebenfalls wurde auf eine gleichmäßige langsame Abkühlung nach Herstellerangaben geachtet, um die Vergleichsmöglichkeit der Serien zu gewährleisten. Eine langsame Abkühlung beeinflusst den WAK der Keramik durch Leuzitbildung und somit ebenfalls den Haftverbund [STRIETZEL, 2005]. Zur Vereinfachung der Prüfkörperherstellung und somit auch Fehlerminimierung wurde nur mit einer Keramikmasse geschichtet. Die Farbgebung war irrelevant. Man nutzte zur Schichtung immer dasselbe Gipsmodell und orientierte sich an den Nachbarzähnen. Nach dem Brand achtete man beim Ausarbeiten auf gleiche Schichtstärken durch Verwendung eines Tasterzirkels. Als Kontrollgruppe stellte man für jede Legierung eine Serie à 6 Kronen aus einer langjährig bewährten Keramik der Firma VITA auf konventionelle, erprobte Weise her. Die Herstellung dieser Referenzserie erfolgte als letztes, so dass die Keramikschichtung relativ routiniert gelang. Alle Opaker- und Keramikbrände fanden im selben Ofen, Programmat P 300 (Fa. IVOCCLAR), statt. Die Keramikpressvorgänge wurden ebenfalls im selben Ofen, Vario Press 300 (Fa. ZUBLER), durchgeführt. Im Gegensatz zu den Glanzbränden der Serien der teilgepressten Prüfkronen fanden die Glanzbrände der vollgepressten Kronen mit Glasurmasse, allerdings ohne Vakuum statt. Dies wurde nach Herstellerangaben durchgeführt. Seit Februar 2011 empfiehlt BEGO das Brennen des Glasurmassebrandes unter Vakuum. Es bleibt zu diskutieren, inwieweit dies die Ergebnisse verändert hat. Die Firma VITA empfiehlt das Brennen des Glasurbrandes ohne Glasurpaste und ohne Vakuum, wie auch bei den Referenzserien dieser Dissertation geschehen. Das Problem des Brennens ohne Vakuum ist die Blasenbildung innerhalb der Keramikmasse, die zu Farbbeeinträchtigungen und Festigkeitsverlusten der Keramik führen kann (siehe Kap. 2.3.2). Aufgrund der geringen Menge der Glasurmasse der voll- bzw. teilgepressten Prüfkörper ist davon auszugehen, dass die eventuellen Messwertfehler zwischen beiden Gruppen durch Brennen unter bzw. ohne Vakuum gering ausfallen dürften. Die

Blasenbildung innerhalb der Glasurpaste durch nicht genügende Liquidentweichung sollte bei der Menge schwindend gering sein.

Im Endergebnis erhielt man keine vollständig identischen Prüfkörper, sondern in Form und Dimension sehr ähnliche, praxisnahe Kronen.

### **5.1.1.3 Herstellung der Prüfstümpfe**

Für die Durchführung des VOSS-Testes wurden die Prüfkronen auf Prüfstümpfe zementiert. Die Prüfstümpfe wurden aus einer Legierung mit hoher Festigkeit hergestellt, um einer Verbiegung während der Versuchsdurchführung entgegenzuwirken. Hierzu stellte man Prüfstümpfe aus der Legierung Wironit extrahart (Fa. BEGO) her. Aus Gründen der Praktikabilität wurden auch mehrmals gebrauchte Prüfstümpfe verwendet. Man zementierte mehrere Serien hintereinander und hatte so die Möglichkeit nach mindestens 24 Stunden Aushärtezeit den VOSS-Test täglich an 3 Serien durchzuführen. Aufgrund der mehrmaligen Verwendung der Prüfstümpfe zeigten einige Prüfstümpfe eine leichte Verbiegung des Schaftes. Dies bedeutet, dass die maximale Prüfkraft über der Kraft der maximalen Belastung der Prüfkrone liegt, da sich der Metallstumpf während der Prüfung verbogen hat. Die Verteilung der gebrauchten und neuen Prüfstümpfe erfolgte zufällig, so dass von ähnlichen Bedingungen pro Prüfkörperserie ausgegangen werden kann. Eine einheitliche Verwendung von neu hergestellten Prüfstümpfen pro Serie würde eine Verbesserung der Versuchsdurchführung darstellen und Messwertfehler vermindern. Die eigentliche Aussage der Experimente wird nicht wesentlich beeinflusst, da alle Serien gleichermaßen betroffen sind.

## **5.1.2 Versuchsdurchführung**

### **5.1.2.1 VOSS-Test**

Den Biegedruckversuch nach VOSS führte man in einer Universalprüfmaschine ZWICK, Modell Z010, durch. Die Versuchsanordnung untersucht praxisrelevante Kräfte, wie sie im ungünstigsten Fall im Patientenmund auftreten könnten. Man wählte bei der Versuchsdurchführung die schiefe Ebene, um die Prüfkronen im 45°-Winkel zu belasten. VOSS zeigte, dass diese Belastungsrichtung die ungünstigste Prognose hat [VOSS, 1969]. Axial wirkenden Kräften halten Kronen länger stand. Die Keramik erfährt bei dem verwendeten Versuchsaufbau nicht nur Druckkräfte, sondern auch Zugspannungen.

Dies ist sinnvoll, da die Keramik auf Zugspannungen empfindlicher reagiert als auf Druckspannungen (siehe Kap. 2.1.6). Somit untersucht man die Belastungsarten, denen im Mund eingegliederten Kronen am wenigsten standhalten und dementsprechend die Haltbarkeit der Restauration negativ beeinflussen. Trotz großer Sorgfalt bei der Herstellung der Prüfkörper unterscheidet sich jede hergestellte Prüfkrone von den anderen Prüfkronen in Form und Dimension. Somit ist auch die Position des Druckstempels bei jedem neuen Einspannen etwas unterschiedlich. Um einen in etwa gleichen Kraftangriff bei jeder Krone während des Prüfvorgangs zu gewährleisten, muss der Druckstempel stets neu positioniert werden. Trotzdem lassen sich Messfehler aufgrund leichter Positionsdifferenzen nicht vermeiden. Die Ergebnisse sind abhängig von der Richtung der Kraft und dem Kraftangriffspunkt [THOLEY, STEPHAN, 2007]. Dies ist ein Grund für die große Streuung der Messwerte innerhalb derselben Studie.

Für die Prüfkörperherstellung besteht keine ISO-Norm. Dies bedeutet, dass die Prüfkörpergeometrien verschiedener Untersucher differieren können. Es verhindert die aussagekräftige Vergleichbarkeit der Studien untereinander. Zur Herstellung der Prüfkörper lässt sich generell sagen, dass es aufgrund ihrer Kronenform für unerfahrene Anwender zu Beginn einiger Übung erfordert. Ist diese Hürde einmal genommen, stellt der VOSS-Versuch, wie in dieser Studie durchgeführt, eine kostensparende Alternative zu in-vivo-Untersuchungen dar, bietet allerdings aufgrund fehlender Parameter wie Temperaturschwankungen und Alterung bzw. Festigkeitsminderung der Restaurationen durch Wasseraufnahme und Dauerbelastung keinen Ersatz.

Der VOSS-Test untersucht die Bruchfestigkeit von Metall-Keramik-Systemen oder Vollkeramik-Systemen [THOLEY, STEPHAN, 2007] und umfasst die Prüfung von Adhäsionskräften zwischen Metall und Keramik ebenso wie Kohäsionskräften für die Verbindung innerhalb der Keramik.

### **5.1.2.2 Visuelle Auswertung**

Die visuelle Auswertung ist eine rein subjektive Betrachtung, die von Untersucher zu Untersucher variieren kann. Es wurde der Bruchverlauf der Keramik betrachtet und in Klassen eingeteilt. So ließ sich eine Einschätzung der Bruchartverteilung (kohäsiv, adhäsiv) innerhalb der verschiedenen Serien erstellen. Im Vergleich mit anderen Prüfmethoden hat die visuelle Auswertung aufgrund fehlender Objektivität weniger Aussagekraft.

## 5.2 Diskussion der Messwerte

Um festzustellen, ob die Differenz der Bruchfestigkeitsmesswerte legierungsabhängig ist, verglich man die Ergebnisse einerseits innerhalb einer Legierungsgruppe und andererseits auch zwischen den Legierungen.

### 5.2.1 Vergleich der Ergebnisse mit Literaturwerten

Ergebnisse des VOSS-Testes anderer Untersucher lagen zwischen 483 - 2836 N (siehe Kap. 2.5.1). Die Versuchsreihen unterschieden sich z. B. in der Prüfkörpergeometrie (Eckzahn, Frontzahn), den Materialien, den Kraftangriffswinkeln (30°, 45°), der Herstellungsmethoden, der Schichtdicken der Legierung bzw. der Keramik und einer provozierten vorzeitigen Alterung durch z. B. Einlagerung in Wasser. Diese Differenzen zwischen den Versuchsanordnungen lassen keinen eindeutigen Vergleich zu.

Die Messwerte der eigenen Versuchsdurchführung lagen in der Maltechnik zwischen 517 - 1902 N für die Legierung WBA, zwischen 727 - 1564 N für die Legierung WBC und zwischen 839 - 1829 N für die Legierung WL. In der Schichttechnik ergaben sich Werte zwischen 643 - 1747 N für die Legierung WBA, 617 - 1830 N für die Legierung WBC und 515 - 1780 N für die Legierung WL. Die Referenzserien zeigten deutlich höhere Werte. Diese lagen bei der Legierung WBA zwischen 1458 - 2455 N, bei der Legierung WBC innerhalb 1668 - 2118 N und beim WL zwischen 1137 - 1993 N. Alle Messergebnisse belegen die mögliche Streuung bei der Durchführung des VOSS-Testes. Die Lage der Ergebnisse der Referenzserie zeigt die deutlichste Annäherung an die Messwerte der Literatur, da die Keramikverblendung hier wie in anderen Studien mit Hilfe der konventionellen Schichtung geschah. Trotz der geringeren Werte lagen die Ergebnisse aller Legierungen in der Mal- und Schichttechnik innerhalb der Literaturwerte, was für die Richtigkeit der Methoden spricht.

Mit Parametern der statistischen Auswertung, wie dem Variationskoeffizienten und der Standardabweichung, lassen sich Aussagen zur Genauigkeit der Messungen tätigen. Hohe Werte deuten auf eine geringere Präzision.

Die nicht normal verteilten Werte weisen auf einen hohen Einfluss der Verarbeitung hin. Anscheinend können hier geringe Variationen zu vergleichsweise hohen Abweichungen im Prüfergebnis führen. Der nicht eindeutige Prüfverlauf (keine plane Auflage des Prüfstempels etc.) trägt zusätzlich noch dazu bei.

## 5.2.2 Wirobond 280

### 5.2.2.1 Messwerte

Innerhalb der einzelnen Verblendmethoden (Mal- und Schichttechnik) und 1. Opakerbrenntemperaturvariationen ergaben sich für die Legierung WBA keine signifikanten Unterschiede. Im Balkendiagramm (Abb. 14) fiel allerdings der Abfall der Medianwerte der Bruchfestigkeiten der Serien 4 (TG 950 °C/ 873,5 N) und 8 (TG 1050 °C/ 885 N) auf. Es stellt sich die Frage, ob der Grund hierfür die Opakerbrenntemperatur war. Ein Vergleich der Balkendiagramme der anderen Legierungen zeigte beim WL einen ähnlichen Abfall des Medianwertes der Bruchfestigkeit der Serie 4 (TG 950 °C/ 743,5 N). Die Beurteilung des Auslösers dieses Messwertabfalls stellt sich aufgrund der nicht konstanten Wiederkehr in allen Serien der drei Legierungen als problematisch dar. Es könnte sich lediglich um Ausreißerwerte handeln, die aufgrund der nicht identischen Prüfkörper oder Fehler bei der Herstellung durch nicht industriell gefertigte Prüfkronen resultieren. Um eindeutige Aussagen treffen zu können, bedarf es einer größeren Anzahl an Messungen pro Serie. Die Medianwerte der Bruchfestigkeiten der Serien 9 und 10 (VG/TG 1150 °C) lagen im Vergleich der Gruppen 1 - 5 (VG/TG 900 - 1150 °C) jeweils am höchsten. Der Vergleich der Mal- und der Schichttechnik untereinander zeigte konstantere Bruchfestigkeitswerte über 1000 N in den Serien der Maltechnik. Hier taucht aber wieder die Frage des Abfalls der Werte der Serien 4 (TG 950 °C) und 8 (TG 1050 °C) auf und lässt keine eindeutige Aussage der Lage der besseren Messwerte in der Maltechnik aufgrund der Verblendmethode zu. Im Vergleich jeder Verblendmethode mit der Referenzserie zeigten sich bei jeder Serie signifikant höhere Messwerte für die Referenzserie außer bei den Serien 9 und 10 (VG/TG 1150 °C). Die Bruchfestigkeitswerte der konventionellen Verblendmethode sind den zu testenden Verblendmethoden von Mal- und Schichttechnik überlegen. Dies ist vermutlich auf die unterschiedlichen Festigkeitswerte der verschiedenen Verblendkeramiken zurückzuführen. Die Biegefestigkeit der verwendeten Verblendkeramik VM 13 Base Dentine (Fa. VITA) für die konventionelle Serie liegt bei ca. 120 MPa und die der Keramik BeCePress Press-Ingots (Fa. BEGO) der Maltechnik bei > 100 MPa. Der geringste Wert der Biegefestigkeit zeigt sich bei der Schneidmasse BeCePress Enamel (Fa. BEGO) zum Aufbau des Schneideanteils in der Schichttechnik. Er liegt bei > 50 MPa.

### **5.2.2.2 Visuelle Auswertung**

Generell lässt sich bei der Legierung WBA nach der visuellen Auswertung sagen, dass die Anzahl an adhäsiven Brüchen deutlich überwog. Außer in der Serie 2 mit einer Krone der Klasse 1 war der Bruchverlauf aller Kronen mit einer Gerüstfreilegung und somit Verlust des Haftverbundes zwischen Metall und Keramik verbunden. Dies lässt auf ein fehlerhaftes Verhalten im Haftverbund des Metall-Keramik-Systems schließen und weniger auf einen Gefügefehler innerhalb der Keramik. Am häufigsten trat die Keramikbruchklasse 4 auf mit vestibulärer Gerüstfreilegung und palatinaler Beteiligung des Bruchverlaufes innerhalb der Keramik. Alle 6 Kronen der Referenzserie zeigten deutliche Verluste des Haftverbundes des Metall-Keramik-Systems. 2 von 6 Kronen stufte man in die Klasse 6 mit bis zu 2/3 vestibulärer sowie auch minimaler palatinaler Gerüstfreilegung ein.

### **5.2.3 Wirobond C**

#### **5.2.3.1 Messwerte**

Innerhalb der Verblendmethoden (Mal- und Schichttechnik) der Legierung WBC traten wie bei der Legierung WBA signifikant niedrigere Bruchfestigkeitswerte der Serien 1 - 10 zur Referenzserie 11 auf. Das Balkendiagramm bestätigt die Vermutung der höheren Bruchfestigkeitswerte der Referenzserie wie bereits bei den Gruppen der Legierung WBA und spricht für die altbewährte Verblendmethode der konventionellen Schichtung. Die Serie 9 (VG 1150 °C) zeigte nicht wie bei der vorherigen Legierung WBA den höchsten Medianwert der Bruchfestigkeit. Aufgrund der hohen Standardabweichung von 247 N im Vergleich zu den anderen Standardabweichungen der Serien der Maltechnik WBC gibt es die Vermutung der Verfälschung der Werte durch unsauberes Arbeiten. Die Serie 10 (TG 1150 °C) zeigte einen ähnlichen Werteabfall. Hier liegt aufgrund von beobachteten dunkelblauen bis schwarzen Verfärbungen auf der Gerüstoberfläche nach visueller Betrachtung unter dem Mikroskop der Gedanke eines material- oder herstellungsbedingten Fehlers nahe, der zu einem Haftverbundverlust geführt haben könnte. Wie auch schon bei der Legierung WBA beschrieben, zeigten sich geringere Medianwerte der Bruchfestigkeit bei 1. Opakerbränden von 950 °C der voll- und teilgepressten Serien im Vergleich zu Serien mit anderen Opakerbrenntemperaturen. Es stellt sich die Frage, ob dies ein Resultat der effektvolleren Variation des Opaker-

brandes ist oder der Fehler in einer unpräzisen Herstellung bzw. zu großen Variation der Dimensionierung der einzelnen Prüfkörper liegt. Der Vergleich der Bruchfestigkeitswerte zwischen der Mal- und Schichttechnik der Legierung WBC anhand der Balkendiagramme zeigt ein besseres Bild der Werte der Schichttechnik. Der Medianwert der Bruchfestigkeitswerte der Serie 5 (VG 1000 °C) der Maltechnik zeigt einen deutlichen Abfall im Vergleich zum Medianwert der Serie 6 (TG 1000 °C) der Schichttechnik. Trotzdem zeigen diese Serien im U-Testvergleich keinen signifikanten Unterschied. Dies ist auf die hohe Streuung der Serie 6 der Schichttechnik von 410 N im Gegensatz zur Serie 5 der Maltechnik von 143 N zurückzuführen.

### **5.2.3.2 Visuelle Auswertung**

Auch in der Gruppe WBC überwog der Anteil an adhäsiven Brüchen gegenüber dem Anteil an kohäsiven Brüchen. 4 Kronen wiesen nur Brüche innerhalb der Keramik auf. Die kohäsiven Brüche traten in den Serien 2, 5 und 7 auf. Mit 62 zu 4 Kronen spricht das Versuchsergebnis für ein fehlerhaftes Verhalten im Haftverbund des Metall-Keramik-Systems. Am häufigsten trat die Keramikbruchklasse 4 auf mit minimaler bis mittlerer vestibulärer Gerüstfreilegung und palatinaler Beteiligung des Bruchverlaufes innerhalb der Keramik.

## **5.2.4 Wiron Light**

### **5.2.4.1 Messwerte**

Auch die Serien 3 und 4 (1. OB bei 950 °C nach Herstellerangaben) der Legierung WL zeigten wie bereits bei den beiden anderen Legierungen geringere Medianwerte der Bruchfestigkeit als andere Serien der Legierung. Dies könnte bedeuten, dass sich eine Variation der Brenntemperatur des 1. Opakerbrandes durchaus positiv auf die Bruchfestigkeitswerte und somit den Haftverbund auswirken könnte. Bleibt nur die Frage, in welche Richtung sich die Änderung begeben sollte. Die Mediane der Bruchfestigkeitswerte der Serien 9 und 10 (VG/TG 1150 °C) zeigten wie in der Gruppe 5 der Legierung WBA hohe Werte. Die Serie 9 (VG 1150 °C) zeigte innerhalb der Maltechnik WL den höchsten Medianwert und Serie 10 (TG 1150 °C) den zweithöchsten Medianwert innerhalb der teilgepressten WL-Prüfkörper. Beim Vergleich der Verblendmethoden untereinander zeigt sich ein ähnlicher Verlauf. Die Serien der höheren Opakerbrände weisen

größere Medianwerte der Bruchfestigkeit auf. Signifikant niedrigere Werte im Vergleich zur Bruchfestigkeit mit 9 anderen Serien weist vor allem die Serie 4 (TG 950 °C) auf. Insgesamt überwiegt die Anzahl an höheren Medianwerten in der Gruppe der vollgepressten Kronen. Die Referenzserie 11 zeigt einen niedrigeren Medianwert der Bruchfestigkeit als die Legierungsgruppen WBA und WBC, beweist aber durch die Lage im oberen Bereich innerhalb der Legierung WL wiederum den Herstellungserfolg der konventionellen Verblendmethode.

#### **5.2.4.2 Visuelle Auswertung**

Die Serien der Legierung Wiron Light zeigten wie auch schon die Serien der anderen Legierungen häufigere adhäsive Bruchverläufe. Insgesamt traten an 3 Kronen, verteilt in den Serien 1, 4, und 5, kohäsive Brüche auf. Somit kann man erneut auf ein deutlich erhöhtes Versagen innerhalb des Haftverbundes des Metall-Keramik-Systems schlussfolgern. Die Keramikbruchklasse 4 trat erneut am häufigsten auf. Die Kronen der Referenzserie zeigten wie auch in den Legierungen zuvor hohe Gerüstfreilegungen.

### **5.2.5 Vergleich der Legierungen**

#### **5.2.5.1 Messwerte in der Maltechnik**

Der Vergleich der Medianwerte der Bruchfestigkeit in der Maltechnik aller Legierungen zeigt zwischen den Legierungen WBA und WL einen ähnlichen Verlauf. Die Werte der Serien 1 und 3 (VG 900 °C/950 °C) zeigen niedrigere Werte als die Serien 5, 7 und 9. Dieser Verlauf entspricht nicht den Messwerten der Legierung WBC. Hier verhält sich die Verteilung umgekehrt. Die Legierung könnte ein Grund des Unterschiedes sein. Da die Prüfkörperserien der Legierung WBC als erstes hergestellt wurden, liegt die Vermutung der mangelnden Routine nahe und könnte die 3 niedrigen Werte der Legierung WBC erklären. Der Vergleich aller Serien der Maltechnik zeigt die möglichen Schwankungen des VOSS-Testes. Beim Vergleich der Messwerte aller Serien der Maltechnik zeigt die Legierung WL die höchsten Messergebnisse, dicht gefolgt von der Legierung WBA.

### 5.2.5.2 Messwerte in der Schichttechnik

Der Vergleich der Legierungen in der Schichttechnik zeigt ein noch diffuseres Bild als der Vergleich der Legierungen in der Maltechnik. Jede Legierung zeigt einen anderen Verlauf. Die Serien der Legierung WBA beschreiben bei den drei Serien 2, 6 und 10 relativ ähnlich hohe Bruchfestigkeitswerte. Diese werden von den Balken der Serien 4 und 8 mit abfallenden Ausreißerwerten abgegrenzt. Die Legierung WBC misst relativ konstante Bruchfestigkeitswerte in den ersten vier Serien 2, 4, 6 und 8. Serie 10 zeigt einen Abfall bis 956 N. Hier liegt die Vermutung des material- bzw herstellungsbedingten Fehlers, wie bereits unter Punkt 5.2.3.1 beschrieben, nahe. Die Legierung WL zeigt einen Abfall der Bruchfestigkeitswerte in den ersten beiden Serien 2 und 4. Die Serien 6, 8 und 10 mit 1182 - 1362 N liegen im oberen Bereich. Insgesamt schneidet die Legierung WBC aufgrund der vier Serien mit konstant hohen Werten am besten ab. Anzumerken sind allerdings die hohen Schwankungen zwischen den Serien und demzufolge die Vermutung der herstellungsbedingten Messfehler aufgrund von nicht exakt reproduzierbaren Prüfkörpern.

### 5.2.5.3 Messwerte beider Verblendmethoden

Generell lässt sich sagen, dass die Messwerte der Serien der Maltechnik alle über den aus der Literatur bekannten Maximalwert gemessener Kaukräfte im Seitenzahnbereich von 1009 N liegen. Eine Ausnahme bildet die Serie 5 WBC VG 1000 °C mit einem Medianwert der Bruchfestigkeit von 799 N. Bei Betrachtung der Standardabweichung von 143 N zeigt sich im Vergleich zu anderen Serien keine geringere Präzision bei der Anfertigung dieser Serie. Da allerdings die Herstellung der Serien der Legierung WBC zu allererst erfolgte, liegt die Vermutung nahe, dass es sich bei dieser Serie um einen herstellungsbedingten Abfall handelt aufgrund von fehlender Routine. Die Medianwerte der Bruchfestigkeit der Schichttechnik liegen, mit Ausnahme von fünf Serien, ebenfalls oberhalb des Kaukraftwertes von 1009 N. Im direkten Vergleich der einzelnen Serien der Verblendmethoden zeigten sich doppelt so viele Serien mit höheren Medianwerten der Bruchfestigkeit bei der Maltechnik (10 Serien in der Maltechnik zu 5 Serien in der Schichttechnik). Somit schneidet die Maltechnik etwas günstiger ab, was sich aber vermutlich aufgrund der geringeren Biegefestigkeit des Schneideanteils der Prüfkörper der Schichttechnik, wie bereits in Kapitel 5.2.2.1 beschrieben, erklären lässt. Beobachtet man den Bruchverlauf, der von inzisal nach cervical verläuft, liegt die Vermutung nahe,

dass die schwächere Schneidemasse zuerst versagt. Trotzdem kann man aufgrund der auch in der Schichttechnik auftretenden überwiegend hohen Werte sagen, dass diese Art der Verblendmethode Bruchfestigkeitswerte erreicht, die Kaukräfte von 1009 N im Seitenzahnbereich übertreffen.

Im Vergleich der Opakerbrenntemperaturen zeigen sich für die Brandführungen von 1150 °C bei 4 von 6 Serien hohe bzw. höchste Bruchfestigkeitswerte, wobei die beiden Serien mit den niedrigsten Werten bei der Legierung WBC auftraten, die aufgrund des ersten Durchlaufes am wenigsten routiniert verliefen. Bei der Serie 10 WBC TG 1150 °C liegt die Vermutung einer material- oder herstellungsbedingten Fehlerquelle nahe. Es wurden dunkelblaue bis schwarze Punkte auf der Legierungsfläche nach erfolgtem VOSS-Test sichtbar.

Die Serien 1 und 2 VG/TG 900 °C zeigten in 3 von 6 Serien hohe Werte im Vergleich zu den Werten der anderen Brenntemperaturen. Die anderen 3 Serien zeigten niedrige Bruchfestigkeitswerte. Hier sollte mit Hilfe weiterer Prüfungen gezeigt werden, in welche Richtung sich orientiert werden kann und bei welchen Werten es sich um Ausreißerwerte handelt.

In 4 von 6 Fällen fielen die Bruchfestigkeitsmesswerte der Serien 3 und 4 VG/TG 950 °C am niedrigsten aus. Somit lässt sich aus Sicht der Ergebnisse dieser Dissertation sagen, dass die nach Herstellerangaben gebrannten Prüfkörper mit einem 1. Opakerbrand von 950 °C mit am schlechtesten ausfielen und weitere Studien zur Validierung dieser Messergebnisse sinnvoll wären. Hier könnte eine weniger stark versinterte Oberfläche durch Unterbrennen (mattere Oberfläche) oder eine stärkere Versinterung durch Überbrennen (glänzendere Oberfläche) des ersten Opakerbrandes zu besseren Ergebnissen führen.

Weitere Untersuchungen sollten desweiteren Antworten auf die Gründe der Ausreißerwerte geben. Liegt hier eine Ungenauigkeit aufgrund der ungenauen und nicht exakt identischen Herstellung der Prüfkörper vor, sind die niedrigen Werte legierungsabhängig oder ist die Opakerbrenntemperatur der Grund? Außerdem sollte mit Hilfe von in-vivo-Untersuchungen der Einfluss der Alterung der Kronen durch Wasseraufnahme oder zyklischer Kaubelastungen auf die Verblendmethode und die Opakerbrenntemperatur geprüft werden.

Je höher der Elastizitätsmodul eines Materials, umso höher ist sein Widerstand gegen elastische Deformation [ZUKUNFT, 1985]. Versuche von SCHWARZ, LENZ und SCHWICKERATH zeigten höhere Spannungen an der Verbundzone unter Belastung bei Legierungen mit einem niedrigen E-Modul und daraus resultierendem geringerem Haftverbund [SCHWARZ et al., 1988]. Im Vergleich der Legierungen untereinander könnte aufgrund der unterschiedlichen E-Module der eingesetzten Legierungen angenommen werden, dass das Wiron Light die geringsten Bruchfestigkeitswerte aufweist. Es besitzt mit 200 GPa den niedrigsten E-Modul. Die höheren Spannungen an der Verbundzone könnten zu niedrigeren Bruchfestigkeitswerten führen. Dies zeigt sich in dieser Versuchsreihe bei den Serien der Opakerbrenntemperaturen von 1000 °C und höher nicht. Hier treten hohe Bruchfestigkeitswerte in der Mal- und Schichttechnik auf. Die Serien 1, 2, 3 und 4 (VG/TG 900 °C; VG/TG 950 °C) zeigten etwas niedrigere Werte, so dass beim Vergleich dieser Serien mit den Legierungen WBA und WBC die Legierung Wiron Light tatsächlich am schlechtesten ausfiel. Ein Abfall der Messwerte aufgrund des E-Moduls ist aufgrund der hohen Werte der übrigen Serien eher unrealistisch. Die Legierung mit den höchsten Bruchfestigkeitswerten der Serien 3 und 4 (VG/TG 950 °C) ist das WBC. Mit einem E-Modul von 210 GPa im Vergleich zu 220 GPa für das WBA bestätigt sich auch hier die These der höheren E-Moduli in Kombination mit besseren Haftwerten nicht.

#### **5.2.5.4 Visuelle Auswertung**

Im Vergleich aller Legierungen und Verblendmethoden untereinander zeigte sich ein durchgehend höheres Auftreten von adhäsiven Brüchen im Vergleich zu kohäsiven Brüchen. Dies deutete auf eine gute Haftung innerhalb der Keramik, was für das Funktionieren der Verblendmethoden der Maltechnik und der Schichttechnik spricht.

#### **5.2.6 Zusammenfassung der Ergebnisse**

Betrachtet man zusammenfassend die Ergebnisse, ergeben sich folgende Aussagen:

- Die Referenzserien der Legierungen WBA und WBC zeigten höhere Medianwerte der Bruchfestigkeit als die mit Presskeramik bzw. Press-/Schichtkeramik verblendeten Serien.

- Die ‚teilgepressten‘ Prüfkörper zeigten tendenziell niedrigere Medianwerte der Bruchfestigkeit als die ‚vollgepressten‘ Prüfkörper, wobei diese Effekte von der Legierung unabhängig waren.
- Die Cobalt-Chrom Legierungen WBA und WBC zeigten bei den Referenzserien die höchsten Medianwerte aller Serien. Die Nickel-Chrom Legierung WL erreichte bei der Referenzserie einen hohen Medianwert von 1483 N, wurde aber von der Serie 9 (VG 1150 °C) der Legierung WL mit 1512 N noch übertroffen.
- Innerhalb der Serien 1 - 10 der Cobalt-Chrom-Legierungen WBA und WBC zeigten mehr Serien höhere Medianwerte der Bruchfestigkeit als innerhalb der Serien 1 - 10 der Nickel-Chrom-Legierungen (3 WBA; 3 WBC; 4 WL).
- Die visuelle Begutachtung aller Serien ergab einen höheren Anteil an adhäsiven Brüchen als an kohäsiven Brüchen.

### 5.3 Praktische Bedeutung

Generell lässt sich festhalten, dass die teilgepressten Kronen aufgrund der geringeren Biegefestigkeit der Schneidmasse ( $> 50$  MPa) und geringeren Werte der Bruchfestigkeit für einen Einsatz im Frontzahnbereich mit geringeren maximalen Kaukräften sprechen. Ebenso sprechen die ästhetisch hochwertigeren Ergebnisse der mit Schneidmasse individualisierten teilgepressten Kronen für den Frontzahnbereich. Für den Zahntechniker bedeutet der hohe Anteil an adhäsiven Brüchen eine absolute Notwendigkeit in der Genauigkeit bei der Behandlung der Metalloberfläche, wie das Abstrahlen mit  $250\ \mu\text{m}$  bei NEM-Legierungen, das Abdampfen der Oberfläche und das sorgfältige Einmassieren des Opakerschlickers. Die Ergebnisse dieser Dissertation in Bezug auf die Opakerbrenntemperaturen deuten auf eine Verbesserung der Bruchfestigkeitswerte bei Änderung der Temperatur des 1. Opakerbrandes von  $950\ \text{°C}$  auf Werte von  $900$  bzw.  $1150\ \text{°C}$ . Dies muss mit Hilfe weiterer Studien bestätigt werden.

Bei der Übertragung des VOSS-Testes auf das natürliche Gebiss muss in der Position des Kraftangriffspunktes unterschieden werden. Bei der vorliegenden Dissertation setzt man den Druckstempel an der Inzisalkante an. In der Praxis befindet sich dieser Punkt je nach tatsächlicher Zahnstellung eher  $2 - 6\ \text{mm}$  unterhalb der Inzisalkante in Richtung palatinal bei einem Kraftangriffswinkel von ca.  $30^\circ$  [COCA, SCHWICKERATH, 1987]. Aufgrund des von VOSS beschriebenen ungünstigsten Belastungswinkels von  $45^\circ$ , indem

eine Kraft auf eine Krone wirken kann [VOSS, 1969], stellen die gemessenen Ergebnisse die Kräfte dar, denen die Krone eher selten widerstehen muss. Axiale Kräfte, wie sie im Seitenzahnbereich vorkommen, verkraften Kronen wesentlich besser. Somit kann man beim Vergleich aus der Literatur bekannten Kaukräften in der Front von 94 - 300 N und im Seitenzahnbereich von 235 - 1009 N (siehe Kap. 2.7) mit den Ergebnissen der vorliegenden Dissertation sagen, dass die geprüften vollgepressten Kronen die maximalen Kaukräfte von 1009 N für den Seitenzahnbereich mit Ausnahme der Serie 5 WBC VG 1000 °C (799 N) erreicht bzw. übertroffen haben. Die teilgepressten Kronen zeigten in 5 von 15 Serien niedrigere Werte als die maximal gemessene Kaukraft von 1009 N im Seitenzahnbereich. Den maximalen Belastungen von 300 N für den Frontzahnbereich übertreffen alle Serien mit Abstand. Aufgrund des ungünstigsten Kraftangriffswinkels lässt sich annehmen, dass auch die Serien mit Bruchfestigkeitswerten unter der gemessenen maximalen Kaukraft von 1009 N in der Praxis funktionieren. Für eine definitive Aussage und Praxisbefürwortung sind weitere klinische Studien unerlässlich [BÖNING et al., 2006].

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der vorliegenden Dissertation war es, die Bruchfestigkeit vollgepresster EMF-Kronen mit der Bruchfestigkeit teilgepresster EMF-Kronen bei unterschiedlichen Brenntemperaturen des 1. Opakerbrandes zu vergleichen. Hierbei verwendete man drei verschiedene, in der Praxis anzutreffende Legierungen, wobei zwei der Gruppe der Kobalt-Chrom-Legierungen (WIROBOND A, WIROBOND C) und eine der Gruppe der Nickel-Chrom-Legierungen (WIRON LIGHT) angehörten. Bei den zu prüfenden Verblindmethoden kam die Keramik BeCePress der Firma BEGO zum Einsatz. Alle Kontrollserien wurden mit der Keramik VM 13 der Firma VITA verblindet. Insgesamt stellte man 198 Prüfkronen her und teilte sie pro Legierung in 11 Serien à 6 Kronen ein. Bei jeder Legierung bildeten die Serien 1, 3, 5, 7 und 9 die vollgepressten Prüfkörper und die Serien 2, 4, 6, 8 und 10 die teilgepressten Prüfkörper, wobei bei jeder Serie die Brenntemperatur des 1. Opakerbrandes zwischen 900 - 1150 °C variierte. Die Kontrollserie jeder Legierung bildete die Serie 11. Sie wurde nach konventioneller Schichtmethode verblindet.

Als Prüfmethode zur Bestimmung der Bruchfestigkeit diente der VOSS-Test. Der Vergleich der Medianwerte der Bruchfestigkeit der verschiedenen Verblindmethoden zeigte bei doppelt so vielen Serien höhere Messergebnisse für die Maltechnik (10 Serien in der Maltechnik zu 5 Serien in der Schichttechnik). Bei Betrachtung der Opakerbrenntemperaturen erzielten die nach Herstellerangaben bei 950 °C gebrannten Prüfkörper beider Verblindmethoden in 4 von 6 Fällen die geringsten Werte. Die Bruchfestigkeiten der Prüfkörper bei einer Brenntemperatur von 1150 °C zeigten bei 4 von 6 Serien hohe bzw. höchste Bruchfestigkeitswerte. Ebenso erreichten im Vergleich zu den Werten der anderen Brenntemperaturen die Serien 1 und 2 VG/TG 900 °C in 3 von 6 Serien hohe bzw. höchste Werte. Der U-Test nach MANN-WHITNEY zeigte für die Serie 4 (TG 950 °C) der Legierung WL signifikant niedrigere Werte im Vergleich zu den Serien 9 und 10 (VG/TG 1150 °C) und der Serie 1 (VG 900 °C). Die Serie 3 (VG 950 °C) der Legierung WL und die Serie 4 (TG 950 °C) der Legierung WBA zeigten nur vereinzelt signifikante Unterschiede wohingegen die Legierung WBC beim Vergleich der Serien der Opakerbrenntemperaturen 900 °C, 950 °C und 1150 °C keine signifikanten Unterschiede ergaben. Aufgrund der nicht konstant auftretenden signifikanten Unterschiede lässt sich der Grund der Variation der Bruchfestigkeitswerte nicht eindeutig zuordnen. Die höheren Bruchfestigkeitswerte der Serien 1 und 2 (VG/TG 900 °C) bzw. 9 und 10 (VG/TG 1150 °C) aufgrund unterschiedlicher Opakerbrenntemperaturen können

als Ursache nur vermutet werden. Es bleibt in weiteren Studien zu klären, ob sich die Verbesserung der Bruchfestigkeitswerte bei Reduzierung der Brenntemperatur des 1. Opakerbrandes um 50 °C bzw. Erhöhung um 200 °C als die vom Hersteller empfohlenen 950 °C weiterhin bestätigt. Desweiteren sollte dies auch in Bezug auf die Verbundfestigkeit zwischen Keramik und Legierung geprüft werden.

Jede Krone wurde nach durchgeführtem VOSS-Test visuell begutachtet und aufgrund des Frakturverlaufes der Keramik in verschiedene Gruppen eingeteilt. Es zeigte sich generell ein überwiegendes Auftreten adhäsiver Brüche im Vergleich aller Legierungen und Verblendmethoden untereinander. Dies spricht für das Funktionieren der Verblendmethoden der Maltechnik und der Schichttechnik aufgrund guter Haftung innerhalb der Keramik.

Bezieht man die Ergebnisse auf die Praxis, zeigten die Medianwerte der Bruchfestigkeit aller Serien beider Verblendmethoden höhere Werte als die in der Front auftretenden Kaukräfte von 300 N. Dies spricht für ein Funktionieren der Verblendmethoden im klinischen Einsatz in Bezug auf die Bruchfestigkeit der Restauration. Aufgrund der individuellen Gestaltung von ästhetisch hochwertigen Frontzahnkronen mit Hilfe der Schichttechnik ist dies ein positives Ergebnis für den Anwender. Für den Einsatz der Verblendmethode der Maltechnik im Seitenzahnggebiet sprechen die konstant höheren Mediane der Bruchfestigkeit (mit Ausnahme einer Serie) im Vergleich zu den im Seitenzahnbereich auftretenden Kaukräften von 1009 N und die eingeschränktere individuelle und ästhetische Gestaltung.

Alle Resultate müssen durch weitere Bruchfestigkeitsstudien sowie Studien über u. a. die Verbundfestigkeit zwischen den Verbundpartnern Metall und Keramik unter unterschiedlichen Bedingungen unterstützt werden. Erst dann kann eine Empfehlung für den klinischen Einsatz ausgesprochen werden.

## 6.1 Summary

The aim of this thesis was, to compare the fracture strength of fully anatomical pressed non-precious alloy restorations with the fracture strength of non-precious alloy crowns made with the help of the combined press/build-up technique at different temperatures of the first opaque firing. Three different, in dentistry applicable alloys were used, two of them belonging to the group of cobalt-chrome alloys (WIROBOND A, WIROBOND C) and the other to the group of nickel-chrome alloys (WIRON LIGHT). The ceramic Be-CePress by BEGO was chosen for the tested veneering material. All control series were conventionally veneered with the ceramic VM 13 by VITA. A total of 198 test specimens were produced and divided into 11 series of 6 crowns. The series 1, 3, 5, 7 and 9 formed the fully anatomical pressed test specimens and the series 2, 4, 6, 8 and 10 comprised the partly pressed crowns. The firing temperature of the first opaque firing varied between 900 - 1150 °C in each series. Series 11 showed the control series for each alloy. It was veneered in the conventional build-up technique. The fracture-strength was determined using the VOSS-test. The stain technique showed twice as many higher results for the breaking strength values comparing both veneering techniques (10 series in the stain technique to 5 series in the combined press/build-up technique). According to the firing temperature of the first opaque firing, the series fired at a temperature of 950 °C of both veneering techniques measured in 4 of 6 cases the lowest values. The tested crowns fired at a temperature of 1150 °C showed high to highest fracture strength values in 4 of 6 series. The series 1 and 2 (fully anatomical pressed and partly pressed/build-up; 900 °C) achieved in 3 of 6 series high to highest values compared to the other series with different firing temperatures. Using the U-test by MANN-WHITNEY the series 4 (partly pressed/build-up 950 °C) in the group of the alloy Wiron Light showed significant lower values compared to the series 9 and 10 (fully pressed; partly pressed/build-up 1150 °C) and the series 1 (fully pressed 900 °C). The series 3 (fully pressed 950 °C) of Wiron Light and the series 4 (partly pressed/build-up 950 °C) of Wirobond 280 showed only occasionally significant differences whereas no significant differences were found comparing the values of the series made of the alloy Wirobond C and firing temperatures of 900 °C, 950 °C and 1150 °C. Due to the unsteady occurring of significant differences a statement describing the reason for variation of fracture strength values cannot be assigned unequivocally. The higher fracture strength values of series 1 and 2 (fully pressed; partly pressed/build-up 900 °C)

or series 9 and 10 (fully pressed; partly pressed/build-up 1150 °C) due to different temperatures of the first opaque firing can only be surmised as the cause. The improvement of fracture strength values whether by reducing the firing temperature of the 1st opaque firing by 50 °C or increasing it by 200 °C as the recommended temperature of 950 °C remains to be clarified in further studies. Furthermore, this should also be examined in relation to the bond strength between ceramic and alloy.

After being tested by the method of VOSS, each crown was visually assessed and graded, regarding the ceramic break gap course, in different classes. Comparing each alloy and veneering method, the appearance of adhesive fractures was predominant. This suggests that both veneering methods whether the stain or the combined press/build-up technique work out due to good adhesion of the ceramic material. Applying the results to daily dentistry work, the median values of fracture strength of all series in both veneering techniques measured higher values than the bite force values of 300 N occurring in the front. This supports the functioning of the tested veneering techniques in clinical use regarding the breaking strength of the restoration. This is a positive result for the user, due to the unique design of highly aesthetic anterior crowns using the combined press/build-up technique. According to the constantly occurring higher values of fracture strength (with the exception of one series) compared to the bite force of 1009 N in the posterior region, the stain technique seems to be suitable for the use in the posterior area. Another reason would be the limited individual and aesthetic design. All results must be supported by other fracture strength studies and studies regarding the bonding strength between alloy and ceramic under different conditions. Only then a recommendation for clinical use can be pronounced.

## 7 LITERATURVERZEICHNIS

- ABBOUD, M; STARK, H, (2003): Vollkeramische Restaurationen im Front- und Seitenzahnbe-  
reich. Quintessenz 54: 1295 - 1302
- AL MUTAWA, N; SATO, T; SHIOZAWA, I; HASEGAWA, S; MI, H, (2000): A study of the bond  
strength and color of ultralow-fusing porcelain. Int J Prosthodont 13: 159 - 165
- ANUSAVICE, KJ; KAKAR, K; FERREE, N, (2007): Which mechanical and physical testing me-  
thods are relevant for predicting the clinical performance of ceramic-based dental pros-  
theses? Clin Oral Implants Res 18 Suppl 3: 218 - 231
- ARLOM, R, (1998): Untersuchung des Einflusses modifizierter Oberflächen auf die Verbundfes-  
tigkeit einer Kobalt-Chrom-Legierung mit Keramik sowie von Reintitan und Titankeramik.  
Med Diss, Berlin
- AUTERHOFF, J; LENZ, J, (1985): Wärmeeigenspannungen am marginalen Rand metallkera-  
mischer Kronen mit Stufenpräparation. Dtsch Zahnärztl Z 40: 1004 - 1009
- BAKKE, M; HOLM, B; JENSEN, BL; MICHLER, L; MÖLLER, E, (1990): Unilateral isometric bite  
force in 8 - 68 year-old women and men related to occlusal factors. Scand J Dent Res  
98: 149 - 158
- BALZER, A; KAUFMANN-JIONIAN, V, (2002): Die Beurteilung von Kaukräften. Quintessenz  
Zahntech 28: 982 - 998
- BARREIRO, MM; RIESGO, O; VICENTO, EE, (1989): Phase identification in dental porcelains  
for ceramo-metallic restorations. Dent Mater 5: 51 - 57
- BEGO Bremer Goldschlägerei, (2008/03): Gebrauchsanweisung BeCePress Keramik-Maltech-  
nik. Bremen
- BEGO Bremer Goldschlägerei, (2008/09): Gebrauchsanweisung BeCePress Keramik-Schicht-  
technik. Bremen
- BEGO Bremer Goldschlägerei, (2011/02): Gebrauchsanweisung BeCePress Metall Presskera-  
mik System. Bremen
- BIENIEK, KW; MARX, R, (1994): Die mechanische Belastbarkeit neuer vollkeramischer Kronen-  
und Brückenmaterialien. Schweiz Monatsschr Zahnmed 104: 284 - 289
- BÖHM, U, (2001): Der Metall-Keramik-Verbund - eine sehr komplexe Einheit. DZW 41: 15
- BÖNING, K; ULLMANN, U; WOLF, A; LAZAREK, K; WALTER, M, (2006): Dreijährige klinische  
Bewährung konventionell zementierter Einzelkronen aus Lithiumdisilikat-Keramik. Dtsch  
Zahnärztl Z 61: 604 - 611
- BRÄMER, W; PETTER, HJ, (1990): Untersuchung der Blasenbildung im Metallkeramik-Ver-  
bund. Dental-Labor 38: 65 - 66
- BREUSTEDT, A, (1965): Zahnärztliche Keramik. VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin
- BREUSTEDT, A; LENZ, E, (1978): Stomatologische Werkstoffkunde. Johann Ambrosius Barth  
Verlag, Leipzig

- CAESAR; ERNST, (1987): Grundwissen für Zahntechniker. Verlag Neuer Merkur GmbH, München
- CALDERON, PD S; KOGAVA, EM; LAURIS, JRP; CONTI, PCR, (2006): The influence of gender and bruxism on the human maximum bite force. *J Appl Oral Sci* 14: 448 - 453
- CANABARRO, SDE A; SHINKAI, RS, (2006): Medial mandibular flexure and maximum occlusal force in dentate adults. *Int J Prosthodont* 19: 177 - 182
- CARL, W, (1988): Qualitätsminderung der metallkeramischen Bindung durch Korrekturbrände. *Dtsch Zahnärztl Z* 43: 1001 - 1005
- CHAN, C; WEBER, H, (1986): Plaque retention on teeth restored with fullceramic crowns: A comparative study. *J Prosthet Dent* 56: 666 - 671
- CLAUS, H (1980) [1]: Entwicklung der Metallkeramik. *Zahnärztl Welt* 89: 36 - 39
- CLAUS, H, (1980) [2]: Werkstoffkundliche Grundlagen der Dentalkeramik. *Dental-Labor* 28: 1743 - 1750
- CLAUS, H, (1981) [1]: Der Porzellanzahn - Eine terminologische und werkstoffkundliche Betrachtung. *ZWR* 90 (7): 44 - 46
- CLAUS, H, (1981) [2]: Die Bedeutung des Leuzits für die Dentalkeramik. *ZWR* 90 (6): 44 - 46
- CLAUS, H, (1983): Gefügeuntersuchungen an metallkeramischen Systemen. *Dental-Labor* 31: 597 - 602
- CLAUS, H, (1990): Das Gefüge und Mikrogefüge der Dentalkeramik in Abhängigkeit von den Brennbedingungen. *Quintessenz Zahntech* 16: 1479 - 1495
- CLAUSSEN, N, (1986): Umwandlungsverstärkte keramische Werkstoffe. *Z Werkstofftech* 13: 138
- COCA, I; SCHWICKERATH, H, (1986): Zur Festigkeit von Kronen im Frontzahnbereich. *Dtsch Zahnärztl Z* 41: 1002 - 1004
- COCA, I; SCHWICKERATH, H, (1987): Zur Beanspruchung von Kronen im Frontzahnbereich. *Dtsch Zahnärztl Z* 42: 338 - 341
- COSME, DC; BALDISSEROTTO, SM; CANABARRO, SDE A; SHINKAI, RS, (2005): Bruxism and voluntary maximal bite force in young dentate adults. *Int J Prosthodont* 18: 328 - 332
- CRAIG, R G, (1989): Restorative dental materials. 8th Ed, St. Louis
- DE BOEVER, JA; MCCALL, WD; HOLDEN, S; ASH, MM, (1978): Functional occlusal forces: An investigation by telemetry. *J Prosthet Dent* 40: 326 - 333
- DE LONG, R; SAKAGUCHI, RL; DOUGLAS, WH; PINTADO, MR, (1985): The wear of dental amalgam in an artificial mouth: a clinical correlation. *Dent mater* 1: 238 - 242
- DIETSCHI, D (2000): Indications and potential of bonded metal-ceramic fixed partial dentures. *Pract Periodont Aesthet Dent* 12 (1): 51 - 58

- DIN 13927 (Entwurf 09/90), (1990): Metall-Keramik-Systeme - Anforderungen, Prüfung. Beuth Verlag, Berlin
- DIN EN ISO 9693, (2001): Dentale restaurative Metallkeramiksysteme. 2000 - 12, Beuth Verlag, Berlin
- DONG, JK; LÜTHY, H; WOHLWEND, A; SCHÄRER, P, (1992) [1]: Heißpress-Keramik-Technologie und Festigkeit. Quintessenz 43: 1373 - 1385
- DONG, JK; LÜTHY, H; WOHLWEND, A; SCHÄRER, P, (1992), [2]: Heat-pressed ceramics: technology and strength. Int J Prosthodont 5: 9 - 16
- DÖRFLER, B; FLEETWOOD, PW; FISCHER, J, (1995): Prüfung dentaler Edelmetall-Gusslegierungen. Quintessenz Zahntech 21: 813 - 824
- DORSCH, P, (1990): Die Charakterisierung des Metall/Keramik-Verbundes mit dem Biegetest nach ISO und DIN. Quintessenz Zahntech 16: 709 - 718
- EICHNER, K, (1964): Aufschlüsse über den Kauvorgang durch elektronische Kaukraftmessung. Dtsch Zahnärztl Z 19: 415 - 426
- EICHNER, K, (1979): Metallkeramik in der zahnärztlichen Prothetik: Werkstoffe, Indikationen, klinische Verarbeitung. Hanser, 17 - 98, München, Wien
- EICHNER, K, (1985): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Band 2, Hüthig, Heidelberg
- EICHNER, K, (1988): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Band 1, Hüthig, Heidelberg
- EICHNER, K, (1997): Gegenwärtiger Stand der werkstoffkundlichen und klinischen Metallkeramik, Teil 1. ZWR 106: 477 - 485
- EICHNER, K, (2000) [1]: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Band 2, Hüthig, Heidelberg
- EICHNER, K, (2000) [2]: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Band 1, Hüthig, Heidelberg
- EICHNER, K, (2000), [3]: Methodische und systemische Ursachen von Fehlern in der Metallkeramik. Dental-Labor 68: 535 - 543
- EICHNER, K; KAPPERT, HF, (1996): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. 326 - 372
- EICHNER, K; KAPPERT, HF, (2005): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Thieme, Stuttgart
- FERRARIO, VF; SFORZA, C; SERRAO, G; DELIAVIA, C; TARTAGLIA, GM, (2004): Single tooth forces in healthy young adults. J Oral Rehabil 31: 18 - 22
- FENSKE, C; SADAT-KHONSARI, MR; MÜNZ, N; SCHILDBACH, O; JÜDE, HD, (2000): In-vitro-Untersuchung zur Bruchfestigkeit von In-Ceram-Kronen in Abhängigkeit von der Stufenbreite. ZWR 109: 223 - 226

- FISCHER, C; ZIERZ, M (2001): Aufbrennfähige Dentallegierungen und ihre Verarbeitung - gewusst wie - und warum. DZW Zahntech 10: 27 - 30
- FISCHER, H; WEINZIERL, P; WEBER, M; MARX, R, (1999): Bearbeitungsinduzierte Schädigung von Dentalkeramik. Dtsch Zahnärztl Z 54: 484 - 488
- FISCHER, H; MARX, R, (2000): Festigkeit von Dentalkeramik. ZWR 109: 240 - 244
- FISCHER, J; KRÄMER, V; KAPPERT, HF, (1989): Qualitative Untersuchungen zur Oberflächen-Kristallisation dentaler Glaskeramik (Dicor). Dtsch Zahnärztl Z 44: 891 - 893
- FISCHER, J; ZBAREN, C; STAWARCZYK, B; HAMMERLE, CH, (2009): The effect of thermal cycling on metal-ceramic bond strength. J Dent 37: 549 - 553
- GEHRE, G, (1996): Keramische Werkstoffe. In: Eichner, K; Kappert, HF (Hrsg.): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Hüthig Verlag, Heidelberg
- GEHRE, G, (2000): Historische Entwicklung, Einführung keramischer, glas- und aufbrennkeramischer Werkstoffe. In: Eichner, K; Kappert, HF: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Thieme, 326 - 338, Stuttgart
- GEIS-GERSTORFER, J, (1997): Vom Rohstoff zur Dentalkeramik. Quintessenz Journal 27: 35 - 43
- GRAHAM, J; JOHNSON, A; WILDGOOSE, D; SHAREEF, M; CANNAVINA, G, (1999): The effect of surface treatments on the bond strength of a non-precious alloy-ceramic interface. Int J Prosthodont 12: 330 - 334
- GÜRTLER, H; RASER, G; DIETZ, W; WELKER, D; KÜPPER, H, (2005): Festigkeit und Bruchcharakteristik von 2 Titankeramiksystemen. ZWR 114: 19 - 26
- HAHN, R; LÖST, C, (1992): Konventionelle Dentalporzellane versus bruchzähe Hochleistungskeramiken. Dtsch Zahnärztl Z 47: 659 - 664
- HALLER, B; BISCHOFF, H, (1993): Metallfreie Restaurationen aus Presskeramik. In: Mörmann WH, Hrsg. CAD/CAM in aesthetic dentistry. Quintessenz, 204 - 209, Berlin, Chicago
- HEINZELMANN, K; KRONBERG, EM, (1999): Die neue Glaskeramik MagicCeram - getestet im Laboralltag. Dental-Labor 1: 65 - 74
- HELMKINO, E; INGERVALL, B, (1978): Bite force and functional state of the masticatory system in young men. Swed Dent J 71: 167 - 175
- HENNING, G, (1976): Die Metall-Keramik-Bindung. Dental-Labor 8: 1065 - 1071
- HICKEL, R, (1997): Keramikinlays und Veneers. KH Kunzelmann: Hanser, München
- HOFMANN-AXTHELM, W, (1983): Lexikon der Zahnmedizin. Quintessenz Verlag, Berlin
- HOFMANN-AXTHELM, W, (1985): Die Geschichte der Zahnheilkunde. 2. Aufl, Quintessenz Verlag, Berlin, Chicago, London
- HOHMANN, W, (1993): Dentalkeramik auf der Basis hydrothermaler Gläser. Quintessenz Verlag, Berlin, 9 - 47

- HOHMANN, A; HIELSCHER, W, (1987): Lehrbuch der Zahntechnik. Band 3, Quintessenz Verlag
- HOHMANN, A; HIELSCHER, W, (1993): Lehrbuch der Zahntechnik. Band 3, Quintessenz Verlag
- HOHMANN, A; HIELSCHER, W, (2003): Lehrbuch der Zahntechnik. Quintessenz Verlag, 72-387, Berlin
- HÖLAND, W, (2000): Pressbare Glaskeramiken: IPS Empress und IPS Empress 2. Quintessenz Zahntech 26: 723 - 731
- HÖLAND, W; SCHWEIGER, M; FRANK, M; RHEINBERGER, V, (2000): A comparison of the microstructure and properties of the IPS Empress 2 and the IPS Empress glass-ceramics. J Biomed Mater Res 53: 297 - 303
- HOLDT, R, (1999): Eigenschaften von Legierungskomponenten. DZW Spezial 1: 22 - 24
- HOPP, M; BIFFAR, R, (2006): Besonderheiten der keramischen Verblendung von Galvanostrukturen. Quintessenz Zahntech 32: 1036 - 1050
- HÜRZELER, MB; KOHAL, R; FISCHER, C; FISCHER, J; STRUB, JR, (1995): In vitro and in vivo evaluation of a new opaque system for metal ceramic restorations. Int J Prosthodont 8: 142 - 149
- JÄGER, K; GRABER, G; SCHRUTT, L, (1989): Aufbau und Test einer Messkette zur Kaukraftmessung. Schweiz Monatsschr Zahnmed 99: 670 - 675
- JANDA, R, (2007), [1]: Vollkeramiken: Zusammensetzung, Eigenschaften, Anwendung, Wertung. Quintessenz Zahntech 33: 46 - 60
- JANDA, R, (2007), [2]: Gläser, Glaskeramiken und Keramiken Teil 2: Grundlagen. Quintessenz Zahntech 33: 186 - 194
- KAPPERT, HF, (1998): Keramische Verblendmassen. In: Meiners H, Lehmann KM (Hrsg), Klinische Materialkunde für Zahnärzte. Hanser, 313 - 324, München
- KAPPERT, HF; KRAH, M, (2001): Keramiken - Eine Übersicht. Quintessenz Zahntech 27: 668 - 704
- KAPPERT, HF; EICHNER, K, (2008): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Thieme, Stuttgart, New York
- KAPPERT, HF; RIEDLING, W; WEYHMANN, J, (1985): Eine vergleichende Studie von drei Methoden zur Untersuchung des Metall-Keramik-Verbundes bei NEM-Legierungen. Dtsch Zahnärztl Z 40: 1179 - 1186
- KERSCHBAUM, T, (1983): Zur Bedeutung von Nachuntersuchungen in der zahnärztlichen Prothetik. Dtsch Zahnärztl Z 38 (11): 990 - 997
- KERSCHBAUM, T, (1986): Überlebenszeiten von Kronen- und Brückenzahnersatz heute. Zahnärztl Mitt 76: 2315 - 2320
- KERSCHBAUM, T, (2004): Langzeitüberlebensdauer von Zahnersatz. Eine Übersicht. Quintessenz 55: 1113 - 1126

- KIM, B; ZHANG, Y; PINES, M; THOMPSON, VP, (2007): Fracture of porcelainveneered structures in fatigue, J Dent Res 86 (2): 142 - 146
- KNISCHEWSKI; GROSSE, (1975): Grundwissen für Zahntechniker. Verlag Neuer Merkur GmbH, München
- KÖRBER, K, (1982): Zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie. Thieme, Stuttgart
- KÖRBER, KH; LUDWIG, K, (1983): Maximale Kaukraft als Berechnungsfaktor zahntechnischer Konstruktionen. Dental-Labor 31: 55 - 60
- KRÄMER, N; PELKA, M; PETSCHL, A, (1995): Comparison of luting composites using the high viscosity cementation technique. J Dent Res 74: 537, Abstr 1096
- KREJCI, I; FÜLLEMANN, H; LUTZ, F, (1992): Zahnfarbene Inlays/Overlays. Materialien, Prinzipien und Klassifikation. Schweiz Monatsschr Zahnmed 102: 73 - 80
- KRUMBHOLZ, K, (1983): Leucit-Kristallisation in keramischen Aufbrennmassen. Quintessenz Zahntech 9: 1175 - 1179
- KRUMBHOLZ, K, (1996): Stand und Entwicklung von Dentalkeramiken. ZWR 3: 193 - 199
- KU, CW; PARK, SW; YANG, HS, (2002): Comparison of the fracture strengths of metal-ceramic crowns and three ceromer crowns. J Prosthet Dent 88: 170 - 175
- KUNZELMANN, KH; POSPIECH, P; KERN, M, (2007): Hat sich Vollkeramik bewährt? Eine Positionseilung in der Kons und Prothetik. Dentalfresh, 2 Quelle AG Keramik
- LAUER, HC; OTTL, P; WEIGL, P, (1998): Metallkeramik - Einfluss von Verfahrenstechniken auf die klinische Bewertung. Dtsch Zahnärztl Z 53: 167 - 174
- LEEMPOEL, P; VAN'T HOF, M; DE HAAN, A, (1989): Survival studies of dental restorations: criteria, methods and analyses. J Oral Rehabil 16: 387 - 394
- LENZ, J, (1990): Der Torsionstest zur Bestimmung der Scher-Verbundfestigkeit von Metall und Keramik. Philipp J 1: 31 - 38.
- LENZ, J; SCHWARZ, S; SCHWICKERATH, H; SPERNER, F; SCHÄFER, A, (1995): Bond strength of metal-ceramic systems in three-point flexure bond test. J Appl Biomater 6: 55 - 64
- LENZ, U; RASER, G; LENZ, E, (2001): Verbesserte Oberflächenqualität von Dentalegerungen und Titan. Dental-Labor 49 (4)
- LIDE, DR, ED, (1993): CRC Handbook of chemistry and physics. Boca Raton Ann Arbor London, Tokyo, CRC Press
- LINDEMANN, W, (2000): Dentalkeramiken - mineralogisch betrachtet. Magaz Zahnheilk Managem Kultur 5: 280 - 285
- LINDIGKEIT, J, (1989): Werkstoffkunde und Technologie, Siebert, GK, Dentallegerungen in der zahnärztlichen Prothetik. Hanser, 23 - 111, München, Wien
- LUDWIG, K, (2005): Lexikon der Zahnmedizinischen Werkstoffkunde. Quintessenz Verlag, Berlin

- MARX, R, (1993): Moderne keramische Werkstoffe für ästhetische Restaurationen - Verstärkung und Bruchzähigkeit. Dtsch Zahnärztl Z 48: 229 - 236
- MARXKORS, R; MEINERS, H, (1988): Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. Hanser, München, Wien
- MARXKORS, R; MEINERS, H, (2001): Taschenatlas der zahnärztlichen Werkstoffkunde. Dtsch Zahnärzte V, 166 - 170, Köln, München
- MCLEAN, JW, (1978): Wissenschaft und Kunst der Dentalkeramik, Monographie I bis IV. Quintessenz Verlag, Berlin, Chicago, Rio de Janeiro, Tokio
- MCLEAN, JW, (1981): Wissenschaft und Kunst der Dentalkeramik, Band II: Brückenkonstruktionen und Laborarbeiten in der Dentalkeramik. Quintessenz Bibliothek, Berlin, Chicago und Tokio
- MCLEAN, JW, (2001): Evolution of dental ceramics in the twentieth century. J Prosthet Dent 85: 61 - 66
- MEINERS, H, (1978): Werkstoffkundliche Grundlagen der Metallkeramik 1+2. Quintessenz Zahntech 4: 59 - 65, 51 - 55
- MIETKO, M, (2008): Vergleich verschiedener Prüfmethode zur Bestimmung der Verbundfestigkeit zwischen einer Kobalt-Chrom-Legierung und einer Verblendkeramik. Med Diss, Berlin
- MIRKOVIC, N. (2007): Mechanical properties of metal-ceramic systems from nickel-chromium and cobalt-chromium alloys. Vojnosanit Pregl 64 (4): 241 - 245
- NIKELLIS, I; LEVI, A; ZINELIS, S, (2005): Effect of soldering on the metalceramic bond strength of a ni-cr base alloy. J Prosthet Dent 94: 435 - 439
- NOACK, MJ, (1994): Die Passgenauigkeit von Komposit-, Glaskeramik- und Keramikinlays. Dtsch Zahnärztl Z 49: 873 - 878
- OGINNI, AO, (2005): Failures related to crowns and fixed partial dentures fabricated in a nigerian dental school. J Contemp Dent Pract 6: 1 - 7
- PFEIFFER, P; KANG-LEE, HY; SCHWICKERATH, H, (1997): Korrosionsverhalten von 6 aufbrennfähigen Dentallegierungen nach Oberflächenbehandlung. Dtsch Zahnärztl Z 52: 347 - 350
- POSPIECH, P, (2002): Klinische und technische Erfahrungen mit Vollkeramiken. Dental-Praxis 9/10: 255 - 257
- POSPIECH, P, (2004): Keramisch denken- keramisch rekonstruieren. In: Keramik- Vollkeramik, Ein Kompendium für die keramikgerechte Anwendung vollkeramischer Systeme in der Zahnmedizin. 3M ESPE AG
- POSPIECH, P; TINSCHERT, J; RAIGRODSKI, A, (2004): Vollkeramik- Ein Kompendium für die keramikgerechte Anwendung vollkeramischer Systeme in der Zahnmedizin. 3M ESPE AG
- PRASAD, A; DAY, GP; TOBEY, RG, (1991): Neues Verfahren zur Bewertung von kompatiblen Keramiklegierungen. Dental-Labor 39: 1403 - 1411

- PRÖBSTER, L, (2000): Innovative Verfahren in der Zahnheilkunde. Kapitel 9, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- PSOCH, A; STADLER, A; SETZ, JM, (2006): Bewährung von Keramikverblendungen gefräster Titanrestorationen nach zwölf Monaten Tragezeit. Dtsch Zahnärztl Z 61: 229 - 232
- RAU; STRÖBEL, (1992): Die Metalle in der Zahntechnik. Verlag Neuer Merkur GmbH
- REPPPEL, (1986): Gefügeveränderungen einer hochgoldhaltigen Aufbrennlegierung durch den Brennvorgang. Dtsch Zahnärztl Z 41: 259 - 263
- ROBERTS, HW; BERZINS, DW; MOORE, BK; CHARLTON, DG, (2009): Metal-ceramic alloys in dentistry: a review. J Prosthodont 18: 188 - 194
- RÖSLER, J; HARDERS, H; BÄKER, M, (2003): Mechanisches Verhalten der Werkstoffe. BG Teubner Verlag, Wiesbaden
- RUDOLPH, H; JOHANNES, M; LUTHARDT, RG, (2005): Niederdruckspritzgießen von Hochleistungskeramik. Dtsch Zahnärztl Z 60: 172 - 175
- SALMANG, H; SCHOLZE, H, (1983): Keramik, Teil 1 und 2. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- SCHMIDSEDER, A, (1988): Zahnfarbene Restauration der Seitenzähne, eine wieder entdeckte und neue Keramiktechnik. Phillip J Restaur Zahnmed 5: 303 - 309
- SCHMITZ, KH; SCHULMEYER, H, (1975): Bestimmung der Haftfestigkeit dentaler metallkeramischer Verbundsysteme. Dental-Labor 23: 1416 - 1420
- SCHNETTGER, A; ZYLLA, IM; KAPPERT, HF, (2006): Prüfung der Verbundfestigkeit metallkeramischer Systeme. Quintessenz Zahntech 32: 732 - 738
- SCHWALBE, N, (2009): Vergleichende Untersuchungen zum SCHWICKERATH-Versuch, VOSS-Versuch und Abschrecktest. Med Diss
- SCHWARZ, S; LENZ, J; SCHWICKERATH, H, (1988): Zur Festigkeit des metallkeramischen Verbundes bei der Biegeprüfung. Dtsch Zahnärztl Z 43: 1152 - 1158
- SCHWEBKE, K, (2002): Untersuchungen zum Haftverbund dreier vollkeramischer Systeme. Med Diss, Berlin
- SCHWEITZER, DM; GOLDSTEIN, GR; RICCI, JL; SILVA, NR; HITTELMAN, EL, (2005): Comparison of bond strength of a pressed ceramic fused to metal versus feldspathic porcelain fused to metal. J Prosthodont 14: 239 - 247
- SCHWICKERATH, H, (1978): Materialien für die Aufbrennkeramik, ihre Eigenschaften und ihr Verhalten. Dtsch Zahnärztl Z 33: 837 - 845
- SCHWICKERATH, H, (1983), [1]: Prüfung der Verbundfestigkeit Metall-Keramik. Dtsch Zahnärztl Z 38: 21 - 25
- SCHWICKERATH, H, (1983), [2]: Der Einfluss unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten auf das Verhalten metallkeramischer Konstruktionen. Dtsch Zahnärztl Z 38 : 554 - 556
- SCHWICKERATH, H, (1985): Das Festigkeitsverhalten von aufbrennfähigen Keramiken. Dtsch Zahnärztl Z 40: 996 - 1003

- SCHWICKERATH, H, (1986): Dauerfestigkeit von Keramik. Dtsch Zahnärztl Z 41: 266
- SCHWICKERATH, H, (1989): Eigenschaften und Verhalten von aufbrennfähigen Palladium- und Nichtedelmetall(NEM)-Legierungen. Phillip J 6: 357 - 367
- SCHWICKERATH, H, (1992): Was der Zahntechniker beachten sollte - Herstellung von vollkeramischem Zahnersatz. Dental-Labor 9: 1501 - 1506
- SCHWICKERATH, H, (1993): Zur Passivierung von Dentallegierungen. Quintessenz Zahntech 19: 403 - 408
- SCHWICKERATH, H, (1995): Einfluss mechanischer Eigenschaften der Legierung auf die Belastbarkeit metallkeramischer Restaurationen (Teil I). Zahnärztl Praxis 5: 6 - 8
- SCHWICKERATH, H; MOKBEL, MA, (1983): Grundlagen zur Prüfung des Verbundes Metall-Keramik. Dtsch Zahnärztl Z 38: 949 - 952
- SEGHI, RR; SORENSEN, JA, (1995): Relative flexural strength of six new ceramic materials. Int J Prosthodont 8: 239 - 246
- SEYMOUR, K; ZOU, L; SAMARAWICKRAMA, DY; LYNCH, E, (1996): Assessment of shoulder dimensions and angles of porcelain bonded to metal crown preparations. J Prosthet Dent 75: 406 - 411
- SHELL, JS; NIELSEN, JP, (1962): Study of the bond between gold, alloys and porcelain. J Dent Res 41: 1425
- SIEBERT, GK, (1989): Dentallegierungen in der zahnärztlichen Prothetik. Hanser, München, Wien
- SIEPER, A, (1988): Nickel-Chrom-Legierungen und aufbrennfähige Hochgoldlegierungen in einer retrospektiven Langzeitstudie - Fragebogenaktion und klinische Nachuntersuchungen. Med Diss, Düsseldorf
- STAPPERT, CFJ; STATHOPOULOU, N; GERDS, T; STRUB, JR, (2005): Survival rate and fracture strength of maxillary incisors, restored with different kinds of full veneers. J Oral Rehabil 32: 266 - 272
- STEINBERG; SCHMITZ, (1968): Grundriss der Dental-Keramik. Verlag Neuer Merkur GmbH, München
- STEPHAN, M; NICKEL, KG, (1998): Zum Haftmechanismus beim Verblenden von Dentalkeramik: Inceram und Vitadur  $\alpha$ . Quintessenz Zahntech 24: 147 - 150
- STRIETZEL, R, (1999): Haftoxide sind für den guten Verbund wichtig, aber nicht unproblematisch. DZW Spezial 1: 25 - 27
- STRIETZEL, R, (2002): Der Metall-Keramik-Verbund. Fehler bei der Verarbeitung. Quintessenz Zahntech 28
- STRIETZEL, R, (2005): Die Werkstoffkunde der Metall-Keramik-Systeme. Verlag Neuer Merkur GmbH, München
- STRIETZEL, R, (2007): Edelmetalllegierungen: der Goldstandard, und trotzdem geht es manchmal schief. Quintessenz Zahntech 33: 966 - 980

- STRUB, JR, (1992): Vollkeramische Systeme. Dtsch Zahnärztl Z 47: 566 - 571
- STRUB, JR; TÜRP, JC; WITOWSKI, S; HÜRZELER, MB; KERN, M, (1999): Curriculum Prothetik 1. Quintessenz Verlag, Berlin
- TAUBER, M (2006), [1]: Gerüstgestaltung für die metallkeramische Rekonstruktion, Teil 4: Die Verbundfestigkeit von Metall und Keramik. Quintessenz Zahntech 32: 1052 - 1061
- TAUBER, M, (2006), [2]: Gerüstgestaltung für metallkeramische Restaurationen. Teil 3: Gerüstgestaltung für eine parodontale Gesundheit. Quintessenz Zahntechnik 32: 672 - 680
- TAUBER, M; EYKMANN, R, (2006): Gerüstgestaltung für metallkeramische Restaurationen. Teil 2: Physikalische Hinweise zur Gerüstgestaltung. Quintessenz Zahntech 32: 384 - 392
- TAUBER, M; KAPPERT, H, (2006): Gerüstgestaltung für metallkeramische Restaurationen. Teil 1: Statik der Gerüstgestaltung. Quintessenz Zahntech 32: 172 - 180
- THOLEY, MJ; STEPHAN, M., (2007): Haftverbundmechanismen in dentalen Schichtsystemen. Quintessenz Zahntech 33: 160 - 168
- TILLER, HJ; GARSCHKE, A; GÖBEL, R; MAGNUS, B; MUSIL, R, (1985), [1]: Der Sandstrahlprozess und seine Einwirkung auf den Oberflächenzustand von Dentallegierungen. Quintessenz Zahntech 46: 2151 - 2158
- TILLER, HJ; GARSCHKE, A; GÖBEL, R; MAGNUS, B; MUSIL, R, (1985), [2]: Der Sandstrahlprozess und seine Einwirkung auf den Oberflächenzustand von Dentallegierungen. Quintessenz Zahntech 46: 1927 - 1934
- TINSCHERT, J; MARX, R, (1997): Klinische Bewertung von Materialien für die Vollkeramik mit bruchmechanischen Methoden. Stomatologie 1: 7 - 12
- TINSCHERT, J; NATT, G; JOREWITZ, A; FISCHER, H; SPIEKERMANN, H; MARX, R, (2000): Belastbarkeit vollkeramischer Seitenzahnbrücken aus neuen Hartkernkeramiken. Dtsch Zahnärztl Z 55: 610 - 616
- TOUATI, B; MIARA, P; NATHANSON, D, (2001): Keramik-Inlays und -Onlays. Ästhetische Zahnheilkunde und keramische Restaurationen. Urban & Fischer, 1 - 38, 259 - 292, München, Jena
- TROESTER, PM, (1977): Nachuntersuchung von getragenen metallkeramischen Arbeiten und klinische sowie labortechnische Folgerungen. Dtsch Zahnärztl Z 32: 959
- VON RADNOTH, MS, (1970): Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Bildung von Oxidschichten an metallkeramischen Systemen. Dtsch Zahnärztl Z 25: 259 - 264
- VON RADNOTH, MS; LAUTENSCHLÄGER, EP, (1969): Untersuchungen über die Morphologie der Grenzfläche zwischen Edelmetalllegierungen und aufgebrannten keramischen Massen an Kronen. Dtsch Zahnärztl Z 24: 1029 - 1036
- VOSS, R, (1957): Untersuchungen über die Verblendkrone und ihre mechanische Widerstandsfähigkeit. Zahnärztl Rdsch 66: 265 - 268
- VOSS, R, (1969): Die Festigkeit metallkeramischer Kronen. Dtsch Zahnärztl Z 24: 726 - 731

- VOSS, R; EICHNER, K, (1978): Orientierende Untersuchungen über die Festigkeit metallkeramischer Kronen aus neuen Werkstoffen. Dtsch Zahnärztl Z 33: 456 - 460
- VOSS, R; MEINERS, H, (1980): Fortschritte in der Zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde. Hanser, München, Wien
- WALTER, M, (1988): Zur Porenbildung in der keramischen Verblendung von Palladium-Silber-Legierungen. Dtsch Zahnärztl Z 43: 145 - 149
- WALTIMO, A; KÖNÖNEM, M, (1993): A novel bite force recorder and maximal isometric bite force values for healthy young adults. Scand J Dent Res 101: 171 - 175
- WEBER, K, (1983): Kritische Wertung der unterschiedlichen Legierungstypen. Medizinische und technologische Aspekte dentaler Alternativlegierungen. Quintessenz, Berlin
- WEILER, WW, (1991): Grundkurs in Werkstoffkunde. Expert-Verlag, Ehningen bei Böblingen
- WEISS, J, (1978): Vergleichende Aspekte der Aufbrennkeramik bei Edelmetall- und edelmetallfreien Aufbrennlegierungen I+II. Quintessenz Zahntech 4+5
- WIRZ, J; SCHMIDLI, F, (1990): Klinische Bewährung von Legierungen, Teil 1. Quintessenz 41: 1875 - 1880
- WIRZ, J, (1995): Basler Lehrmeinung zur Anwendung von Metallen und Legierungen in der Mundhöhle. Quintessenz Zahntech 46: 393 - 398
- WISSENSCHAFTLICHER DIENST DER FA. IVOCLAR, (1998): Wissenschaftliche Dokumentation. IPS Empress. Fa. Ivoclar, Schaan
- WOHLWEND, A; SCHÄRER, P, (1990): Die IPS Empress-Technik - Ein neues Verfahren zur Herstellung von vollkeramischen Kronen, Inlays und Facetten. Quintessenz Zahntech 16: 966 - 978
- WOHLWEND, A; SCHÄRER, P; STRUB, JR, (1990): Metallkeramik- und Vollkeramikrestaurationen (I). Quintessenz 41: 981 - 991
- WOLFF, F, (1997): Vergleichende Untersuchungen zur Verbundfestigkeit zwischen Titan und Keramik in Abhängigkeit von der Vorbehandlung des Metallgerüsts. Med Diss, FU Berlin
- WOOD, MC; THOMPSON, GA; AGAR, JR, (2007): A comparison of debonding strengths of four metal-ceramic systems with and without opaque porcelain. J Prosthet Dent 97: 141 - 149
- YILMAZ, H; DINCER, C, (1999): Comparison of the bond compatibility of titanium and a ni-cr alloy to dental porcelain. J Dent 27: 215 - 222
- ZUKUNFT, D, (1985): Allgemeine Metallkunde. Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig

## 8 ANHANG

### 8.1 Zusatzmaterialien

- Modellierwachs FC (Fa. BEGO)
- BegoSol HE (Fa. BEGO)
- Bellavest SH (Fa. BEGO)
- Strahlsand Korox 50/250 (Fa. BEGO)
- Perlablast micro 50 (Fa. BEGO)

### 8.2 Geräteliste

- Vakuumanmischgerät D-VM 10 (Fa. HARNISCH & RIETH)
- Vorwärmofen Program Controller S 17 (Fa. NABERTHERM)
- Induktionsschleuder SEF-Erscem Typ CV 10 (Fa. COWADENTAL)
- Dampfstrahler Steamy Mini (Fa. REITEL)
- Abstrahlgerät Basic Quattro (Fa. RENFERT)
- Vakuumanmischgerät Twister Evolution (Fa. RENFERT)
- Rüttler KV 26 (Fa. WASSERMANN)
- BeCePress Muffelsystem SecuPress (Fa. BEGO)
- Handstück K5 Plus (Fa. KAVO)
- Keramikbrennofen Programat P 300 (Fa. IVOCLAR)
- Wärmeofen Miditherm 100 (Fa. BEGO)
- Keramikpressofen Vario Press 300 (Fa. ZUBLER)
- Universalprüfmaschine Zwick Z010 (Fa. ZWICK GmbH & Co. KG)

## 8.3 Tabellen

### 8.3.1 Tabelle Wirobond 280 Maltechnik

Tab. 52: Einzelwerte des Vosstests 'Wirobond 280 in der Maltechnik' mit beschreibender Statistik

Serie	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C	1150 °C
Proben	Kraft F [N]				
1	1268	914	1200	1288	1616
2	1171	1544	1200	891	1024
3	1192	738	1545	1197	1063
4	1000	1265	1365	1372	1517
5	1427	517	1181	1902	1756
6	1069	1233	1182	1288	1373
Mittelwert [N]	1187,83	1035,17	1278,83	1323	1391,5
Median [N]	1181,5	1073,5	1200	1288	1445
Mittelwert/Median	1,01	0,96	1,07	1,03	0,96
Standardabweichg.[N]	150,55	380,09	148,09	329,42	297,43
Variationskoeffizient [%]	12,68	36,72	11,58	24,9	21,38
Minimalwert [N]	1000	517	1181	891	1024
Maximalwert [N]	1427	1544	1545	1902	1756

### 8.3.2 Tabelle Wirobond 280 Schichttechnik

Tab. 53: Einzelwerte des Vosstests 'Wirobond 280 in der Schichttechnik' mit beschreibender Statistik

Serie	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C	1150 °C
Proben	Kraft F [N]				
1	1747	1313	1358	843	1657
2	1485	845	1381	889	1488
3	1401	902	657	761	760
4	1334	645	1302	970	1352
5	652	643	1612	881	1650
6	1016	1222	1100	943	991
Mittelwert [N]	1272,5	928,33	1235	881,17	1316,33
Median [N]	1367,5	873,5	1330	885	1420
Mittelwert/Median	0,93	1,06	0,93	1,0	0,93
Standardabweichg.[N]	385,08	284,09	327,22	74,4	367,01
Variationskoeffizient [%]	30,26	30,6	26,5	8,44	27,88
Minimalwert [N]	652	643	657	761	760
Maximalwert [N]	1747	1313	1612	970	1657

### 8.3.3 Tabelle Wirobond C Maltechnik

Tab. 54: Einzelwerte des Vosstests 'Wirobond C in der Maltechnik' mit beschreibender Statistik

Serie	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C	1150 °C
Proben	Kraft F [N]				
1	1410	1564	833	1112	1307
2	1156	1355	764	1078	1045
3	1542	1241	760	1103	727
4	1400	1430	740	1314	1101
5	1183	1175	1024	1016	1360
6	1470	1255	1061	1447	859
Mittelwert [N]	1360,17	1336,67	863,67	1178,33	1066,5
Median [N]	1405	1305	798,5	1107,5	1073
Mittelwert/Median	0,97	1,02	1,08	1,06	0,99
Standardabweichg.[N]	156,38	143,31	142,52	165,58	246,56
Variationskoeffizient [%]	11,5	10,72	16,50	14,05	23,12
Minimalwert [N]	1156	1175	740	1016	727
Maximalwert [N]	1542	1564	1061	1447	1360

### 8.3.4 Tabelle Wirobond C Schichttechnik

Tab. 55: Einzelwerte des Vosstests 'Wirobond C in der Schichttechnik' mit beschreibender Statistik

Serie	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C	1150 °C
Proben	Kraft F [N]				
1	1551	853	1355	778	1247
2	1243	1462	617	1171	871
3	1830	1248	1696	1262	912
4	1423	890	1590	1125	1394
5	1081	1549	1214	1495	800
6	698	1211	909	1363	999
Mittelwert [N]	1304,33	1202,17	1230,17	1199	1037,17
Median [N]	1333	1229,5	1284,5	1216,5	955,5
Mittelwert/Median	0,98	0,98	0,96	0,99	1,09
Standardabweichg.[N]	393,07	286,13	410,2	245,76	233,39
Variationskoeffizient [%]	30,14	23,8	33,35	20,5	22,5
Minimalwert [N]	698	853	617	778	800
Maximalwert [N]	1830	1549	1696	1495	1394

### 8.3.5 Tabelle Wiron Light Maltechnik

Tab. 56: Einzelwerte des Vosstests 'Wiron Light in der Maltechnik' mit beschreibender Statistik

Serie	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C	1150 °C
Proben	Kraft F [N]				
1	1499	839	1134	1776	1829
2	1078	1291	1706	1490	1549
3	932	1052	1117	1184	1723
4	1628	1054	1396	1357	976
5	1100	969	1633	995	1474
6	1161	1349	1522	1336	1293
Mittelwert [N]	1233	1092,33	1418	1356,33	1474
Median [N]	1130,5	1053	1459	1346,5	1511,5
Mittelwert/Median	1,09	1,04	0,97	1,01	0,98
Standardabweichg.[N]	269,92	193,82	249,69	266,33	308,03
Variationskoeffizient [%]	21,89	17,74	17,61	19,64	20,9
Minimalwert [N]	932	839	1117	995	976
Maximalwert [N]	1628	1349	1706	1776	1829

### 8.3.6 Tabelle Wiron Light Schichttechnik

Tab. 57: Einzelwerte des Vosstests 'Wiron Light in der Schichttechnik' mit beschreibender Statistik

Serie	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C	1150 °C
Proben	Kraft F [N]				
1	1021	684	1629	1519	1530
2	825	603	1391	1261	1314
3	1502	931	1780	1164	1393
4	1024	1046	973	1533	1425
5	693	803	846	1463	961
6	773	515	940	997	991
Mittelwert [N]	973	763,67	1259,83	1322,83	1269
Median [N]	923	743,5	1182	1362	1353,5
Mittelwert/Median	1,05	1,03	1,07	0,97	0,94
Standardabweichg.[N]	291,57	201,62	394,94	217,95	237,49
Variationskoeffizient [%]	29,97	26,4	31,35	16,48	18,72
Minimalwert [N]	693	515	846	997	961
Maximalwert [N]	1502	1046	1780	1533	1530

### 8.3.7 Tabelle Wirobond 280, Wirobond C, Wiron Light konventionell

Tab. 58: Einzelwerte des Vosstests 'WBA, WBC, WL konventionell' mit beschreibender Statistik

<b>Serie</b>	<b>konventionell WBA</b>	<b>konventionell WBC</b>	<b>konventionell WL</b>
Proben	Kraft F [N]	Kraft F [N]	Kraft F [N]
1	1458	2118	1387
2	1522	1668	1481
3	2119	1820	1485
4	1642	2007	1137
5	2082	1807	1993
6	2455	1942	1516
Mittelwert [N]	1879,67	1893,67	1499,83
Median [N]	1862	1881	1483
Mittelwert/Median	1,01	1,01	1,01
Standardabweichg.[N]	397,85	160,85	278,72
Variationskoeffizient [%]	21,17	8,49	18,58
Minimalwert [N]	1458	1668	1137
Maximalwert [N]	2455	2118	1993

## DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Priv.-Doz. Dr. Roland Strietzel, für die Überlassung des Dissertationsthemas, die stetige freundliche Unterstützung in Bezug auf fachliche Fragen und die schnelle Korrektur!

Den Mitarbeitern der Fa. BEGO, insbesondere Frau Monika Poppinga, Sandra Tjarks und Herrn Wolfgang Stolzner, bin ich zu Dank verpflichtet für die Beratung bei der Anfertigung der Prüfkörper und für die Unterstützung bei der Durchführung des Biegedruckversuches nach VOSS.

Der Firma BEGO danke ich für die Bereitstellung der Materialien.

Für die Möglichkeit der Nutzung der Geräte zur Herstellung der Prüfkäppchen und für die stets freundliche und kompetente Beratung und Hilfe danke ich ZTM Michael Strziga vom Dentallabor Strziga GmbH.

Besonders möchte ich meinem Mann Thomas Stiller danken, der mich stets fachlich und moralisch unterstützt hat, sowie mir durch liebevolles und großzügiges Engagement in der Bewältigung der Aufgaben des täglichen Lebens fortwährend den Rücken freigehalten hat. Dieser Dank gilt auch meinen Eltern Michèle und Knut Hartmann und meinem Bruder Frédéric Hartmann, in deren Händen ich meine Kinder jederzeit gut aufgehoben wusste.

**LEBENS LAUF**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

**ERKLÄRUNG**

„Ich, Emilie Stiller, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: ‚Vergleichende Untersuchung zur Bruchfestigkeit von voll- und teilgepressten EMF-Kronen‘ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe“

Berlin, den 14.08.2012