

## 5 DISKUSSION

### 5.1 Fehlerbetrachtung

#### 5.1.1 Herstellung der Prüfkörper

Fehler in der Herstellung der Metallplättchen können je nach Ausmaß, zu Schwankungen in denen vom Hersteller angegebenen Eigenschaften führen. Für die Bewertung der Ergebnisse ist es dementsprechend wichtig, nachvollziehen zu können, wie die Werte der Verbundfestigkeiten zustande gekommen sind und ob sie in die Praxis übertragbar sind.

Durch das individuelle Herstellen der Metallrohlinge variieren die Abmessungen der Plättchen. Angestrebt werden die Maße 25 mm · 3 mm · 0,5 mm. Die Längenmesswerte lagen zwischen 24,66 mm und 25,33 mm. Die Werte der Breite lagen zwischen 2,77 mm und 3,44 mm. Die Dicke der Plättchen lag zwischen 0,45 mm und 0,57 mm.

Dieser Wert geht in die Berechnung der Verbundfestigkeit mit der dritten Potenz ein und stellt eine Fehlerquelle bei ungenauer Beachtung dar. Um dem zu begegnen, wurde die Dicke jedes Plättchens einzeln ausgemessen und in einigen Fällen vorsichtig korrigiert.

Der Standardfehler der Messungen wurde an einem Plättchen beispielhaft ermittelt (s. Anhang Tab. 8.43) und lag mit einem Wert von  $s(x) = 0,005$  mm in einem Bereich, der für die Ermittlung des Faktors  $k$  vernachlässigt werden kann, da dieser Fehler unterhalb des Ablesefehlers (ca.  $0,1 \text{ mm}^{-1}$ ) des  $k$ -Wertes liegt.

Bei der Ermittlung des Koeffizienten  $k$  war es teilweise nötig, mittels Extrapolation vorzugehen. Da bei diesem Verfahren der Koeffizient  $k$  nur näherungsweise erschlossen werden kann, muß ein systematischer Fehler in diesem Bereich eingeräumt werden, welcher auf 5 -10 % geschätzt wird.

Die Abweichungen der Längen- und Breitenmaße können toleriert werden.

Beim Gießen soll sichergestellt sein, dass alle vom Hersteller garantierten Gefügeeigenschaften erhalten bleiben. Wird die Muffel bei zu hohen Temperaturen vorgewärmt und die Schmelze überhitzt, besteht die Gefahr, dass das Gefüge grobkörnig dendritisch wird, was in schlechteren mechanischen Eigenschaften und verminderter Korrosionsbeständigkeit zu Ausdruck kommt. Das Vorwärmen und Gießen erfolgte deshalb streng nach Herstellerangaben [43,109].

Die Homogenität des Legierungsgefüges wird ebenfalls durch die Abkühlung beeinflusst. Jedes Gussstück verharrt nach dem Gießen für ein bis zwei Minuten im Bereich zwischen der Solidustemperatur und 700 °C. Bei feinkörnigen Legierungen reicht dieser Zeitraum für eine Homogenisierung des Werkstückes völlig aus und es wurde aus diesem Grund anschließend zügig abgekühlt.

Lunker können in Werkstücken entstehen, wenn aufgrund der Erstarrung die natürliche Volumenminderung (ca. 5 %) einsetzt und keine Schmelze nachfließen kann. Um dem zu begegnen, wurde vor dem Gießen ein sogenannter „verlorener Kopf“ anmodelliert, welcher als Schmelzreservoir diente [11]. Die Gussobjekte wurden anschließend visuell auf Fehlstellen untersucht. Als Ausschlusskriterium wurde unvollständiges Ausfließen, Porositäten oder sonstige erkennbare Fehlstellen gewählt.

Die Oberflächen der Rohlinge weisen nach dem Guss und der partiellen Bearbeitung unterschiedliche Strukturen auf. Da ihre Beschaffenheit entscheidend für den Verbund zwischen Metall und Keramik ist, werden sie genau nach Herstellerangaben konditioniert. Das Abstrahlen und Aufräumen bewirkt zum einen eine Reinigung und Verminderung von Tangentialspannungen, zum anderen werden Mikroretentionen erzeugt. Wichtig ist hierbei die Einhaltung der Körnung des Strahlmittels, des Druckes, der Dauer und des Strahlwinkels.

Das abschließende Abdampfen dient der Entfernung von Resten des Strahlmittels und sorgt für eine gute Benetzbarkeit des Metalls. Durch das Reinigen und Entfetten der Oberfläche wird auch gewährleistet, dass es zu keinen Lufteinschlüssen in der Verbundzone kommt, welche als Entgasungsblasen, insbesondere beim Grundmassebrand, auftreten. Aus diesem Grund wurde die Keramikschicht möglichst ohne Zeitverzug aufgetragen, um eine Rekontamination zu verhindern. Das Plättchen wur-

de ausschließlich mit der Pinzette festgehalten [45,60,65,105]. Die nötigen Parameter wurden gemäß der Arbeitsanleitungen der Hersteller gewählt.

Das Verblenden mit Keramik unterliegt strengen Herstellerangaben. Dennoch gibt es durch die individuelle Arbeitsweise im Labor Unterschiede in der Handhabung, welche es möglichst zu minimieren gilt, um die Ergebnisse reproduzierbar zu gestalten.

Um möglichst exakte Abmessungen der Probenkörper zu erhalten, wurde mit einer Messlehre (s. Kap. 3.2.2) gearbeitet.

Da die Keramik beim Sinterungsprozeß im Brennofen einer Schrumpfung unterliegt, wurden die Probenkörper nach dem ersten Dentinbrand nochmals vermessen. Beim zweiten Dentinbrand konnten dann Höhenunterschiede kompensiert werden, da die Anzahl der Brände auf zwei beschränkt war, um vergleichbare Ausgangssituationen zu erhalten.

Die unterschiedlichen Partikelgrößen im Keramikpulver bewirken ein fast lückenloses Ineinanderfügen in der Matrix. Da jedoch die ersten Brände ohne Vakuum stattfinden, kann es durch den Sinterungsprozeß trotzdem zu Porositäten kommen. Durch den anschließenden Vakuumbrand werden die Poren allerdings wieder verschlossen, solange es sich um kleine Hohlräume handelt, bei denen der erzeugte Unterdruck dafür ausreicht.

Wird die Keramik zu schnell oder zu hoch gebrannt, geben die schmelzenden Silikate Gase ab und es besteht ebenfalls die Gefahr, dass sich Porositäten bilden [44]. Ein kritischer Bereich beim Abkühlen besteht bei Temperaturen zwischen 500 – 650 °C. Die Kontraktionskurven der Keramik liegen in diesem Bereich unterhalb der vom Metall. Das bedeutet, die Keramik ist „kürzer“ als das Plättchen und entsprechend können sich problematische Zugspannungen aufbauen. Da Keramik besonders anfällig auf Zugkräfte reagiert, ist es nötig, diesen Bereich möglichst zügig durchlaufen zu lassen.

Um die Abstimmung der Wärmeausdehnungskoeffizienten einiger Metall- Keramikverbundkombinationen aufeinander zu erreichen, wird vom Hersteller eine langsame Abkühlung gefordert, die es zu berücksichtigen gilt.

Da die Einstellung der Keramikbrennöfen digital erfolgt, ist die Einhaltung, der vom Hersteller vorgegebener Richtlinien beim Brennen, vorausgesetzt. Eventuelle Brennfehler sind bei allen Systemen gleich, da immer mit den jeweiligen Einstellungen gebrannt worden ist.

Werden beim Anrühren der Keramik Luftblasen eingeschlossen und mit der Masse aufgetragen, bilden sich Porositäten. Durch vorsichtiges Anrühren und Verstreichen auf der Glasplatte wurde dem entgegengetreten. Die Ducerakeramik liegt bereits als fertige Paste vor und erleichtert dementsprechend die gleichmäßige Verarbeitung. Ist die Keramikmasse zu flüssig, verdampft sie explosionsartig beim Vortrocknen, aus diesem Grund wurde ständig überschüssige Flüssigkeit beim Auftragen abgesogen. Um eine gleichmäßige Dichte der Keramik zu erreichen, wurde die Schicht mittels Riffeln zusätzlich verdichtet [118]. Es wurde eine Aufheizrate von 50 °C / min (bzw. 55 °C / min) gewählt, damit es nicht durch zu schnelles Aufheizen zu explosionsartigen Verdampfungen kommt. Auch ein Überhitzen durch eventuelles Überschießen der Ofentemperatur wird somit verhindert.

Diese Arbeitsschritte sind insgesamt als fehleranfällig zu betrachten, weil sie nicht nur von der individuellen Geschicklichkeit, sondern auch von der jeweiligen Tagesform abhängen. Es wurde Wert darauf gelegt, dass Prüfkörper einer Serie zusammenhängend gefertigt wurden, damit die Abweichungen möglichst gering ausfallen [45]. Wie bei den mikroskopischen Untersuchungen ersichtlich wurde, konnte eine Blasenbildung in der Verbundzone nicht immer vermieden werden. Es ist davon auszugehen, dass dieser Fehler seine Ursache in dem nicht optimal erfolgten Absaugen überschüssiger Flüssigkeit hat, da Fehler beim Brennvorgang selbst aufgrund der Automatik der Anlage weitgehend auszuschließen sind.

Die Angabe des Elastizitätsmoduls einer Legierung vom Hersteller kann in der Praxis nicht ohne weiteres übernommen werden. Experimentell wurde nachgewiesen, dass der Wert Schwankungen unterliegt, die sich in Abweichungen zwischen 30 – 50 % bemerkbar machen können. Dies ist auf verarbeitungsbedingte Fehler im Labor, sowie auf unterschiedliche Meßmethoden, zurückzuführen [57].

Bei der Auswertung der Ergebnisse wurde allerdings auf die experimentell Bestimmung verzichtet, wobei ein systematischer Fehler an dieser Stelle eingeräumt werden muss. Zur Berechnung wurden die vom Hersteller angegebenen Werte herangezogen.

### **5.1.2 Meßapparatur zur Bestimmung der Verbundfestigkeit**

Die Ausrichtung der Probenkörper auf den Metallstützen erfolgte unter Verwendung einer Messlehre und wurde vor Beginn des Experimentes mehrfach geprüft. Dies ist unbedingt notwendig, da bei ungenauer Plazierung bedacht werden muss, dass die Kraft nicht mittig auf den Probenkörper einwirkt, sondern eine einseitige Mehrbelastung hervorruft. Dem wurde durch sorgfältiges Ausrichten vorgebeugt.

Die Vorschubgeschwindigkeit ist nach der DIN EN ISO 9693 [13] mit 0,5 – 1,5 mm/min vorgegeben. Für die Versuchsdurchführung wurde die Geschwindigkeit 1 mm/min gewählt. Hier muß generell mit einem Fehler von ca. 1 % gerechnet werden.

Zur Messung der aufgewendeten Kraft wurde eine 1 Kilonewton Messdose verwendet. Da alle gemessenen Werte mindestens eine Zehnerpotenz unterhalb von einem Kilonewton lagen, konnte der gesamte Verlauf des Experimentes optisch übersichtlich in der Graphik verfolgt werden. Der Abbruch des Versuches wurde nach einem Kraftabfall von 5 % bestimmt.

### **5.1.3 Eignung des Verfahrens**

Die Streuung der Messwerte innerhalb einer Versuchsreihe in Abhängigkeit von den Lagerbedingungen ist deutlich in den Graphiken (Kap. 4) zu erkennen.

Mit diesem Verfahren kann man deskriptiv arbeiten wenn es gilt, allgemeine Tendenzen aufzuzeigen, statistisch relevante Ergebnisse sind nur im Vergleich innerhalb der einzelnen Lagerbedingungen zu erhalten.

#### 5.1.4 Vergleich der Verbundfestigkeiten mit Literaturwerten

Im Vergleich mit bereits bekannten Literaturwerten sind folgende Ergebnisse zu benennen:

Die Werte der Verbundfestigkeiten von hochgoldhaltigen Legierungen im Verbund mit herkömmlichen Keramiken schwanken in der Literatur zwischen 45 – 60 MPa [15,52,101].

In diesen Versuchen konnten Werte zwischen 21,8 – 41,0 MPa ermittelt werden. Damit liegt der Höchstwert knapp unterhalb der bereits in der Literatur angegebenen Festigkeiten.

Innerhalb der Gruppe der hochgoldhaltigen Legierungen im Verbund mit niedrigschmelzenden Keramiken lagen die ermittelten Werte im Bereich von 23,0 – 49,8 MPa. In der Literatur schwanken die Werte zwischen 46 – 75 MPa [52,101].

Die Werte der goldreduzierten Legierung im Verbund mit der niedrigschmelzenden Keramik lagen bei 35,8 – 50,4 MPa, Literaturwerte sind bei Verblendung mit herkömmlichen Keramiken von 35 – 62 MPa zu finden [15,52,101].

Die bereits bekannten Verbundfestigkeitswerte von Nickel-Chrom-Legierungen liegen im Bereich von 38 – 54 MPa [95,101,111].

In den Versuchen konnten nur Ergebnisse von 9,3 – 32,4 MPa erzielt werden.

Kobalt-Chrom-Legierungen weisen in der Literatur Verbundfestigkeitswerte zwischen 37,8 und 59,2 MPa auf [67,95,101].

Die Resultate der Versuche lagen zwischen 18,9 MPa und 41,2 MPa.

Man kann feststellen, dass nur die Werte der goldreduzierten Legierung im Verbund mit der niedrigschmelzenden Keramik im bereits bekannten Bereich zu finden waren. Die Verbundfestigkeiten aller anderen Metall-Keramik-Kombinationen lagen an der unteren Grenze der Literaturwerte (s. Tab. 5.1). Zudem wird insgesamt deutlich, dass die Abstufung innerhalb der Verbundkombinationen tendenziell erhalten bleibt.

| Vergleich mit bekannten Literaturwerten           |                        |                         |
|---|------------------------|-------------------------|
| Verbundkombination                                | Vergleichswerte in MPa | ermittelte Werte in MPa |
| hochgoldhaltige Leg. /<br>herkömmml. Keramik      | 45 - 60                | 21,8 - 41,0             |
| hochgoldhaltige Leg. /<br>niedrigschmelz. Keramik | 46 - 75                | 23,0 - 49,8             |
| goldreduzierte Leg. /<br>niedrigschmelz. Keramik  | 35 - 62                | 35,8 - 50,4             |
| Nickel - Chrom - Leg. /<br>herkömmml. Keramik     | 38 - 54                | 9,3 - 32,4              |
| Kobalt - Chrom - Leg<br>herkömmml. Keramik        | 37,8 - 59,2            | 18,9 - 41,2             |

Tab. 5.1: Vergleich der ermittelten Verbundfestigkeiten mit bekannten Literaturwerten

Durch den Vergleich mit den Literaturwerten ist die prinzipielle Richtigkeit der Ergebnisse gegeben. Die Abweichungen werden im Kap. 5.2 näher diskutiert.

### 5.1.5 EDX-Analyse

Die EDX-Analyse ist ein Verfahren zur Bestimmung der Oberflächenzusammensetzung. Aufgrund von Oxidationsprozessen reichern sich unedle (bei den EM-Legierungen) und oxidable Elemente an der Oberfläche an. Damit ändert sich ihre prozentuale Zusammensetzung. Auch hochschmelzende Elemente, die als Kornfeiner zugesetzt wurden, können sich hier anreichern.

Auch kann es zur Überlappung von Peaks (z. B. Gold/Platin) kommen. Mit abnehmenden Gehalt steigt auch der Fehler der Meßmethode an. Im Allgemeinen liegt der Messfehler der EDX-Analyse bei 1 %. Nahe der jeweiligen Nachweisgrenze steigt er jedoch stark an und kann bei sehr niedrigen Gehalten 100 % und mehr betragen.

## 5.2 Diskussion der Messwerte

Insgesamt wird deutlich, dass alle im Versuch ermittelten Verbundfestigkeiten geringer als die korrespondierenden Literaturwerte ausfallen. Zum einen wird die Ursache darin vermutet, dass die Ergebnisse der Literaturwerte nicht anhand von unterschiedlichen Lagerungsbedingungen ermittelt wurden, sondern das vielmehr nach Fertigstellung und Trockenlagerung der Plättchen - im unmittelbarem Anschluß - die Biegeprüfung stattfand. Wenn man die Werte nach Trockenlagerung bei 35 °C mit den Literaturangaben vergleicht, ist festzustellen, dass die Resultate dieser Arbeit annähernd an den unteren Literaturbereich heranreichen.

Ein weitaus wichtigerer Grund, der die unterschiedlichen Ergebnisse erklärt, ist in der Versuchsanordnung selbst zu finden. Nach SCHWICKERATH wird der Versuch abgebrochen, wenn sich die Keramik am Rande des Metallplättchens ablöst. Dieser Zeitpunkt ist in der Praxis optisch schwer zu bestimmen, da die Kontrolle nur im laufenden Versuch möglich ist. Deshalb wird in der gängigen Praxis das Versuchsende mittels einer vorher festgelegten Kraftabfallsgrenze bestimmt. Um eine gewisse Sicherheit zu erhalten, dass die Norm erfüllt wird, d. h. dass erst nach Ablösen der Keramik am Metallrand der Versuch für beendet erklärt wird, sind Kraftabfallsgrenzen zwischen 15 % - 30 % üblich. In dieser Studie wurde die Grenze mit 5 % sehr niedrig festgesetzt. Damit wurde versucht, eine Gratwanderung zwischen den Testanforderungen und der klinischen Relevanz - auch mit Rissen im Verbund lässt sich eine entsprechende Restauration nicht mehr als intakt bezeichnen - in einer derartigen Untersuchung zu vollziehen. In der logischen Konsequenz führt das aber dazu, dass die Werte niedriger als die Literaturwerte sind und ein Vergleich formal nur dann möglich ist, wenn bei allen Studien das gleiche Abbruchkriterium angewandt wird. Je höher die Kraftabfallsgrenze gewählt wird, desto höhere Verbundfestigkeiten werden erreicht. Es ist deshalb nötig, entweder veröffentlichte Untersuchungen mit dieser Angabe direkt zu vergleichen oder eine für die praktische Versuchsdurchführung notwendige Grenze als allgemeingültigen Wert festzulegen. Damit wird es auch schwierig, das als klinisch sicher geltende Kriterium der 25 MPa- Grenze anzulegen. Dieser Wert wird zwar in dieser Studie erreicht, aber nicht unter allen Lagerungsbe-

dingungen, was wiederum durch die Festlegung der Kraftabfallsgrenze zu erklären ist. Eine tendenzielle Vergleichbarkeit ist jedoch gegeben.

### **5.2.1 Vergleich der Verbundfestigkeiten von EM-Legierungen mit herkömmlicher und niedrigschmelzender Keramik**

Die goldreduzierte Legierung im Verbund mit niedrigschmelzender Keramik weist größere Verbundfestigkeit auf, als die hochgoldhaltigen Kombinationen mit herkömmlicher Keramik. Ansonsten konnten bei Trockenlagerung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Verbundkombinationen gefunden werden. Lediglich nach einwöchiger Lagerung in Korrosionslösung ist ein signifikanter Unterschied zwischen den Verbundkombinationen mit herkömmlicher und niedrigschmelzender Keramik insofern festzustellen, dass die mit niedrigschmelzender Keramik verblendeten Legierungen höhere Verbundfestigkeiten aufweisen. Nach mehrwöchiger und mehrmonatiger Lagerung aber, kann man keine Bevorzugung zwischen den Gruppen feststellen.

Es ist zu bemerken, dass die Werte nach längerer Belastungsdauer generell abfallen, wobei Ponto Lloyd G / Vita Omega 900 die geringste Anfälligkeit für korrosive Schäden aufzuweisen scheint.

Beim Belastungstest kann im Temperaturwechselbad kein signifikanter Unterschied gefunden werden. Jedoch liegen die Zahlenwerte dergestalt verteilt, dass tendenziell die mit niedrigschmelzender Keramik verblendeten Legierungen höhere Festigkeiten aufweisen, als die mit herkömmlicher Keramik verblendeten Legierungen.

## 5.2.2 Vergleich der NEM-Legierungen untereinander

Zwischen diesen beiden Verbundkombinationen treten keine signifikanten Unterschiede weder in der Trockenlagerung, noch nach ein- bis mehrwöchiger Lagerung in Korrosionslösung bzw. nach 5000 Zyklen Temperaturwechsellast auf.

Nach halbjährlicher Lagerung in Korrosionslösung weist jedoch die Nickel-Chrom-Legierung einen deutlich größeren Abfall der Festigkeit auf und die Werte sinken spürbar gegenüber der Kobalt-Chrom-Legierung ab. Dieser Unterschied wird auch noch einmal nach 10000 Zyklen Temperaturwechsellast markant.

Tendenziell sind mit Wirobond C / Vita Omega 900 höhere Verbundfestigkeiten zu erreichen als mit Wiron NT / Vita Omega 900.

Bei der Lagerung in Korrosionslösung erreichte Wiron NT / Vita Omega 900 die geforderte Mindestverbundfestigkeit von 25 MPa nicht. Bei Wirobond C / Vita Omega 900 war dies nach halbjährlicher Lagerung der Fall, wobei die Werte nach ein- und mehrwöchiger Lagerung in Korrosionslösung nur knapp die 25 MPa überschritten. Dies wäre für die praktische Anwendung unbefriedigend und inakzeptabel. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die in dieser Arbeit ermittelten Verbundfestigkeiten generell am unteren Ende der in der Literatur gefundenen Werte liegt und es sich bei beiden Legierungen um klinisch bewährte Materialien handelt (so ist Wirobond C seit 1993 auf dem Markt). Der Grund kann in einer höheren Korrosionsanfälligkeit der Probenkörper liegen, welche durch den Chrom- und Molybdänanteil der Legierungen bestimmt wird. Wie sich bei der EDX-Analyse herausstellte, lagen die Chrom- und Molybdänwerte in den Chargen unterhalb der vom Hersteller angegebenen Menge, was dazu führen kann, dass die Passivierungsschicht nicht optimal ausgebildet wird [7]. Bei der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung wurden Porositäten im Metall gefunden, welche die Verbundfestigkeiten negativ beeinflussen und ebenfalls als Ursache für die geringen Werte in Frage kommen. Wie außerdem in den mikroskopischen Untersuchungen festzustellen war, konnte bei beiden Kombinationen in den Verbundzonen die Bildung von Blasen und Hohlräumen nicht vermieden werden.

### **5.2.3 Vergleich der Festigkeiten von Verbundkombinationen auf der Basis von EM- und NEM- Legierungen**

Nach Trockenlagerung sind keine signifikanten Unterschiede festzustellen, aber die Zahlenwerte der EM-Legierungen liegen generell über denen der NEM-Legierungen, woraus man schlussfolgern kann, dass die Tendenz zu höheren Verbundfestigkeiten bei den EM-Legierungen liegt.

Nach ein- und mehrwöchiger Lagerung in Korrosionslösung können keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Die Festigkeitswerte liegen nach einer Woche auch relativ nah beieinander im Bereich von 22,3 MPa (Ponto Lloyd G / Vita Omega 900) und 34,5 MPa (Bio Platin Lloyd / Duceragold). Wirobond C / Vita Omega 900 und Wiron NT / Vita Omega 900 sind mit 25,6 MPa und 32,2 MPa im mittleren Bereich zu finden. Nach vier Wochen Lagerung in Korrosionslösung wird die Tendenz zur höheren Festigkeit bei den EM-Legierungen deutlicher, einzig Platin Lloyd KF / Duceragold erreicht mit 24,5 MPa ähnliche Werte wie Wirobond C mit 26,3 MPa und Wiron NT mit 23,5 MPa.

Nach halbjährlicher Lagerung in Korrosionslösung liegen beide NEM-Legierungen mit den Verbundfestigkeitswerten unter denen der EM-Legierungen.

Bei Beanspruchung auf Temperaturwechsellast lassen sich keine unterschiedlichen Tendenzen zwischen beiden Legierungstypen aufzeigen.

Insgesamt erzielen die EM-Legierungen tendenziell höhere Festigkeitswerte als die NEM-Legierungen. Besonders deutlich werden die Unterschiede nach Lagerung in Korrosionslösung.

Das deckt sich mit den Literaturwerten und ist aufgrund der Eigenschaften in Bezug auf die Korrosionsbeständigkeit der NEM-Legierungen verständlich, wenn man in betracht zieht, dass der Verbund Metall / Keramik bei höherer Korrosionsresistenz der Legierung auch höhere Dauerfestigkeit aufweist.

Beim Vergleich der Legierungen muß auch darauf geachtet werden, dass Legierungen mit hohen Elastizitätsmoduli beim Schwickerath-Test gegenüber solchen mit niedrigeren benachteiligt werden [57]. Die NEM-Legierungen weisen einen etwa doppelt so hohen Elastizitätsmodul auf wie EM-Legierungen.

### 5.3 Klinische Bedeutung

Hinsichtlich der im klinischen Alltag zu wählenden Verbundkombination von Metall und Keramik im Labor ist festzustellen, dass Edelmetalllegierungen in Kombination mit einer niedrigschmelzenden Keramik die höchsten Verbundfestigkeiten aufweisen. Dabei scheint es kaum einen Unterschied zwischen hochgoldhaltigen und goldreduzierten Legierungen zu geben.

Da aber nur mit einer Versuchsreihe einer goldreduzierten Legierung in Kombination mit einer niedrigschmelzenden Keramik gearbeitet wurde, wäre diese Vermutung durch weitere Untersuchungen noch zu bestätigen.

Nichtedelmetalllegierungen im Verbund mit der herkömmlichen Keramik weisen geringere Verbundfestigkeiten als Edelmetalllegierungen, gleich ob mit herkömmlicher oder niedrigschmelzender Keramik verblendet, auf.

Des Weiteren scheint die Verarbeitung problematischer, fehleranfälliger und die Korrosionsanfälligkeit höher zu sein. Dies machte sich in den geringeren erreichten Verbundfestigkeiten bemerkbar. Berücksichtigt man jedoch auch die Ergebnisse klinischer Langzeitstudien (Kap. 2.4) hinsichtlich der Versagensquote verschiedener Metall-Keramik-Verbundsysteme, so kann man feststellen, dass bei den Nichtedelmetalllegierungen generell keine höhere Defekthäufigkeit zu finden ist, als bei Edelmetalllegierungen. Für den praktizierenden Zahnarzt ist dieser allgemeine Aspekt durchaus von Bedeutung, denn unabhängig von den ermittelten Zahlenwerten in dieser Untersuchung, ist es letztendlich für ihn entscheidend, dem Patienten eine langfristig intakte prothetische Versorgung einzugliedern. Gilt es für ihn, sich aus finanziellen Gesichtspunkten heraus für eine preiswerte Legierung zu entscheiden, so kann man durchaus sowohl für die goldreduzierte Legierung als auch für die NEM-Legierungen votieren.