



A. Rzanny

A. Rzanny¹, R. Göbel¹, H. Küpper¹

Moderne Verblendkomposite – ein werkstoffkundlicher Vergleich

Neun Verblendkomposite (zwei Mikrofüller- und sieben Hybridkomposite) wurden hinsichtlich ihrer werkstoffkundlichen Eigenschaften vergleichend untersucht. Hierbei wurden neben den mechanischen Eigenschaften (Biegefestigkeit, Elastizitätsmodul, Vickers-Härte, Abrasion) auch die Verbundfestigkeit zu Legierungen und die Oberflächenqualität nach Politur untersucht. Die bearbeiteten Oberflächen wurden profilometrisch und rasterelektronenmikroskopisch untersucht.

Es zeigten sich zwischen den Produkten zum Teil erhebliche Unterschiede, die sich besonders nach Stressung bei einigen Produkten durch einen Abfall der Biegefestigkeit bemerkbar machten. Die Mikrofüllerkomposite zeigten eine signifikant höhere Abrasion als die Hybridkomposite. Ihre Polierbarkeit war besonders gut. Die Verbundfestigkeit unter Verwendung des einheitlichen Verbundsystems Metall Primer II und Gradia Opaker zu Wirobond C ergab für alle Verblendkomposite eine Scher-Haftfestigkeit von 20 MPa und mehr. Die ermittelten Scher-Haft-Werte zeigten eine lineare Korrelation mit der Biegefestigkeit.

Schlüsselwörter: Verblendkomposit, Biegefestigkeit, Vickers-Härte, Abrasion, Verbundfestigkeit, Politur, Verfärbung

Modern veneering composites – a comparison of material properties

In this study the material properties of nine veneering composites (two microfilled composites and seven hybrid composites) were tested and compared. The shear bond strength to alloys and surface quality after polishing were tested as well as the mechanical properties (flexural strength, Young's modulus, Vickers hardness, abrasion resistance). The prepared surfaces were examined using profilometry and a scanning electron microscope.

In some instances there were considerable differences between the products; with certain products the differences only became apparent due to a reduction in flexural strength particularly after stressing. Microfilled composites had a significantly higher abrasion than hybrid composites. Their polishing properties were excellent. Tests on the bond strength with the universal bond system Metal Primer II and Gradia Opaquer to Wirobond C produced a shear bond strength of at least 20 MPa for all veneering composites. A linear correlation between the shear bond strength and flexural strength was established.

Keywords: veneering composite, flexural strength, Vickers hardness, abrasion, shear bond strength, polish, discoloration

¹ Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (Direktor: Univ.-Prof. Dr. H. Küpper)

¹ Department of Dental Prosthetics and Materials Science (Director: Univ. Prof. Dr. H. Küpper)
Englische Übersetzung: LinguaDent

1 • Einleitung

Für die Haltbarkeit von Kunststoffverblendungen sind neben der Gestaltung durch den Zahntechniker und der Pflege durch den Patienten drei wesentliche Dinge notwendig: Ein mechanisch auch im Mundmilieu hoch belastbarer Kunststoff, eine möglichst glatte Oberfläche dieses Kunststoffes damit die Plaqueanlagerung und die Verfärbungsneigung gering gehalten werden und ein gut funktionierendes Verbundsystem zwischen Legierung und Kunststoff. In Bezug auf diese drei Punkte wurden in den letzten Jahren sowohl die Kunststoffe als auch die Verbundsysteme immer weiter entwickelt und dabei sowohl die physikalischen als auch die anwendungstechnischen Eigenschaften wesentlich verbessert [9, 10, 14].

Die wichtigste Indikation für Kunststoffverblendungen ist der abnehmbare Zahnersatz. Außerdem wurden die Legierungs-Kunststoff-Verbundsysteme methodisch vereinfacht [6]. Auf Grund dieser positiven Entwicklungen und dem zusätzlichen Kostendruck im Gesundheitswesen könnte sich in der Zukunft der Stellenwert von Kunststoffverblendungen auch für festsitzenden Zahnersatz erhöhen.

Verblendkomposite sind heute eine eigene Werkstoffgruppe, die sich von den Füllungskompositen häufig durch eine geräteintensivere Polymerisation, die auf eine Nachvergütung setzt, abgrenzt. Von ihrer Zusammensetzung unterscheiden sich die Verblend- und Füllungskomposite jedoch kaum. Einer organischen Matrix aus verschiedenen Diacrylat-Monomeren sind silanisierte anorganische Füllstoffpartikel zugesetzt. Letztere unterscheiden sich in ihrer Art und Größe. So zählen die Verblendkomposite meist zu den Hybridkompositen, die neben den pyrolytisch gewonnenen Siliziumdioxidpartikeln im nm-Bereich etwas größere Glas- oder Keramikpartikel von etwa 0,4 bis 2 μm enthalten. Es gibt jedoch auch einige Vertreter der Mikrofüllerkomposite, die ausschließlich Siliziumdioxidpartikel im nm-Bereich enthalten. Der Gesamtfüllstoffgehalt hat einen relativ großen Einfluss auf die Eigenschaften des Komposits. In den letzten Jahren der Weiterentwicklung von Kompositen hat sich gezeigt, dass der Einsatz unterschiedlicher Diacrylatmonomere keine wesentliche Verbesserung der Komposite erbrachte. Jedoch konnten durch die zunehmende Verkleinerung der Füllstoffpartikel, die heute auch als Nanopartikel eingesetzt werden, Fortschritte ermöglicht werden. Diese Weiterentwicklungen garantieren dem Patienten eine bessere Haltbarkeit, die durch anwenderfreundlichere Verbundsysteme noch verstärkt wird.

Die heute verwendeten Verblendkomposite sind in der Regel lichtpolymerisierbar. Mit der zusätzlichen Nachvergütung mittels spezieller firmeneigener Geräte mit Wärme sollen die mechanischen Eigenschaften verbessert werden.

Die Verfärbungsneigung der Verblendkunststoffe ist häufig der Grund, eher Keramik- als Kunststoffverblendungen zu verwenden. Verursacht wird die Verfärbung durch exogene Einflüsse von färbenden Nahrungsbestandteilen. Dabei hat auch die Oberflächenrauigkeit einen großen Einfluss. Deshalb sollte es immer das Ziel

1 • Introduction

Apart from the fabrication technique used by the dental technician and the care taken by the patient, three factors are crucial in ensuring the durability of veneering composites: the composite has to be able to withstand high mechanical loading in the oral milieu, have as smooth a surface as possible to keep plaque accumulation and susceptibility to staining to a minimum and the bonder system used between the alloy and composite has to function effectively. These three factors have been taken into consideration in the continual development of veneering composites and bonder systems in recent years; the physical and technical properties have also been considerably improved [9, 10, 14].

Veneering composites are mainly indicated for removable restorations. The technique used with alloy composite bonder systems has also been simplified [6]. These positive developments combined with financial pressure on the health service could result in veneering composites becoming more widely used, even for fixed restorations.

Veneering composites are now a separate material group. The difference between veneering and filling composites is generally that veneering composites require more intensive light curing that involves post-conditioning of the surface. There is virtually no difference in the composition of the two types of composites. Silanized inorganic filler particles are added to an organic matrix of different diacrylate monomers. There are different types and sizes of filler particles. Veneering composites are mainly hybrid composites, which contain slightly larger glass or porcelain particles of about 0.4 to 2 μm in addition to pyrolytically produced nanometre size silica particles. There are some microfilled composites that contain only nanometre size silica particles. The overall filler content has a relatively significant influence on the properties of the composite. The use of different diacrylate monomers in the development of composites in recent years has not significantly improved the composites. Improvements have, however, been made by continually reducing the size of the filler particles; this now also involves the use of nanoparticles. These developments guarantee the patient improved durability, which is enhanced by more user-friendly bonder systems.

Modern veneering composites are generally light curing. Additional thermal post-conditioning using special units from the composite manufacturer is intended to improve the mechanical properties.

The susceptibility of veneering composites to staining is often the reason for using porcelain veneerings rather than veneering composites. Staining is caused by the exogenic effect of coloured food particles. The surface roughness also has a significant effect. The aim should therefore always be to ensure that the surface is as smooth and uniform as possible, which is best achieved by polymerization against a matrix. Veneering composites are, however, frequently built up freehand and the

sein, eine möglichst glatte und homogene Oberfläche zu erzielen, die am besten bei Polymerisation gegen eine Matrix erreicht wird. Häufig werden Verblendkomposite jedoch frei aufgebaut, und es müssen nach der Polymerisation noch Formkorrekturen erfolgen. Durch anfangs größere rotierende Werkzeuge, die einen raschen Materialabtrag erlauben, kommt es zu einer mikromorphologischen Verschlechterung der Oberfläche, die anschließend aus Gründen der Ästhetik, der Minimierung biologisch negativer Effekte und der mechanischen Optimierung poliert werden muss, um eine optimale Oberflächenqualität zu erreichen [19, 1, 8, 23]. Um die Verfärbung objektiv zu erfassen, können heute verschiedene Farbmessgeräte zur Zahnfarbenbestimmung genutzt werden, die mögliche subjektive Fehlerquellen ausschalten [21].

Ziel der Untersuchungen war es, neun unterschiedliche Verblendkomposite hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften, der Oberflächenqualität und der Verbundfestigkeit zu Legierungen zu untersuchen. Ausdrücklich sollte auch, um die klinische Relevanz zu erhöhen, eine Stresssimulation durch zyklische Temperaturwechselbelastung mit einfließen [7]. Im Ergebnis sollte festgestellt werden, ob sich durch die künstliche Alterung die untersuchten Eigenschaften der Verblendkomposite verändern.

2 • Material und Methode

Werkstoffe:

Die untersuchten Verblendkomposite sind in Tabelle 1 einschließlich Code, Hersteller, Zusammensetzung und Art der Polymerisation aufgelistet.

Alle Werkstoffe wurden jeweils nach Herstellerangabe polymerisiert.

Methoden:

Strukturanalyse: je zwei Prüfkörper: 5 mm × 2 mm × 15 mm; *Prüfkörperherstellung:* Belichtung der Prüfkörper nach Herstellerangabe; *Lagerung Schliffproben:* 24 Stunden trocken, 23 °C; *Lagerung Bruchproben:* 1.: 24 Stunden in destilliertem Wasser bei 37 °C und 2.: 25.000 Temperaturwechselasten (TWL) zwischen 5 und 55 °C; *Prüfkörpervorbereitung:* für Bruchuntersuchung: Prüfkörper wurden gebrochen und mit Bruchfläche nach oben auf Träger für REM aufgebracht; für Schliffflächenuntersuchung: Prüfkörper wurden bis zur Mitte abgeschliffen, in Epoxidharz eingebettet und Oberfläche mit SiC-Papier 600-er, 1200-er und 2400-er Körnung nacheinander bearbeitet und anschließend mit Diamantpaste (Körnung 1 µm) poliert. *Prüfung:* Rasterelektronenmikroskop (REM Stereoscan 260, Cambridge Instruments).

Biegefestigkeit, Elastizitätsmodul: 3-Punkt-Biegeversuch in Anlehnung an ISO 4049 (Prüfkörpergröße: 5 mm × 2 mm × 15 mm) [17]. Alle Prüfkörper (pro Serie zehn) wurden zwei unterschiedlichen Alterungsvarianten ausgesetzt: 1. 24 h Lagerung in destilliertem Wasser bei 37 °C, 2. Künstliche Alterung durch Temperaturlastwechsel (TLW) im Thermocycler V 2,5 (Willytec/Gräfelfing): 25 000 Zyklen zwischen 5 und 55 °C. Die Prüfung erfolgte mit der Universalprüfmaschine Zwick 1435 bei einem Vorschub von 1 mm/min.

contour has to be adjusted after polymerization. Initial use of coarse rotary instruments, which allow rapid reduction of the material, damages the micromorphological surface. The surface then has to be polished to improve the aesthetics, minimize negative biological effects and optimize the mechanical properties and ensure an optimal surface quality [19, 1, 8, 23]. Various spectrophotometers are now available for taking the shade objectively that eliminate possible subjective sources of error [21].

The aim of this study was to investigate the mechanical properties, surface quality and shear bond strength to alloys of nine different veneering composites. Stress simulation using thermocycling was also included to increase the clinical relevance [7]. The outcome was expected to indicate whether the properties of the veneering composites tested would be altered by simulated ageing.

2 • Materials and methods

Materials:

The composites tested are listed in Table 1 along with the code, manufacturer, composition and type of polymerization.

All the composites were polymerized according to the manufacturer's instructions.

Methods:

Structural analysis: two of each composite specimen: 5 mm × 2 mm × 15 mm; *specimen fabrication:* light-curing of the specimens according to the manufacturer's instructions; *storage of ground specimens:* 24 hours dry, 23 °C; *storage of fractured specimens:* 1.: 24 hours in distilled water at 37 °C and 2.: 25,000 thermocycling (TC) between 5 and 55 °C; *specimen preparation:* for fracture investigation: specimens were fractured and placed on a holder with the fractured surface facing upwards for the SEM; for investigation of the ground surface: specimens were ground to the centre, embedded in epoxy resin and the surface prepared in sequence with SiC paper grit size 600, 1200 and 2400 and then polished with diamond paste (grit size 1 µm). *Testing:* scanning electron microscope (SEM Stereoscan 260, Cambridge Instruments).

Flexural strength, Young's modulus: 3-point bending test in accordance with ISO 4049 (specimen size: 5 mm × 2 mm × 15 mm) [17]. Two different ageing processes were used for all the specimens (ten per series): 1. 24 hr storage in distilled water at 37 °C, 2. simulated ageing by thermocycling (TC) in a V 2.5 thermocycler (Willytec/Gräfelfing, Germany): 25,000 cycles between 5 and 55 °C.

Testing was carried out using the Zwick 1435 universal testing machine with a traverse speed of 1 mm/min.

Vickers hardness: VH 5-20 (loading with 5 kg over 20 s), Zwick 3212 hardness testing machine at 23 °C, dry. The specimens were also subjected to the two types of ageing processes described above and ten measured per series.

Abrasion resistance: three medium abrasion machine (Willytec/Gräfelfing) according to the ACTA method [2], 3 speci-

Material (Komposittyp) Material (Type of composite)	Code	Hersteller (Ort) Manufacturer (Location)	Organische Matrix Organic matrix	Füllstoff- gehalt (Gew.%) Filler content (by weight %)	Polymerisation Polymerization
SR Adoro® (M)	AD	Ivoclar Vivadent (Erlangen)	UDMA, aliphatisches Dimethacrylat UDMA, aliphatic dimethacrylate	60	Licht-/Wärmepolymerisation (104°C) Light/heat-curing (104°C)
Vita VM®LC (M)	VI	VITA Zahnfabrik (Bad Säckingen)	UDMA, TEGDMA, Bis-GMA, Polymethacrylat UDMA, TEGDMA, Bis-GMA, polymethacrylate	45-48	Lichtpolymerisation Light-curing
belleGlass™ NG (H)	BG	Kerr Lab (Collins)	Aliphatische Dimethacrylate, UDMA Aliphatic dimethacrylate, UDMA	78.7	Lichtpolymerisation Endpolymerisation: unter Wärme (140°C) und Stickstoff (5,5 bar) Light-curing Final curing: under heat (140°C) and nitrogene (5.5 bar)
Ceramage® (H)	CM	Shofu (Ratingen)	UDMA	73	Lichtpolymerisation Light-curing
Cristobal®+ (H)	CB	DeguDent (Hanau-Wolfgang)	Bis-GMA	>70	Lichtpolymerisation mit thermischer Nachvergütung Light-curing with thermal post-conditioning
Dialog® (H)	DI	Schütz-Dental (Rosbach)	Diurethandimethacrylat, Butandioldimethacrylat, Bis-GMA Diurethane dimethacrylate, butanediol dimethacrylate, Bis-GMA	53	Lichtpolymerisation Light curing
Estenia™ (H)	ES	Kuraray Europe (Düsseldorf)	UDMA, UTMA, Dimethacrylat UDMA, UTMA, dimethacrylate	92	Lichtpolymerisation mit thermischer Nachvergütung (110°C) Light-curing with thermal post-conditioning (110°C)
Sculpture® (H)	SC	Generic/Pentron (Kusterdingen)	PCDMA, Dimethacrylate PCDMA, dimethacrylate	78	Licht-Wärme-/Vakuumpolymerisation Light-heat/vacuum-curing
Sinfony® (H)	SI	3M ESPE (Seefeld)	Aliphatische und cycloaliphatische Monomere Aliphatic and cycloaliphatic monomers	50	Licht-Vakuumpolymerisation Light-vacuum-curing

Tabelle 1 Untersuchte Verblendkomposite, Code, Hersteller, organische Matrix, Füllstoffgehalt und Polymerisationsart.

Table 1 Veneering composites tested, code, manufacturer, organic matrix, filler content and type of polymerization.

Vickers-Härte: HV₅₋₂₀ (Belastung mit 5 kg über 20 s), Härteprüfgerät Zwick 3212 bei 23 °C, trocken. Die Prüfkörper wurden ebenfalls den oben beschriebenen Alterungsvarianten ausgesetzt und pro Serie je zehn gemessen.

Abrasionsfestigkeit: 3-Medien-Abrasionsgerät (Willytec/Gräfel-fing) nach der ACTA-Methode [2], jeweils 3 Probenräder mit 3 gleichartig bestückten Kammern; Lagerung: 24 h bei Raumtemperatur; Vergleichswerkstoff: AlMg-Legierung mit amalgamähnlicher Härte; Zwischenmedium: Zahnputzkörper Hydrated Silica RMS 110 00015 [3]. Auswertung: Hommeltester T8000 (Hommelwerke/Villingen-Schwenningen).

Exogene Verfärbungsneigung: Pro Werkstoff wurden jeweils drei Prüfkörper vier Wochen lang in sechs verschiedenen Stoffzubereitungen (Kaffee, Tee, Tabak, Rotwein, Methylenblau und destilliertes Wasser) bei 37 °C gelagert; Messung der Verfärbung im Vergleich zur Kontrolle (trocken und dunkel bei 37 °C gelagert): ShadeEye-NCC (Shofu/Ratingen); Ermittlung des Verfärbungsgrades V nach der Formel (1):

$$V = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{n-1}} \quad (1)$$

men rings with 3 similarly loaded chambers; storage: 24 hrs at room temperature; comparison material: AlMg alloy with a hardness similar to amalgam; intermediary medium: tooth cleaning agent hydrated silica RMS 110 00015 [3]. Analysis: Hommeltester T8000 (Hommelwerke/Villingen-Schwenningen, Germany).

Exogenous discoloration tendency: three specimens of each material were stored at 37°C for four weeks in six different prepared substances (coffee, tea, tobacco, red wine, methylene blue and distilled water); measurement of staining compared with the reference specimen (stored dry and in a dark place at 37°C): ShadeEye-NCC (Shofu/Ratingen, Germany); the degree of staining V was calculated according to the formula (1):

$$V = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{n-1}} \quad (1)$$

with V = degree of staining of the specimen
x = measurement value of the reference specimen

wobei V = Verfärbungsgrad der Probe
 x = Messwert der Kontrollprobe
 x_1 = Messwert der im Medium gelagerten Prüfkörper
 n = Zahl der unterschiedlichen Medien

ist. Um die Gesamtheit der Abweichung des verfärbten Prüfkörpers zu dem Kontrollprüfkörper zu erfassen, wurde aus den drei Komponenten der Farbabweichung ΔE errechnet.

Druck-Scherfestigkeit:

Prüfkörper: je Serie zehn Legierungs-Plättchen (Wirobond C) mit den Abmaßen 10 mm \times 20 mm \times 2 mm. Prüfkörperherstellung: Die Oberfläche der Plättchen wurde mit Korund (110 μ m; 3 bar) gestrahlt, anschließend Konditionierung mit dem Verbundverfahren (Metal Primer II). Herstellung (Aufbau) der Verbundkörper: Aufbringen des Opakers (Gradia Opaker) in zwei dünnen Schichten; beide Schichten 90 s im Dentacolor XS-Gerät belichten; Modellation des Verblendkunststoffs auf dem Opaker mit Hilfe eines Metallrings ($h = 2$ mm; $\varnothing = 5$ mm); 180 s im Dentacolor XS-Gerät bzw. im firmeneigenen Ofen belichten und vergüten; Abziehen des Metallrings; zwei unterschiedliche Alterungsvarianten: 1. 24 h Lagerung in destilliertem Wasser bei 37 °C, 2. Künstliche Alterung durch Temperaturlastwechsel (TLW) im Thermocycler V 2,5 [4]; Prüfung mit der Universalprüfmaschine Zwick Z005 bei 23 °C, trocken; Traversengeschwindigkeit: 1 mm/min.

Biegeversuch an Verbundkörpern: je fünf Prüfkörper: NEM-Stab (0,7 mm \times 5 mm \times 25 mm), Konditionieren wie oben beschrieben; Aufbringen des Verblendkunststoffes ($d = 1$ mm), Polymerisieren nach Herstellerangabe; Lagerung: 24 h in destilliertem Wasser bei 37 °C; Prüfung: 3-Punkt-Biegeversuch mit der Kunststoffseite nach unten.

Politur: je drei Prüfkörper: Durchmesser 7 mm, Höhe 5 mm; Prüfkörperherstellung: Belichtung der Prüfkörper nach Herstellerangabe; Bearbeitung gleich nach Polymerisation; Ausgangssituation: Dura-Green, Politur: CompoMaster Coarse, CompoMaster, Dura-Polish DIA; Prüfung: Hommeltester T1000, Ermittlung von R_a .

Oberflächenprüfung: Tastschnittverfahren (Hommeltester T 1000, Hommelwerke, Schwenningen); Kennwerte R_a , R_t , R_z DIN.

Die Messwerte wurden einer Signifikanzprüfung mittels t-Test (Signifikanzschranke bei $p = 0,01$) unterzogen. Um eine mögliche Abhängigkeit der Parameter erfassen zu können, wurde eine Korrelationsanalyse der Parameter Biegefestigkeit und Druck-Scherfestigkeit durchgeführt (SPSS 13.0).

3 • Ergebnisse

Die Strukturen der neun Verblendkomposite wurden im Materialkontrast untersucht und sind in Abb. 1a bis 1i (S) dargestellt. Man erkennt sehr gut die verschiedenartigen Füllstoffbestandteile. Die Bruchbilder in Abbildung 1a bis 1i (B) geben Auskunft über die Einbindung der Füllstoffe in die organische Matrix.

Die Biegefestigkeit der Verblendkomposite wurde nicht nur, wie in der DIN 4049 gefordert, nach einem Tag Lagerung, sondern auch nach Stressung ermittelt. Nach einem Tag lagen die Werte der neun Produkte zwischen

x_1 = measurement value of the specimens stored in the medium
 n = number of different mediums

The shade difference ΔE was calculated from the three components to determine the overall deviation of the stained specimen from the reference specimen.

Shear bond strength:

Specimens: ten alloy specimens (Wirobond C) per series with the dimensions 10 mm \times 20 mm \times 2 mm. Specimen fabrication: the surface of the specimens was sandblasted with abrasive (110 μ m; 3 bar), then conditioned using the bonder technique (Metal Primer II). Fabrication (build-up) of the bonding specimens: application of the opaquer (Gradia Opaker) in two thin layers; both layers light cured for 90 s in the Dentacolor XS unit; composite material built up on the opaquer using a metal ring ($h = 2$ mm; $\varnothing = 5$ mm); light-cured for 180 s in the Dentacolor XS unit or composite manufacturer's unit and heat treated; removal of the metal ring; two different ageing processes: 1. 24 hr storage in distilled water at 37 °C, 2. simulated ageing using thermocycling (TC) in the V 2.5 thermocycler [4]; testing with the Zwick Z005 universal testing machine at 23 °C, dry; traverse speed: 1 mm/min.

Bending test on bonded specimens: five specimens per composite: non-precious metal bar (0.7 mm \times 5 mm \times 25 mm), conditioned as described above; application of the veneering composite ($d = 1$ mm), polymerization according to the manufacturer's instructions; storage: 24 hrs in distilled water at 37 °C; test: 3-point bending test with the veneering composite surface downwards.

Polish: three specimens per composite: diameter 7 mm, height 5 mm; specimen fabrication: specimens light cured according to the manufacturer's instructions; preparation immediately after polymerization: initial preparation: Dura-Green, polish: CompoMaster Coarse, CompoMaster, Dura-Polish DIA; testing: Hommeltester T 1000, determination of R_a .

Surface test: profilometry (Hommeltester T 1000, Hommelwerke, Schwenningen); parameters R_a , R_t , R_z DIN.

The t-test was used to check measurements for significance (significance level $p = 0.01$). A correlation analysis of the parameters flexural strength and shear bond strength was completed to establish a possible correlation between the parameters (SPSS 13.0).

3 • Results

The structures of the nine veneering composites were examined in a material comparison and are shown in Fig. 1a to 1i (S). The different types of filler components can be very clearly seen. The micrographs in Figures 1a to 1i (B) show the integration of the fillers into the organic matrix.

The flexural strength of the veneering composites was not only recorded after 24 hr storage, as required by DIN 4049, but also after stressing. After 24 hrs the flexural strength of the nine products was between 100 and 170 MPa. The significantly highest values were exhibited by

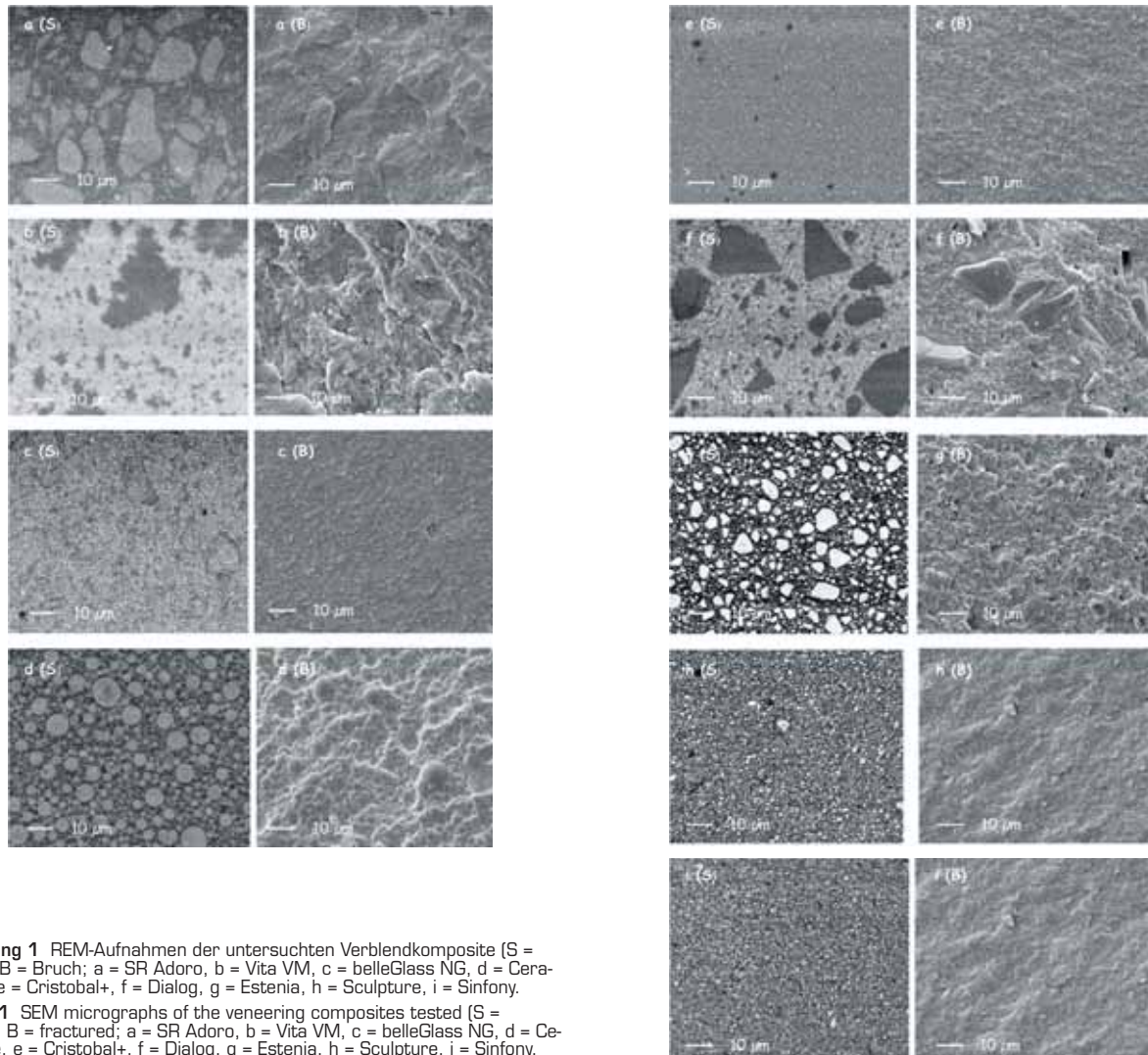


Abbildung 1 REM-Aufnahmen der untersuchten Verblendkomposite (S = Schliff, B = Bruch; a = SR Adoro, b = Vita VM, c = belleGlass NG, d = Ceramage, e = Cristobal+, f = Dialog, g = Estenia, h = Sculpture, i = Sinfony).

Figure 1 SEM micrographs of the veneering composites tested (S = ground, B = fractured; a = SR Adoro, b = Vita VM, c = belleGlass NG, d = Ceramage, e = Cristobal+, f = Dialog, g = Estenia, h = Sculpture, i = Sinfony).

100 und 170 MPa. Die Produkte Estenia, Sculpture und Sinfony wiesen die signifikant höchsten Werte auf. Nach Stressbelastung mit 25 000 Temperaturwechsellasten kam es mit Ausnahme der vier Produkte Cristobal+, Estenia, Sculpture und Sinfony zu einem signifikanten Abfall der Werte (Abb. 2). So zeigten nach dieser Stressung nur noch die fünf Produkte Ceramage, Cristobal+, Estenia, Sculpture und Sinfony Biegefestigkeitswerte von ≥ 100 MPa.

In Abb. 3 lässt sich aus dem Spannungs-Dehnungs-Diagramm der Elastizitätsmodul ermitteln. Ein steiler Anstieg der Kurven im linearen Bereich, wie z. B. bei Estenia, ergibt ein höheres Elastizitätsmodul, während ein flacherer Anstieg wie bei Vita VM und Sinfony auf einen geringeren Wert weist. Außerdem ist erkennbar, dass bei Sinfony und Vita VM mit Erreichen einer bestimmten Biegespannung eine plastische Deformation erfolgte. Weiter wurde sichtbar, dass sich die drei Produkte Estenia, Sculpture und Sinfony mit den höchsten Biegefestigkeitswerten im elastischen Verhalten stark voneinander unterscheiden.

Die Vickers-Härte HV_{5-20} (Abb. 4) der neun Verblendkomposite zeigte sehr unterschiedliche Werte zwischen 30 und 150 und führte nach Stressung zu keinem signifi-

Estenia, Sculpture and Sinfony. There was a significant reduction in the values after stress loading with 25,000 thermocycles except in the case of Cristobal+, Estenia, Sculpture and Sinfony (Fig. 2). After stressing, only five of the products, Ceramage, Cristobal+, Estenia, Sculpture and Sinfony, still exhibited a flexural strength of ≥ 100 MPa.

The Young's modulus can be calculated from the stress-strain diagram in Fig. 3. The Young's modulus is indicated by the linear increase in the curve of each veneering composite; a sharp increase, e.g. with Estenia, indicates a higher Young's modulus than a more gradual increase, e.g. with Vita VM or Sinfony. It can also be seen that with Sinfony and Vita VM there was plastic deformation when a specific flexural stress was reached. It also became clear that the three products with the highest flexural strength, Estenia, Sculpture and Sinfony, differed greatly in terms of their elastic behaviour.

The Vickers hardness HV_{5-20} (Fig. 4) of the nine veneering composites varied considerably between 30 and 150 and was not significantly reduced after stressing. The significantly lowest surface hardness was exhibited by Vita

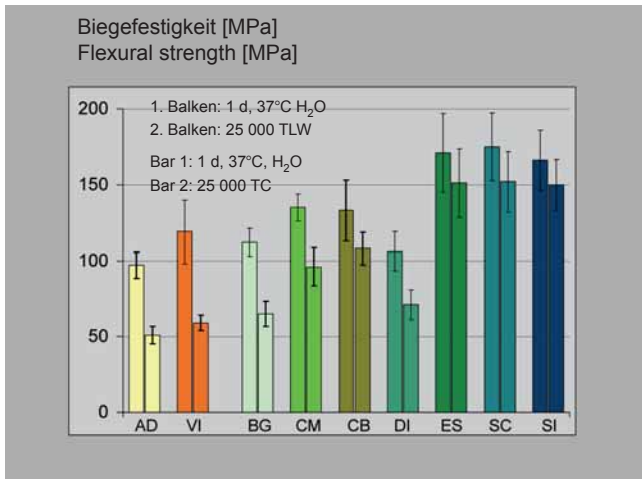


Abbildung 2 Biegefestigkeit von neun Verblendkompositen nach einem Tag Lagerung bei 37 °C und nach 25 000 TLW.

Figure 2 Flexural strength of nine veneering composites after 24 hr storage at 37°C and after 25 000 TC.

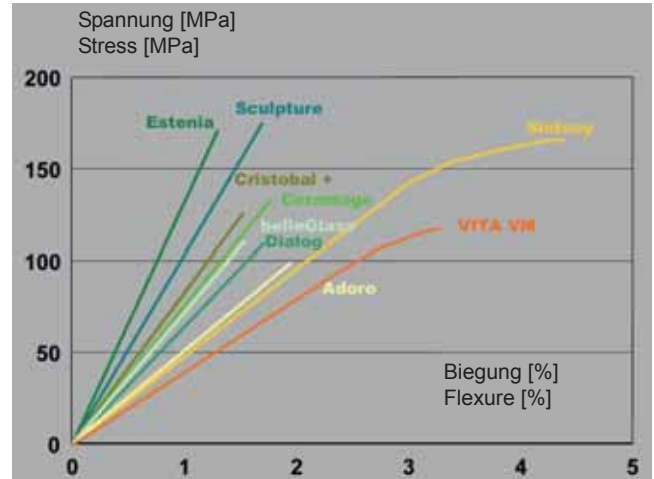


Abbildung 3 Spannungs-Dehnungsdiagramm der untersuchten Verblendkomposite.

Figure 3 Stress-strain diagram of the veneering composites tested.

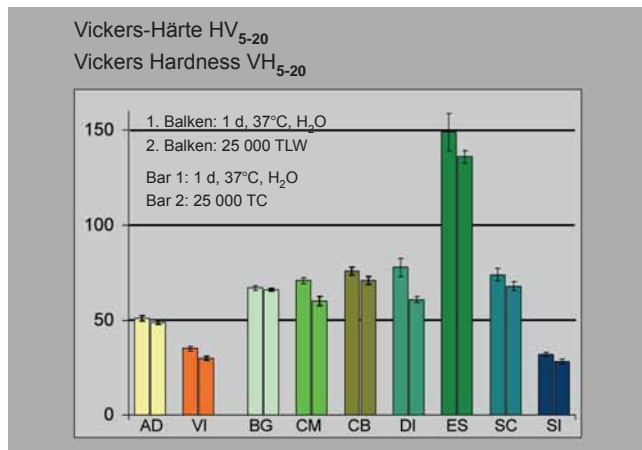


Abbildung 4 Vickers-Härte HV₅₋₂₀ nach einem Tag Lagerung bei 37 °C und nach 25 000 TLW.

Figure 4 Vickers hardness VH₅₋₂₀ after 24 hr storage at 37°C and after 25 000 TC.

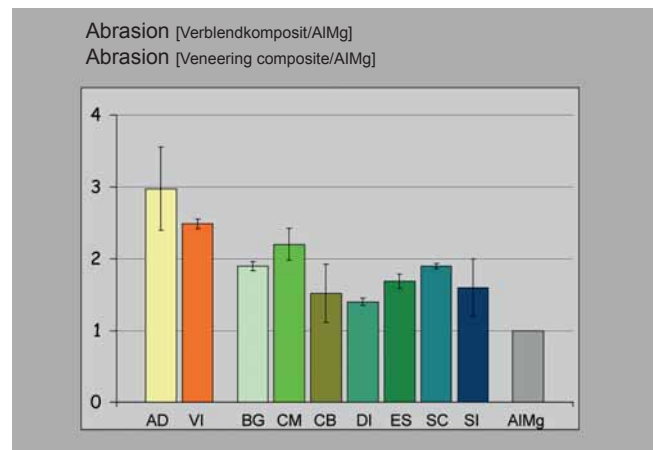


Abbildung 5 Abradierte Fläche der neun Verblendkomposite im Vergleich zu der AlMg-Legierung.

Figure 5 Abraded surface of the nine veneering composites compared with the AlMg alloy.

kanten Abfall. Vita VM und Sinfony zeigten beide die signifikant niedrigste Oberflächenhärte, während Estenia mit 150 alle anderen Produkte signifikant überragte.

Die Abrasion wurde mittels Profilometer (Hommeltester) gemessen und daraus die abradierte Fläche (Verlustfläche) ermittelt. Diese wurde dann mit der abradierten Fläche der AlMg-Legierung gleicher Härte wie Amalgam verglichen [3]. Wird der als Bezug dienende Abrieb der Legierung AlMg = 1 gesetzt, dann zeigten unter diesen Versuchsbedingungen nur Cristobal+ und Dialog eine ähnliche Abrasionsneigung wie die Bezugslegierung. SR Adoro und Vita VM wiesen die signifikant höchsten Abrasionen auf (Abb. 5).

Um den Einfluss des Verblendkomposits auf den Verbund zu ermitteln, wurden die drei Parameter: Legierung (Wirobond C), Verbundsystem (Metal Primer II) und Opaker (Gradia Opaker) konstant gehalten. Diese drei Parameter wurden deshalb ausgewählt, da unter diesen Bedingungen alle Verbunde kohäsive Brüche ergaben, die an der Grenzfläche Verbundsystem/Opaker zerbrachen [7].

VM und Sinfony, while the hardness of Estenia was significantly higher than all other products at 150.

Abrasion was measured using a profilometer (Hommeltester) and the abraded surface (lost surface) calculated from this. This was then compared with the abraded surface of the AlMg alloy with a similar hardness to amalgam [3]. If the reference abrasion of the alloy AlMg is taken as = 1, then only Cristobal+ and Dialog exhibited similar abrasion to the reference alloy under these test conditions. The significantly highest abrasion was exhibited by SR Adoro and Vita VM (Fig. 5).

To determine the influence of the veneering composite on the bond, the three parameters, alloy (Wirobond C), bonder system (Metal Primer II) and opaquer (Gradia Opaker), were kept constant. These three parameters were selected, as under these conditions all the bonds had cohesive fractures that occurred at the bonder system/ opaquer interface [7]. Fig. 6 shows the results. Shear bond strengths of over 20 MPa were attained with all veneering

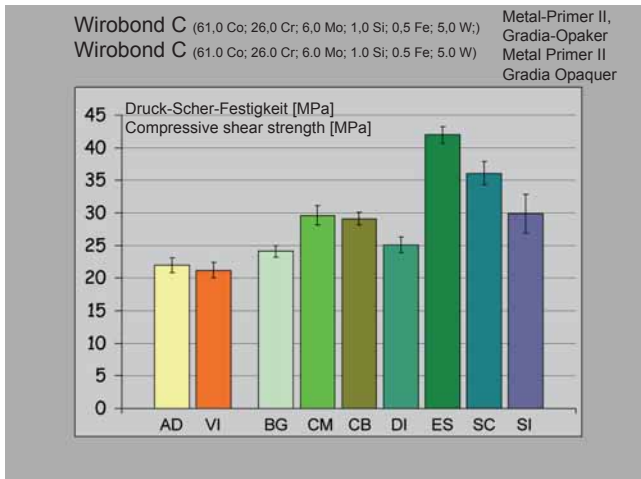


Abbildung 6 Druck-Scher-Festigkeit der neun Verblendkomposite unter Verwendung von Wirobond C, Metal Primer II und Gradia Opaker.

Figure 6 Shear bond strength of the nine veneering composites using Wirobond C, Metal Primer II and Gradia Opaquer.

Abb. 6 zeigt die Ergebnisse. Es wurden unter diesen Bedingungen mit allen untersuchten Verblendkompositen Verbundwerte von über 20 MPa erzielt. Die höchsten Verbundwerte (≥ 30 MPa) wurden mit Estenia, Sculpture, Sinfony, Ceramage und Cristobal+ erreicht. Der Vergleich mit der Biegefestigkeit dieser Verblendkomposite zeigte, dass genau diese fünf Produkte auch die höchsten Biegefestigkeiten aufwiesen. Trägt man die Biegefestigkeit gegen die Scher-Haft-Festigkeit der jeweiligen Produkte auf, so ergab sich mit Ausnahme von Sinfony und Vita VM eine lineare Korrelation zwischen beiden Parametern (Abb. 7).

Der Biegeversuch an NEM-Kunststoff-Verbundkörpern sollte die obigen Ergebnisse noch praktisch untermauern. Ein NEM-Stab mit definierter Dimension ohne Kunststoff verbog sich schon bei etwa 30 N. Bei Beschichtung der NEM-Stäbe gleicher Dimension mit den jeweils unterschiedlichen Verblendkompositen ohne Verbundschicht platzten die Verblendkomposite bei einer Belastung zwischen 60 und 90 N ab (Abb. 8). Wurden die Verblendkomposite jedoch unter Verwendung des Verbundsystems Metal Primer II und Gradia Opaker befestigt, so musste eine deutlich höhere Kraft (150 und 180 N) aufgewendet werden, um einen Bruch im Kunststoff zu erzielen.

Auch die Form der Prüfkörper nach dem Biegeversuch (Abb. 9) zeigte Unterschiede. Der Estenia-Verbundkörper war nach dem Bruch nur gering verbogen, der Ceramage-Verbundkörper zeigte eine etwas stärkere Verbiegung, während der Sinfony-Verbundkörper eine deutlich starke Durchbiegung aufwies.

Wurden die neun Verblendkunststoffe nach dem gleichen Polierregime (DuraGreen, CompoMaster coarse, CompoMaster, DuraPolish Dia) bearbeitet, so ergaben sich für alle Kunststoffe geringe Oberflächenrauigkeiten mit R_a -Werten zwischen 0,04 und 1,11 μm (Abb. 10). Die geringsten Oberflächenrauigkeiten zeigten die beiden Mikrofüllerkomposite SR Adoro und Vita VM.

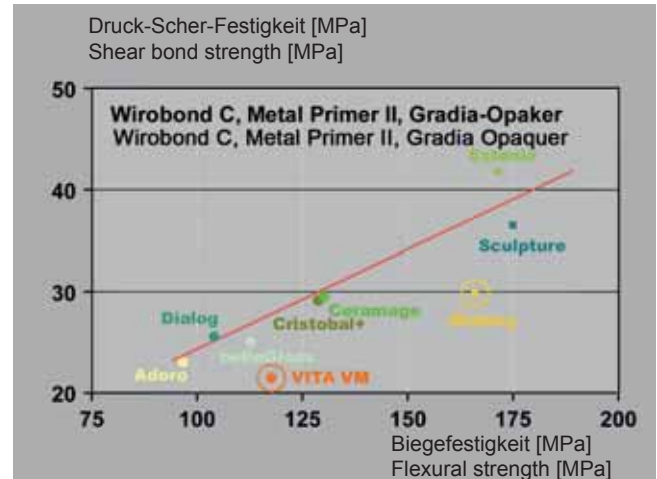


Abbildung 7 Abhängigkeit der Druck-Scher-Festigkeit von der Biegefestigkeit.

Figure 7 Correlation between the shear bond strength and the flexural strength.

composites tested under these conditions. The highest bond strengths (≥ 30 MPa) were attained by Estenia, Sculpture, Sinfony, Ceramage and Cristobal+. A comparison of the flexural strength of these veneering composites also established that these five products were the ones with the highest flexural strength. When the flexural strength was compared to the shear bond strength of each of the products, a linear correlation was established between the two parameters except in the case of Sinfony and Vita VM (Fig. 7).

The bending test on non-precious metal/ composite bonded specimens was carried out as a practical test to substantiate the above results. A non-precious metal bar with defined dimensions without composite bent at about 30 N. When non-precious metal bars of the same dimension were faced with each of the different composites without using a layer of bonder, the veneering composite broke off at a loading of between 60 and 90 N (Fig. 8). If the composite was bonded using the Metal Primer II bonder system and Gradia Opaquer, a much greater force (150 and 180 N) had to be applied before the composite fractured.

There were also differences in the shapes of the specimens after the bending test (Fig. 9). The Estenia bonding specimen was only slightly bent after fracture; there was slightly more bending with the Ceramage bonding specimen, while there was much greater bending with the Sinfony bonding specimen.

Provided that the nine veneering composites were prepared using the same polishing systems (DuraGreen, CompoMaster coarse, CompoMaster, DuraPolish Dia), all composites with R_a values between 0.04 and 1.11 μm had low surface roughness (Fig. 10). The two microfilled composites SR Adoro and Vita VM exhibited the lowest surface roughness.

Fig. 11 shows the susceptibility to exogenic discoloration by the different mediums, coffee, tea, tobacco, red

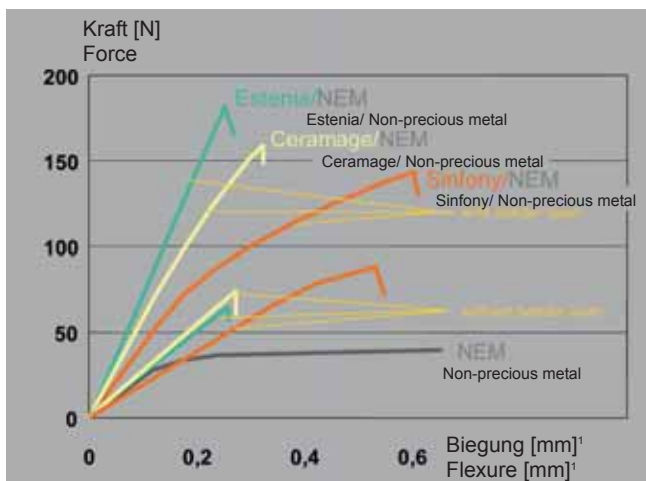


Abbildung 8 Kraft-Biegungs-Diagramm von Verbundkörpern ohne und mit Verbundschicht.
Figure 8 Force-bending moment diagram of composite specimens with and without a bonding layer.

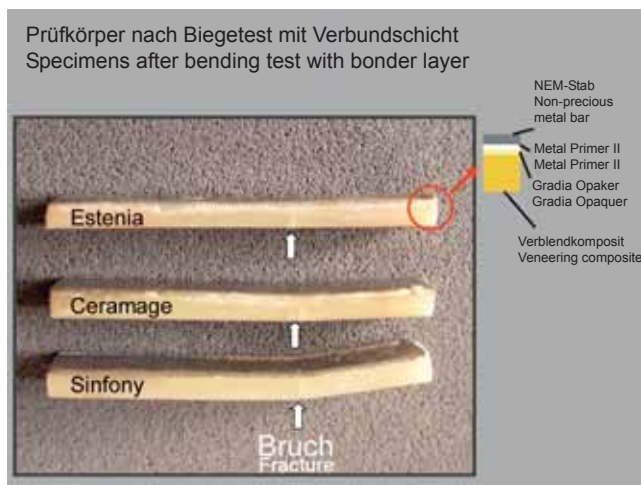


Abbildung 9 Prüfkörper mit Verbundschicht nach dem Biegetest.
Figure 9 Specimens with a bonding layer after the bending test.

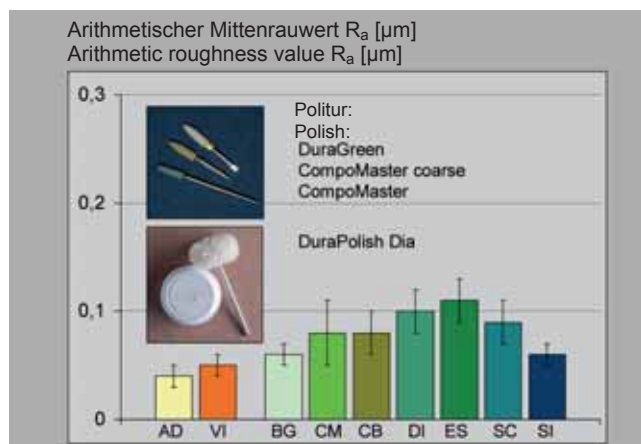


Abbildung 10 R_a -Wert der untersuchten Verblendkomposite nach der Politur mit DuraGreen, CompoMaster coarse, CompoMaster und DuraPolish Dia.
Figure 10 R_a value of the veneering composites tested after polishing with DuraGreen, CompoMaster coarse, CompoMaster and DuraPolish Dia.

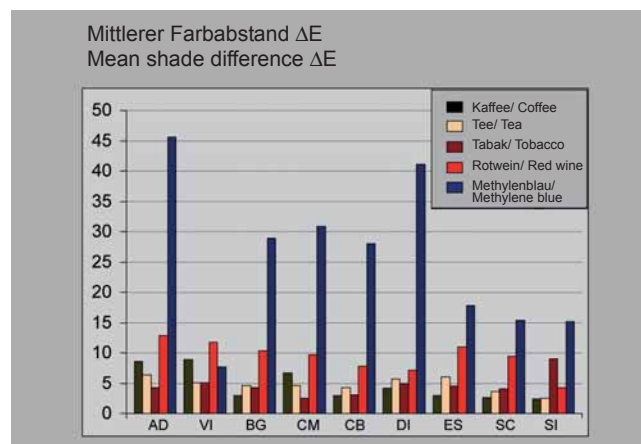


Abbildung 11 Mittlerer Farbabweichung der Verblendkomposite nach Lagerung in Kaffee, Tee, Tabak, Rotwein und Methylenblau.
Figure 11 Mean shade difference of the veneering composites after storage in coffee, tea, tobacco, red wine and methylene blue.

Die exogene Verfärbungsneigung durch die unterschiedlichen Medien Kaffee, Tee, Tabak, Rotwein und Methylenblau zeigt Abb. 11. Die stärkste Verfärbung erfolgte bei allen Produkten mit Ausnahme von Vita VM durch den Farbstoff Methylenblau, aber auch Rotwein führte zu einer deutlichen Verfärbung. Kaffee, Tee und Tabak verfärbten die Verblendkomposite jeweils geringer. Eine derartige Reihenfolge in der Verfärbungsneigung durch die unterschiedlichen Medien konnte jedoch nicht bei allen Verblendkompositen festgestellt werden. Den mittleren Farbabweichung, der aus den Farbabweichungen der fünf einzelnen Medien Kaffee, Tee, Tabak, Rotwein und aqua dest. bestimmt wurde, zeigt Abb. 12. Zwischen den Produkten zeigten sich unter Berücksichtigung dieser Medien nur geringe Unterschiede.

4 • Diskussion

Die zunehmend schnellere Entwicklung und Einführung von neuen Verblendkompositen erschweren umfassende

wine and methylene blue. Methylene blue produced the greatest discoloration in all products except for Vita VM; red wine also caused marked discoloration. Coffee, tea and tobacco stained the veneering composites to a lesser degree. The same degree of susceptibility to discoloration by the different mediums was not established with all veneering composites. The average shade difference, which was determined from the shade differences of the five separate mediums, coffee, tea, tobacco, red wine and distilled water, is shown in Fig. 12. There were only slight differences between the products with regard to these mediums.

4 • Discussion

The increasingly rapid development and marketing of new veneering composites make it difficult or almost impossible to carry out comprehensive clinical studies. Monitoring newly developed products by material science testing is therefore very important.

klinische Studien bzw. machen sie nahezu unmöglich. Darum ist die Verfolgung der neu entwickelten Produkte zumindest in werkstoffkundlich-experimenteller Hinsicht äußerst wichtig.

Die in dieser Studie untersuchten neun Produkte SR Adoro, Vita VM, belleGlass, Cristobal+, Ceramage, Dialog, Estenia, Sculpture und Sinfony zeigen sowohl in ihrer Struktur als auch in den Eigenschaften Unterschiede. Es ist nachgewiesen, dass eine Vakuum- bzw. Stickstoffatmosphäre während der Polymerisation und eine zusätzliche Wärmebehandlung zwischen 90 °C und 140 °C die Polymerisationsrate erhöht [15]. Außerdem wird durch die Nachvergütung unter Wärme ein positiver Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften und die Resistenz gegen chemische Einflüsse und Weichmacher erwartet [24]. Da es für den Anwender einfacher ist, solche Produkte zu verwenden, die keine zusätzlichen Polymerisationsgeräte benötigen, können sich licht- und wärmpolymerisierbare Produkte nur dann am Markt behaupten, wenn sie möglichst bessere Eigenschaften aufweisen, als rein lighthärtende Produkte. Von den neun untersuchten Produkten gibt es nur drei Produkte (Ceramage, Dialog und Vita VM), die ausschließlich lichtgehärtet werden.

Ein Vergleich der mechanischen Eigenschaften aller Produkte ergab teilweise beträchtliche Unterschiede, die sich allerdings erst nach Stressung mit 25.000 TLW deutlich herauskristallisierten. In der ISO 4049 werden für Kunststoffe, die für die Restaurierung von Okklusalfächen initiiert sind, Biegefestigkeiten von mindestens 100 MPa festgelegt. Dieser Wert bezieht sich jedoch nur auf den Wert nach einem Tag Lagerung. Somit erfüllen alle neun Produkte dieses Kriterium. Für den klinischen Einsatz in der Praxis sollten jedoch die Werte nach Stressung entscheidend sein, da die Kunststoffe dabei, ähnlich wie im Mund, einem ständigen Temperaturwechsel ausgesetzt sind. Das führt auf Grund unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten zu Spannungen an der Grenzfläche zwischen organischer Matrix und Füllstoffpartikeln. Nur wenn dieser Verbund gut ist, verursachen eindringende Wassermoleküle keinen Abfall der Festigkeit. So lassen mit hoher Wahrscheinlichkeit Verblendkomposite, die nach Stressung keinen bzw. einen nur geringen Abfall der Biegefestigkeitswerte zeigen (Estenia, Sculpture, Sinfony, Cristobal+, Ceramage) auch unter klinischen Bedingungen hohe Festigkeitswerte erwarten. Die Ergebnisse früherer Untersuchungen, die zeigten, dass die mechanischen Eigenschaften umso höher sind, je größer der Füllstoffanteil ist [13, 18], lassen sich bei den heutigen Kompositen nicht mehr grundsätzlich bestätigen. Die Art der Füllstoffe und ihre Konditionierung haben auch einen erheblichen Einfluss.

Die Vickers-Härte, die eine Oberflächenhärte darstellt, bleibt durch die Stressung bei allen untersuchten Kunststoffen unbeeinflusst. Das Produkt Estenia zeichnet sich durch eine besonders hohe Oberflächenhärte aus, was auf den hohen Füllstoffgehalt von 92 Gew. % zurückzuführen ist, während Sinfony mit dem niedrigsten Füllstoffgehalt auch eine sehr geringe Oberflächenhärte auf-

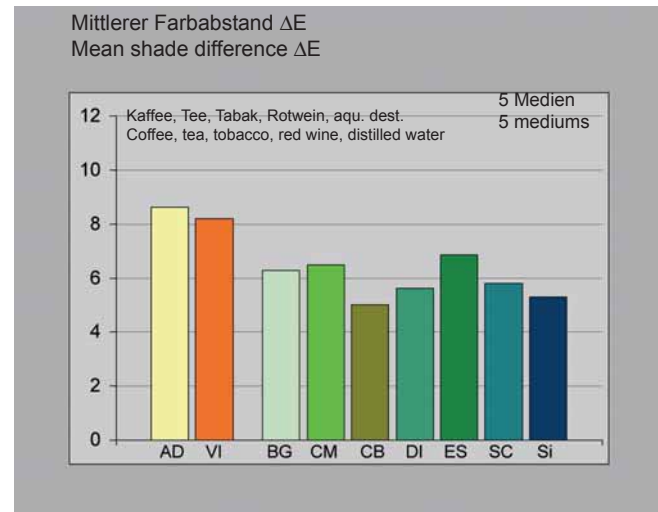


Abbildung 12 Mittlerer Farbabweichung der Verblendkomposite nach Mittelung über die fünf Medien: Kaffee, Tee, Tabak und destilliertes Wasser
Figure 12 Mean shade difference of the veneering composites after averaging over the five mediums: coffee, tea, tobacco, red wine and distilled water.

The nine products tested in this study, SR Adoro, Vita VM, belleGlass, Cristobal+, Vita VM, Ceramage, Dialog, Sculpture and Sinfony, exhibited differences both in their structure and in their properties. It has been proven that a vacuum or nitrogen atmosphere during polymerization with additional thermal conditioning between 90°C and 140°C increases the polymerization rate [15]. Thermal conditioning is also thought to have a positive effect on the mechanical properties and resistance to chemical influences and softening agents [24]. As it is easier for the operator to use products that do not require additional polymerization units, light and heat curing composites can only become established on the market if their properties are superior to those of solely light-curing composites. Only three of the nine products tested (Ceramage, Dialog and Vita VM) were solely light-curing.

In a comparison of the mechanical properties of all the products there were considerable differences, though some of the differences only became apparent after stressing with 25,000 TC. The ISO 4049 standard states that the minimum flexural strength for composites, which are approved for restoring occlusal surfaces, should be 100 MPa. This value refers specifically to the flexural strength after 24 hr storage. All nine products therefore meet this criterion. For clinical use in the practice it is the flexural strength after stressing that is crucial, as composites are subjected to constant temperature changes during stressing similar to those in the oral cavity. This leads to stresses at the interface between the organic matrix and filler particles due to different coefficients of thermal expansion. There has to be a good bond at the interface to prevent water molecules penetrating and reducing the strength. It is therefore highly probable that the composites without or with only a minimum reduction in flexural strength following stressing (Estenia, Sculpture, Sinfony,

weist. Die Oberflächenhärte wird jedoch nicht nur durch den Füllstoffgehalt, sondern auch durch die Art des Füllstoffes bestimmt. So zeigen die Mikrofüllerkomposite SR Adoro und Vita VM die niedrigsten Härtewerte. Die etwas höhere Härte von SR Adoro könnte sich aus der Licht- und Wärmepolymerisation, die eine zusätzliche Vergütung der Oberfläche bewirkt, erklären.

Eine Korrelation zwischen Oberflächenhärte und Abasion ist nicht in jedem Fall erkennbar. Jedoch zeigten die beiden Mikrofüllerkomposite eine stärkere Abrasionsneigung als die Hybridkomposite mit Ausnahme von Ceramage. Eine ähnliche Abrasionsneigung wie die der verwendeten ALMg-Legierung (Vergleichslegierung, gleicher Härte wie Amalgam) zeigten nur Dialog und Cristobal+.

Für den Legierungs-Kunststoff-Verbund wird eine möglichst große Dauerhaftigkeit gefordert. Jedoch wird eine chemische Anbindung des Verblendkomposits an die Legierungsoberfläche erst durch eine Silikatisierung und Silanisierung oder durch Auftragen bestimmter Primer auf die Legierungsoberfläche erreicht. Im Ergebnis erhält man vor allem eine hohe Dauerfestigkeit auch unter den feuchten klinischen Bedingungen. Jedoch führen die verschiedenen Verfahren zu unterschiedlichen Verbundfestigkeiten [5]. Die Verbundfestigkeit wird jedoch nicht nur durch das Verbundverfahren bestimmt, sondern auch durch die Legierung, deren Oberfläche, durch den Opaker und natürlich durch die Eigenfestigkeit des Kunststoffes [7, 22]. Die meisten Firmen bieten heute organische Verbundverfahren an, die sich durch ein vereinfachtes Handling auszeichnen und auch als Primer-Verfahren bezeichnet werden. Die Primer der einzelnen Systeme unterscheiden sich in ihrer chemischen Zusammensetzung. Als klinisch sicher gelten Werte > 20 MPa. Um die Verbundfestigkeit der Kunststoffe unabhängig vom Verbundsystem zu untersuchen, wurden sie auf einer Legierung (Wirobond C), einem Verbundsystem (Metal Primer II) und einem Opaker (Gradia-Opaker) getestet. Der Vergleich der Mittelwerte für Scher-Haft-Festigkeit und Biegefestigkeit der verschiedenen Verblendkunststoffe zeigte nach Korrelationsanalyse eine lineare Korrelation hoher Signifikanz ($p = 0,03$). So kann, unter der Voraussetzung, dass ein funktionierendes Verbundsystem verwendet wird, von der Eigenfestigkeit des Verblendkomposits bereits auf die Scher-Haftfestigkeit des Legierungs-Kunststoff-Verbundes geschlossen werden. Die etwas größere Abweichung von Vita VM und Sinfony lässt sich mit der plastischen Deformation dieser beiden Produkte nach dem Überschreiten einer bestimmten Biegespannung erklären.

Mit dem Biegeversuch an ausgewählten Verbundkörpern konnte die praktische Bedeutung dieses Effektes gezeigt werden. Ceramage und mehr noch Sinfony vertragen demnach eine höhere Verbiegung (Dehnung) als Estenia. Am Beispiel von Sinfony und Estenia zeigt sich, dass Verblendkomposite bei gleicher Biegefestigkeit aber mit etwas niedrigerem Elastizitätsmodul (Sinfony) Vorteile aufweisen könnten. In der Praxis könnte unter Umständen die Gefahr von Abplatzungen dann geringer sein,

Cristobal+ and Ceramage) will also exhibit high strength under clinical conditions. Results of previous studies, which indicated that the larger the proportion of filler content, the greater the mechanical properties [13, 18], cannot always be confirmed by the results with modern composites. The type of fillers and their conditioning also have a considerable influence.

Vickers hardness, which indicates the degree of surface hardness, remained unaffected during stressing with all the composites tested. Estenia exhibited particularly high surface hardness, which can be attributed to its high filler content of 92% by weight, while Sinfony with the lowest filler content had very low surface hardness. The surface hardness is not only affected by the filler content but also by the type of filler material. The microfilled composites SR Adoro and Vita VM consequently exhibited the lowest hardness. The slightly higher hardness of SR Adoro could be explained by the light and heat curing, which provides additional surface conditioning.

A correlation between surface hardness and abrasion was not evident in all cases. The two microfilled composites were, however, less resistant to abrasion than the hybrid composites with the exception of Ceramage. Only Dialog and Cristobal+ exhibited abrasion properties similar to those of the ALMg alloy used (reference alloy, same hardness as amalgam).

The alloy/composite bond should be as durable as possible. A chemical bond of the veneering composite to the alloy surface can only be attained, however, by silicization and silanization or by applying specific primers to the alloy surface. This ensures high durability even under moist clinical conditions, though the different techniques produce different bond strengths [5]. The bond strength is not only determined by the bonder technique but also by the alloy, its surface, the opaquer and of course the inherent strength of the composite [7, 22]. The majority of manufacturers now supply organic bonding systems, which are easier to use and are also referred to as primer systems. The primers of the individual systems differ in their chemical composition. Bond strengths of > 20 MPa are considered clinically viable. To examine the bond strength of composites regardless of the bonder system, the composites were tested on an alloy (Wirobond C), a bonder system (Metal Primer II) and an opaquer (Gradia Opaquer). A correlation analysis, which compared the means for shear bond strength and flexural strength of the different veneering composites, indicated a highly significant ($p = 0.03$) linear correlation. Provided that an effective bonder system is used, it can be assumed that the inherent strength of the veneering composite will be reflected in the shear bond strength of the alloy/composite bond. The slightly greater deviation of Vita VM and Sinfony can be explained by the plastic deformation of the two products after exceeding a specific flexural stress.

The practical implication of this effect was demonstrated with the bending test on selected composite speci-

wenn mechanisch feste, aber weniger spröde Kunststoffe verwendet werden.

Für die korrigierende Ausarbeitung der Verblendkomposite sind Hartmetallinstrumente unbedingt Diamantinstrumenten vorzuziehen, da in der Regel eine bessere nachfolgende Politur ermöglicht wird [16, 20]. Die mindestens zu erreichende Oberflächenqualität sollte bei einem R_a -Wert von $\leq 0,2 \mu\text{m}$ liegen [1]. Unter diesen Bedingungen ist die Anlagerung von Mikroorganismen auf Grund fehlender Retentionen geringer. Da zum Beispiel der Durchmesser einer Kokke ca. $1 \mu\text{m}$ beträgt, sind die Bedingungen einer Ablösung bei einem Mittenrauwert $< 0,2 \mu\text{m}$ günstiger als bei höheren Mittenrauwerten.

So wird neben einer guten Ästhetik eine verringerte Plaqueanlagerung erreicht, und die Reinigungsmöglichkeiten werden verbessert. Entgegen den Möglichkeiten in der Praxis, wo die Oberfläche nach dem Glanz beurteilt wird, kann unter In-vitro-Bedingungen eine objektive Beurteilung mit Messgeräten erfolgen. Dabei können verschiedene Kennwerte, wie beispielsweise der arithmetische Mittenrauwert R_a , ermittelt werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass es mit den meisten Instrumenten bei sorgfältiger Politur möglich ist, R_a -Werte unter $0,2 \mu\text{m}$ zu erreichen. Mit bestimmten Instrumenten (sowohl mit Handstück- als auch mit Winkelstückinstrumenten) sind sogar R_a -Werte $\leq 0,1 \mu\text{m}$ möglich [19, 20]. Das ist in jedem Falle anzustreben, da es im Laufe der Tragezeit immer zu einer Verschlechterung der Ausgangssituation durch das Zähneputzen kommt. Wie Untersuchungen an anderer Stelle zeigen, ergibt sich auch ein kumulativer Effekt, d.h. auf die Ausgangssituation baut sich additiv die Aufrauung durch das Putzen in Abhängigkeit von der Abrasivität der Zahnputzkörper auf [19]. Auch die klinisch bedingte Plaqueablagerung an Verblendkompositen ist primär durch die Verschlechterung der Oberflächenstruktur nach längerer Tragezeit bedingt [12]. Die in der Praxis auftretenden individuellen Schwankungen bei der Politur konnten in unserem Fall sehr gering gehalten werden, da alle Versuche immer von einer Person nach dem gleichen Regime durchgeführt wurden. Außerdem zeigen die Ergebnisse die mit den Instrumenten bestmöglich erreichbaren Oberflächenrauigkeiten, da plane Oberflächen bearbeitet wurden. Unter Umständen sind in der Praxis durch schlechte Zugänglichkeit in Abhängigkeit von der topografischen Situation diese Ergebnisse nicht in allen Bereichen einer Restauration zu erreichen.

Das für diese Studie verwendete Poliersystem erbrachte für fast alle Verblendkomposite R_a -Werte $\leq 0,1 \mu\text{m}$. Unter diesen standardisierten Bedingungen zeigen die beiden Mikrofüllerkomposite die geringste Oberflächenrauigkeit, während Estenia, Dialog und Sculpture eine etwas schlechtere Rauigkeit aufweisen. Ob diese Unterschiede, die ja im Bereich unter $0,1 \mu\text{m}$ liegen, jedoch klinisch relevant sind, kann nur die Praxis zeigen.

Die exogene Verfärbungsneigung der modernen Verblendkomposite ist deutlich besser als die der früheren Produkte. Die visuelle Beurteilung von Farbunterschieden gilt als sehr subjektiv und wenig reproduzierbar [11]. Die objektive Beurteilung mit Hilfe von Farbmessgeräten ist

mens. Based on this test, Ceramage and to a greater extent Sinfony withstood higher bending (deformation) than Estenia. As seen in the case of Sinfony and Estenia, veneering composites with the same flexural strength but with a slightly lower Young's modulus (Sinfony) could have advantages. In practical terms there might be less risk of composite splitting off if mechanically stable but less brittle composites were used.

Tungsten carbide rotary instruments are recommended rather than diamond instruments for adjusting veneering composites, as they generally facilitate subsequent polishing [16, 20]. The minimum surface quality should be an R_a value of $\leq 0.2 \mu\text{m}$ [1]. Under these conditions there is less apposition of microorganisms due to a lack of retention surfaces. As the diameter of a coccus for example is approx. $1 \mu\text{m}$, a mean surface roughness of $< 0.2 \mu\text{m}$ is more favourable in reducing bacterial retention than a higher mean roughness.

Apart from excellent aesthetics this also ensures reduced plaque apposition and improved cleaning options. Unlike in the practice where the surface is judged by its lustre, an objective assessment with measuring devices can be carried out under in vitro conditions. Different parameters, e.g. the arithmetic roughness value R_a , can be calculated. Tests have shown that it is possible to attain R_a values below $0.2 \mu\text{m}$ with most instruments following careful polishing. With certain instruments (both straight and contra-angle handpiece instruments) even R_a values of $\leq 0.1 \mu\text{m}$ are possible [19, 20]. This should always be the aim, as during the period in situ brushing the teeth always causes deterioration of the initial situation. As other tests have demonstrated, there is also a cumulative effect, i.e. the initial roughness worsens due to cleaning depending on the abrasiveness of the tooth cleaning agents [19]. Clinical plaque accumulation on veneering composites is also primarily due to the deterioration of the surface structure after a longer period in situ [12]. Individual differences in polishing that occur in the practice could be kept to a minimum in our study, as all the tests were always carried out by one person following the same regime. An optimal surface quality could be attained with the instruments, as the surfaces were flat. In the practice it may not be possible reproduce these results in all areas of a restoration due to poor accessibility depending on the topography of the restoration.

The polishing system used for this study attained R_a values of $\leq 0.1 \mu\text{m}$ for virtually all the veneering composites. Under these standardized conditions the two microfilled composites had the lowest surface roughness, while Estenia, Dialog and Sculpture exhibited a slightly poorer surface roughness. Only experience in the practice will determine whether these differences, which are less than $0.1 \mu\text{m}$, are clinically significant.

The resistance of modern composites to exogenic staining is far superior to that of earlier products. Optical assessment of shade differences is highly subjective and not really reproducible [11]. Objective assessment using a

deshalb eine gute Alternative [21]. Als Grenze für solche von Normalfarbsichtigen wahrnehmbare Farbunterschiede findet man in der Literatur unterschiedliche Angaben, die bei ΔE -Werten zwischen 0,4 und 3,3 liegen [21, 11]. Durch eigene Untersuchungen wurde ein Wert von $\Delta E \leq 3,3$ bestimmt. Unter den hier verwendeten extremen Bedingungen verfärbten sich die Produkte insbesondere durch Methylenblau und Rotwein. Die klinische Situation ist sicher in den meisten Fällen günstiger. Zwischen den gemittelten Verfärbungsneigungen zeigen sich nur geringe Unterschiede, allerdings zeigen die beiden Mikrofüllerkomposite eine etwas stärkere Verfärbungsneigung.


5 • Schlussfolgerung

Aus den Untersuchungen wird ersichtlich, dass die heute verwendeten Verblendkomposite zwar grundlegend den gleichen Aufbau haben, sich jedoch insbesondere durch die unterschiedliche Füllstoffstruktur in ihren mechanischen Eigenschaften unterscheiden. Diese Unterschiede zeigen sich besonders nach den simulierten Stressbedingungen. Aus der Vielzahl von Produkten ragt eines (Estenia) durch besonders hohe mechanische Eigenschaften heraus. Es ist jedoch fragwürdig, ob diese hohe Sprödigkeit in der Praxis wirklich günstig ist oder ob es unter Umständen dann eher zu Abplatzungen von der Legierung kommen könnte. Das müsste jedoch noch durch eine klinische Studie bestätigt werden. Der Praktiker sollte deshalb ein Produkt wählen, das auch nach Stressbelastung noch gute mechanische Eigenschaften aufweist, aber gleichzeitig nicht zu spröde ist. Bei Produkten mit ähnlichen Eigenschaften wird sicher dem Produkt der Vorzug gegeben, das ohne technischen Mehraufwand auskommt.

Von großer Bedeutung ist ein gut funktionierendes Verbundsystem, wie das hier aus Gründen der Standardisierung für alle Verblendkomposite verwendete (Wirobond C, Metall Primer II, Gradia Opaker). Bei Verwendung der firmeneigenen Verbundsysteme ist jedoch zum Teil mit völlig anderen Ergebnissen zu rechnen.

Mit heute verfügbaren Polierinstrumenten ist es möglich, R_a -Werte $< 0,2 \mu\text{m}$ zu erreichen. Durch die von uns gewählten Instrumenten konnten bei allen untersuchten Verblendkompositen sogar Werte zwischen $0,05$ und $0,11 \mu\text{m}$ erreicht werden. Damit verringert sich die Möglichkeit von Plaqueanlagerung und Verfärbung durch exogene Medien. Grundsätzlich sollten immer sehr geringe Rauigkeitswerte zum Zeitpunkt der Eingliederung angestrebt werden, da es in der Gebrauchsperiode zu einer additiven Verschlechterung der Oberflächenqualität kommt.

Danksagung

Frau Kaiser (Elektronenmikroskopisches Zentrum, Komm. Direktor: Prof. Dr. Halbhuber, am Klinikum der FSU Jena), Herrn Facht und Herrn Raser aus unserem Bereich danken wir für die engagierte Unterstützung. 

spectrophotometer is therefore an excellent alternative [21]. In the literature various limits between ΔE values of 0.4 and 3.3 are given for the shade differences that are perceptible for people with normal colour vision [21, 11]. A value of $\Delta E \leq 3.3$ was established in the tests in this study. Under the extreme conditions used in this study methylene blue and red wine in particular caused staining of the products. Clinically the conditions are certainly more favourable in the majority of cases. There were only minor differences between the recorded susceptibility to discoloration, though the two microfilled composites exhibited a slightly higher susceptibility to discoloration.


5 • Conclusion

From the tests it is clear that, though modern composites basically have the same composition, their mechanical properties differ in particular due to the different structure of the filler materials. These differences were particularly evident following simulated stress conditions. One product (Estenia) stood out from the others because of its very high mechanical properties. It is questionable, however, whether its high degree of brittleness is really advantageous in practice or whether it could tend to result in the composite splitting off from the alloy. This would have to be confirmed by a clinical study. Dental surgeons should therefore select a product that still has good mechanical properties even after stress loading and that is also not too brittle. In the case of products with similar properties, the one that is less technique sensitive is to be recommended.

A highly effective bonder system, such as the one used in this study (Wirobond C, Metal Primer II, Gradia Opaquer), is very important in ensuring standardization of the procedure for all veneering composites. Completely different results are, however, sometimes to be expected when using the composite manufacturer's bonder system.

With modern polishing instruments it is possible to attain R_a values $< 0.2 \mu\text{m}$. An arithmetic roughness value of between 0.05 and $0.11 \mu\text{m}$ was even attained with all the veneering composites tested using the instruments selected for this study. This reduces the possibility of plaque accumulation and staining by exogenic mediums. Basically the aim should always be to ensure minimum roughness when the restoration is fitted, as the surface quality gradually deteriorates during the period in situ.

Acknowledgements

We would like to thank Ms Kaiser (Elektron Microscope Centre, Comm. Director: Prof. Dr Halbhuber, FSU Hospital, Jena, Germany), Mr Facht and Mr Raser from our department for their valuable support. 

Literatur

1. Bollen CML, Lambrechts P, Quirynen M: Comparison of surface roughness of oral hard materials to the bacterial plaque retention: A review of the literature. *Dent Mater J* 13, 258-269 (1997)
2. De Gee AJ, Pallav P: Occlusal wear simulation with the ACTA wear machine. *J Dent Suppl* 22, 21-27 (1994)
3. Gnauck M, Rzanny A, Welker D, Küpper H: Experimentelle 3-Medien- und Bürstenabrasion von Kompositen. *Dtsch Zahnärztl Z* 60, 100-104 (2005)
4. Göbel R, Welker D: Legierungs-Kunststoff-Verbunde in der Zahnmedizin – experimentelle Stressung und Prüfung. *Swiss Mater* 8, 7-11 (1996)
5. Göbel R, Welker D: Etablierte und neuentwickelte Metall-Kunststoff-Verbundverfahren im experimentellen Vergleich. *Dtsch Zahnärztl Z* 54, 644-747 (1999)
6. Göbel R: Organische Legierungs-Kunststoff-Verbundverfahren. *Quintessenz Zahntech* 27, 197-203 (2001)
7. Göbel R, Welke, D: Welche Faktoren bestimmen die Festigkeit des Legierungs-Kunststoff-Verbundes? *ZWR* 113, 306-313 (2004)
8. Goldstein GR, Waknine S: Surface roughness evaluation of composite resin polishing techniques. *Quintessence Int* 20, 199-204 (1989)
9. Hopp M: Moderne Verblendtechnik mit Kunststoffmaterialien – geliebt und gehasst: Ein Systemüberblick. *Quintessenz Zahntech* 28, 460-506 (2002)
10. Janda R: Verblendkomposits. *Quintessenz Zahntech* 26, 53-64 (2000)
11. Kohlbeck C, Rosentritt M, Behr M, Lang R, Handel G: Farbbeständigkeit von Verblendkompositen nach künstlicher Alterung, Verfärbungslagerung und Reinigung. *Dtsch Zahnärztl Z* 58, 14-18 (2003)
12. Krämer A, Netuschil L, Simonis A: Plaqueanlagerung an verschiedenen Verblendkunststoffen – eine klinische Studie. *Dtsch Zahnärztl Z* 45, 482-484 (1990)
13. Li Y, Swartz ML, Phillips RW, Moore BK, Roberts TA: Effect of filler content and size on properties of composites. *J Dent Res* 64, 1396-401 (1985)
14. Ludwig K: Werkstoffkunde der Verblendkunststoffe. *Quintessenz Zahntech* 23, 683-692 (1997)
15. Peutzfeldt A, Asmussen E: The effect of postcuring on quantity of remaining double bonds, mechanical properties, and in vitro wear of two composites. *J Dent* 28, 447-452 (2000)
16. Reis AF, Giannini M, Lovadino JR, Ambrosano GM: Effects of finishing systems on the surface roughness and staining susceptibility composite resins. *Dent Mater* 19, 12-18 (2003)
17. Rzanny A, Welker D: Biegefestigkeitsprüfungen an Kompositen im methodischen Vergleich. *Quintessenz Zahntech* 19, 1467-1473 (1993)
18. Rzanny A, Göbel R, Welker D: Quasistatische Prüfungen an 21 Füllungs- und Verblendkomposits. *ZWR* 104, 698-703 (1995)
19. Rzanny A, Welker D: Bearbeitung moderner Verblend- und Füllungskomposite. *Teamwork Interdisziplin J Proth Zahnheilkd* 3, 203-212 (2000)
20. Rzanny A, Göbel R, Welker D: Moderne Verblendkunststoffe – eine werkstoffkundliche Studie. *Quintessenz Zahntech* 29, 58-72 (2003)
21. Setz J, Geis-Gerstorfer J, Weber H: Objektive Zahnfarbbestimmung – Fehlerquellen werden ausgeschaltet. *Dent Labor* 4, 667-670 (1992)
22. Welker D, Rzanny A, Göbel R: Werkstoffkundliche Fortschritte bei Kunststoff-Verblendungen? *Zahntech Mag* 8, 514-522 (2004)
23. Wardak D, Wirz J, Schmidli F: Der Einfluss verschiedener Poliersysteme auf zahnärztliche Verblendmaterialien. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 111, 282-291 (2001)
24. Wendt SL, Leinefelder KF: The clinical evaluation of heat-treated composites. *J Am Dent Assoc* 71, 13-19 (1990)

- **Korrespondenzadresse:**

Dr. Angelika Rzanny

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde
 Friedrich-Schiller-Universität Jena
 Bachstraße 18
 07740 Jena
 E-Mail: Angelika.Rzanny@med.uni-jena.de