

5 Ergebnisse

5.1 Biegefestigkeit und Elastizitätsmodul

Die Ergebnisse für die Biegefestigkeit und dem E-Modul der sechs Hybridkompositmaterialien sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tab. 9. Biegefestigkeit und E-Modul. -n: Anzahl der Proben. -TWB: Temperaturwechselbad. -sd: Standardabweichung.

Komposit (n=10)	Lagerung 24h in Wasser, 37°C				Lagerung 30d in Wasser, 37°C plus 5000 Zyklen TWB +5/+55°C			
	Biegefestigkeit (MPa)	sd	E-Modul (MPa)	sd	Biegefestigkeit (MPa)	sd	E-Modul (MPa)	sd
Herculite XRV	93	10	8268	757	89	12	8066	772
Tetric Flow	109	11	5156	761	89	10	4481	200
Tetric Ceram	95	10	6556	538	86	9	7976	790
Tetric Ceram HB	103	13	10054	1055	91	12	9368	366
Solitaire 2	95	7	6962	845	65	10	6058	343
SureFil	100	11	12578	1632	89	14	11945	776

Es bestand kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) zwischen den Biegefestigkeiten der untersuchten Kompositmaterialien nach 24-stündiger Wasserlagerung bei 37 °C. Auch die Werte für die Biegefestigkeit nach 30-tägiger Wasserlagerung bei 37 °C und einem Temperaturlastwechsel von 5000 Zyklen unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$). Der Vergleich zwischen dem jeweiligen Komposit vor und nach Wasserlagerung und Temperaturwechselbad zeigte nach dem Scheffé-Test auch keinen signifikanten Unterschied ($p > 0,05$). Tendenziell waren alle Biegefestigkeitswerte aller Komposite nach der Wasserlagerung und Temperaturlastwechsel niedriger.

Alle Komposite überschritten nach EN ISO 4049, 5.2.9 die Mindestbiegefestigkeit von 80 MPa und eignen sich für die Restauration von Okklusalfächen. Damit entsprechen die

Kompositmaterialien nach EN ISO 4049, 5.2.9 dem Typ 1, Klasse 2, Gruppe 1. Würde die EN ISO 4049 auch auf die Werte nach 30 Tagen Wasserlagerung und Temperaturlastwechsel angewandt werden, würde Solitaire 2 nicht für die Restauration von Okklusalfächen eignen. Solitaire 2 würde aber der Norm aller übrigen nicht zur Herstellung von Okklusalfächen geeigneten Komposite des Typ 2, Klasse 2, Gruppe 2 nach EN ISO 4049, 5.2.9 ($> 50\text{MPa}$) entsprechen. Die Mittelwerte der Biegefestigkeiten mit den entsprechenden Standardabweichungen sind zum anschaulichen Vergleich in der Abbildung 9 graphisch dargestellt.

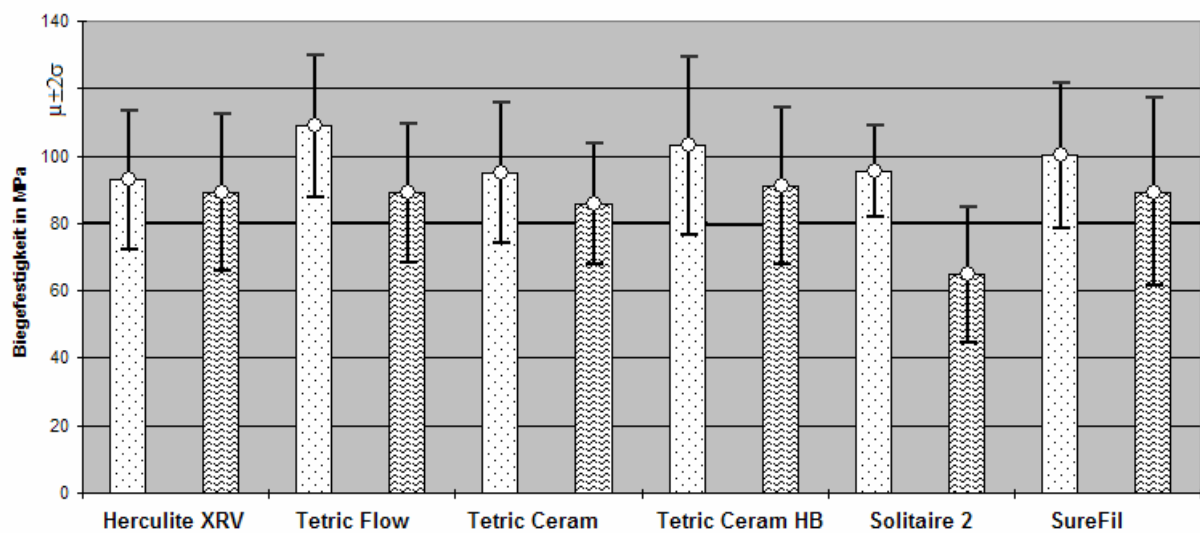


Abb. 9. Graphische Darstellung der Biegefestigkeit nach 24 h (gepunktete Schraffur) und 30 d Wasserlagerung mit Temperaturwechselbad mit 5000 Zyklen (wellige Schraffur).

Die Werte für den E-Modul nach 24-stündiger Wasserlagerung bei 37 °C und nach 30-tägiger Wasserlagerung bei 37 °C und einer Temperaturwechselbadbelastung von 5000 Zyklen sind in der Tabelle 9 aufgelistet. Die signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Materialien der ersten Messserie sind in Tabelle 10 dargestellt. Die signifikanten Unterschiede für den E-Modul der zweiten Messreihe zeigt die Tabelle 11.

Tab.10. Signifikanzen ($p < 0,05$) der Ergebnisse des E-Moduls nach eintägiger Wasserlagerung. – *: signifikant. -n.s.: nicht signifikant.

Lagerung 24 h in Wasser, 37 °C		Herculite XRV	Tetric Flow	Tetric Ceram	Tetric Ceram HB	Solitaire 2	SureFil
	Herculite XRV		*	n.s.	n.s.	n.s.	*
	Tetric Flow	*		n.s.	*	n.s.	*
	Tetric Ceram	n.s.	n.s.		*	n.s.	*
	Tetric Ceram HB	n.s.	*	*		*	*
	Solitaire 2	n.s.	n.s.	n.s.	*		*
	SureFil	*	*	*	*	*	

Tab.11. Signifikanzen ($p < 0,05$) der Ergebnisse des E- Moduls nach 30tägiger Wasserlagerung und 5000 Zyklen Temperaturwechselbadbelastung.

Lagerung 30 d in Wasser, 37°C, 5000 Zyklen TWB		Herculite XRV	Tetric Flow	Tetric Ceram	Tetric Ceram HB	Solitaire 2	SureFil
	Herculite XRV		*	n.s.	n.s.	n.s.	*
	Tetric Flow	*		*	*	n.s.	*
	Tetric Ceram	n.s.	*		n.s.	n.s.	*
	Tetric Ceram HB	n.s.	*	n.s.		*	*
	Solitaire 2	n.s.	n.s.	n.s.	*		*
	SureFil	*	*	*	*	*	

Tendenziell war eine Abnahme der Werte zu beobachten. Nur Tetric Ceram wies nach 30-tägiger Wasserlagerung und Thermocycling einen höheren E- Modul- Wert auf. Es konnte aber kein signifikanter Unterschied zwischen dem E- Modul des jeweiligen Kompositmaterials vor und nach 30d Wasserlagerung und Thermocycling festgestellt werden.

In Abbildung 10 ist der Vergleich der E- Module der zwei Messreihen graphisch dargestellt.

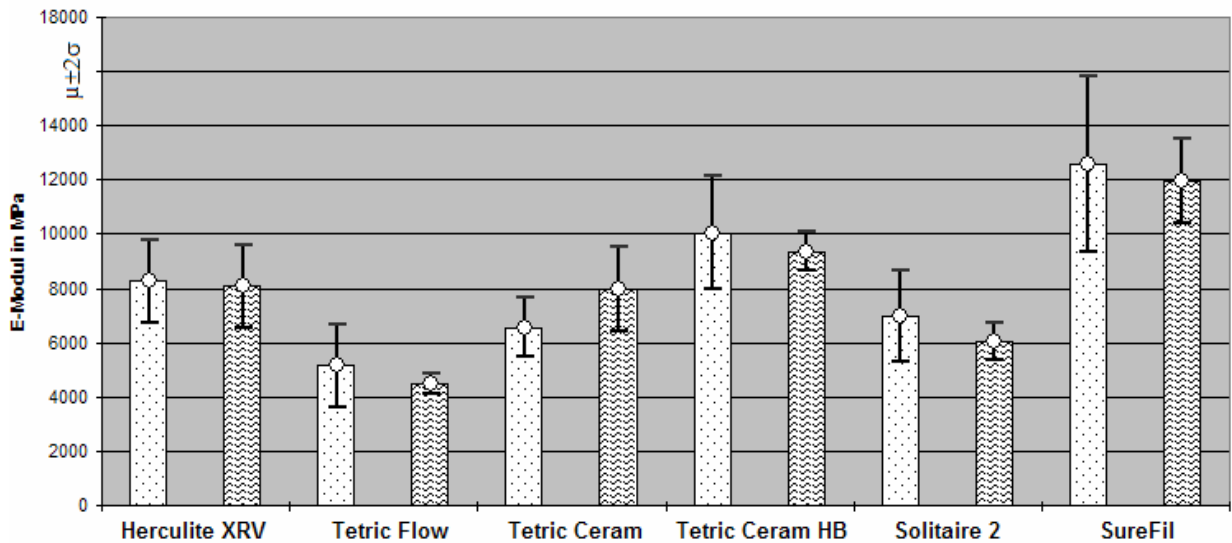


Abb.10. Graphische Darstellung des E-Moduls nach 24 h (gepunktete Schraffur) und 30 d Wasserlagerung mit Temperaturwechselbad mit 5000 Zyklen (wellige Schraffur).

5.2 Wasseraufnahme und Löslichkeit

Die Werte für die Wasseraufnahme und Löslichkeit der untersuchten Kompositmaterialien sind in der Tabelle 12 dargestellt.

Tab.12. Wasseraufnahme und Löslichkeit.

	Wasseraufnahme in $\mu\text{g}/\text{mm}^3$	sd	Löslichkeit in $\mu\text{g}/\text{mm}^3$	sd
Herculite XRV	13,48	1,46	2,81	0,99
Tetric Flow	18,54	1,72	0,55	0,82
Tetric Ceram	12,43	1,42	0,58	1,12
Tetric Ceram HB	8,5	0,62	-0,41	1,86
Solitaire 2	17,81	1,46	3,22	2,5
SureFil	9,34	1,47	-0,04	1,57

Die Wasseraufnahme sollte nach EN ISO 4049, 5.2.10 unter $40 \mu\text{g}/\text{mm}^3$ liegen. Alle Kompositmaterialien entsprachen den Anforderungen für die Wasseraufnahme. Die Ergebnisse der Wasseraufnahme unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Mittelwerte und Standardabweichung sind in Abbildung 11 dargestellt.

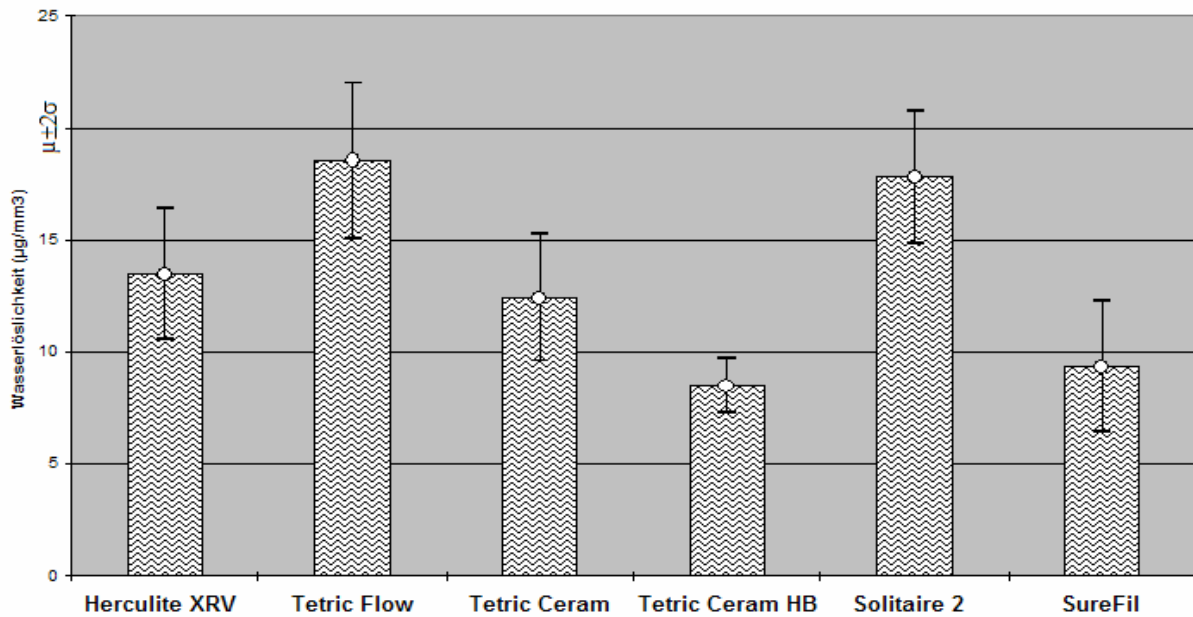


Abb.11. Graphische Darstellung der Wasseraufnahme

Auch die Werte für die Löslichkeit lagen im Normbereich (Tab.10). Der von der EN ISO 4049, 5.2.10 oberste Grenzwert ist mit $7,5 \mu\text{g}/\text{mm}^3$ beschrieben. Alle Kompositmaterialien entsprachen den Anforderungen für die Löslichkeit.

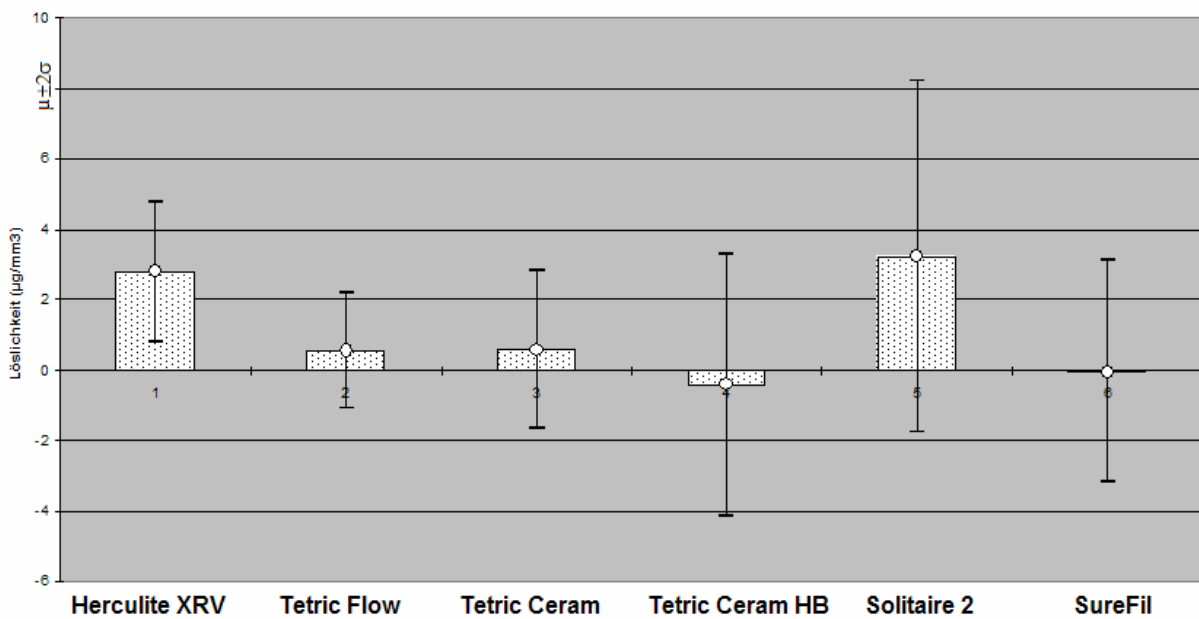


Abb.12. Graphische Darstellung der Löslichkeit.

Nach dem Scheffé-Test unterschied sich nur die Löslichkeit von Tetric Ceram HB signifikant ($p < 0,05$) von der von Solitaire2. Für die anderen untersuchten Komposite konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen festgestellt werden. Abbildung 12 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichung.

5.3 Röntgenopazität

Die Röntgenopazität wurde nach Verfahren A der EN ISO 4049 ermittelt. Die Werte für die Röntgenopazitäten der untersuchten Komposite lagen zwischen 200 und 400 % (Al 99,5 %) (Tab. 13).

Tab.13. Röntgenopazität.

Komposit 1 mm Schichtstärke	Äquivalent Aluminium- stufenkeil in mm	Äquivalent Aluminium- stufenkeil in %
Herculite XRV	2,5	250
Tetric Flow	2,5	250
Tetric Ceram	4,0	400
Tetric Ceram HB	3,5	350
Solitaire 2	2,0	200
Surefil	2,5	250

Die größte Absorption von Röntgenstrahlung zeigte Tetric Ceram mit 400 % (Al 99,5%), die niedrigste wies Solitaire 2 mit 200 % (Al 99,5%) auf. Alle sechs untersuchten Kompositmaterialien entsprachen den Anforderungen. Der Wert für die Radiopazität war bei allen Kompositmaterialien gleich oder größer der Radiopazität von Dentin und Schmelz.

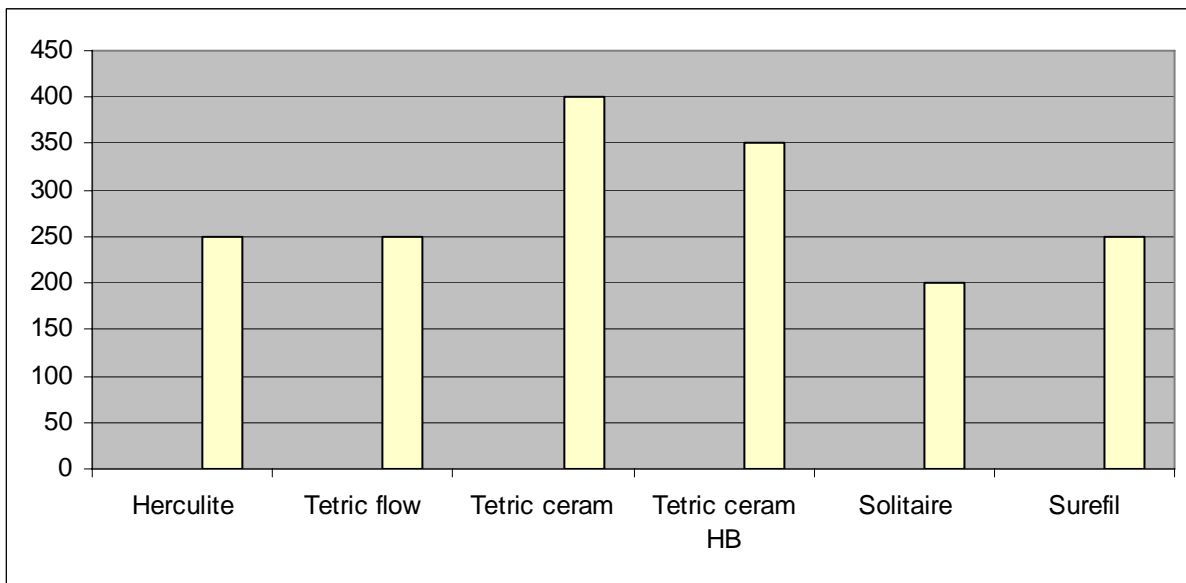


Abb.13. Graphische Darstellung der Röntgenopazität.

5.4 Polymerisationstiefe und Härteprofil

5.4.1 Polymerisationstiefe

Für die Bestimmung der Polymerisationstiefe nach EN ISO 4049 wird die gemessene Höhe des Zylinders aus polymerisierten Kompositmaterials halbiert. Die Werte für die Polymerisationstiefen sind in Tabelle 14 aufgeführt. Alle Werte entsprachen der Norm und überstiegen die Mindestpolymerisationstiefe von 1,5 mm. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der gemessenen Polymerisationstiefe sind in Abbildung 14 veranschaulicht.

Tab.14. Polymerisationstiefe.

	Aushärtungstiefe d in mm	sd in mm	Polymerisationstiefe EN ISO 4049 in mm
Herculite	7,2	0,3	3,6
Tetric Flow	7,6	0,5	3,8
Tetric Ceram	7,7	0,1	3,9
Tetric Ceram HB	5,9	0,4	2,9
Solitaire 2	7,2	0,2	3,6
Surefil	9,2	0,3	4,6

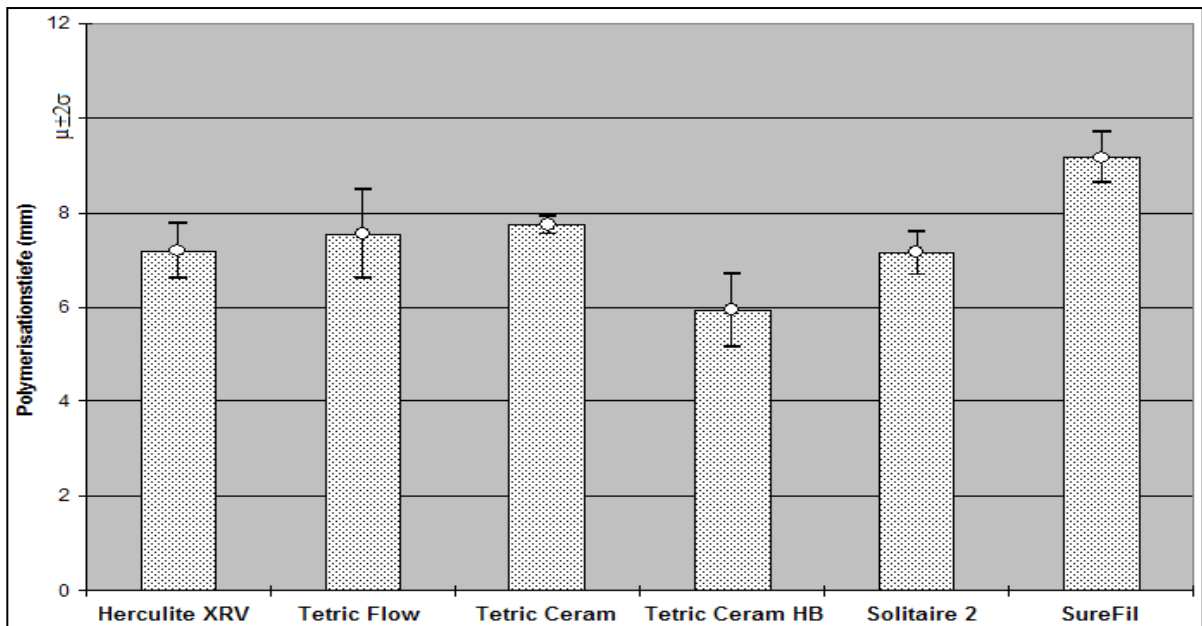


Abb.14 Graphische Darstellung der Polymerisationstiefe

5.4.2 Härteprofil

Die Vickershärte ($HV_{0,2}$) wurde sowohl an der Oberfläche als auch an der Unterseite des 2mm starken Probekörpers gemessen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tab.15. Ergebnisse der Härtemessungen $HV_{0,2}$

Nr.	Bezeichnung	$HV_{0,2}$ –oben in MPa	sd	$HV_{0,2}$ – unten in MPa	sd	Härte in 2 mm in %
1	Herculite XRV	52	2,5	31	4	59,6
2	Tetric flow	33	2,7	26	1	78,78
3	Tetric Ceram	49	1,4	40	1,7	81,63
4	Tetric Ceram HB	68	2,2	43	2	63,23
5	Solitaire 2	54	2,6	30	3	55,55
6	Surefil	77	2,6	62	3,3	80,51

Den größten Härteabfall zeigte Solitaire 2, hier war in der Schichttiefe von 2 mm nur noch 55,55 % der Oberflächenhärte festzustellen. Geringe Härteabfälle waren bei Tetric Ceram, SureFil und Tetric Flow zu beobachten. Bei Tetric Ceram erreicht die Härte in 2 mm Tiefe noch 81,63 % ihrer Ausgangshärte.

5.5 Polierbarkeit

5.5.1 Rauheitsmessung mittels Oberflächenprofilmesssystem

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Rauheitsmessungen sind in Tabelle 16 aufgelistet.

Tab.16. Rauheitswerte. - R_a : arithmetischer Mittenrauwert. -TWB: Temperaturwechselbad

Komposit	R_a 1 in nm nach 24 h Wasserlagerung, 37 °C	sd	R_a 2 in nm nach 30 d Wasserlagerung plus 5000 Zyklen TWB, 5 °C-55 °C	sd
Herculite XRV	63,8	2,8	65,7	4
Tetric Flow	46,1	6,6	40,7	3,5
Tetric Ceram	46,4	7,9	51,3	2,1
Tetric Ceram HB	71,2	3,8	69,7	4,2
Solitaire 2	82,6	7,4	66,3	7,6
SureFil	75,7	4,8	100	4,6

Die graphische Darstellung der beiden Messserien veranschaulicht Abbildung 15.

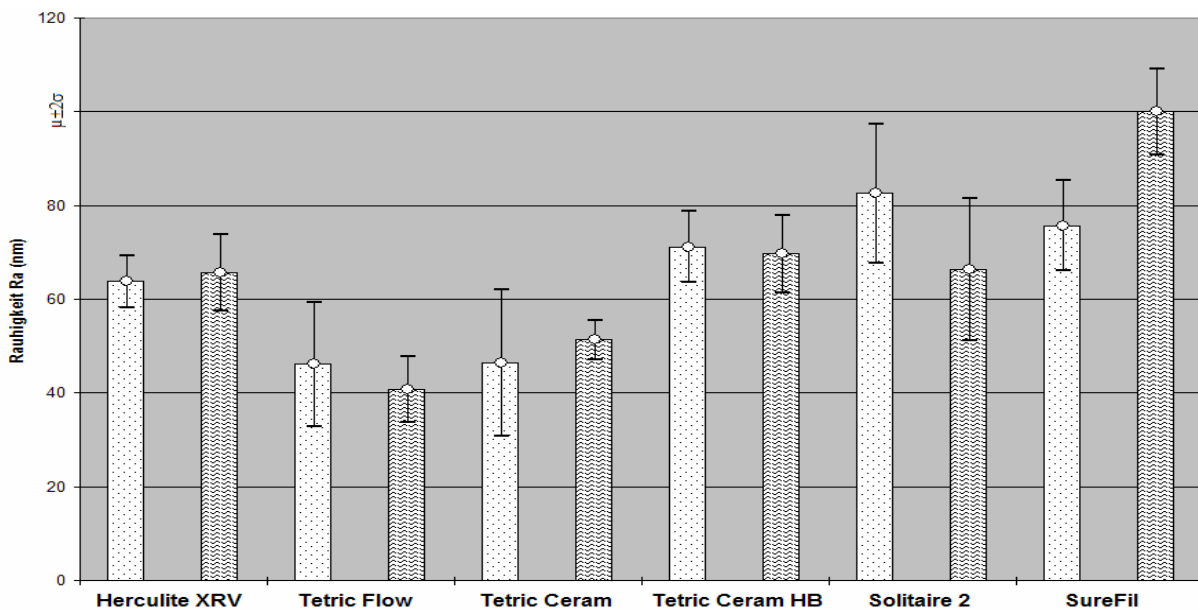


Abb.15. Graphische Darstellung der Rauigkeiten nach 24 h (gepunktete Schraffur) und 30 d Wasserlagerung mit Temperaturwechselbad mit 5000 Zyklen (wellige Struktur).

5.5.2 Beurteilung mittels Rasterelektronenmikroskop

Eine weitere Möglichkeit zur Beurteilung von Oberflächen ist die Rasterelektronenmikroskopie. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen das jeweilige Komposit der Messserie 1 und 2 in 1000-facher Vergrößerung. Die visuelle Begutachtung bestätigt die Ergebnisse der Oberflächenprofilmessungen. Durch die 30-tägige Wasserlagerung und dem Temperaturwechselbad zeigte sich die Politur nicht wesentlich verändert. Generell konnten bei den sogenannten stopfbaren Kompositen vor der Wasserlagerung schärfer konturierte Schleifspuren beobachtet werden, die nach 30-tägiger Wasserlagerung verwaschener wirkten. Das fließfähige Komposit Tetric Flow zeigte eine sehr glatte, homogene Struktur ohne Schattierungen, sowohl vor, als auch nach Wasserlagerung und Temperaturlastwechsel.

Herculite XRV nach Hochglanzpolitur mittels SoFlex- Scheiben superfein (1200):

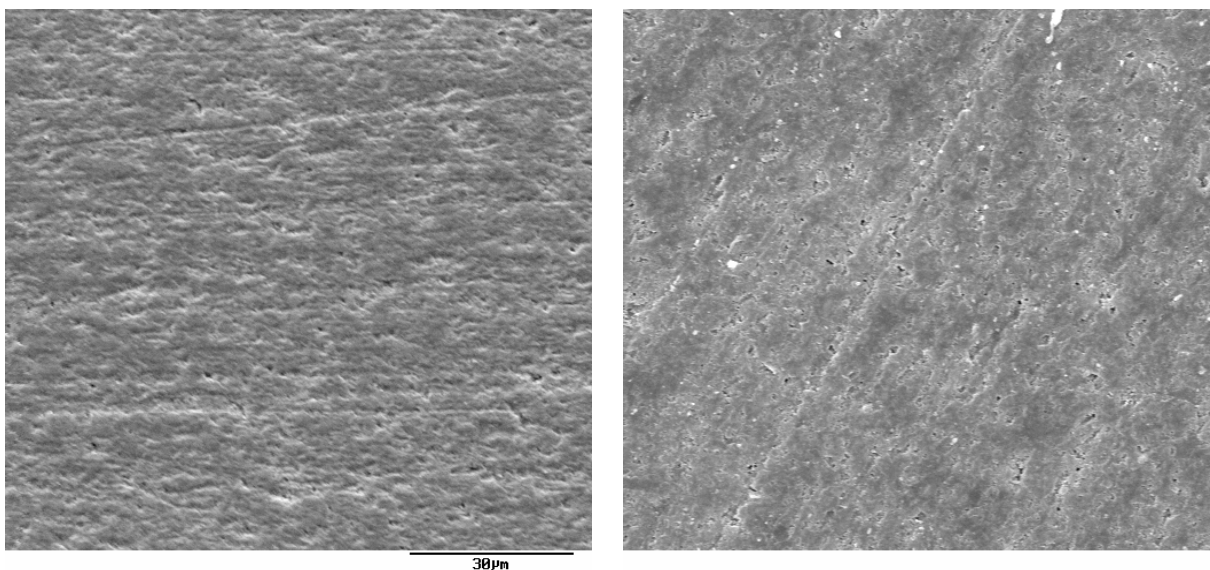


Abb. 16. Herculite XRV nach 24h Wasserlagerung. **Abb. 17.** nach 30d Wasserlagerung und TWB.

Bei beiden Aufnahmen (Abb. 16, Abb. 17) sind Schleifspuren erkennbar, die parallel, in eine Richtung verlaufen. Zudem sind unregelmäßig angeordnete Poren sichtbar. Abgesehen vom unterschiedlichen Winkel des Schliffes sind zwischen den Oberflächen der beiden Messreihen kaum Unterschiede feststellbar. Nach 30-tägiger Wasserlagerung zeigen sich etwas mehr Poren, die Schliffacetten wirken ausgewaschener.

Tetric Flow nach Hochglanzpolitur mittels SoFlex- Scheiben superfein (1200):

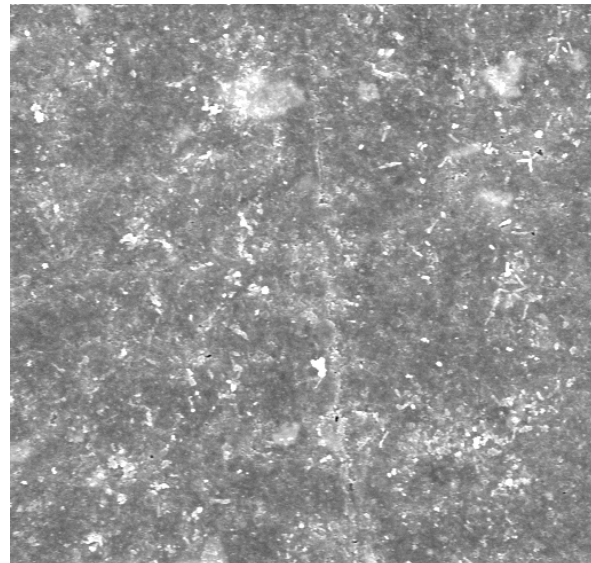
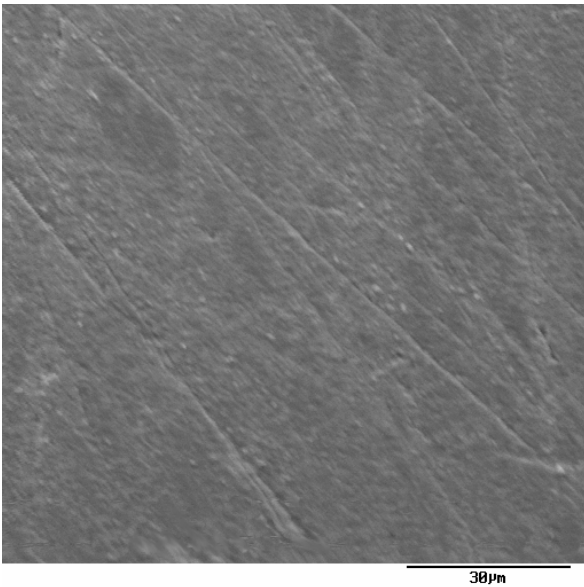


Abb. 18 . Tetric Flow nach 24h Wasserlagerung.

Abb. 19 . nach 30d Wasserlagerung und TWB.

Nach 24stündiger Wasserlagerung zeigt sich eine sehr homogene Struktur. Es sind keine Porositäten zu verzeichnen. Auffällig sind die Schleifrippen. Nach 30-tägiger Wasserlagerung und 5000 Zyklen Temperaturwechselbad zeigt sich eine ähnlich homogene Oberflächenstruktur. Die Schleifrippen wirken ausgewaschener, undeutlicher.

Tetric Ceram nach Hochglanzpolitur mittels SoFlex- Scheiben superfein (1200):

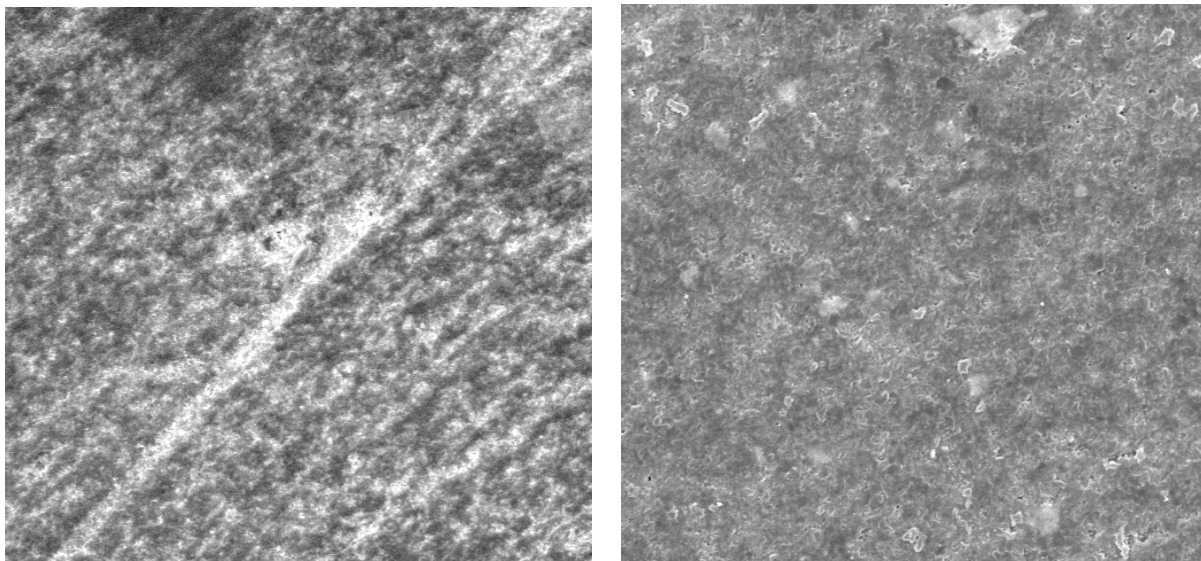


Abb. 20 . Tetric Ceram nach 24h Wasserlagerung. **Abb. 21**. nach 30d Wasserlagerung und TWB.

Die Strukturen sind inhomogener, sie wirken aber glatt und ohne Poren. Die Textur erscheint fleckig. Schleiffrillen sind erkennbar. Nach 30-tägiger Wasserlagerung zeigen sich die fleckigen Strukturen deutlicher. Schleiffrillen sind hier nicht mehr sichtbar.

Tetric Ceram HB nach Hochglanzpolitur mittels SoFlex- Scheiben superfein (1200):

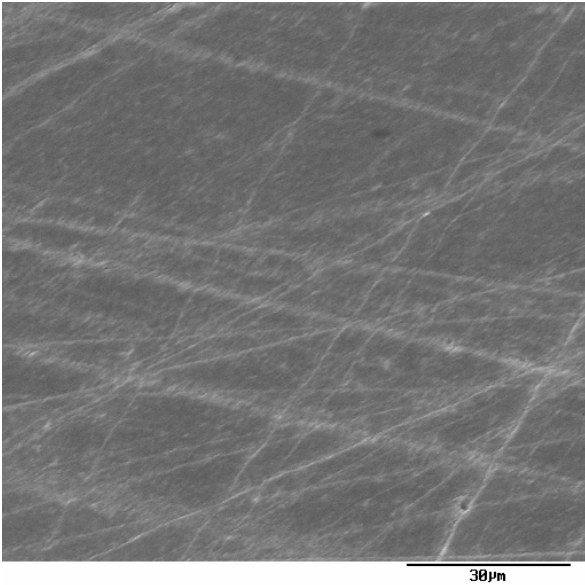


Abb. 22. Tetric Ceram HB nach 24h Wasserlagerung

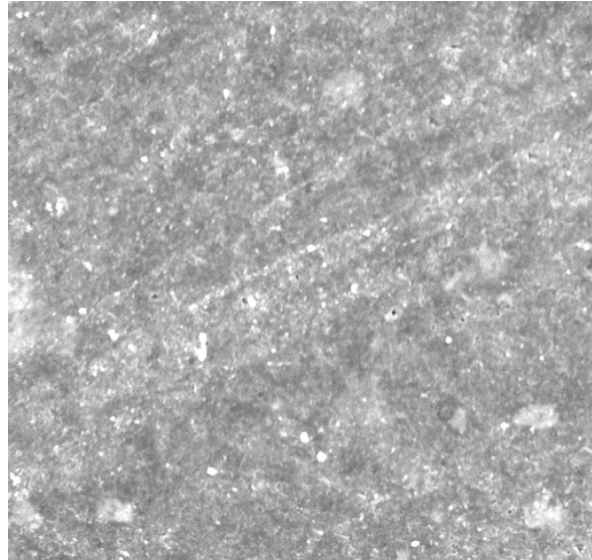


Abb. 23. nach 30d Wasserlagerung und TWB

Nach 24stündiger Wasserlagerung zeigen sich deutliche, scharf gezeichnete Schleifspuren, sonst wirkt die Oberfläche homogen, glatt. Nach 30-tägiger Wasserlagerung treten Strukturen deutlicher hervor. Die Schleifrillen sind reduziert, nicht mehr scharf gezeichnet.

Solitaire 2 nach Hochglanzpolitur mittels SoFlex- Scheiben superfein (1200):

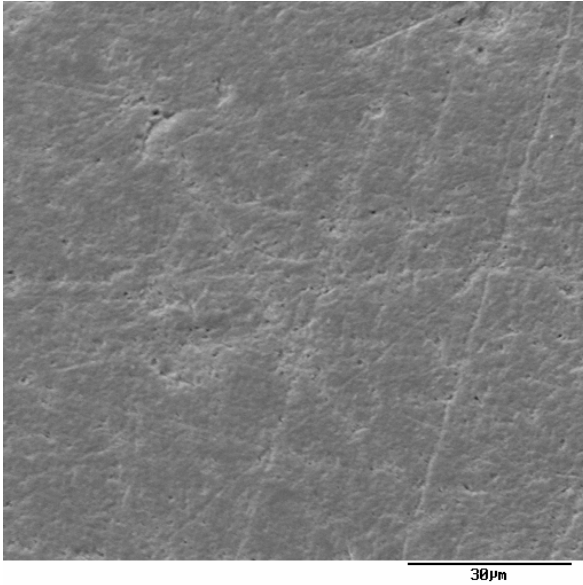


Abb.24. Solitaire2 nach 24 h Wasserlagerung

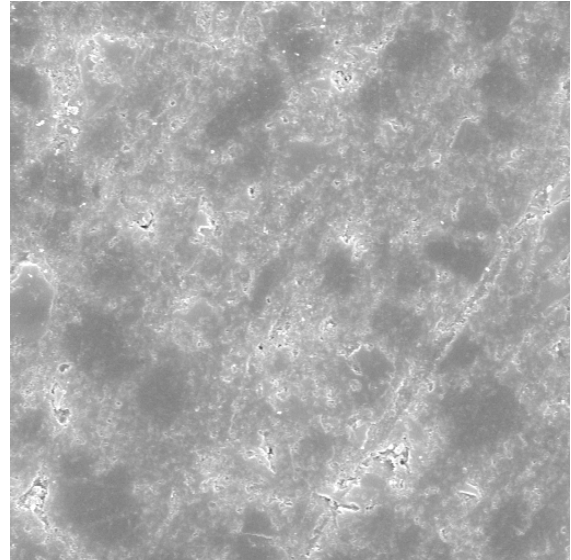


Abb. 25. nach 30 d Wasserlagerung und TWB

Nach 24stündiger Wasserlagerung sind sowohl Porositäten als auch Schleiffrillen deutlich erkennbar. Die Oberfläche wirkt rauer als nach 30-tägiger Wasserlagerung. Hier erscheinen die Strukturen glatter, homogener, die Schleiffrillen verwaschener. Es sind mehr Poren sichtbar.

SureFil nach Hochglanzpolitur mittels SoFlex- Scheiben superfein (1200):

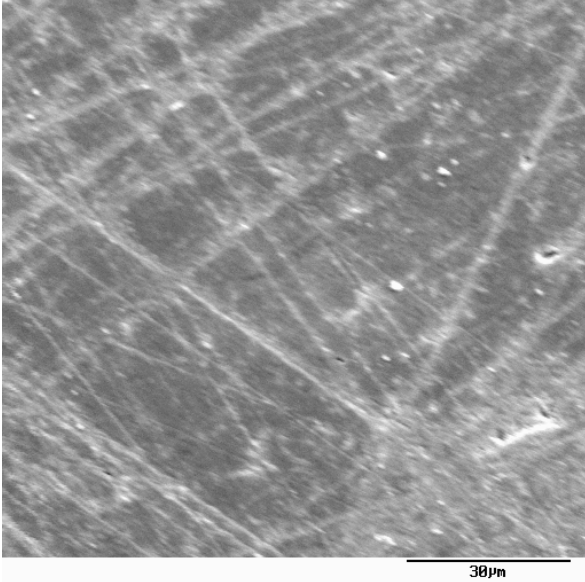


Abb. 26. SureFil nach 24h Wasserlagerung

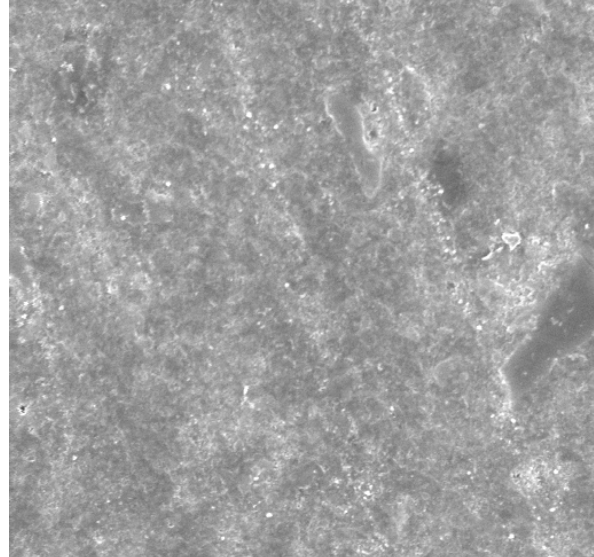


Abb. 27. nach 30d Wasserlagerung und TWB

Auch hier sind nach 24stündiger Wasserlagerung deutlich scharfgezeichnete Schleifspuren erkennbar, Porositäten sind vorhanden. Nach 30-tägiger Wasserlagerung erscheinen auch Porositäten, insgesamt ist das Bild verwaschener und stärker strukturiert.