

M. Zenginel¹, U. Heun¹, J. Stelzig¹, M. Balkenhol¹, B. Wöstmann¹

Shark Fin Test und rheologische Eigenschaften elastomerer Abform- materialien: Eine Korrelationsanalyse



M. Zenginel

*Rheological properties of impression materials and Shark Fin Test:
A correlation analysis*

Einführung: Das Ziel dieser Arbeit war es, die mit dem Shark Fin Test ermittelten Flossenhöhen mit Hilfe rheologischer Kenngrößen dentaler Abformmaterialien zu vergleichen.

Material und Methode: Es wurden vier Abformmaterialien, zwei Polyether und jeweils ein A-Silikon und ein Hybridmaterial untersucht. Die Prüfung der rheologischen Eigenschaften Nullviskosität (η_0) und Fließgrenze (τ_0) erfolgte mit Hilfe eines Rotationsrheometers (Rheo Stress 600, Thermo/Fisher Scientific, Karlsruhe). Der Shark Fin Test wurde mit einer Shark Fin Apparatur (Fa. 3M ESPE, Seefeld) durchgeführt.

Ergebnisse: Die Korrelationsanalyse aller Materialien ergab eine hochsignifikante Korrelation ($p < 0,001$; Spearman) zum einen zwischen dem Shark Fin Test und der Fließgrenze und zum anderen zwischen dem Shark Fin Test und der Nullviskosität, wohingegen die Einzelanalyse der Materialien vorrangig einen Zusammenhang zwischen Nullviskosität und Shark Fin Test erkennen ließ.

Schlussfolgerung: Damit stellt der Shark Fin Test ein Verfahren dar, das vorrangig die Nullviskosität dentaler Abformmaterialien abzubilden scheint.

(Dtsch Zahnärztl Z 2011, 66: 899–904)

Schlüsselwörter: Abformmaterialien, Shark Fin Test, Nullviskosität, Fließgrenze

Introduction: It was the aim of this study to correlate the results obtained from the Shark Fin Test with rheological properties of dental impression materials.

Material and Method: Four impression materials, two polyethers, one vinyl-polysiloxane and one polyether/vps blend, were analysed. The rheological properties zero shear viscosity (η_0) and yield stress (τ_0) were examined using a rotational rheometer (Rheo Stress 600, Thermo/Fisher Scientific, Karlsruhe). The Shark Fin Test was accomplished by using a shark fin device (3M ESPE, Seefeld).

Results: Correlation analysis of all materials using Spearman's Rho showed a highly significant correlation ($p < 0,001$) between the Shark Fin Test on the one hand and the yield stress, respectively the zero shear viscosity on the other, whereas the single analysis of the materials (Pearson) mainly showed coherence between zero shear viscosity and the Shark Fin Test.

Conclusion: Hence, results obtained by the Shark Fin Test seem to reflect the zero shear viscosity of an impression material.

Keywords: impression materials, Shark Fin Test, zero shear viscosity, yield stress

¹ Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik (Leiter: Prof. Dr. B. Wöstmann), Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Justus-Liebig-Universität Giessen

Peer-reviewed article: eingereicht: 18.11.2010, revidierte Fassung akzeptiert: 23.07.2011

DOI 10.3238/dzz.2011.0899

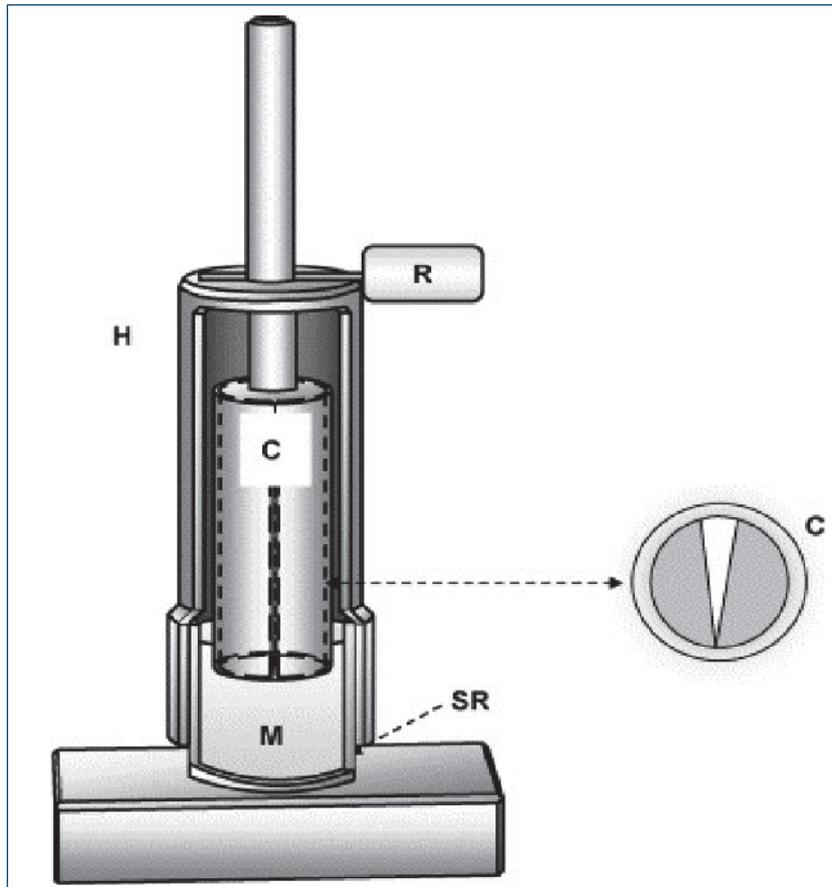


Abbildung 1 Schematische Zeichnung des aufgebauten Shark Fin Tests. (Abkürzungen s. Text)

Figure 1 Charting of the shark fin test. (Abbreviations see text)

1 Einleitung

Insbesondere bei der Präparation für Kronen und Brücken liegen in vielen Fällen die Präparationsgrenzen para- bzw. infragingival. In diesen Situationen ist ein Abformmaterial wünschenswert, das leicht in den Sulkus einfließt [3, 4, 8]. Diese Fähigkeit eines Präzisionsabformmaterials in den schmalen Sulkus eines präparierten Pfeilerzahnes zu fließen ist in diesen Situationen von herausragender Bedeutung, da sich dort der kritische Übergangsbereich zwischen der Krone und der nicht präparierten Zahnhartsubstanz befindet [7, 14].

Bisher ist jedoch weitgehend unbekannt, durch welche rheologischen Parameter bzw. experimentellen Ansätze sich die in diesem Zusammenhang klinisch relevanten Fließeigenschaften von Abformmassen am besten beschreiben lassen.

Die Fließ- und Abbindeigenschaften von Abformmaterialien werden in der dentalen Werkstoffkunde bislang vorwiegend mit Hilfe von rheologischen Prüfverfahren bestimmt [5]. Da rheologische Messungen apparativ jedoch sehr auf-

wendig sind, versuchte die Firma 3M ESPE vor einigen Jahren ein einfaches Verfahren zu entwickeln, mit dem die Fließeigenschaften eines Abformmaterials in der Abbindephase beschrieben werden können (Shark Fin Test) [15]. Über die Aussagefähigkeit und klinische Relevanz der Ergebnisse des Shark Fin Tests liegen jedoch wenige Daten vor [1, 6].

Bekannt ist bereits, dass die Ergebnisse des Shark Fin Tests weder Rückschlüsse auf die Dimensionstreuung, noch auf die Detailwiedergabe der Oberflächen einer Abformung zulassen [1]. Zudem zeigten die Ergebnisse, dass die rheologischen Parameter Phasenwinkel und Speichermodul, die vornehmlich den Abbinde- bzw. Vernetzungsprozess einer Abformmasse charakterisieren, zwar tendenziell mit den Ergebnissen des Shark Fin Tests korrelieren, jedoch ohne dass zwischen diesen Parametern ein ursächlicher Zusammenhang besteht [1]. Die Autoren nahmen an, dass der Shark Fin Test andere rheologische Eigenschaften von Abformmaterialien wie z. B. die Fließgrenze oder die Nullviskosität reflektieren könnte [1].

Die Fließgrenze (τ_0) beschreibt die notwendige Schubspannung (Kraft/Fläche), die erforderlich ist, um ein Abformmaterial zum Fließen zu bringen. Die Nullviskosität (η_0) repräsentiert die initiale Fließfähigkeit eines Abformmaterials. Es war daher das Ziel dieser Untersuchung zu prüfen, inwieweit diesbezüglich der Shark Fin Test tatsächlich Nullviskosität oder Fließgrenze einer Abformmasse wiedergibt.

2 Material und Methode

Das Prinzip des Shark Fin Tests beruht auf dem Einsinken eines Stempels in ein Abformmaterial unter Eigengewicht. Das Einsinken des Stempels stoppt dann, wenn die an der benetzten Oberfläche wirkenden Spannungen die durch den Stempel wirkende Kraft kompensieren.

Somit sollte die Fließgrenze einen deutlichen Einfluss auf die Flossenhöhe haben.

Zur Überprüfung der Korrelation zwischen dem Shark Fin Test und den rheologischen Eigenschaften (Nullviskosität η_0 und Fließgrenze τ_0) eines Abformmaterials wurden in Anlehnung an eine vorangegangene Untersuchung [1] zwei Polyether, ein Polyvinylsiloxan und ein Hybridmaterial (Polyether/Polyvinylsiloxan) ausgewählt (Tab. 1).

Alle Versuchsserien wurden bei 23 ± 1 °C Raumtemperatur und 50 ± 5 % relativer Luftfeuchtigkeit durchgeführt, wobei die geprüften Abformmaterialien gemäß Herstellerangaben verarbeitet wurden.

Die Bestimmung der Nullviskosität (η_0) und der Fließgrenze (τ_0) erfolgte mit einem Rotationsrheometer (Rheo Stress 600, Thermo/Fisher Scientific, Karlsruhe) unter standardisierten Bedingungen.

Alle Messungen erfolgten mit einer Platte/Platte Konfiguration bei einer Messspaltbreite von 1 mm. Die Basisplatte wurde vor jeder Messung auf 23 °C temperiert. Die Auswertung der Messdaten erfolgte mit Hilfe der Software RheoWin 3.61 (Thermo/Fisher Scientific, Karlsruhe).

Die Messungen für die Nullviskosität und die Fließgrenze wurden in Analogie zu [1] in 30 s Intervallen von 30 s bis 150 s nach Anmischen des Probenmaterials gestartet. Bei jedem Intervall wurden jeweils sechs Messungen pro Prüfmaterial durchgeführt.

Die Anwendung des Shark Fin Tests erfolgte durch einen kalibrierten Prüfer

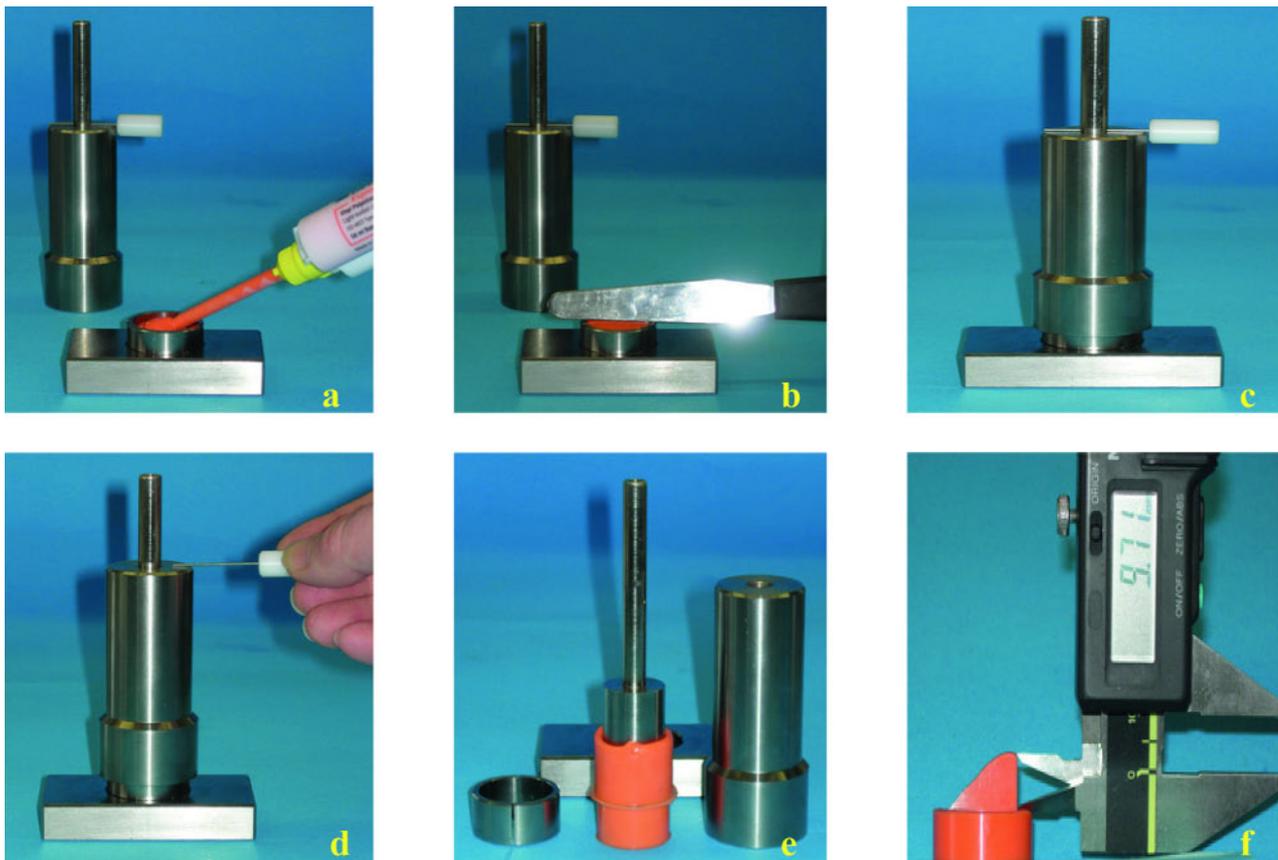


Abbildung 2 Versuchsablauf des Shark Fin Tests.

Figure 2 Procedure while operating the shark fin test.

(Abb. 1 u. 2: J. Stelzig)

mit der von der Firma 3M ESPE entwickelten Testvorrichtung.

In Abbildung 1 sind die einzelnen Bestandteile der Shark Fin Testapparatur schematisch dargestellt: Die Basis besteht aus einem teilbaren Zylinder (SR, Höhe: 14 mm, innerer Durchmesser: 25 mm, Wandstärke: 2,5 mm), der annäherungsweise 7 ml Abformmaterial fasst. Das Gehäuse enthält einen teilbaren Kolben (C), der an der Unterseite einen V-förmigen Schlitz mit 1 mm Breite für Typ 3 Abformmaterial (Masse 148,8 g) aufweist. Der Kolben wird durch einen Metallstab (R) 1 mm über der Prüfmaterioberfläche arretiert. Wird die Arretierung gelöst, taucht der Kolben in das in dem Zylinder befindliche Prüfmaterio ein. Dabei wird die zu prüfende Masse in die schlitzförmige Öffnung des Kolbens gepresst und nimmt dadurch eine haifischflossenartige Form an.

Der Versuchsablauf ist in Abbildung 2 dargestellt. Zunächst erfolgte die Applikation des Abformmaterials (Abb. 1, M) in den Zylinder (Abb. 2a). Nach Glättstreichen der Masse (Abb. 2b) wurde das Gehäuse (Abb. 1, H) auf den Zylinder platziert (Abb. 2c) und der Kolben in den de-

finierten 30 s Intervallen (30 s bis 150 s) durch Herausziehen des Sicherungsstiftes (Abb. 2d, Abb. 1, R) ausgelöst. Nach der vom Hersteller vorgegebenen Abbindezeit des jeweiligen Prüfmaterio wurde das abgebundene Material (6 Prüfkörper pro Intervall) aus dem teilbaren Zylinder entfernt (Abb. 2e) und die Flossenhöhe mit Hilfe einer digitalen Schiebelehre (Mitotoyo, Japan; Messgenauigkeit $\pm 0,02$ mm) bestimmt (Abb. 2f).

Die Messwerte wurden mit den Programmen Microsoft Office Excel 2003, SPSS 15.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) und SAS 9.1.3 (SAS Corp., North Carolina, USA) erfasst. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SAS 9.1.3.

Die Ergebnisse wurden für die einzelnen Materialien analysiert und zusätzlich über alle Abformmaterialien gepoolt, um die Frage zu klären, inwieweit mögliche Korrelationen ausschließlich materialspezifisch sind oder ob der Shark Fin Test materialunabhängig die Nullviskosität und Fließgrenze beschreibt.

Da die über alle Abformmaterialien gepoolten Ergebnisse nicht normalverteilt waren, wurde zur Gesamtkorrelationsana-

lyse der Korrelationskoeffizient nach Spearman und für die Einzelanalyse eines jeden Materials dagegen die Pearson-Korrelation berechnet. Zusätzlich wurde eine Maximum Likelihood Analyse durchgeführt.

3 Ergebnisse

Die Nullviskosität nahm für alle Materialien über die ansteigenden Zeitintervalle zu. Die Fließgrenze war bei Impregum am niedrigsten und nahm über die ansteigenden Zeitintervalle ab, wohingegen sie bei allen anderen Materialien jedoch zunahm (Abb. 3 und Abb. 4). Aufgrund der fortschreitenden Vernetzungsreaktion konnte die Fließgrenze nach Überschreitung der Verarbeitungszeit bei einigen Materialien nicht bestimmt werden [2, 10, 11, 13]. Bei der Datenanalyse stellte sich heraus, dass die gemessenen Parameter am ehesten über eine lineare Korrelation verknüpft sind. Mit der Maximum Likelihood Methode konnte keine zutreffendere Korrelation identifiziert werden.

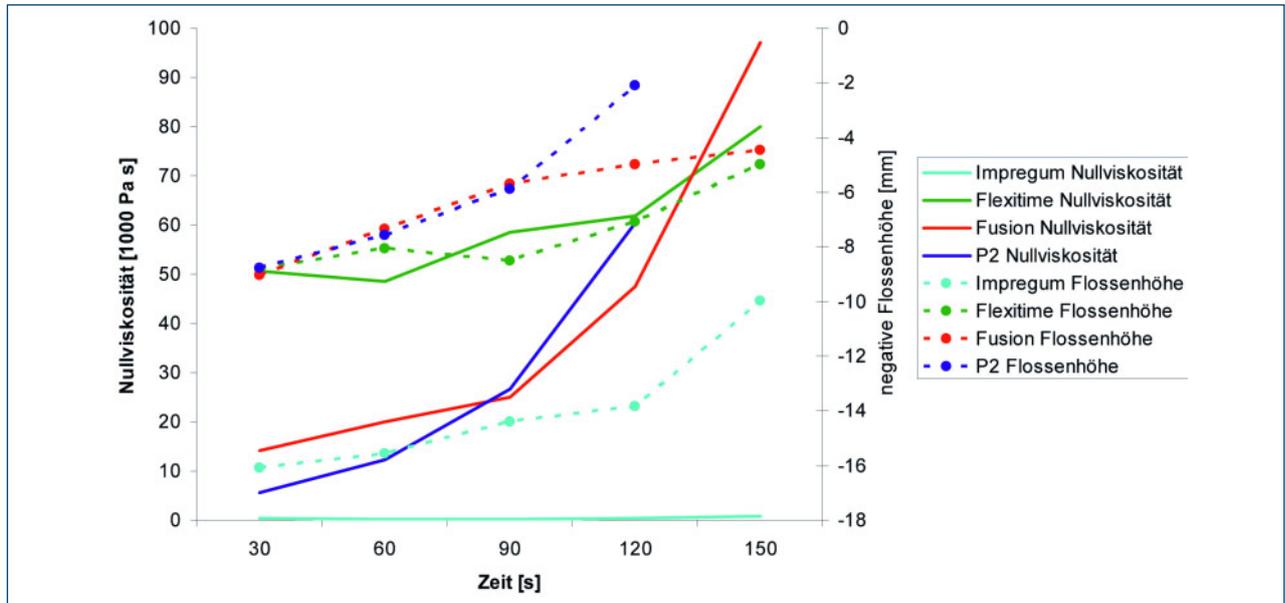


Abbildung 3 Nullviskosität und Flossenhöhen der geprüften Abformmaterialien. Die Nullviskosität wurde mit dem Rotationsrheometer bestimmt, während die Flossenhöhen mit dem Shark Fin Test ermittelt wurden.

Figure 3 Zero shear viscosity and fin heights of the analysed impression materials. The zero shear viscosity was obtained by the rotary rheometer while the fin heights were obtained by the shark fin test.

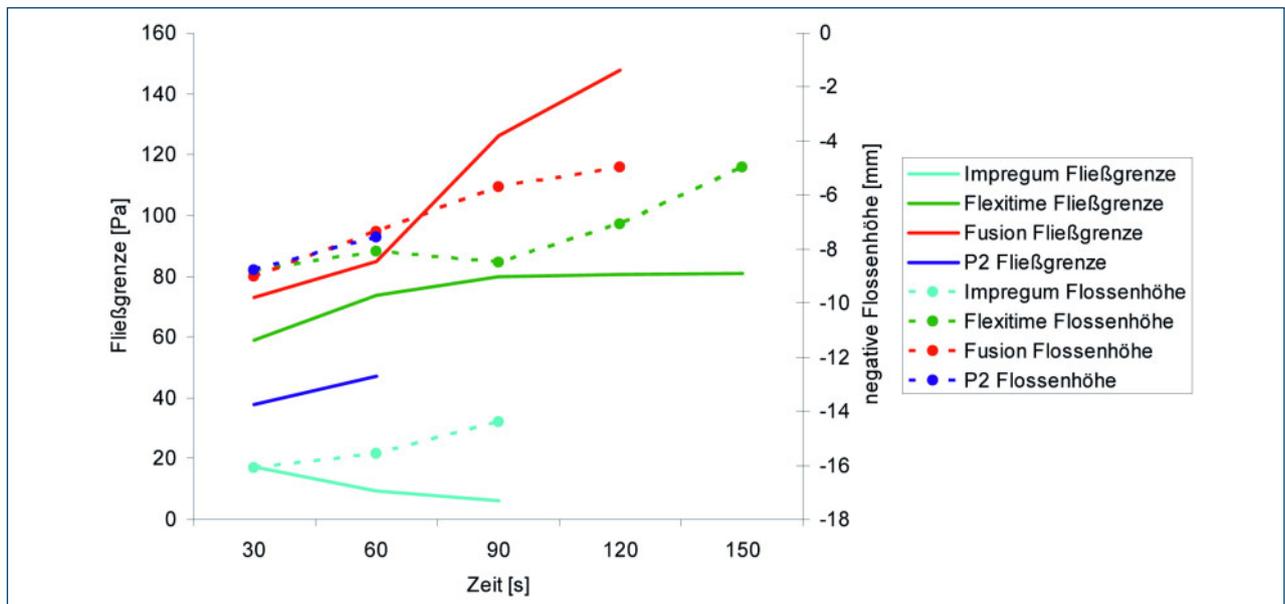


Abbildung 4 Fließgrenze und Flossenhöhen der geprüften Abformmaterialien. Die Fließgrenze wurde mit dem Rotationsrheometer bestimmt, während die Flossenhöhen mit dem Shark Fin Test ermittelt wurden.

Figure 4 Yield stress and fin heights of the analysed impression materials. The yield stress was obtained by the rotary rheometer while the fin heights were obtained by the fin shark test.

(Tab. 1 u. 2, Abb. 3 u. 4: M. Zenginel)

Der ermittelte Korrelationskoeffizient zwischen der Flossenhöhe und den rheologischen Eigenschaften betrug für die Nullviskosität $-0,811$ und für die Fließgrenze $-0,880$ (gepoolte Werte aller Abformmaterialien). Die Korrelationsanalyse aller Abformmaterialien ergab eine hochsignifikante negative Korrelation zwischen den Ergebnissen des Shark Fin

Tests (Flossenhöhe) und der Nullviskosität bzw. der Fließgrenze ($p < 0,001$).

Die Korrelationskoeffizienten zwischen der Flossenhöhe und den rheologischen Eigenschaften getrennt nach geprüften Abformmaterialien sind in Tabelle 2 dargestellt. Vor allem die Nullviskosität korreliert sehr gut mit den Werten des Shark Fin Tests.

Die beiden Polyether Impregum Garant L Duosoft und P2 light wiesen die niedrigsten Werte für die Nullviskosität (η_0) auf, wobei die von Impregum Garant L Duosoft um den Faktor zehn kleiner waren. Bei dem A-Silikon Flexitime Correct Flow waren im Durchschnitt die höchsten Werte für η_0 zu beobachten.

Material	Viskosität (ISO 4823)	Mischverhältnis	Verarbeitungszeit [min.]	Mundverweildauer [min.]
Impregum Garant L Duosoft™	Typ 3	1:1 Statikmischer	2:00	3:30
Flexitime Correct Flow®	Typ 3	1:1 Statikmischer	2:30	2:30
Fusion Light Body	Typ 3	1:1 Statikmischer	2:00	4:00
P2 light	Typ 3	1:1 Statikmischer	1:30	1:30

Tabelle 1 Herstellerinformationen zu den verwendeten Abformmaterialien.

Table 1 Manufacturer's declaration of impression materials.

Pearson	Flossenhöhe Impregum Garant L Duosoft™	Flossenhöhe Flexitime Correct Flow®	Flossenhöhe Fusion Light Body	Flossenhöhe P2 light
Nullviskosität	-0,933*	-0,910*	-0,767	-0,959*
Fließgrenze	-0,779	-0,397	-0,543	-0,865

* signifikant p < 0,05

Tabelle 2 Korrelationskoeffizienten (Pearson) zwischen den Flossenhöhen der untersuchten Typ 3 Materialien und den rheologischen Kenngrößen Nullviskosität und Fließgrenze.

Table 2 Correlation coefficient (Pearson) between fin heights and rheological properties.

Die Ergebnisse der Messung der Fließgrenze (τ_0) ergaben bei dem Polyether Impregum Garant L Duosoft die geringsten Werte. Das Hybridmaterial Fusion Light Body zeigte die höchsten Werte. Mit Ausnahme des Polyethers Impregum Garant L Duosoft war ein permanenter Anstieg der Messergebnisse über die ansteigenden Zeitintervalle zu beobachten.

Alle geprüften Materialien des Typs 3 zeigten einen permanenten Abfall der Flossenhöhen über die einzelnen Messintervalle. Das Material Impregum Garant L Duosoft wies die höchsten Werte für die Flossenhöhen auf (Abb. 3 und Abb. 4).

4 Diskussion

4.1 Methodik

Aufgrund der guten Reproduzierbarkeit der Werte, wozu sicherlich die Kalibrierung des Prüfers beitrug, konnten die Messserien auf jeweils sechs Einzelprüfungen beschränkt werden.

Um das Fließverhalten von Substanzen mit möglichst großer Auflösung analysieren zu können, betragen die Messzeiten bei rheologischen Messungen normalerweise mehrere Minuten bis Stunden. Da sich elastomere Abformmaterialien jedoch aufgrund der einsetzenden Vernetzungsreaktion nach dem Anmischen von einem anfangs strukturviskosen zu einem elastischen Körper verändern [2, 11, 12, 13], ist die zur Verfügung stehende Messzeit limitiert. Aus diesem Grund analysierten Martinez und Mitarbeiter die Fließgrenze und die Thixotropie elastomerer Abformmaterialien anhand der einzelnen ungemischten Komponenten, um so eine längere Messung zu ermöglichen [9]. Hierbei bleiben mögliche Einflüsse der Vernetzungsreaktion allerdings vollkommen unberücksichtigt. Weil in der vorliegenden Arbeit jedoch untersucht werden sollte, ob die Ergebnisse des Shark Fin Tests mit rheologischen Eigenschaften von Abformmaterialien im alltäglichen Gebrauch korrelieren, wurden diese im angemischten Zustand verwendet. Die Messzeiten

mussten daher entsprechend kurz gewählt werden, auch wenn dadurch eine etwas höhere Streuung der Ergebnisse unvermeidlich war.

4.2 Ergebnisse

Die bei allen Abformmaterialien mit den fortschreitenden Messintervallen abnehmenden Flossenhöhen sind durch die zunehmende Vernetzungsreaktion zu erklären.

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse deuten darauf hin, dass der Shark Fin Test primär das Fließverhalten eines Abformmaterials (Nullviskosität) zu beschreiben scheint. Da mit zunehmendem Abbindefortschritt (zunehmende Quervernetzung der Moleküle) die Viskosität jeder Abformmasse zunimmt, lässt sich mit dem Shark Fin Test auch für die einzelne Abformmasse der zeitliche Verlauf des Abbindeprozesses mit Hilfe des Shark Fin Tests verfolgen. Eine Verallgemeinerung über verschiedene Abformmaterialien ist allerdings nur bedingt möglich. Dieses Ergebnis entspricht auch den Resultaten voraus-

gegangener Untersuchungen, die ebenfalls keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Shark Fin Tests und dem Phasenwinkel (als Maß für das Vernetzungsverhalten) zeigen konnten [1].

Fließgrenze und Flossenhöhe waren zwar gepoolt über alle Abformmassen signifikant miteinander korreliert, bezogen auf die einzelnen geprüften Materialien ließ sich hier aber nur eine vergleichsweise schlechtere Korrelation nachweisen. Vermutlich sind hierfür unterschiedliche strukturvisköse (Molekülform) bzw. ggf. thixotrope (Wasserstoffbrücken) Eigenschaften der geprüften Materialien verantwortlich.

Interessant in diesem Zusammenhang ist die zeitliche Entwicklung der Fließgrenze beim Material Impregum, bei dem es zunächst zu einem Absinken der Fließgrenze kam. Für dieses Verhalten haben wir gegenwärtig noch keine befriedigende Erklärung. Am ehesten ist daran zu denken, dass dieses Phänomen durch den mehrstufigen Vernetzungsmechanismus des Materials bedingt ist. In der initialen Phase sind sehr viele polare Sulfoniumstarmoleküle vorhanden, so dass durch polare Wechselwirkungen zwischen Katalysator und Basispolymer die Fließgrenze vergleichsweise hoch ist. Im weiteren Reaktionsverlauf sinkt zunächst der Anteil der polaren Sulfoniumstarmoleküle ab, so dass sich die polaren Wechselwirkungen zwischen den Molekülen reduzie-

ren, was zunächst zu einer Verringerung der Fließgrenze führt. Diese wird in dieser Phase noch nicht durch die sich langsam erhöhende Viskosität kompensiert. Erst im weiteren Verlauf der Vernetzung kommt es durch das fortschreitende Kettenwachstum zu einer Zunahme der Viskosität und der Fließgrenze. Dieses Verhalten des Materials ist auch geeignet, um das klinisch zu beobachtende gute Einfließen von Impregum im Vergleich zu Silikonen in den Sulkus zu erklären.

Dementsprechend beschreibt der Shark Fin Test vom klinischen Standpunkt aus betrachtet am ehesten die Fließfähigkeit eines Abformmaterials unter Druck bzw. Scherung. Dies ist für den klinischen Alltag, z. B. bei der Abformung von infragingival präparierten Zähnen mit der Korrekturtechnik von Bedeutung. Wenn bei dieser Abformtechnik nach der direkten Applikation des Korrekturmateri als an die Präparationsgrenzen der abzuformenden Zähne die Erstabformung reponiert wird, übt diese einen Stempeldruck auf das Korrekturmateri als aus. Die benötigte Zeit könnte einem Messzeitintervall im Shark Fin Test zugeordnet werden, und somit die Fließfähigkeit des Korrekturmateri als in Bezug auf die benötigte Zeit vom Umspritzen des (ersten) Zahnes bis zum Reponieren der Erstabformung beurteilt werden.

Wie *Balkenhol* und Mitarbeiter jedoch zeigen konnten, sind gute Fließ-

eigenschaften im Shark Fin Test nicht zwingend mit einer besseren Detailwiedergabe von Oberflächen korreliert [1]. Ob Materialien, die gute Fließeigenschaften im Shark Fin Test zeigen, bessere Ergebnisse bei der Darstellung infragingivaler Präparationsgrenzen in der Korrekturtechnik aufweisen, ist nur durch weitergehende klinische Untersuchungen zu klären.

Vom Messaufwand her bietet der Shark Fin Test eine einfache Alternative zu den gängigen Rotationsrheometern, um Abformmaterialien in Bezug auf die zuvor beschriebenen Eigenschaften arbiträr einzuschätzen. Für deren detaillierte Analyse jedoch bleibt die Rheometrie allerdings weiterhin unerlässlich. DZZ

Interessenkonflikt: Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Korrespondenzadresse

Martha Zenginel
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
(Leiter: Prof. Dr. B. Wöstmann)
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Justus-Liebig-Universität Giessen
Schlangenzahl 14
35392 Giessen
E-Mail: Martha.Zenginel@dentist.med.uni-giessen.de

Literatur

- Balkenhol M, Wöstmann B, Kanehira M, Finger WJ: Shark fin test and impression quality: a correlation analysis. *J Dent* 35, 409–415 (2007)
- Berg JC, Johnson GH, Lepe X, Adan-Plaza S: Temperature effects on the rheological properties of current polyether and polysiloxane impression materials during setting. *J Prosthet Dent* 90, 150–161 (2003)
- Chu CS, Smales RJ, Wei SH: Requirements of an impression material for fixed prostheses. *Gen Dent* 45, 548–555; quiz 556–547 (1997)
- Eichner K, Kappert HF: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Hühig, Heidelberg 1996
- Felton DA, Kanoy BE, Bayne SC, Wirthman GP: Effect of in vivo crown margin discrepancies on periodontal health. *J Prosthet Dent* 65, 357–364 (1991)
- German MJ, Carrick TE, McCabe JF: Surface detail reproduction of elastomeric impression materials related to rheological properties. *Dent Mater* 24, 951–956 (2008)
- Gulker I: Margins. *N Y State Dent J* 51, 213–215, 217 (1985)
- Klettke T, Ranftl D, Kuppermann B: Comparison of different types of impression materials. In: IADR General Session. Orlando, USA 2006
- Martinez JE, Combe EC, Pesun IJ: Rheological properties of vinyl polysiloxane impression pastes. *Dent Mater* 17, 471–476 (2001)
- McCabe JF, Carrick TE: Onset of elasticity in setting elastomers. *J Dent Res* 69, 1573–1575 (1990)
- McCabe JF, Carrick TE: Rheological properties of elastomers during setting. *J Dent Res* 68, 1218–1222 (1989)
- McLean JW, von Fraunhofer JA: The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J* 131, 107–111 (1971)
- Metzger T: Das Rheologie-Handbuch: für Anwender von Rotations- und Oszillations-Rheometern. Vincentz Network, Hannover 2006
- Michalakakis KX, Bakopoulou A, Hirayama H, Garefis DP, Garefis PD: Pre- and post-set hydrophilicity of elastomeric impression materials. *J Prosthodont* 16, 238–248 (2007)
- Tan E, Chai J: Working times of elastomeric impression materials according to dimensional stability and detail reproduction. *Int J Prosthodont* 8, 541–547 (1995)