Aus dem Universitätsklinikum Münster

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

-Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. med. dent. F. Bollmann-

Untersuchungen zur Praxistauglichkeit des Speed-Unguator-Dental-Universalmischers

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae dentium

der Medizinischen Fakultät der

Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von

Manfred Josef Förster

aus Marsberg

2003

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. H. Jürgens

1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. med. dent. L. Figgener
2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. E. Schäfer

Tag der mündlichen Prüfung: 11.08.2003

Aus dem Universitätsklinikum Münster

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

-Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. med. dent. F. Bollmann

Referent: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. med. dent. L. Figgener

Koreferent: Prof. Dr. med. dent. E. Schäfer

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Praxistauglichkeit der *Speed-Unguator-Dental* Universalmischmaschine untersucht. Im allgemeinen Teil wurden neben chemischen Grundlagen und Eigenschaften der im speziellen Teil verwendeten Materialien auch die aus klinischer Sicht wichtigen Phasen der Abbindereaktion, das Dosieren und Mischen von Abformmaterialien sowie das Bestimmen von elastischen Eigenschaften erläutert.

Im speziellen Teil wurden die Abformmaterialien Silaplast, Silasoft S + N, Optosil comfort, Xantopren VL, Xantopren mucosa, Impregum F, Provil novo Putty soft, Provil novo Light base, das Alginat Blueprint Cremex sowie die Dentalgipse Snow White No. 2, Occlumedanit und Silky Rock sowohl mit Hilfe der Universalmischmaschine *Speed-Unguator-Dental* als auch manuell angemischt.

Die erhaltenen Materialproben der Silikone, Polyether und Alginate wurden hinsichtlich ihres Temperatur- und Viskositätsverhaltens sowie optisch untersucht. Der Viskositätsverlauf wurde über das Messen der Shore-Härte A nach DIN 53505 fortlaufend in einem Abstand von 30 sec über 8 min ermittelt. Die erhaltenen Daten der manuellen und maschinellen Serien wurden gegenübergestellt und graphisch abgebildet.

Die Zusammenhänge zwischen der Ausgangsviskosität elastomerer Abformmassen, der Mischmethode, der Mischflügelbreite und dem Viskositätsanstieg wurden auf molekularer Basis erläutert.

Neben den werkstoffkundlichen Untersuchungen wurden die Handhabung und wirtschaftliche Aspekte beurteilt.

Der *Speed-Unguator-Dental-Fullautomat* wird der Bezeichnung Universalmischer nicht gerecht, da er zur Erzielung optimaler Anmischergebnisse nicht universell eingesetzt werden kann.

In Anbetracht der erbrachten Mischergebnisse sowie der verbleibenden manuellen Dosierproblematik ist im Vergleich mit den alternativ vorhandenen Mischsystemen der *Speed-Unguator-Dental-Fullautomat* für die zahnärztliche Praxis nicht zu empfehlen.

Meinen verstorbenen Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

Seite:

A Einleitung und Problemstellung 1

A.1 Ziel der Arbeit 3

A.2 Gerätevorstellung und Funktionsbeschreibung 4

B Allgemeiner Teil 10

B.1 Literaturübersicht 10

B.1.1 Gruppeneinteilung der Abformmaterialien 12

B.1.2 Gips 13

B.1.3 Alginat 15

B.1.4 Silikone 18

B.1.5 Polyether 23

B.2 Dosieren 27

B.3 Mischen 30

B.4 Misch-, Verarbeitungs- und Abbindezeit elastomerer Abformmassen in Abhängigkeit von Temperatur und Härterdosierung 33

B.4.1 Senkung der Reaktionsgeschwindigkeit 35

B.4.2 Einfluss verschiedener Temperaturgrößen auf die Reaktionsgeschwindigkeit 36

B.5 Bestimmung von elastischen Eigenschaften 39

C Spezieller Teil 45
C.1 Versuchsmaterialien 45

C.2 Elastomere 48
C.2.1 Versuchsaufbau 48
C.2.1.1 Universalmischer Speed-Unguator-Dental 48
C.2.1.2 Glutan Tastotherm D 1200 48
C.2.1.3 Sartorius Waage BP 610 48
C.2.1.4 Prüfform 49
C.2.1.5 Härteprüfgerät 50
C.2.1.6 Prüfapparatur 51
C.2.2 Versuchsdurchführung 52
C.2.2.1 Versuchsbedingungen 52
C.2.2.2 Prüfkörperherstellung 52
C.2.2.3 Messmethode 52
C.2.3 Versuchsreihen und Ergebnisse nach der vom Hersteller angegebenen Drehzahl und Anmischzeit 53
C.2.3.1 Silaplast + Katalysator flüssig / Katalysatorpaste 53
C.2.3.2 Silasoft S + N 59
C.2.3.3 Optosil comfort 61
C.2.3.4 Xantopren VL 64
C.2.3.5 Xantopren mucosa 66
C.2.3.6 Provil novo Putty soft 69
C.2.3.7 Provil novo Light base 71
C.2.3.8 Impregum F 74
C.2.4 Versuchsreihen und Ergebnisse mit reduzierter Drehzahl und Mischzeit 77
C.2.4.1 Silaplast + Katalysator flüssig 78
C.2.4.2 Silaplast + Katalysatorpaste 80
C.2.4.3 Optosil comfort 82
C.2.4.4 Provil novo Putty soft 84

C.3 Alginat 86
C.3.1 Versuchsaufbau und Durchführung 86
C.3.2 Ergebnisse 86

C.4 Gips 89
C.4.1 Versuchsaufbau und Durchführung 89
C.4.2 Versuchsreihen und Ergebnisse 91
C.4.2.1 Snow White Plaster No 2 91
C.4.2.2 Occlumedanit 93
C.4.2.3 Silky Rock 95
C.4.3 Abbindeverhalten 97

C.5 Wirtschaftliche Aspekte 98

C.6 Diskussion 100
C.6.1 Elastomere 100
C.6.2 Alginat 112
C.6.3 Gips 114
C.6.4 Bedienung und Kosten 116
C.6.5 Andere Mischsysteme für Elastomere 123
C.6.6 Schlussfolgerung für die Praxis 124

D Zusammenfassung 125

E Literaturverzeichnis 128

F Danksagung 140

G Lebenslauf 141

A Einleitung und Problemstellung

Eine gelungene Abformung der Situation am Patienten ist ein wichtiger Schritt für die Herstellung eines exakten Modells. Sie bildet das entscheidende Bindeglied zwischen der zahnärztlichen und labortechnischen Arbeit.

Fehler, die sich schon zum Zeitpunkt der Abformung eingeschlichen haben, setzen sich durch alle weiter folgenden Schritte fort. Daraus resultiert ein schlecht sitzender oder unbrauchbarer Zahnersatz. Auch die an Situationsmodellen erstellte Diagnostik wird durch nicht dimensionsgetreue Abformungen in Frage gestellt. Allerdings ist selbst bei der großen Anzahl heute verfügbarer hochwertiger Abformmaterialien, zwischen welchen der Zahnarzt je nach Situation wählen kann, eine 100 %ig genaue Darstellung der Situation nicht möglich.

Die Bemühungen in der Zahnmedizin, von der Situation am Patienten formgetreue „Negative" zu erstellen, um diese als „Gussformen" für Modelle zu verwenden, reichen bis ins 18. Jahrhundert zurück. *Phillip Pfaff* (1712 - 1766), Hofzahnarzt unter Friedrich dem Großen, erwähnt als Erster in seinem 1756 erschienenen Buch „Abhandlung von den Zähnen" eine Abformtechnik mittels erwärmten Siegelwachses. Das Negativ füllte *Pfaff* mit Gips auf [25, 29]. Die Abformung mit Hilfe von Gips ist um 1840 in den USA entwickelt worden und geht auf *Levi Gilbert* und *W. H. Dwinelle* zurück. 1857 erprobte der Londoner Zahnarzt *Charles Stent* eine bei Mundtemperatur härtende Kombination verschiedener Wachsarten, die unter dem Namen „Stentmasse" noch immer Anwendung findet. Um 1860 empfahl *Josef Richardson,* Professor am Ohio College, Guttapercha aufgrund seiner Elastizität. Das Zeitalter der elastischen Abformmassen begann um 1925, als *Poller* in Wien Agar- und Gelatinemassen für Abformungen der Schädeldecke einsetzte.

Nach der Einführung dieser elastischen Massen konnten die Zahnärzte endlich auch „untersichgehende" Stellen darstellen. 1940 wurden die Alginat-Abformmassen in die Zahnheilkunde eingeführt [61, 75]. Anfang der 50er Jahre wurden die Polysulfide vorgestellt und 1955 fanden die Silicone Einzug in die Zahnmedizin, zuerst die kondensationsvernetzenden und 1976 folgten die additionsvernetzenden Präparate. Abformmaterialien auf Polyetherbasis stehen seit 1964 zur Verfügung [88].

Die geschichtliche Entwicklung der Abformmassen verdeutlicht die Vielzahl der bereitstehenden Materialien. Das Dental Vademecum 2001 führt allein auf Silikon-, Polyether-, Polysulfid-, Alginat-, Hydrokolloid- und Gipsbasis über 400 Abformmaterialien.

Eine Abformung stellt ein komplexes Geschehen dar, in das verschiedene Parameter eingreifen, wie anatomische Gegebenheiten, patientenspezifische Voraussetzungen, Abformtechnik sowie -material und nicht zuletzt die Erfahrung des Behandelnden. Eine besondere Stellung kommt hier der Verarbeitung der verwendeten Materialien zu. Da das Dosieren und Mischen der Abformmaterialien von Hand nicht immer gleichbleibende Ergebnisse liefert, fanden im Laufe der Zeit immer häufiger Maschinen Verbreitung, die das Dosieren und/oder Mischen der Materialien vereinfachen sollen. Neben der Vereinfachung und Zeitersparnis sollen manuelle Fehlerquellen minimiert werden. Die Standardisierung der Mischvorgänge trägt zur Qualitätssicherung bei. Die angebotenen Geräte arbeiten nach verschiedenen Prinzipien. Hier einige Beispiele:

Das *Universal-Mischgerät AM 501* für Alginate und Silikone arbeitet nach dem exzentrischen Rotationsprinzip. Das Problem der manuellen Dosierung bleibt erhalten.

Der *Automixer AM-I* verfügt über eine Rotationsscheibe von 100 mm Durchmesser. Das Abformmaterial wird auf die Rotationsscheibe gegeben und ein Mischspatel im spitzen Winkel leicht auf den Block andrückt. Das Gerät ist nur für das Mischen von niedrigviskösen Massen geeignet. Auch hier wird das Problem der manuellen Dosierung nicht gelöst.

Das *Pentamixgerät* durchmischt die Abformmaterialien in einem düsenartigen Mischaufsatz, der im Inneren eine Spindel enthält. Die Dosierung wird von dem Gerät übernommen. In das Gerät können nur Abformmaterialien in normierten Kartuschen eingebracht werden. Das Pentamixgerät eignet sich für das Anmischen von dünnflüssigen und zähflüssigen Abformmassen auf Polyether- und A-Silikonbasis.

Seit 1999 ist der *Speed-Unguator-Dental*, ein Universalmischer für Abformmaterialien, der CTW AG erhältlich. Die vorliegende Arbeit untersucht die Praxistauglichkeit des *Speed-Unguator-Dental*.

A.1 Ziel der Arbeit

Gegenstand der folgenden Arbeit ist es, die Praxistauglichkeit des *Speed-Unguator-Dental* Universalmischers für die zahnärztliche Praxis und den Laborbereich zu untersuchen. Die Untersuchungen erstrecken sich über folgende Bereiche:

- Die Qualität des maschinellen Mischvorganges im Vergleich zu manuellen Anmischtechniken. Die Untersuchungen wurden anhand von A- und K-Silikonen, Polyethern, Alginat und Gips erstellt.

- Die Bedienung des Gerätes (Einstellung, Beschickung, Applizieren, Säubern, zeitlicher Aufwand)

- Wirtschaftlicher Aspekt

A.2 Gerätevorstellung und Funktionsbeschreibung

Gerätevorstellung

Der Universalmischer *Speed-Unguator-Dental-Fullautomat* der CTW AG stellt eine Möglichkeit dar, verschiedene Materialien, welche in zahnärztlichen Praxen und im zahnärztlichen Laborbereich verwendet werden, anzumischen. Der ursprüngliche Anwendungsbereich war der Apothekenbereich. Der Hersteller verweist im Anwendungsbereich u.a. auf alle Gipsarten, *Silaplast, Blend-A-Print, Blueprint rapid, Impregum, Xantopren-Funktion, Optosil, Baysilex, Speed pin* und *Speed base*. Die Vorteile des Gerätes liegen nach Vertreiberangaben in einem hygienischen Anmischvorgang mit dem Ergebnis einer besseren Produktqualität sowie einer nicht unbedeutenden Zeitersparnis. Bei dem verwendeten *Speed-Unguator-Dental-Fullautomat* handelt es sich um ein Standgerät, in welchem der Antrieb, der Trägerarm zur Aufnahme der Mischgefäße sowie die Steuer- und Bedieneinheit angebracht sind. An dieser Einheit lassen sich je nach Bedarf variable Mischgefäße und die entsprechenden Flügelrührer anbringen. Die Steuereinheit ist einfach gestaltet und besteht aus 6 Druckknöpfen und einer digitalen Anzeige. Es lässt sich grundsätzlich zwischen der Betriebsart „ Auto “ und „ Hand “ wählen. Die Drehzahl der Flügel ist elektronisch geregelt und lässt sich in 10 Stufen vorwählen:

Stufe 0: 650 U/min
Stufe 1: 810 U/min
Stufe 2: 970 U/min
Stufe 3: 1130 U/min
Stufe 4: 1290 U/min
Stufe 5: 1450 U/min
Stufe 6: 1610 U/min
Stufe 7: 1770 U/min
Stufe 8: 1930 U/min
Stufe 9: 2100 U/min

Die Mischzeit lässt sich mit der Zeitvorwahl zwischen 5 sec und 9:55 min in 5 sec-Schritten einstellen. Die gewählte Drehzahl sowie die Zeit erscheinen auf einem

Display. Um den Mischvorgang zu starten bzw. abzubrechen, enthält die Bedieneinheit eine Start/Stop Taste und einen Hauptschalter.

Abbildung 1: Speed-Unguator-Dental-Fullautomat

Unguator-Flügelrührer

Der Unguator-Flügelrührer ist das Mischwerkzeug. Er ist auf die jeweilige Unguator-Kruke abgestimmt. Angeboten werden einmal und mehrmals zu verwendende Flügelrührer. Bei den mehrmals zu verwendenden Flügeln handelt es sich um eine stabilere Ausführung. Der Flügel ist in diesem Fall fest mit dem Schaft verbunden und besteht aus zwei Armen, die derart gestaltet sind, dass sie während des Mischvorganges jeden Bereich der Krukeninnenwand unter leichtem Druck erreichen, um eine optimale Durchmischung zu gewährleisten. Der Einwegflügel besteht aus sechs grazileren Armen, welche aus Stabilitatsgründen durch einen in der Mitte anliegenden Ring miteinander verbunden sind. Die Einmalflügelrührer werden über einen Bajonettverschluss mit dem Flügelrührerschaft verbunden.

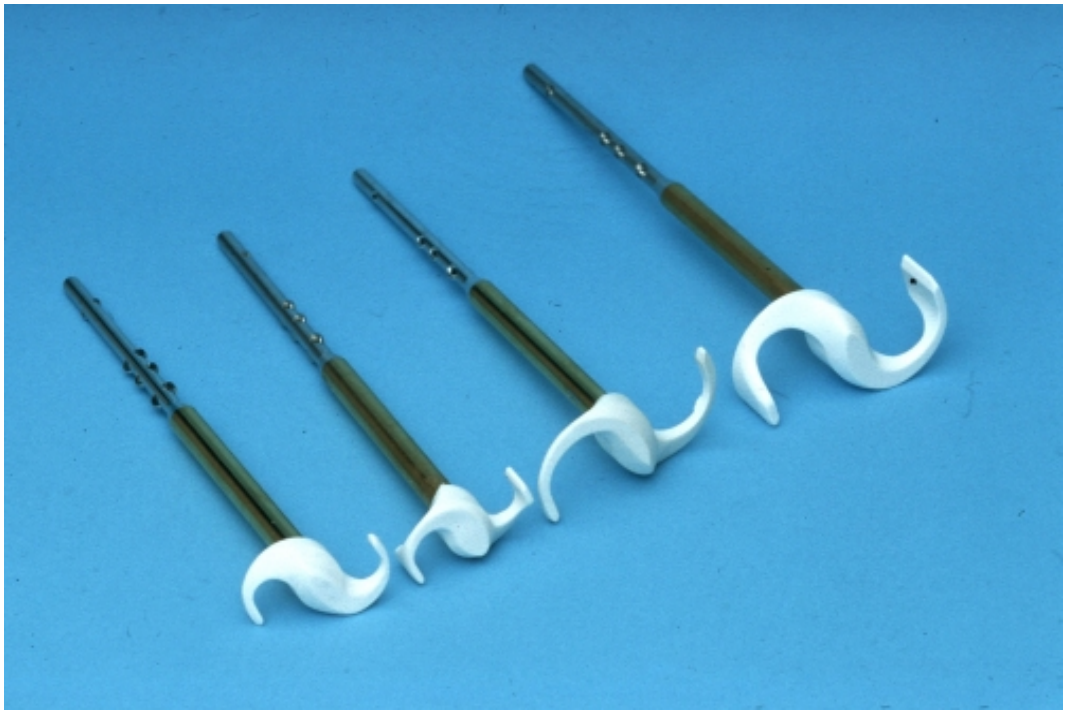


Abbildung 2: Mehrwegflügelrührer verschiedener Durchmesser und Höhen

Abbildung 3: Rührerschaft mit Einmalflügel und Applikationsdüse

Unguator-Kruken

Die Unguator–Kruken werden als Einweg- und Mehrweggefäße angeboten. Die becherartigen Kunststoffgefäße sind mit einem verschiebbaren Boden versehen. Dieser soll eine Luftdiminuierung vor dem Mischen ermöglichen und dient gleichzeitig als Entnahmehilfe. Oben ist die Kruke mit einem Schraubdeckel versehen. Der Schraubdeckel ist mittig mit einer Öffnung versehen, welche als Führung ausgeformt ist. Durch diese Öffnung wird der Flügelrührerschaft in das Mischgefäß eingebracht. Um ein Entweichen der Materialien während des

Anmischvorganges zu verhindern, ist in der Führung eine Dichtungslippe angebracht. Die Unguator-Kruke ist wasserbad- (< 85 °C) und mikrowellenfest. Je nach benötigter Menge werden Kruken mit einem Volumen von 15/28 ml, 20/33 ml, 30/42 ml, 50/70 ml, 100/140 ml, 200/280 ml 300/390 ml und 500/600 ml angeboten. Es ist zu beachten, dass das Füllvolumen im allgemeinen 40% größer als das Nennvolumen ist.

Abbildung 4: Unguatorkruken mit einem Volumen von 100/140 ml, 50/70 ml und 15/28 ml

Funktionsbeschreibung

1. Cito-Unguator mit Ein-/Aus-Schalter an der Rückseite des Gerätes einschalten.
2. Einstellen der gewünschten Drehzahl und Anmischzeit.
3. Flügelrührerschaft in Schraubdeckelöffnung einführen und bereitlegen.
4. Abgewogene oder abgemessene Anmischmedien in Unguatorkruke geben.
5. Schraubdeckel mit Flügelrührerschaft auf Kruke aufschrauben und diese in den Trägerarm einschrauben.
6. Starttaste drücken, der Trägerarm fährt nach oben, der Flügelrührerschaft rastet in die Bajonett-Fassung ein und der Mischvorgang beginnt. Nach Ablauf der voreingestellten Rührdauer fährt der Trägerarm den Mischflügel in eine deckelnahe Position, in der dieser 3 sec lang bei höchster Drehzahl die Anmischmedien abschleudert.
7. Verstellbuchse gegen den Uhrzeiger in Anschlag bringen und die Unguator-Kruke aus dem Trägerarm schrauben, Auswerfer betätigen, Kruke nach unten entnehmen.
8. „Start-Taste“ betätigen, und der Trägerarm fährt in die „Start-Stellung“.
9. Unguator-Kruke öffnen, den Flügelrührer aus dem Schraubdeckel schieben, die Kruke erneut mit dem Schraubdeckel verschließen und das angemischte Medium durch Hochfahren des Bodens durch die Schraubdeckelöffnung an den gewünschten Ort applizieren. Eine andere Möglichkeit stellt die direkte Entnahme aus der geöffneten Kruke durch Hochfahren des Bodens oder mit Hilfe eines Spatels dar.

B Allgemeiner Teil

B.1 Literaturübersicht

Das folgende Kapitel stellt die im speziellen Teil verwendeten Materialien, deren Chemie und Eigenschaften vor.

Um praxisnah zu arbeiten, wurden Materialien für die Untersuchungen ausgewählt, die im klinischen Alltag häufig verwendet werden. Zur bessern Orientierung vorab einige Daten über die heute gebräuchlichen Abformmaterialien und Techniken. Für die Ermittlung der notwendigen Daten wurde auf eine 1991 unter 1054 deutschen Zahnärzten erhobene Umfrage zurückgegriffen [88]. In der 11 Jahre alten Erhebung wurden u.a. die angewandten Abformtechniken für Inlays und Kronen, für Pfeilerzähne bei Kombinationsarbeiten sowie für Kronen und Brücken und die dabei verwendeten Abformmaterialien erfragt. Die Untersuchung bestätigt die Abhängigkeit des Abformmaterials von der verwendeten Technik. Mit 65,9 % ist die Korrekturtechnik die gebräuchlichste Technik zur Abformung von Kronen und Brücken in der zahnärztlichen Praxis unter den befragten Zahnärzten. Mit 10,7 % folgt die Einphasenabformung, 10,3 % entfielen auf die Doppelmischtechnik, 8,6 % auf Hydrokolloide, Sandwich und Ringabformung wurden mit 2,3 % bzw. 1,8 % angegeben und 0,4 % verwiesen auf andere Techniken.

Über 95 % der Korrekturabformungen wurden 1991 mit einem Silikon durchgeführt, wobei kondensationsvernetzende Materialien mit über 76 % den Hauptanteil stellen. Nur bei etwa jeder fünften Abformung wurde ein additionsvernetzendes Material verwendet. Auch die für einzeitige Verfahren vorgesehenen Polyether (2,2 %) und Polysulfide (0,3 %) wurden verwendet. Der Anteil der Polyether steigt bei Sandwich bzw. Doppelmischabformung von ca. 18 % auf über 70 % bei der Einphasentechnik.

Alginat ist ein weiteres, in der Zahnmedizin häufig verwendetes, irreversibel elastisches Abformmaterial. Es zeichnet sich durch eine einfache Verarbeitung und niedrige Kosten aus, dient aber aufgrund seiner eingeschränkten Dimensions- und Detailtreue vor allem zur Herstellung von Situationsmodellen bzw. Schaumodellen. Vereinzelt wird Alginat auch für Einphasen- und Ringabformungen verwendet, obwohl Alginat hierfür nicht als geeignet propagiert wird. Bei dem im Laborbereich wohl am häufigsten verwendeten Material handelt es sich um Gips. Er dient u.a. zur Herstellung der verschiedenen Formen von Arbeits- und Schaumodellen, er findet als

Kontermaterial Anwendung, er wird für Fixierungen von Modellen und Hilfsteilen verwendet, dient als Verschlüsselungsmedium und ist als Bindemittel in den meisten Einbettmassen enthalten. Für die Abformung von präparierter Zahnsubstanz spielt Gips heute nur noch eine untergeordnete Rolle. Auf den Stellenwert dimensionsgetreuer Modelle in der Zahnheilmedizin wurde schon in der Einleitung hingewiesen. Neben der Wahl des Materials und der exakten Dosierung wirkt sich vor allem die Verarbeitung auf die spätere Güte und das Dimensionsverhalten aus. 1991 verwendeten etwa 80 % der befragten Praxis- oder Fremdlabore für die Herstellung von Zahnkränzen Superhart- oder Hartgips. Bei der Herstellung des Modellsockels stieg dieser Anteil sogar auf über 90 %.

B.1.1 Gruppeneinteilung der Abformmaterialien

Die Abformmaterialien werden in vier Hauptgruppen unterteilt, die sich wiederum in Untergruppen aufteilen. Die Zugehörigkeit wird durch den Zustand bestimmt, den die Materialien nach der Abformung einnehmen und ob dieser irreversibel oder reversibel ist [2, 25, 77, 88].

irreversibel starr

- Abformgips
- Zinkoxid-Eugenol-Pasten

reversibel starr

- thermoplastische Kompositionsmassen
- Guttapercha

irreversibel elastisch

- Alginat
- Elastomere
  -Silikone
  -Polyether
  -Polysulfide
  -lichthärtendes Abformmaterial

reversibel elastisch

- Hydrokolloid

Im Anschluss werden die im speziellen Teil verwandten Materialien erläutert. Es handelt sich um kondensations- und additionsvernetzende Silikone, Polyether, Alginat und Gips.

B.1.2 Gips

Die Bezeichnung Gips, lateinisch gypsum, soll sich von gypti = die Ägypter herleiten. Forschungsergebnisse und Analysen des Mörtels, der für den Bau der ägyptischen Pyramiden verwendet wurde, haben einen Gehalt von über 80 % Gips ergeben [25]. Trotz der Jahrtausende alten Verwendung als Baumaterial wurde der Gips erst im 18. Jahrhundert in die Zahnheilkunde eingeführt [25, 29, 88].

Chemie und Zusammensetzung

Natürlicher Gips kommt als Gipsstein ($CaSO_4 + 2\ H_20$) und Anhydritstein ($CaSO_4$), die wasserfreie Form des Kalziumsulfats, als Mineralien in der Erdkruste vor [25].
Beim Erhitzen auf 110 - 120 °C verliert der Gips 75 % seines Kristallwassers. Es bildet sich das Halbhydrat:

$$2\ CaSO_4 \times 2\ H_2O \rightarrow (CaSO_4)_2 \times H_20 + 3\ H_2O$$

Bei weiterer Erhitzung bildet sich das Anhydrit ($CaSO_4$), das bis zu Brenntemperaturen von etwa 400 °C wasserlöslich, dann aber unlöslich (totgebrannter Gips) ist [46]. Je nach Art und Weise, wie das Gipspulver gebrannt wird, entsteht feinkristallines β–Halbhydrat oder grobkristallines α–Halbhydrat; α–Halbhydrat ist der Grundstoff für zahnärztliche Hartgipse und Stone-Sorten. Bei der Zugabe von Wasser entsteht ein Dihydrationsgel, welches auskristallisiert. Hierbei wird die vorher zur Abspaltung des Wassers erforderliche Energie wieder freigesetzt, d.h. der Abbindevorgang ist exotherm [18, 36]. Die Abbindezeit ist neben der jeweiligen typischen Eigenschaft und der zugeführten Wassermenge auch von der Rührdauer und Intensität abhängig [19]. Die Menge des zuzuführenden Wassers ist abhängig von dem kristallinen Gefüge und liegt zwischen ca. 21 ml H_2O bei 100 g Typ 4 Gipspulver und ca. 60 ml H_2O bei 100 g Typ I Gipspulver. Die spätere Härte, Expansion und Porenzahl des Werkstoffs ist abhängig von der zugeführten Menge H_20.

Die DIN EN 26873 teilt die zahnärztlich verwendeten Gipse in 4 Typen ein [8, 57]:

I Abdruckgips
II Alabastergips
III Hartgips
IV Hartgips, extra hart, stone

Bestandteile	Gew.%
Modellgips ($CaSO_4$ * ½ H_2O)	90
Weißer Bolus	4,5
Roter Bolus	1,5
Kieselgur	2,5
Kaliumsulfat (K_2SO_4)	1,5

Tabelle 1: Typische Zusammensetzung von Abformgips [61]

Eigenschaften

Nachdem Gips und Wasser zusammengebracht werden, unterliegt das Gemisch verschiedenen Volumeneffekten. Zu Beginn der Versteifung ist eine Kontraktion des Breis zu verzeichnen. *Mahler* gibt für diese initiale Kontraktion Werte je nach Typenklasse zwischen 3 – 5 % an [40]. Die Kontraktion setzt sich über den Abbindebeginn hinaus fort, bis sich die Masse infolge ihrer fortschreitenden Versteifung nicht mehr zusammenziehen kann. Anschließend ist eine Volumenzunahme bis zum Abschluss der Hydration festzustellen, die durch das Kristallwachstum erklärt wird. Bei normaler Lagerung eines Modells erfordert die völlige Trocknung 5 bis 7 Tage. Gleichzeitig mit der Trocknung erfolgt eine Kontraktion, die etwa ein Drittel der Abbindeexpansion ausmacht [46]. Die jeweilige lineare Expansion liegt zwischen 0,3 und 0,15 % und hängt vom Gips-Typ und Mischungsverhältnis ab. Neben den Volumeneffekten ist auch die Endhärte vom Typ und der Lagerungszeit abhängig. Naturgipse erreichen erst nach sieben Tagen ihre Endhärte, bei Chemiegipsen wird diese bereits nach vier Tagen erreicht. Die Druckfestigkeit nach 24 h muss bei Typ 2- Gipsen über 14 N/mm^2 und bei Typ 4-Gipsen über 35 N/mm^2 liegen [8].

B.1.3 Alginat

Die Verwendung von Alginaten in der Zahnheilkunde wurde durch die Beobachtungen von *Stanford* 1883 in England ermöglicht. *Stanford* erkannte, dass lösliche Alginate durch Reaktionen mit bestimmten Sulfaten oder Karbonaten bei gleichzeitiger Entstehung eines elastischen Gels, durch die Quellung der makromolekularen Verbindung, in unlösliche Alginate überführt werden können. Es dauerte jedoch noch bis 1940, als das Alginat durch *Wilding* für die Zahnmedizin nutzbar wurde [2, 77].

Chemie und Zusammensetzung

Der wesentliche Bestandteil der Alginatabformwerkstoffe ist das Natrium- oder Kalium- sowie das Ammoniumalginat. Die wasserunlösliche Alginsäure (lat. alga = Seetang) wird aus Rot- und Blaualgen gewonnen. Sie ist ein Fadenmolekül mit einem ähnlichen Aufbau wie Zellulose (siehe Abb. 5). Es handelt sich um D-Manuronsäure und L- Guluronsäure, die 1,4-glykosidisch miteinander verknüpft sind [36, 62]. Das Natrium-, Kalium- oder Ammoniumsalz der Alginsäure ist jedoch löslich und bildet beim Mischen mit Wasser ein Hydrokolloid. Dieser Vorgang läuft sehr rasch ab. Um eine gewisse Arbeitszeit zu garantieren, wird eine Verzögerersubstanz (z.B. Na_3PO_4) zugesetzt [2, 76]. Das Natriumphosphat bildet mit dem Kalzium unlösliches Calziumphosphat bis es aufgebraucht ist. Erst dann reagiert das Kalzium mit dem Natriumalginat und fällt als wasserunlösliches Calziumalginat aus (siehe Abb. 6). Nach dem Abbindeverhalten unterscheidet man schnell, normal und langsam abbindendes Alginat. Der Hauptanteil des als Pulver vorliegenden Alginats besteht aus Füllstoffen (z.B. Calziumcarbonat, Talcum, Diatomeenerde), diese beeinflussen die Steifigkeit, Festigkeit und Elastizität der Alginatabformung massgeblich [61, 62].

Bestandteile	Gew.%
Natriumalginat	10-20
Ca-Sulfat (Reagenz)	8-10
Natriumphosphat (Verzögerer)	0,5-3,5
Füllstoffe	60-80
Farb- und Geschmackskorrigentien	1-5

Tabelle 2: Typische Zusammensetzung eines Alginates [88]

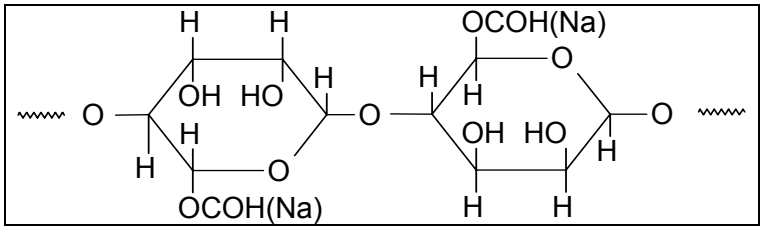


Abbildung 5: Alginsäure (bzw. Na-Alginat) (nach [46])

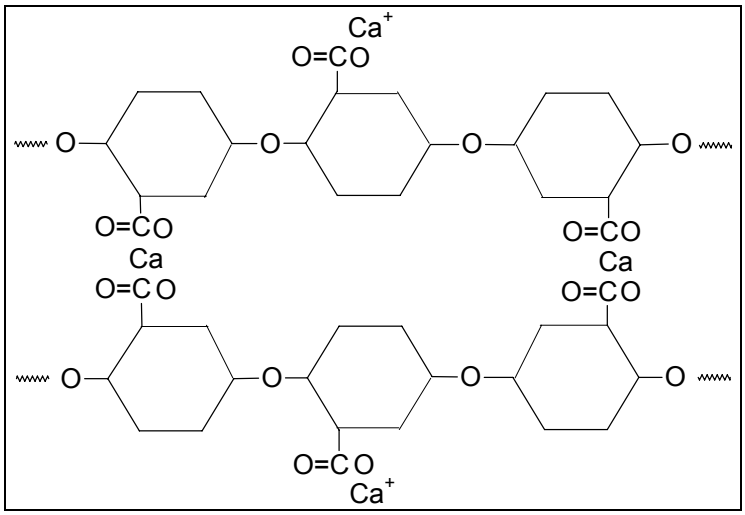


Abbildung 6: Vernetztes Ca-Alginat (nach [46])

Eigenschaften

Alginatabformmassen werden wegen ihrer leichten Verarbeitung häufig verwendet. Jedoch ist ihr Einsatzgebiet aufgrund ihrer mäßigen mechanischen Eigenschaften eingeschränkt. Bei ca. 50 % Stauchung und bei relativ geringer Zugbelastung reißt das Material. Die bleibende Deformation ist hoch und hängt von der Stärke und

Dauer der Belastung sowie von dem Zeitpunkt der Belastung, nach Beginn des Anmischens, ab. Die bleibende Verformung nach einer 20 % Stauchung für 5 sec liegt bei Klasse A Alginaten bei bis zu 3% und bei Klasse C Alginaten bei bis zu 7% [63]. Neben dem mäßigen Rückstellvermögen weisen Alginate auch eine eingeschränkte Detailwiedergabe auf [2, 8, 16, 36, 76]. Der größte Nachteil der Alginatabformmassen ist ihre Volumeninstabilität. Durch verdunstendes Wasser setzt direkt nach der Abformung eine erhebliche Schrumpfung ein, diese läßt sich auch durch die Lagerung in Hygrophor nicht einschränken [77]. Die Verarbeitungszeit variiert zwischen 1 min bei den schnellabbindenden Produkten und 4 min bei den langsam abbindenden Produkten [8]. Die Eigenschaften des Alginatabformmaterials bei der Abformung sowie des fertigen Abdrucks hängen wesentlich von dem Verhältnis Pulver-Wasser ab [69]. Alginate sind auch in verschlossenen Packungen nur begrenzt lagerbar. Die Hersteller geben Lagerfähigkeiten von 1 - 3 Jahren, je nach Produkt, bei kühler und trockener Lagerung an.

B.1.4 Silikone

Elastomere Abformmaterialien auf Silikonbasis fanden erst in der Mitte des 20. Jahrhunderts in der Zahnheilkunde Verwendung. Seit 1976 stehen additionsvernetzende Silikonabformmassen zur Verfügung [2, 77, 88].
Die Abformmaterialien auf Silikonbasis sind irreversibel-elastisch, ihre charakteristische Eigenschaft ist die Gummielastizität. Dieses ermöglicht das Abformen von Unterschnitten und gewährleistet eine nahezu vollständige Rückstellung der beim Entfernen der Abformung auftretenden Deformationen [46, 54]. In der Bundesrepublik werden heute über 80 % der Abformungen von präparierter Zahnhartsubstanz mit Silikonen vorgenommen [88].
Silikone sind makromolekulare Substanzen, deren Molekülketten aus Si-O-Gruppen bestehen (siehe Abb. 8). Die beiden restlichen Valenzen des Si-Atoms sind durch Alkylreste (meist- CH_3) abgesättigt [56]. Aufgrund ihrer Konsistenz werden die Silikone nach DIN EN 24823 in die Gruppen knetbar, mittelfließend und dünnfließend eingeteilt [8].

Kondensationsvernetzende Silikone

Chemie und Zusammensetzung

Die Grundkomponente der K-Silikone besteht im Wesentlichen aus dünnflüssigem Polydimethylsiloxan mit endständigen Hydroxylgruppen (siehe Abb. 7). Der Basiskomponente sind Füllstoffe (Kieselgur, TiO2, ZnO) und Farbstoffe beigefügt. Form und Anzahl der Füllstoffe wirken sich auf die Konsistenz aus.
Der Härter enthält als Katalysator Zinnoktoat oder Dibutyl-Zinndilaurat und als Vernetzer ein mehrfunktionelles Alkoxysilan. Durch die mehrfunktionellen Härtermoleküle werden die Polymere unter Abspaltung eines kleineren Moleküls, meist Methanol oder Ethanol, miteinander vernetzt (siehe Abb. 9). Nach der Aushärtung führt die unvermeidliche Verdunstung des Alkohols zu einer Schrumpfung des Materials. Das Ausmaß der Schrumpfung ist vom Füllstoffgehalt abhängig. Hochgefüllte Silikone schrumpfen weniger als niedriggefüllte [2, 46, 77].

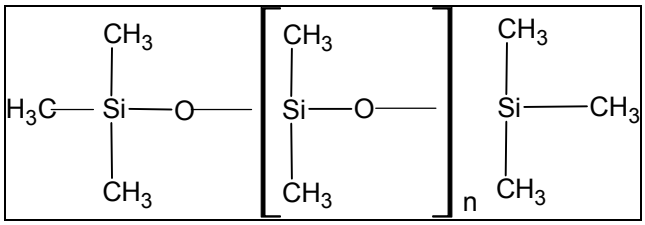


Abbildung 7: Polydimethylsiloxan Basiskomponente der K-Silikone (nach [46])

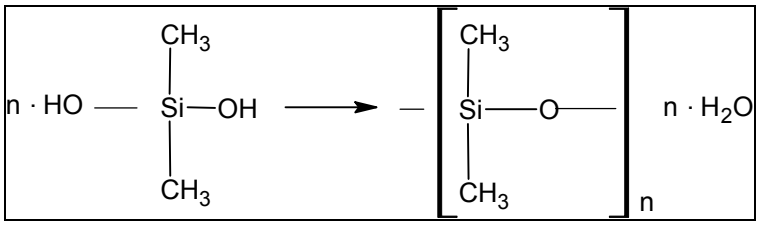


Abbildung 8: Die Ketten entstehen durch Polykondensation von Silanolen unter Abspaltung von Wasser (nach [46])

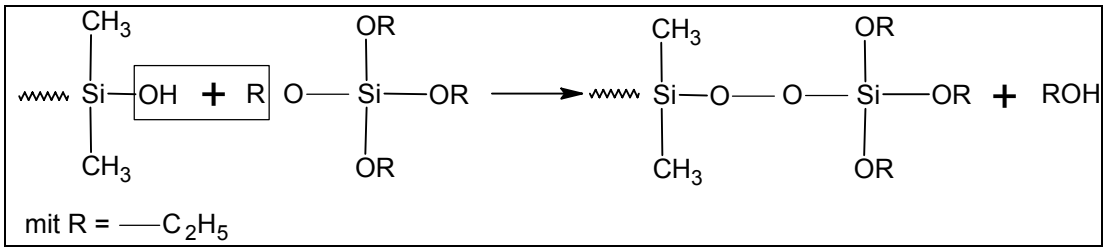


Abbildung 9: Vernetzungsreaktion der Polydimethylsilanole unter Abspaltung von Kondensat (Alkohol) (nach [46])

Additionsvernetzende Silikone (Polyvinylsilikone)

Chemie und Zusammensetzung

Bemühungen, die Schrumpfung der K-Silikone zu beseitigen, führten zur Entwicklung der A-Silikone. Diese nutzen das Prinzip der Additionsvernetzung aus. Bei dieser Art von Reaktion werden keine Nebenprodukte freigesetzt, wodurch eine Schrumpfung durch Verdunstung ausgeschlossen wird (siehe Abb. 10).

Die Basiskomponente der A-Silikone besteht aus zwei Arten von Kettenmolekülen. Eine Komponente mit endständigen Vinylgruppen, die andere mit seitlichen H-Gruppen sowie Füll- und Farbstoffen. Durch das Hinzufügen eines geeigneten Katalysators (organische Platin-Verbindungen) bilden sich Äthylbrücken zwischen den einzelnen Silikonmolekülen aus [5, 9, 46, 81, 87, 88].

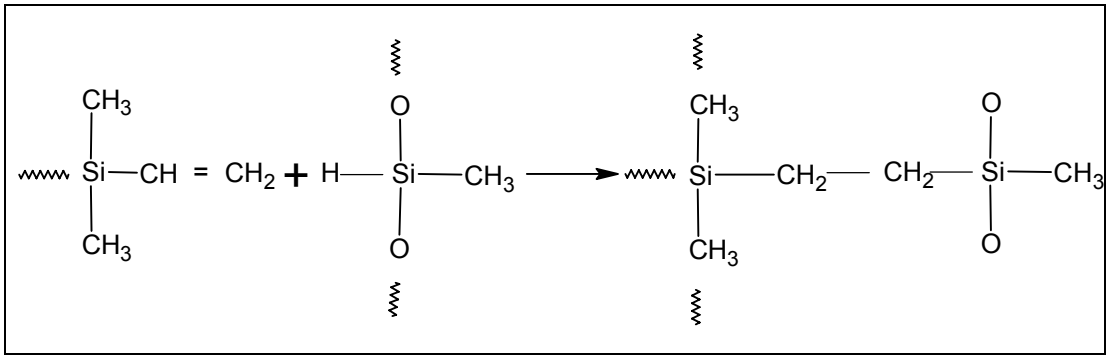


Abbildung 10: Vernetzung durch Additionsreaktion (nach [46])

Eigenschaften von A- und K-Silikonen

Die Verarbeitungszeit der A-Silikone ist relativ lang. An Ende der Verarbeitungszeit steigt die Viskosität schnell an und das Material wird in einen elastischen Zustand überführt. Nachteilig erweist sich die im Vergleich zu K-Silikonen hohe Empfindlichkeit gegen Verarbeitungsfehler. Die in vielen Handschuhen enthaltenen Latexbestandteile haben eine inhibierende Wirkung auf die Vernetzungsreaktion, so dass es teilweise zu einer nicht vollständigen Aushärtung des Materials kommt [58, 63, 39, 90]. Neben Latexhandschuhen haben auch Metallsalze und Schwefelverbindungen, die u. a. in Adstringentienflüssigkeiten enthalten sind, eine inhibierende Wirkung auf die Vernetzung der A-Silikone. Auch eine Kombination von K- und A-Silikonen sollte vermieden werden, da der Härter der K-Silikone inhibierend auf den Katalysator der A-Silikone wirkt.

K-Silikone unterliegen nach Abschluss des Abbindevorgangs einer Schrumpfung, die sich durch die eigentliche Poymerisationsschrumpfung und dem fortschreitenden Verlust von Kondensat zusammensetzt [45, 47, 50]. Die Kontraktion erreicht innerhalb der ersten 24 h Werte zwischen 0,2 % und 0,4 % lin. (vgl. Abb. 11). Im praktischen Gebrauch tritt zusätzlich durch das Abkühlen der Massen von ca. 36 °C

(Mundtemperatur) auf 23 °C (Zimmertemperatur) noch eine thermische Kontraktion der Massen auf. Diese kann bis zu ca. 0,3 % lin. betragen [12, 21, 47, 50, 52].
Die polymerisations- und lagerungsbedingte Schrumpfung der meisten A-Silikone liegt unter 0,5 % lin. [9, 33, 47, 52]. Treten zusätztlich thermische Kontraktionen auf, so können diese Werte erheblich überschritten werden [32, 42, 91]. Die Volumeneffekte der A-Silikone sind nach einer Stunde weitgehend abgeschlossen, wohingegen die Kontraktion der K-Silikone aufgrund der fortschreitenden Kondensationsschrumpfung weiter zunimmt (vgl. Abb. 14). Hieraus ergibt sich die Schlussfolgerung, K-Silikonabformungen zwischen 30 und 60 min nach der Entnahme aus dem Mund auszugießen. Wohingegen Abformungen aus A-Silikonen problemlos über Tage gelagert werden können, ohne dass sich ihre Dimensionstreue wesentlich ändert [4, 46, 79].

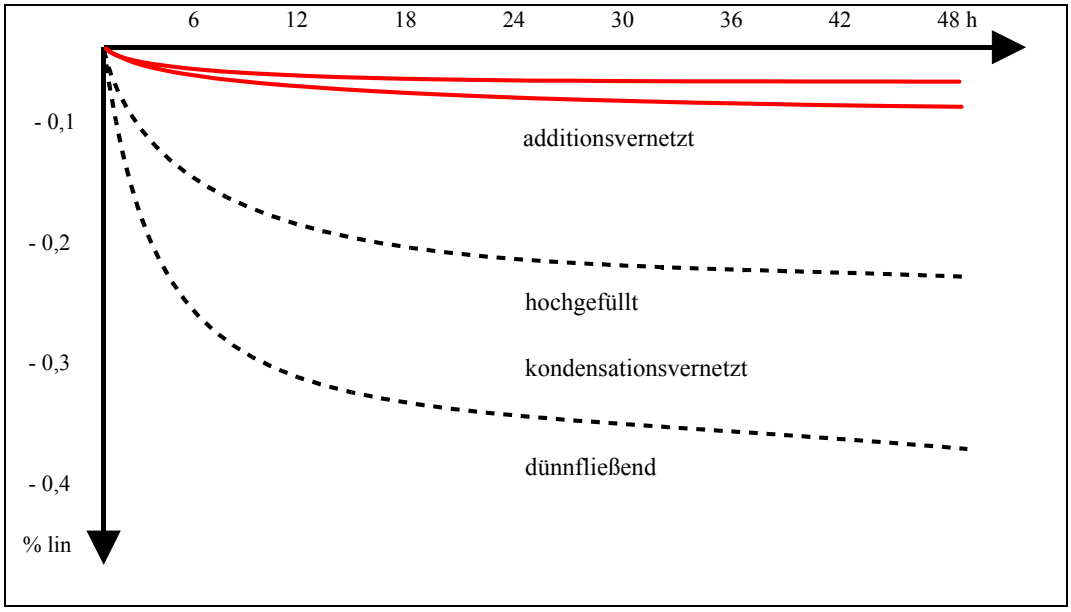


Abbildung 11: Schematisch dargestelltes Schrumpfungsverhalten von Silikon-Abformmassen [5, 45, 46, 50].

Silikone haben gute mechanische Eigenschaften. Das Material zeigt sich reißfest und reagiert auf eine 30 % Stauchung über 5 sec mit einer elastischen Rückstellung nach 2 min, gemessen zwischen 97 % und 99,9 % [8]. Unter Rückstellung wird die Fähigkeit einer abgebundenen gummiähnlichen Masse (auch bei Alginaten) verstanden, nach einer kurzzeitigen Verformung, wie sie beim Entnehmen des Abdrucks erfolgt, möglichst wieder völlig in die vorherige Lage zurückzukehren.

Dünnflüssige Abformmassen erreichen durchschnittlich bessere Rüchstellwerte als hochvisköse Massen. *Körber* gibt die ermittelten Rückstellwerte mit 98 % bis 99,6 % an [36]. Das hohe Rückstellverhalten der Silikone wird von keinem anderen Abformmaterial erreicht [13, 21, 59]. A-Silikone haben eine höhere Zerreißfestigkeit als vergleichbare K-Silikone [47, 88].

Eine nachteilige Eigenschaft der Silikone ist ihr hydrophobes Verhalten, dass sich durch den langkettigen apolaren Kohlenwasserstoffaufbau der Moleküle erklärt; dieses trifft besonders für A-Silikone zu.

B.1.5 Polyether

Seit 1964 stehen dem Zahnarzt Polyether als Abformwerkstoffe zur Verfügung. Polyether weisen sich im Gegensatz zu Silikonen durch hydrophile Eigenschaften aus. Das hydrophile Verhalten der Polyether ermöglicht es, mit ihnen gerade im feuchten Sulkusbereich präzise Abformungen vorzunehmen. Der bevorzugte Anwendungsbereich für Polyether liegt in der Einphasen- und Doppelmisch-Sandwichabformung.

Chemie und Zusammensetzung

Polyether werden als Paste-Paste-Systeme mittlerer Konsistens angeboten. Das Ausgangsprodukt der irreversibel-elastischen Abformmassen sind Copolymerisate aus Äthylenoxid und Tetrahydrofuran

Basis	Katalysator
Aziridino-Polyether	Alkylsulfonium
Füllstoffe: Kieselgur, Kieselsäure	Füllstoffe: Kieselgur, Kieselsäure
Weichmacher	Weichmacher
Pigmente	Pigmente
Aromastoffe	Ester und Copolymere

Tabelle 3: Typische Zusammensetzung von Polyether (nach [77, 87])

Die Basispaste enthält längerkettige lineare Copolymere aus Ethylenoxy- und Butylenoxy-Einheiten (vgl. Abb. 12). Die endständigen OH-Gruppen werden mit ungesättigten Säuren verestert und reagieren anschließend mit Äthylenimin. An den Kettenenden entstehen so reaktionsfreudige Aziridin-Gruppen. In Gegenwart eines kationischen Starters kommt es zur Polyaddition und die Komponenten reagieren zum vernetzten Endprodukt ab (vgl. Abb. 12) [46, 50, 61, 87, 88].

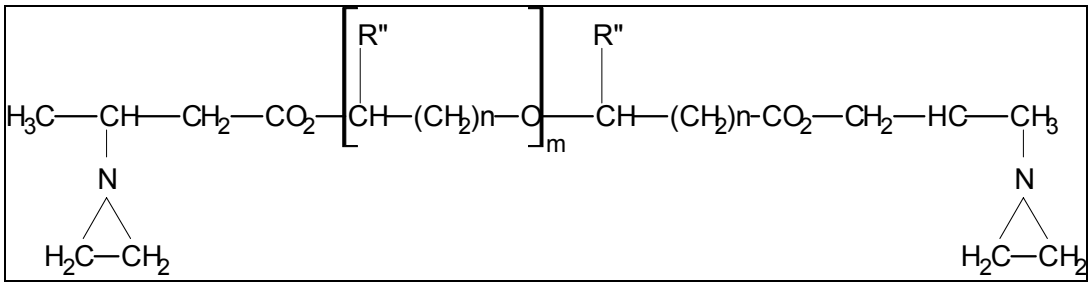


Abbildung 12: Polyethermonomer (nach [87])

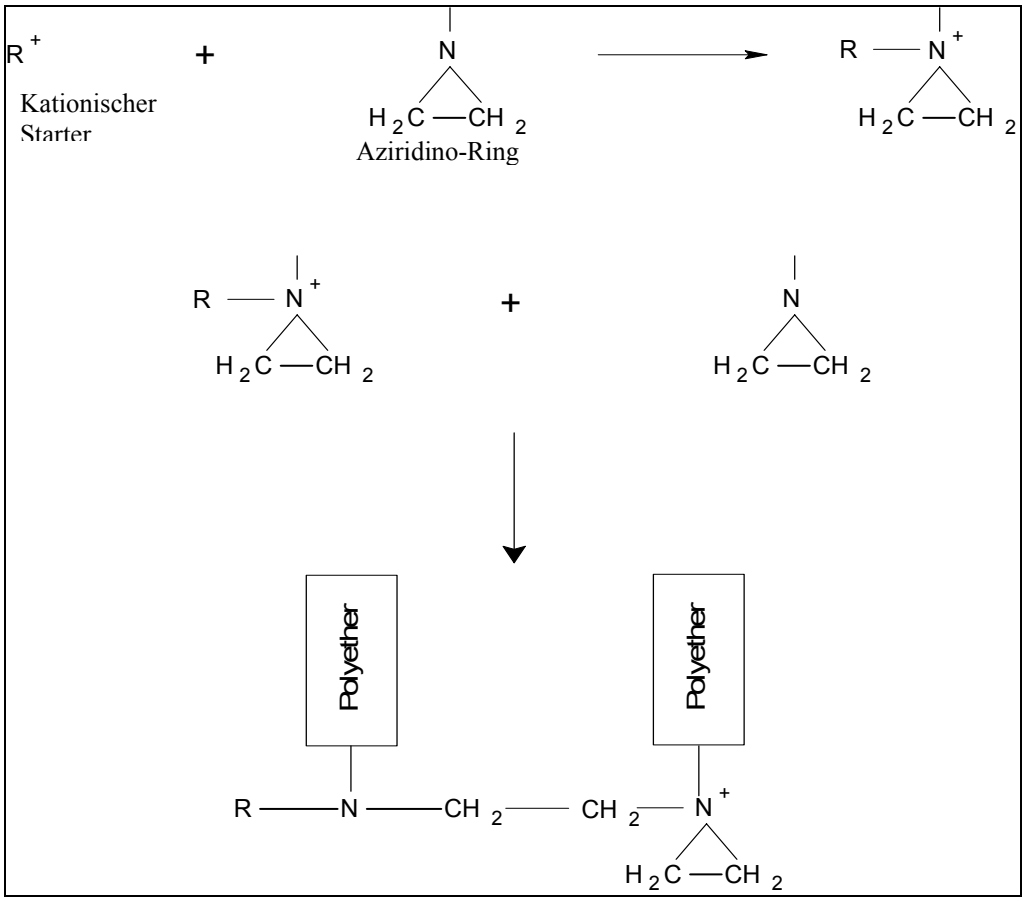


Abbildung 13: Polymerisationsvorgang beim Abbinden des Polyethers (nach [87])

Eigenschaften

Die natürliche, durch die Molekülstruktur (viele Sauerstoffmoleküle innerhalb der langen Ketten und der große Polaritätsunterschied zwischen Sauerstoff und Kohlenstoff) bedingte Hydrophilie, macht das Polyether besonders für Abformungen

im gingivalen Bereich interessant. Da die Vernetzung über eine Polyaddition erfolgt und während der Lagerung keine weiteren Nebenprodukte abgegeben werden, zeigt sich Polyether während der Lagerung dimensionsstabil. Gering auftretende Volumenänderungen sind auf thermische Einflüsse zurückzuführen. Die erreichten Werte sind mit den von additionsvernetzenden Silikonen vergleichbar [10, 20, 77, 85, 86]. Nach *Viohl* liegen die Polyether mit 0,2 % linearer Dimensionsveränderung nach 24 h nur knapp unter den Werten der A-Silikone mit < 0,1 % linearer Dimensionsänderung nach 24 h. *Schwindling* gibt die lineare Kontraktion mit bis 0,32 % bei 36 °C Abbindetemperatur und 23 °C Lagerungstemperatur an [71] (vgl. Abb. 14). Stark negativ wirkt sich Feuchtigkeit auf das Dimensionsverhalten der Polyether aus. Da Polyether in Wasserbädern quellen, sind sie wenig für galvanoplastische Modelle geeignet [71, 80]. Die Reaktionskinetik der Polyether ist vergleichbar mit der von K-Silikonen. Jedoch verweist *Wöstmann* auf die geringere Ausbildung von endogenen Spannungen und sieht dieses in der längeren Aushärtungszeit und den dadurch möglichen Fließvorgängen begründet [88]. Sind die Polyether abgebunden, so weisen sie im Vergleich zu Polysulfiden und Silikonen eine höhere Steifigkeit auf. Aus diesem Grund und dem durch die Hydrophilie guten Anfließverhalten der Massen, müssen bei der Entnahme der Abformung größere Kräfte als bei Silikonen aufgewendet werden. Es sollten daher nicht zu viele und zu starke untersichgehende Stellen vorhanden sein [77]. Einige Autoren beschreiben allergische Reaktionen auf Polyetherabformmassen. Polyether erreichen nicht die Biokompatibilität von Silikonen [7, 26, 37, 39].

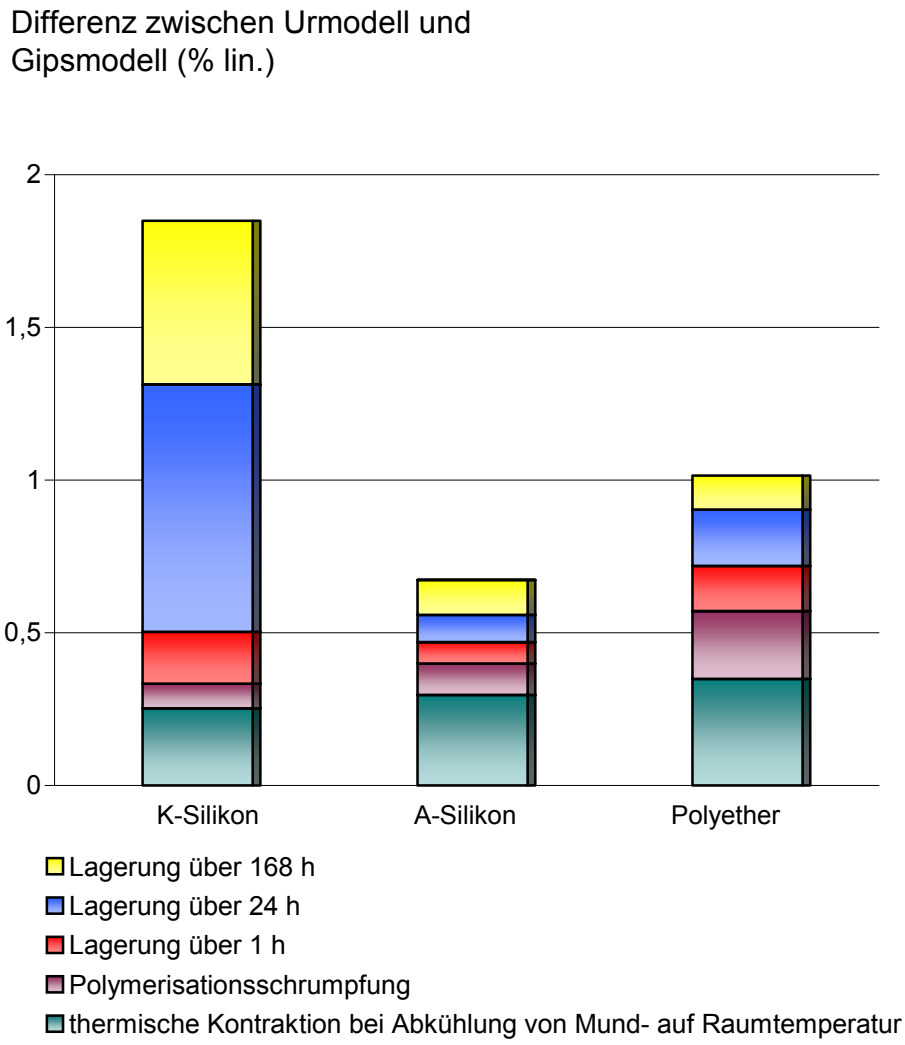


Abbildung 14: Schematische Darstellung einzelner Anteile an der Gesamtkontraktion verschiedener elastomerer Abformwerkstoffe [4].

B.2 Dosieren

Das richtige Dosieren von elastomeren Abformkomponenten ist entscheidend für die spätere Verarbeitungs- und Abbindezeit sowie für die Eigenschaften der Materialien. Zahlreiche Autoren befassten sich mit dem Problem der exakten Dosierung der Komponenten und den Auswirkungen einer Über- bzw. Unterdosierung des Härters auf die Verarbeitungs- und Abbindezeiten sowie die physikalischen Eigenschaften der abgebundenen Abformmassen [15, 17, 20, 21, 41, 43, 50, 60, 62, 66, 67, 90].

Die Hersteller geben zu den verwendeten Materialien die jeweils optimalen Mischungsverhältnisse an. Die Darreichungsformen der Elastomere in Tuben, Behältern und Flaschen erfordern häufig visuell-volumetrische Dosierungen. Eine gravimetrische Dosierung ist mit einem zeitlichen und maschinellen Mehraufwand verbunden und scheint für die alltägliche Praxis zu umständlich [50].

Die Dosierung bei Paste-Paste-Systemen erfolgt über gleiche Stranglängen, die entsprechend einer vorgegebenen Skalierung auf einem Anmischblock ausgedrückt werden. Die jeweilige Mengendosierung der Grund- und Härterpasten wird durch unterschiedliche oder gleiche Tubenöffnungen bestimmt. Es stellt sich das Problem, die Stränge mit konstantem Volumen auf dem Mischblock aufzubringen, so dass diese weder gestreckt noch gestaucht sind [22, 61]. Bei der Dosierung von großen Mengen von A- und K-Silikonen aus Tuben auf einem Anmischblock zeigen sich Abweichungen von +/- 22 % vom Mittelwert [68, 70]. Stränge dünnfliessender Abformmaterialien laufen leicht auseinander und erschweren so die Kontrolle der Strangdicke. Dieser Arbeitschritt ist stark von individuellen Fähigkeiten abhängig. *Schwickerath* verweist darauf, niedrig visköse Silikone zur besseren Dosierung in Einmalspritzen zu füllen [68].

Liegt der Härter in flüssiger Form vor, erfolgt die Dosierung über aufzufüllende Käppchen oder Tropfen, die der Basispaste in vorgeschriebener Zahl zugeführt werden. Katalysatoren auf Alkoxysilanbasis neigen an der Luft dazu, in Kieselsäure zu zerfallen. Deshalb sollte die Härterflüssigkeit erst kurz vor Mischbeginn auf das Basismaterial getropft werden. Die Katalysatorflaschen müssen nach dem Gebrauch sofort wieder verschlossen werden, um ein Auskristallisieren der Flüssigkeit und auch ein Verengen der Dosieröffnung zu vermeiden [22, 61, 77]. *Schwickerath* ermittelt je nach Art der Tropfflasche eine Dosierabweichung von +/- 10 % [68].

Bestehen Basis und Härter aus knetbaren Massen, erfolgt die Dosierung häufig mittels halbrunder schalenartiger Löffel. Durch das Abstreifen der überschüssigen Masse am Löffelrand mittels Daumen, Handballen oder Spatel können ungleiche Dosierungen entstehen [34].

Von den Herstellerangaben abweichende Mischungsverhältnisse wirken sich auf die Verarbeitungs- und Abbindezeiten sowie die werkstoffkundlichen Eigenschaften der Abformmaterialien aus.

Eine Überdosierung des Härters führt zu einem beschleunigten Vernetzen der Materialien [23, 43]. Der Viskositätsanstieg führt zu einer verkürzten Verarbeitungs- und Abbindezeit [15, 20, 23, 51].

Wird der Basispaste zu wenig Katalysator zugefügt, führt dies zu einer eingeschränkten Vernetzung und wirkt sich besonders negativ auf Endhärte und Elastizität aus [54]. Eine Unterdosierung des Härters von mehr als 20 % führt nach Welker bei der Abdrucknahme zu einer bleibenden Deformation [78]. *Franz, G.* und *Rehberg, H. J.* verweisen bei einer Reduktion des Härters auf erhöhte Druckverformungswerte zum Abbindezeitpunkt nach Herstellerangaben [23, 61]. Die Druckverformungswerte bei normal dosiertem Härter werden hier zu einem späteren Zeitpunkt oder gar nicht erreicht. Auch *Hambrok* beschreibt in einer Untersuchung zur Reduktion der Härtermenge, dass eine Reduktion des Katalysators bei gleicher Mischzeit zu einer Verlängerung der Abbindezeit führt. Der klinisch relevante Aushärtungsgrad wird erst zu einem späteren Zeitpunkt erreicht. Bei einer Härterüberdosierung verweist *Hambrok* auf mögliche toxische und allergische Reaktionen [27]. *Finger* und *Ohsawa* stellen fest, dass unvermeidliche Abweichungen der Härterdosierung durch manuelles Dosieren nicht generell zu einer Verminderung der Abbindereaktion und mechanischen Eigenschaften führen. Sie verweisen in dem Zusammenhang auf unterschiedliche Reaktionen der zugesetzten Inhibitoren bei A-Silikonen, je nachdem, ob diese nur der Basiskomponente oder Basis- und Katalysator zugesetzt sind [14]. *Marxkors, Meiners* und *Franz* propagieren, die Härterdosierungen sollten nicht großzügig, sondern präzise erfolgen und nur in den vom Hersteller angegebenen Grenzen variiert werden. Eine bewusste Unterdosierung zur Reaktionsverzögerung ist nicht zu empfehlen wegen der daraus resultierenden Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften der abgebundenen Massen [25, 44, 51, 54].

Neben der Dosierung von Elastomeren bereitet vor allen das manuelle Dosieren von Alginaten Probleme. Da Alginat als pulverförmiges Gemenge vorliegt und die verschiedenen Pulveranteile unterschiedlich schwer sind, ergibt sich die Problematik der Entmischung [69]. Als Ursache für Fehldosierungen wird aber in erster Linie die Kompressibilität des Pulvers angesehen, hiermit korreliert auch der höhere Füllgehalt beim tieferen Eintauchen des Messlöffels in das Alginatpulver [88]. Neben der Kompressibilität führt eine Entmischung der Bestandteile aufgrund der unterschiedlichen Gewichtsanteile zu Fehldosierungen. Die vom Hersteller mitgelieferten Dosierungshilfen ermöglichen das Proportionieren von Alginatpulver und Wasser. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Pulvermenge bis zu ± 15 % schwanken kann, je nachdem ob das Pulver locker eingefüllt oder ins Abmessgefäß gepresst wird [77]. Nach *Franz, G*. ist eine Überschreitung bis zu 45 % möglich [38]. Um dem entgegenzuwirken, fordern einige Autoren, die Vorratsbehälter vor der Verwendung aufzuschütteln [46, 62, 69, 76].

B.3 Mischen

Bei elastomeren Abformmassen ist die gleichmäßig homogene Durchmischung von Basis- und Katalysatormasse eine Grundvoraussetzung für präzise Abformungen.
Um homogene Eigenschaften des Abformmaterials im gesamten Abdruck zu erreichen, ist eine völlige Durchmischung der Grundkomponenten unverzichtbar. Eine ungleichmäßige Verteilung der Härterkomponente bewirkt lokal unterschiedliche Vernetzungsgrade und damit insbesondere inhomogene mechanische Eigenschaften, die infolge der Deformationen beim Entfernen der Abformung zu groben Verzerrungen führen können [44, 50, 54, 55, 61].
Eine gleichmäßige Mischung ist um so einfacher und schneller zu erreichen, je dünnflüssiger die Massen sind und je näher ihre Viskositätswerte beieinander liegen. Die Mischzeit zum homogenen Vermengen der Komponenten wird vom Hersteller angegeben. Es ist jedoch zu bedenken, dass kleine Mengen schneller als große durchmischt sind [77].
Je nach Konsistenz der Abformmedien bieten sich verschiedene Mischtechniken an, um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen. Sollen knetbare Basispasten mit einem flüssigen Katalysator vermengt werden, so kann dieses für Probleme sorgen. Die Flüssigkeit läuft beim Dosieren und Mischen sehr leicht weg; es kommt zu einer Fehldosierung mit den bekannten Folgen. Bei Silikonen wird dieses Verhalten durch deren hydrophobe Eigenschaften verstärkt [50, 61, 77]. *Franz, Rehberg* und *Meiners* schlagen vor, mit Hilfe eines Spatels die ausgebreitete knetbare Masse zunächst mit einem Gitter oder Lochmuster zu versehen und in diese möglichst großflächig die Katalysatorflüssigkeit zu verteilen. Die ausgebreitete Masse soll zu Beginn mehrfach zusammengeklappt und auseinandergezogen werden, um der Basispaste die Möglichkeit zu geben, die Härterflüssigkeit aufzunehmen. Damit kein Härter verloren geht, soll das anfängliche Mischen vorsichtig erfolgen [15, 20, 21, 45, 54, 61, 67, 89].
Durch das intensive Kneten der Medien von Hand wird dem Gemenge Energie in Form von Wärme zugeführt, was zu einem schnelleren Vernetzen der Massen führt [17, 49, 50]. *Meiners* schlägt deshalb vor, statt der zweiten Hand einen Mischblock als Knetunterlage zu verwenden [49, 50]. *Marxkors* bedient sich einer vorgekühlten Kachel, auf der er das Ankneten mit einem harten Spatel beginnt. Abschließen kann

man den Anmischvorgang durch intensives Kneten in der Hand für etwa 10 Sekunden [44].

Wie anfangs schon erwähnt, ist das homogene Vermischen von Masse um so leichter, je ähnlicher deren Viskosität und je dünnflüssiger diese sind. Aus diesem Grund sind Paste-Paste-Systeme zu bevorzugen. Die niedrigviskösen Abformmassen werden manuell mit einem Spatel vermischt [17, 61, 77]. Um dies möglichst effektiv zu betreiben, schlägt *Viohl* vor, die pastigen Massen mit dem runden Spatelende zunächst grob zu durchrühren, um Basis und Katalysator gleichmäßig zu verteilen. Anschließend wird die Masse durch kräftiges Streichen mit der geraden Kante des Spatels homogen vermischt [77]. Auch *Stackhouse* erhält mit dieser Technik blasenarme aber nicht blasenfreie Ergebnisse [74].

Viele Autoren sehen es als vorteilhaft an, wenn die Komponenten unterschiedlich eingefärbt sind [2, 20, 43, 61, 77]. Durch die unterschiedliche Einfärbung der beiden Pasten wird erkennbar, wann eine optimale Vermischung erreicht ist, nämlich dann, wenn beide ursprünglichen Farben verschwunden sind und eine neue entstanden ist. Werden flüssige Härter verwendet, ist dieser Effekt nicht so stark bzw. gar nicht vorhanden.

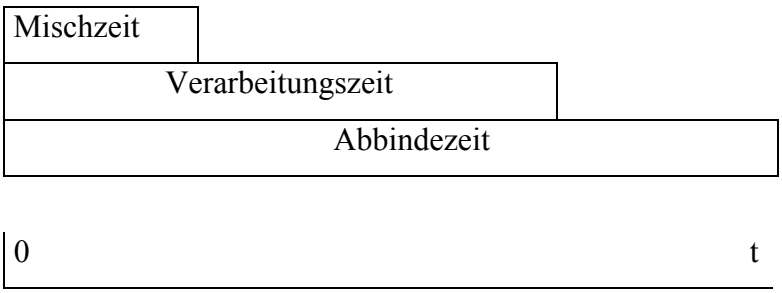
Während des Vermischens der Materialien besteht die Gefahr, Luftblasen in die Abformmassen einzurühren. *Stackhouse* untersuchte die Zusammenhänge zwischen Anmischtechnik und Lufteinschlüssen bei dem mittelfließenden A-Silicon *Reflect.* Er ließ das Material einmal manuell, mit einem flexiblen Spatel durch horizontales Streichen und einmal durch zuerst vertikales Rühren mit anschließendem horizontalen Streichen auf einem Anmischblock anmischen. Die Ergebnisse verglich *Hambrok* mit maschinell angerührtem *Reflect*. Es wurden hierfür der *Alginator* und der *Columbus-Mixer* verwendet. Keine der aufgeführten Methoden liefert blasenfreie Ergebnisse. Der *Columbus-Mixer* erzeugt die blasenärmsten Materialien (6,3 Blasen auf 10mm × 20mm Material), allerdings verweist der Autor auf eine stark reduzierte Verarbeitungszeit. Der *Alginator*, der für das Mischen von Alginaten konzipiert wurde, lieferte die blasenreichsten Ergebnisse (81,9 Blasen auf 10mm × 20mm Material). Die manuelle Streichmethode mit dem flexiblen Spatel lieferte die zweitbesten Ergebnisse (28,3 Blasen auf 10mm × 20mm Material), gefolgt von der Kombination aus Rühren und Streichen (54,3 Blasen auf 10mm × 20mm Material) [74].

Untersuchungen. die *Keck* im Zusammenhang mit dem *Statikmischer* durchführte, bestätigen diese Ergebnisse. Bei dem *Statikmischer* handelt es sich um eine Art Pistole, in welche Basis und Härter in normierten Patronen eingefügt werden. Über einen Stempel, der am Handgriff aktiviert werden kann, wird die Masse aus genormten Öffnungen ausgetrieben. Das eigentliche Mischen erfolgt in einer als Einmalmaterial konzipierten Mischdüse. Die Mischdüse beinhaltet eine helixartig angeordnete Spirale, die das Material „verdrillt". Je nach Material, das gemischt werden soll, sind die Aufsätze nach Anzahl der Windungen zu wählen. *Keck* verwendet ein dünnflüssiges A-Silikon, lässt dieses mit dem *Statikmischer* und manuell, einmal durch horizontales und einmal durch eine Kombination aus vertikalem und horizontalem Streichen, anmischen. Das mechanisch zubereitete Material zeigt keine Lufteinschlüsse. Bei den manuellen Methoden zeigt das horizontale Streichen einige kleine Lufteinschlüsse; die Kombination aus vertikalem und horizontalem Mischen vermehrt kleinere und größere Lufteinschlüsse [35]. Neben *Keck* beschäftigte sich auch *Craig* mit dem Statikmischersystem und kam zu dem Schluss, dass das System geeignet sei, Dosier- und Mischfehler zu vermeiden [6].

Will man mit Alginat- Abformmassen einigermaßen exakte Modelle erzielen, dann gehört eine außerordentliche Akkuratesse zur gesamten Verarbeitung. Das beginnt mit dem Umschütteln der Alginatdose vor der Entnahme des Pulvers, um Entmischungen vorzubeugen. Wie alle elastischen Abformmassen, so ist auch Alginat gegen Temperaturveränderungen sehr empfindlich. Eine Temperaturerhöhung um 5 °C kann die Abbindung um eine halbe bis dreiviertel Minute beschleunigen [2, 8, 23, 77]. Weder die Temperatur des Pulvers noch die des Wassers sollten vor Mischbeginn über 20 °C liegen. Um keine Luftblasen einzuschließen, sollte immer das Alginatpulver ins Wasser gegeben werden. Beim Handmischen soll der Alginatbrei mit einem steifen Mischspatel zuerst vorsichtig, dann aber kräftig durchgespatelt werden. Durch Breitstreichen an den Becherwänden werden Lufteinschlüsse ausgedrückt und die Masse homogenisiert. Sie sollte dann eine glatte, feuchtglänzende Oberfläche zeigen. Dieser Vorgang sollte nach ca. 30 bis max. 60 sec abgeschlossen sein [8, 23, 70, 76].

B.4 Misch-, Verarbeitungs- und Abbindezeit elastomerer Abformmassen in Abhängigkeit von Temperatur und Härterdosierung

Die Verarbeitungs- und Abbindezeiten sind für die klinisch richtige Anwendung eines Abformmaterials von entscheidender Bedeutung. Damit eine präzise Abformung nicht zu einem Zufallsprodukt wird, sind genaue Kenntnisse der Materialeigenschaften erforderlich. Hierzu gehören auch Kenntnisse über die sich verändernden Materialeigenschaften, vom Mischen bis zur Modellherstellung. Über den Stellenwert der Abformung in der Zahnheilkunde wurde schon im Vorfeld gesprochen.
Die Hersteller der Abformmaterialien machen zu den jeweiligen Phasen, in der sich die Abformmasse nach Mischbeginn gerade befindet, Zeitangaben. Um Irrtümer zu vermeiden, ist es notwendig, diese Zeiträume genau zu definieren.



1. Mischzeit (mixing time) ist die Zeit vom Mischbeginn bis zum Erreichen einer einheitlichen Farbe und einer homogenen Fließfähigkeit [15, 60, 65, 76].

2. Verarbeitungszeit (working time) ist der Zeitraum, der dem Zahnarzt vom Mischbeginn an zur Verfügung steht, um den Abdrucklöffel oder die Spritze mit dem Abformmaterial zu füllen und die Abformung vorzunehmen, bevor Abbindeerscheinungen des Abformmaterials manifest werden [8, 20, 50, 67].

3. Abbindezeit (setting time) wird ab Mischbeginn gemessen und umfasst die Zeit bis zum Erreichen elastischer Eigenschaften, die es gestatten, den Abdruck ohne größere bleibende Verformungen aus dem Mund zu entfernen [8, 20, 50].

Die Verarbeitungszeit (auch Manipulationszeit) ist also die maximale Zeit, die zwischen Mischbeginn und Abformung verstreichen darf. *Meiners* ist der Ansicht, dass das Einhalten der vom Hersteller angegebenen Zeiten allein keine Garantie für die maximalle Abformgenauigkeit ist [54]. Das Abbinden der Abformmaterialien beruht auf einer chemischen Reaktion, die mit dem Mischbeginn einsetzt. Von diesem Moment an verliert das Gemisch kontinuierlich an Fließfähigkeit und gewinnt an gummielastischen Eigenschaften. Die Verformung eines Materials mit elastischen Eigenschaften führt zu Rückstellkräften, die der Verformungsursache entgegenwirken. Daraus resultiert, dass bei einer Abformung mit mehr oder weniger abgebundenen Elastomeren, zu kleine, verzerrte Stumpflumina entstehen. Auch wenn die vom Hersteller angegebenen Zeiten eingehalten werden, lassen sich diese endogenen elastischen Effekte nicht vollständig vermeiden. Die Genauigkeit einer Abformung ist u. a. abhängig vom Zeitpunkt der Abdrucknahme, gerechnet vom Beginn des Anmischens [1, 66].

Es muss das Ziel sein, die Abformung zum Zeitpunkt eines möglichst niedrigen Vernetzungsgrades durchzuführen [41, 43, 44, 51]. Der Vernetzungsgrad ist eine Funktion der Zeit und der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit. Da auf ein gutes Durchmischen der Abformmassen und ein sorgfältiges Abformen nicht verzichtet werden kann, lässt sich der Vernetzungsgrad über die Zeit nur unwesentlich senken. Nach *Marxkors* und *Meiners* ist jedoch die Vernetzungsgeschwindigkeit über die Temperatur und, je nach Chemismus des Materials, über die Härterdosierung beeinflussbar [43, 44].

B.4.1 Senkung der Reaktionsgeschwindigkeit

Nach dem Massenwirkungsgesetz hängt die Reaktionsgeschwindigkeit (RG) vom Produkt der beteiligten Konzentrationen ab. Diese Gesetzmäßigkeit kommt in der folgenden vereinfachten Gleichung zum Ausdruck:

$$\mathbf{RG \approx k \times H \times B}$$

H und B stehen stellvertretend für die Konzentrationen der Ausgangssubstanzen (Härter und Basismaterial). k ist eine für die jeweilige Reaktion spezifische Konstante, die allerdings exponentiell von der Temperatur abhängig ist, k und damit RG nehmen mit steigender Temperatur zu. Mit steigender Temperatur steigt die kinetische Energie der Moleküle und damit die Wahrscheinlichkeit einer Reaktion bei einem Zusammenstoß. Die Temperaturabhängigkeit einer Reaktion wird von der reaktionsspezifischen Aktivierungsenergie bestimmt; ist diese klein, so startet die Reaktion schnell bei Energiezufuhr in Form von Wärme und umgekehrt (Die Aktivierungsenergie ist die zum Einleiten einer chemischen Reaktion benötigte Energie). Die Aktivierungsenergien der bei Raumtemperatur möglichen Reaktion liegen zwischen 40 kJ/Mol und 105 kJ/Mol. Bei Werten ausserhalb dieses Bereiches verlaufen die Reaktionen unmessbar schnell bzw. unmessbar langsam [50].
Die Aktivierungsenergie für K-Silikone liegt bei Werten zwischen 45 und 49 kJ/Mol. Nach *Meiners* steigt der Wert der Reaktionskonstanten bei einer Temperaturerhöhung von 10 °C gegenüber der Raumtemperatur um einen Faktor von ca. 1,8. Eine entsprechende Temperatursenkung bewirkt eine Abnahme des k-Wertes auf etwa die Hälfte [55]. *Van`t Hoff* und *Zeek* verweisen bei einer Temperaturzunahme um 10 °C auf eine Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit um den Faktor 2 - 4 [28, 36, 92]. Entsprechend ist über eine Temperatursenkung der Ausgangskomponenten eine Verminderung der Reaktionsgeschwindigkeit möglich.
Auch eine Erniedrigung der Ausgangssubstanzenkonzentration bewirkt eine Verminderung der Reaktionsgeschwindigkeit. Aufgrund der Verschlechterung der Materialeigenschaften im abgebundenen Zustand sollte dieses jedoch vermieden werden.

B.4.2 Einfluss verschiedener Temperaturgrößen auf die Reaktionsgeschwindigkeit

Zahlreiche Untersuchungen sind über den Zusammenhang von Temperatur und Vernetzungsgeschwindigkeit durchgeführt worden [17, 43, 48, 49, 53, 60].

Lagerungstemperatur

Elastomere sollten kühl gelagert werden, die Lagerungstemperatur der Materialien sollte niemals höher als 23 °C (Raumtemperatur) sein [20, 44, 45, 46, 51, 54]. *Rehberg* und *Schwickerath* zeigen in ihren Untersuchungen, dass eine Erhöhung der Raumtemperatur (Lagerungstemperatur) um 4 °C, von 23 °C (Normtemperatur) auf 27 °C, eine um eine Minute verkürzte Verarbeitungszeit verursachen kann [60]. *Meiners* verdeutlicht die Zusammenhänge zwischen Ausgangstemperatur und Reaktionsgeschwindigkeit. Eine Temperaturerhöhung der Raumtemperatur um 10 °C, von 23 °C auf 33 °C, führt zu einer Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit auf das 1,83-fache. Entsprechend sinkt die Reaktionsgeschwindigkeit auf das 0,55-fache bei einer Temperatursenkung um 10 °C [50]. Für Abformmaterialien auf Silikonbasis empfiehlt sich die Lagerung im Kühlschrank, da Silikone, im Gegensatz zu Polysulfiden und Polyethern, bei Abkühlung so gut wie keine Viskositätszunahme erfahren [13, 28]. *Meiners* empfiehlt eine Erniedrigung der Temperaturen bis 8 °C [45]. *Finger* und *Lockowandt* empfehlen sogar Lagerungstemperaturen von 4 °C [11]. *Stachniss* empfiehlt das Kühlen des Erstabdrucks in Eiswasser, damit die eingebrachte Korrekturmasse länger ihre Fließfähigkeit behält und so besser in alle Bereiche gelangt [73].

Reaktionswärme

Die Vernetzungsreaktionen elastomerer Abformmassen sind nach dem Mischen der Reaktionspartner exotherm ablaufende chemische Reaktionen. Die Wärmetönung ist bei diesen Materialien während des Abbindens jedoch relativ gering und reicht für eine spürbare Erwärmung des Reaktionsgemisches kaum aus. Bei thermisch isolierten Proben ist sie jedoch durchaus nachweisbar. Der Grund hierfür liegt in erster Linie in dem relativ hohen Molekulargewicht der reagierenden Polymere. *Meiners* untersuchte die Temperaturerhöhungen während des Abbindeprozesses für die Elastomere Polysulfid, Polyether und Silikone. Für die Untersuchungen wurden

jeweils Proben von ca. 20 cm^3 nach dem Anmischen thermisch isoliert und die Temperaturentwicklung über einen Zeitraum von 20 min beobachtet.
Der Temperaturanstieg bewegte sich zwischen 1,1 °C bei den Silikonen (*Silaplast*), 3,4 °C bei Polysulfidmassen (*Permlastic*) und 4,2 °C bei den Polyethern (*Impregum*). Bei der praktischen Verwendung der Abformmassen in einem Löffel dagegen ist die Wärmeisolation dagegen nicht sonderlich groß, so dass die freiwerdende Wärmemenge schneller an die Umgebung abgegeben werden kann. Bei Messungen an Proben, die in einem Metallöffel eingebracht wurden, betrug die Temperaturerhöhung maximal 1 °C [49, 53].

Innere Reibung

Abformmaterialien erfahren während des Anmischens eine zusätzliche Temperaturerhöhung, da beim Anrühren, Spateln oder Kneten infolge der inneren Reibung Verformungsenergie in Wärme umgesetzt wird. Versuche, die *Meiners* im Rahmen der Reaktionswärme elastomerer Abformmaterialien durchführte, ergaben, dass das Rühren eines Meßbechers *Xantopren-blau* für 60 sec zu einer Temperaturerhöhung von 0,5 °C führte. Beim Durchspateln von zwei Löffeln Optosil war die Temperatur der Masse nach 45 sec um 1,5 °C und nach weiteren 60 sec um 2,8 °C erhöht. Der Einfluss von Handwärme war ausgeschlossen [49]. Die Ergebnisse verdeutlichen den Einfluss der Materialviskosität und Mischdauer auf den Temperaturanstieg der Massen.

Handwärme

Großen Einfluss auf die Temperaturerhöhung beim manuellen Durchmischen knetbarer Massen hat die Handwärme. *Franz* ermittelte für knetbare Silikonmassen, die von Hand gemischt wurden, bei 23 °C Ausgangstemperatur eine Endtemperatur nach dem Mischen von 29 °C [17]. *Britz* erhält nach intensivem Durchkneten plastischer Materialien einen Temperaturzuwachs von 9 °C [3]. *Marxkors* und *Meiners* ermitteln beim Anmischen von plastischen Materialien von Hand eine Temperaturerhöhung von 6 °C und mehr [46, 49, 50]. Mischtechniken zur Reduzierung oder Vermeidung von Handwärme wurden im Kapitel „Mischen“ angesprochen.

Einfluss des Katalysators auf die Reaktionsgeschwindigkeit

Die Härterdosierung soll nur in den von den Herstellern angegebenen Grenzen variiert werden. Wegen der Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften der abgebundenen Abformmasse ist eine bewusste Unterdosierung zur Reaktionsverzögerung nicht empfehlenswert [43, 51, 54]. Eine Überdosierung führt zu einer Beschleunigung der Reaktionsgeschwindigkeit und damit zum frühzeitigen Auftreten von elastischen Eigenschaften. Werden Abformmassen mit einem sehr langsam reagierenden Spezialhärter angemischt, so ist bei gleicher Verarbeitungszeit ihr Reaktionsstadium und damit das Stadium der bereits erreichten elastischen Eigenschaften zum Zeitpunkt der Abformung deutlich geringer, als bei einem mit Normalhärter verarbeiteten Material. Die unter Verwendung eines Spezialhärters erhaltenen Abdrücke sind unter Versuchsbedingungen genauer, die elastischen Rückstelleffekte geringer [43, 51]. Im klinischen Alltag erweist sich die Verwendung von Langzeithärtern jedoch als wenig praktikabel.

B.5 Bestimmung von elastischen Eigenschaften

Die in der Zahnheilkunde für Abformzwecke eingesetzten Polysulfide, Silikone und Polyether haben im abgebundenen Zustand gute elastische Eigenschaften. Ihr Abbindeprozess beruht auf Vernetzungsreaktionen der in der Grundsubstanz vorhandenen Kettenmoleküle. Die zur Verformung eines Elastomers erforderlichen Kräfte hängen von der Zahl der einzelnen Querverbindungen, dem Vernetzungsgrad ab. Mit zunehmendem Vernetzungsgrad müssen auch die Kräfte, die zur Deformation notwendig sind, erhöht werden. Die Hersteller machen zu den jeweiligen Misch-, Verarbeitungs- und Abbindezeiten Zeitangaben. In der Verarbeitungszeit muss es möglich sein, die Basis und- Katalysatorkomponenten homogen zu durchmischen und die Abformung durchzuführen, bevor erkennbare elastische Eigenschaften feststellbar werden.
Die verwendete manuelle oder maschinelle Mischtechnik soll diesen Kriterien gerecht werden.
Die auffälligste und ja gerade bezweckte Veränderung der Abformmaterialien während der Abbindephase ist die Veränderung der Fließeigenschaften. Damit eng gekoppelt ist das Auftreten und Anwachsen gummielastischer Eigenschaften. Es liegt also nahe, das Abbindeverhalten der Elastomere anhand des Viskositätsanstiegs zu verfolgen. Elastische Eigenschaften lassen sich anhand verschiedener Methoden nachweisen. Der Übergang von der Verarbeitungs- zur Abbindezeit ist durch das Auftreten von ersten elastischen Eigenschaften definiert. Grundsätzlich werden in der Literatur zwei Wege beschrieben, die verschiedenen Abbindephasen elastomerer Abformmassen zu bestimmen:

1. Bestimmung elastischer Anteile der Abformmaterialien

2. Bestimmung des Viskositätsanstieges während des Vernetzungsprozesses

Zu 1:

Wird ein Material vor dem Ende der Abbindezeit gestaucht, kommt es aufgrund der noch nicht abgeschlossenen chemischen Reaktion zu größeren bleibenden Deformationen [15, 16]. Bei der Entfernung einer Abformung wird das Abformmaterial auf Druck, Zug und Scherung beansprucht. Die gummielastischen Eigenschaften der Elastomere ermöglichen nach der Entlastung eine Rückstellung der Materialien. Die bleibenden Deformationen werden als Druckverformungsrest bezeichnet. Je weniger das Material sich zurückstellt, desto höher ist der Druckverformungsrest. Er ist abhängig von [2, 16, 55, 61, 68]:

--Stauchungsdauer
--Stauchungsgrad
--Rückstellung
--Abbindezeit
--Mischungsverhältnis.

Der Druckverformungsrest lässt sich u.a. nach Prüfvorschriften DIN EN/ISO 4823 und ADA Spezifikation NO. 19 bestimmen.

DIN EN/ISO 4823

Mit Hilfe einer Form wird ein Prüfkörper mit den Maßen 12,5 mm × 18,5 mm hergestellt. Dieser wird 30 sec nach Mischende in ein 32 °C warmes Wasserbad gegeben. Am Ende der vom Hersteller angegebenen Abbindezeit wird die Form aus dem Wasserbad genommen und der Prüfkörper entformt, anschließend wird der Prüfkörper in ein zweites 23 °C warmes Wasserbad gegeben. 45 sec nach der Entnahme aus dem ersten Wasserbad wird mit Hilfe einer Messuhr die Höhe des Prüfkörpers bestimmt. Eine Minute nach der von den Herstellern angegebenen Abbindezeit wird der Prüfkörper für die Dauer von 5 sec um 30 % gestaucht. Drei Minuten nach der Abbindezeit wird die Höhe des Prüfkörpers erneut gemessen und der Druckverformungsrest bestimmt.

ADA Spezifikation NO. 19

Entscheidende Unterschiede zwischen der DIN EN/ISO 4823 und ADA Spezifikation bestehen in Stauchungsweg und Stauchungsdauer, sowie der Lagerung

der Prüfkörper. Die ADA Spezifikation verzichtet nach dem Entformen auf ein zweites Wasserbad. Der Stauchungsweg beträgt hier 12 % und die Stauchungsdauer 30 sec. Auch hier wird der Druchverformungsrest drei Minuten nach der Abbindezeit bestimmt [23, 85, 91].

Die einfachste Methode, den Abbindeprozeß einer Abformmasse zu verfolgen, ist die häufig wiederholte Prüfung ihrer Verformbarkeit. Das gelingt schon mit dem Spateltest: Man drückt einen Spatel mit seiner Kante in eine angemischte Probe und bezeichnet die Masse als abgebunden, wenn der Eindruck keine Spur mehr hinterlässt. Diese subjektive Methode ist selbst bei geeigneter Temperierung der Probe recht ungenau. Nach dem gleichen Prinzip, aber unter objektiveren Bedingungen, funktioniert die Penetrometermethode [50].
Zur Bestimmmung der Verarbeitungs- und Abbindezeit elastomerer Abformmassen wird in der ADA-Spezifikation ein Penetrationstest vorgeschrieben. Ein Stab wird auf eine Probe des Prüfmaterials gestellt und anschließend die Eindringtiefe gemessen. Die Beschaffenheit des Stabes variiert je nach zu prüfendem Material in Durchmesser, Länge und Gewicht. Nach ADA-Spezifikation Nr. 18 ist z. B. das Ende der Abbindezeit für Alginate erreicht, wenn sich ein Kunststoffstab von 6 mm Durchmesser und 100 mm Länge ohne verbleibende Verformung von dem Prüfmaterial abheben lässt. Die ADA-Spezifikation Nr. 19 für elastomere Abformmaterialien schreibt für die Prüfung der „working time“ einen Stahlstab von 2,4 mm Durchmesser mit einem flachen Ende und einem Gewicht von 10 g vor. Der Stab wird alle 20 sec auf die Oberfläche der Abformmasse gebracht. Die Arbeitszeit umfasst die Zeit vom Mischbeginn bis zu dem Zeitpunkt, bei dem ein Eindruck in der Oberfläche bleibt und kein Material mehr am Stab haftet. *Schwickerath* verwies auf die Abhängigkeit der Methode von der manuellen Geschicklichkeit des Prüfers und stellte fest, dass der Zeitpunkt, in dem sich das Ende des Stäbchens ohne Rückstände vom Abformmaterial abheben lässt, noch nicht das Ende der Abbindezeit angibt. Wird das Stäbchen etwas in die Abformmasse eingedrückt, so bleibt der Eindruck bestehen. Das bedeutet, dass unter Krafteinwirkung sich das Material zu diesem Zeitpunkt noch bleibend verformt. *Schwickerath* verbesserte diese Prüfungsmethode, indem er Zeitmarkierungen aufgetragen und das Stäbchen mit 456 g beschwert hat [15, 50]. Bei sehr dünnflüssigen Massen kann es geschehen, dass der Prüfstab des Penetrometers bei den ersten Versuchen jeweils bis auf den Boden des

Behälters sinkt, so dass zunächst konstante Werte registriert werden, bevor mit zunehmender Viskosität die Eindringtiefe abnimmt. Es wurde wiederholt versucht, diesen Übergang mit dem Ende der Verarbeitungszeit zu identifizieren. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die so ermittelten Zeiten bei der klinischen Erprobung der Materialien deutlich zu groß und somit absolut unbrauchbar waren.

Franz legt den Punkt der Verarbeitungs- und Abformzeit mit Hilfe eines Elastizitäts-Rückprall-Prüfers fest. Mit diesem Gerät lassen sich der Beginn und der Anstieg der Elastizität messen. Man lässt einen Hammer, der mit einem Schleppzeiger verbunden ist, auf die Materialprobe fallen und registriert die Rückprallhöhen. Das Ende der Verarbeitungs- oder Abformzeit wird durch das erste Auftreten elastischer Eigenschaften bestimmt, dem die erste ablesbare Rückprallhöhe entspricht. Das Ende der Abbindezeit ist erreicht, wenn die Rückprallhöhe in die Horizontale übergeht [15, 20].

Welker ermittelt das Fließvermögen (Quasiviskosität) und die späteren elastischen Eigenschaften in Anlehnung an *Schwickerath* mit Hilfe einer einfachen Versuchsanordnung:

Der Stempel einer Messuhr wird 10 sec lang 1 mm tief in das Abformmaterial eingedrückt und die elastische Rückstellung wird nach 15 sec Entlastung abgelesen. Der Versuch wird in Zeitabständen von 30 bis 45 sec wiederholt. Die Ergebnisse werden als elastische Rückstellung in Prozent über die Zeit grafisch dargestellt. Die Kurven geben durch ihren Startpunkt das Ende der Verarbeitungszeit an und kennzeichnen mit ihrer Annäherung an den Höchstwert für die elastische Rückstellung das Ende der Abbindezeit [2].

Zu 2:

Der Übergang vom Verarbeitungs- zum Abbindezeitraum ist durch das Auftreten erster elastischer Eigenschaften gekennzeichnet, die Viskosität der Materialien nimmt zu. *Wilson* entwickelte eine Apparatur (Rheometer), in der sich eine Lochplatte in dem angemischten Abformmaterial hin und her bewegen kann. Über einen Übertragungsmechanismus ist die Lochplatte mit einem Schreibwerk verbunden. Mit zunehmender Zeit erhöht sich die Viskosität der Massen und die Bewegungen der Lochplatte werden mehr und mehr eingeschränkt, was zu kleineren Ausschlägen am Schreibwerkzeug führt. Geht der Anfangsausschlag auf 95 % zurück, ist nach *Wilson* das Ende der Verarbeitungszeit erreicht [83, 84]. Die

Rheometermethode hat den Vorteil, dass sie das Abbindegeschehen kontinuierlich registriert und weitgehend von individuellen Einflüssen des Experimentators frei bleibt. Des Weiteren ist die Amplitude im abgebundenen Zustand ein Maß für die Festigkeit der Abformmasse. Bei dünnfliessenden Materialien ist allerdings in der Anfangsphase die Dämpfung der Plattenbewegung so gering, dass praktisch der maximale Ausschlag des leeren Gerätes registriert wird. Umgekehrt bremst die feste Konsistenz der knetbaren Massen die Bewegungen der Lochplatte so stark, dass nach kurzer Zeit eine parallele Spur der Ausschläge entsteht, ohne dass eine ausreichende Elastizität erreicht ist [50]. Auch *Viohl* zweifelt die Praxisnähe des Rheometers an und verweist auf die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Ausgangsviskosität der Materialien [76].

Heraeus Kulzer entwickelte zur Kontinuitätsüberprüfung der eigenen Produkte ein sog. *„Rotationsviskosimeter*". Hier wird die angemischte Abformmasse zwischen eine feste Bodenplatte und eine bewegliche Deckelplatte gegeben. Mit zunehmendem Vernetzungsgrad der Elastomere muss die Kraft ansteigen, welche die Deckelplatte in Rotation hält. Über einen Messfühler wird diese Kraft registriert und in einer Kurve dargestellt. Auch dieses Verfahren lässt nur das Prüfen von dünnflüssigen Abformmassen zu.

Aufgrund der Ergebnisse der im Vorfeld durchgeführten Versuche wurde eine Untersuchungsmethode gesucht, welche die Beurteilung des Abbindezustandes nach dem Mischvorgang sowohl bei dünnflüssigen als auch hochviskösen Massen zulässt. Die beschriebenen Methoden zeigen sich als aufwändig und für das Messen über eine Bandbreite von dünnflüssigen bis knetbaren Massen als ungeeignet.

Die auffälligste und zudem messtechnisch relativ einfach zu registrierende Folge der fortschreitenden Vernetzungsreaktion von Abformmassen ist der Anstieg der Viskosität. Die Funktion zwischen Viskosität und Vernetzungsgrad eines Abformmaterials ist zwar im Allgemeinen nicht bekannt und kann nur durch aufwändige chemische Untersuchungen ermittelt werden. Generell muss jedoch gelten, dass die Funktion monoton wachsend ist, dass also unter sonst gleichen Bedingungen zur größeren Viskosität ein höherer Vernetzungsgrad gehört [43].

Um die Reaktionscharakteristik einer Abbindereaktion zu beurteilen, ist es nach *Meiners* häufig einfacher, eine vom Reaktionsablauf abhängige Eigenschaft zu beurteilen, wie den jeweiligen Umsetzungsgrad selbst [50]. *Rehberg* [60] und *Franz* [20, 23] bezeichnen das Ermitteln von Grenzwerten über die Shore-Härte A als

schnelle und einfache Methode. Auch *Meiners* sieht das Ermitteln der Shore-Härte A als eine einfache Methode, um Aufschluss über die Festigkeit eines gummielastischen Materials zu gewinnen [50]. Das Messen der Shore-Härte A zeigt sich als eine praktikable Methode, um Aufschlüsse über den Viskositätszustand angemischter Abformmassen zu erlangen. Die ermittelten Daten lassen einen aufschlussreichen Vergleich zwischen den maschinellen *Speed-Unguator*-Serien und manuell durchgeführten Serien zu.

C Spezieller Teil

C.1 Versuchsmaterialien

Silaplast

Abformmasse auf kondensationsvernetzender Silikonbasis. Das Material hat eine hohe Konsistenz und ist knetbar. Der Katalysator für das Basismaterial steht als Flüssigkeit und Paste zur Verfügung. Mischzeit: 30 sec, Verarbeitungszeit: 1,25 min, Abbindezeit: 3,75 min für Kat. flüssig, 4,75 min für Kat. Paste
Hersteller: Detax GmbH & Co KG, 76256 Ettingen/Germany

Silasoft S

Abformmasse auf kondensationsvernetzender Silikonbasis. Das Material hat eine niedrige Konsistenz und ist leichtfließend. Der Aktivator liegt in flüssiger Form vor. Mischzeit: 30 sec, Verarbeitungszeit: 1,50 min, Abbindezeit: 3,75 min
Hersteller: Detax GmbH & Co KG, 76256 Ettingen/Germany

Silasoft N

Abformmasse auf kondensationsvernetzender Silikonbasis. Das Material hat eine niedrige Konsistenz und ist leichtfließend. Der Aktivator liegt in flüssiger Form vor. Mischzeit: 30 sec, Verarbeitungszeit: 1,25 min, Abbindezeit: 3,75 min
Hersteller. Detax GmbH & Co KG, 76256 Ettingen/Germany

Optosil comfort

Abformmasse auf kondensationsvernetzender Silikonbasis. Das Material hat eine sehr hohe Konsistenz und ist knetbar. Der Aktivator liegt in flüssiger Form vor. Mischzeit: 45 sec, Verarbeitungszeit: 1,25 min, Abbindezeit: 5,25 min
Hersteller: Heraeus Kulzer, 41538 Dormagen/Germany

Xantopren VL

Abformmasse auf kondensationsvernetzender Silikonbasis. Das Material hat eine niedrige Konsistenz und ist leichtfließend. Der Aktivator liegt in flüssiger Form vor. Mischzeit: 30 sec, Verarbeitungszeit: 1,5 min, Abbindezeit: 5 min
Hersteller: Heraeus Kulzer, 41538 Dormagen/Germany

Xantopren mucosa

Abformmasse auf kondensationsvernetzender Silikonbasis. Das Material hat eine mittlere Konsistenz und ist mittelfließend. Der Aktivator liegt in flüssiger Form vor. Mischzeit: 30 sec, Verarbeitungszeit: 1,5 min, Abbindezeit: 5 min

Hersteller: Heraeus Kulzer, 41538 Dormagen/Germany

Provil novo Puttysoft soft fast set

Abformmasse auf additionsvernetzender Silikonbasis. Das Material hat eine sehr hohe Konsistenz und ist knetbar. Katalysator und Basismaterial liegen als knetbare Massen vor. Mischzeit: 45 sec, Verarbeitungszeit: 1,5 min, Abbindezeit: 3,75 min

Hersteller: Heraeus Kulzer, 41538 Dormagen/Germany

Provil novo Light Base + Catalyst

Abformmasse auf additionsvernetzender Silikonbasis. Das Material hat eine niedrige Konsistenz und ist leichtfliessend. Katalysator und Basismaterial liegen in pastöser Form vor. Mischzeit: 30 sec, Verarbeitungszeit: 1,5 min, Abbindezeit: 3,5 min

Hersteller: Heraeus Kulzer, 41538 Dormagen/Germany

Impregum F

Abformmasse auf Polyetherbasis. Das Material hat eine mittlere Konsistenz und ist mittelfießend. Katalysator und Basismaterial liegen in pastöser Form vor. Mischzeit: 45 sec, Verarbeitungszeit: 2,75 min, Abbindezeit: 6 min

Hersteller: ESPE, 82229 Seefeld/Germany

Blueprint Cremex

Schnellabbindende Abformmasse auf Alginatbasis. Das Material liegt als staubfreies Pulver vor und wird mit Wasser angerührt. Verarbeitungszeit: 1,25 min, Abbindezeit: 2 min

Hersteller: DeTrey Dentsply Konstanz

Snow White Plaster No. 2

Es handelt sich um Typ 1-Addruckgips auf Naturgipsbasis.

Anbieter: KERR GmbH, 76185 Karlsruhe

Occlumedanit

Es handelt sich um Typ 3-Hartgips auf Naturgipsbasis.

Anbieter: Orbis Dental Handels GmbH, 6300 Offenbach

Silky Rock

Es handelt sich um Typ 4-Extra-Hartgips auf Naturgipsbasis.

Anbieter: demedis dentaldepot GmbH, 48149 Münster

C.2 Elastomere

C.2.1Versuchsaufbau

C.2.1.1 Universalmischer Speed-Unguator-Dental

Eine Abbildung sowie Funktionsbeschreibung des Speed-Unguator-Dental findet sich unter Punkt A.2 Gerätevorstellung.

C.2.1.2 Gultan Tastotherm D 1200

Die Temperaturen der verarbeiteten Materialien wurden mit Hilfe des elektronischen Temperaturmessers der Firma Glutan vor Mischbeginn und am Ende des Mischvorganges ermittelt. Der gemessene Temperaturanstieg ist ein Parameter für die zugeführte Energie und lässt Schlüsse auf den Anstieg der Reaktionsgeschwindigkeit zu. Der Gluthan Tastotherm D1200 ermittelt die Temperatur bis auf 1/10 Grad Celsius genau.

C.2.1.3 Sartorius Waage BP 610

Die elektronische Sartorius Waage ermöglicht ein exaktes Einhalten der von den Herstellern angegebenen Mischungsverhältnisse zwischen Basis und Katalysatorkomponenten. Die Sartorius Waage lässt Gewichtsbestimmungen bis zu 1/100 Gramm zu.

C.2.1.4 Prüfform

Die Prüfform besteht aus einer runden Aluminiumhülse mit einem Innendurchmesser von 45 mm und einer inneren Wandungshöhe von 7 mm, sie fasst ca. 11 cm^2 Abformmasse. Nach dem Befüllen der Form mit Abformmaterial wurde das überschüssige Material mit Hilfe einer Glasplatte bis auf Wandungshöhe abgetragen.

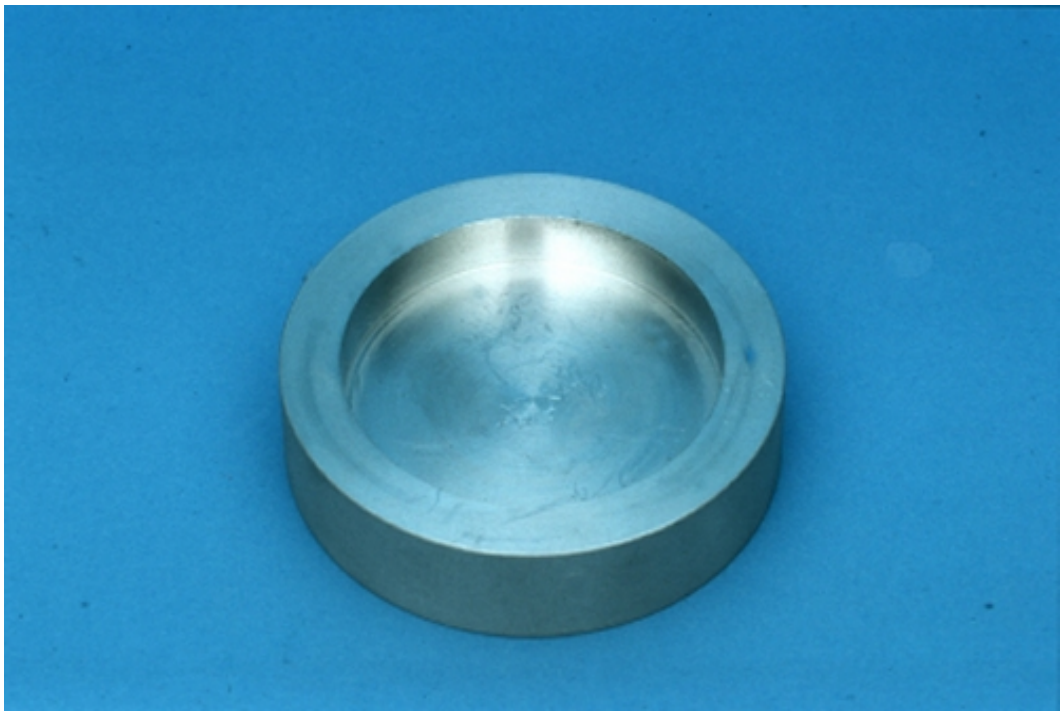


Abbildung 15: Aluminiumprüfform

C.2.1.5 Härteprüfgerät zur Ermittlung der Shore-Härte A

Der Viskositätsanstieg der elastomeren Massen wurde mit Hilfe des Härtemessgerätes der Karl Frank GmbH, Weinheim-Birkenau ermittelt. Das Härteprüfgerät erfasst die Shore-Härte A in einem Bereich von 0 bis 100, gemäß DIN 53505 und ISO R 868.

Abbildung 16: Härtemessgerät der Karl Frank GmbH

C.2.1.6 Prüfapparatur mit integriertem Härtemessgerät

Um die Messungen der Materialproben unter standardisierten Bedingungen durchzuführen, wurde ein Prüfständer konstruiert, in den sich das Frank Härteprüfgerät integrieren lässt. Eine Schlittenführung gewährleistet, dass das Messgerät im immer gleichen Winkel auf die jeweiligen Materialproben trifft. Durch das Eigengewicht von Schlitten, Messuhr und angebrachten Gewichten wird ein gleichmäßiger Anpressdruck der Messuhr von 10 N an die Materialproben erzeugt. Der Widerstand, der durch die Reibung der Schlittenführung verursacht wird, ist so klein, dass messbare Auswirkungen auf die ermittelten Werte nicht feststellbar waren.

Abbildung 17: Härtemeßgerät in Führung integriert

C.2.2 Versuchsdurchführung

C.2.2.1 Versuchsbedingungen

Die Versuchsreihen wurden in einem klimatisierten Raum durchgeführt. Die Raumtemperatur betrug 23 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 %. Die verwendeten Abformmaterialien wurden im Vorfeld über einen Zeitraum von 24 h auf die gewünschte Temperatur gebracht (21 ± 1 °C). Die maschinellen Serien wurden mit Kruken von 70 ml Füllvolumen durchgeführt. Die Standardisierung durch die Messapparatur wurde schon unter Punkt 2.1.6 erwähnt.

C.2.2.2 Prüfkörperherstellung

Nach dem Anmischen der elastomeren Abformmaterialien wurden diese in die Prüfform eingebracht. Das überschüssige Material wurde durch das Aufdrücken einer sauberen Glasplatte entfernt. Nach dem Entfernen der Glasplatte lag eine saubere und glatte Prüffläche des Abformmaterials vor.

C.2.2.3 Messmethode

Nach dem Auffüllen der Prüfform wurde diese in die Prüfapparatur eingebracht. Fortlaufend wurden nun für einen Zeitraum von 8 min in Abständen von 30 sec. Härtemessungen durchgeführt. Die Messungen wurden zu jedem Messzeitpunkt an vier verschiedenen Stellen vorgenommen und der jeweilige Mittelwert notiert. Zu diesem Zweck wurde die Form über angebrachte Markierungen in vier jeweils 90° grosse Segmente eingeteilt. Der Zeitpunkt des Auftretens der ersten messbaren elastischen Eigenschaften des Untersuchungsmaterials wurde als Ende der Verarbeitungszeit und Beginn der Abbindezeit registriert. Neben dem ermittelten Shore-Härte A-Anstieg wurde auch der Temperaturanstieg durch den Mischvorgang ermittelt. Hierzu wurde die Temperatur der Komponenten direkt vor und nach dem Mischvorgang gemessen.

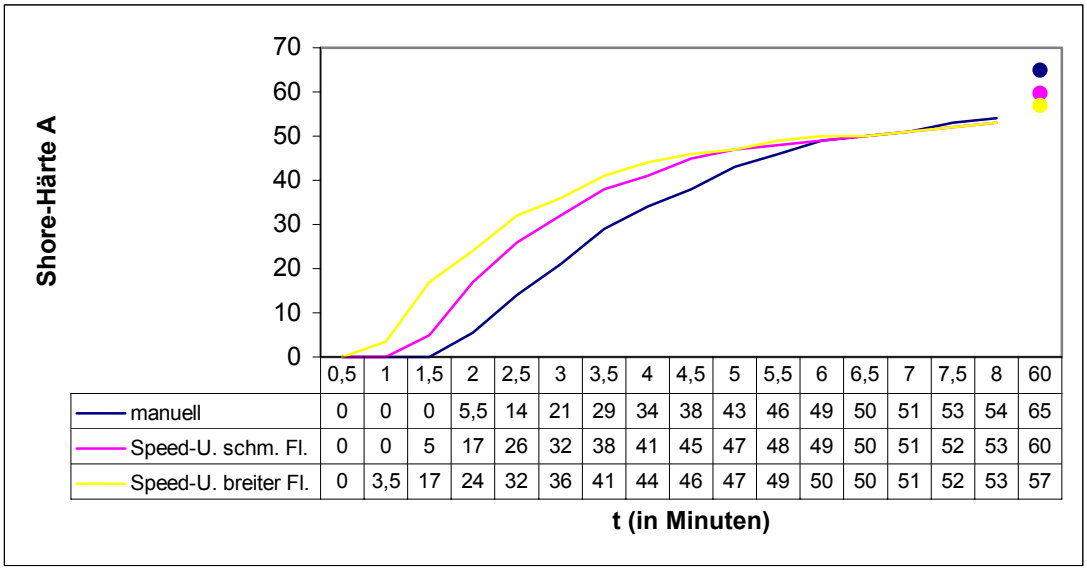
C.2.3 Versuchsreihen und Ergebnisse nach der vom Hersteller angegebenen Drehzahl und Mischzeit

C.2.3.1 Silaplast + Katalysator flüssig / Katalysatorpaste

In einem Parallelversuch wurde Silaplast 10 sec bei 1450 U/min (Drehzahlstufe 5) und 30 sec manuell angemischt. Bei den maschinellen Versuchsreihen wurde jeweils eine Serie mit einem schmalen (4 mm) und einem breiten Mischflügel (15 mm) durchgeführt. Bei den manuellen Serien wurde das Basismaterial auf einem Anmischblock ausgebreitet und mit Hilfe eines Spatels kreuzweise mit Rillen versehen. In diese wurde der Katalysator gegeben. Zu Beginn erfolgte das Durchmischen mit dem Spatel, anschließend wurde die Masse mit den Fingern gründlich durchknetet bis eine einheitliche Farbe erreicht war. Dieser Vorgang dauerte ca. 30 sec. Bei den maschinellen und manuellen Serien wurden je 27 g Silaplast Basismaterial und 1 g Silaplast Futur Catf (flüssig) oder 0,3 g Katalysatorpaste Catp universal verarbeitet.

Ergebnisse: Silaplast + Katalysator flüssig

Die verschiedenen Anmischtechniken ergeben einen unterschiedlich starken Anstieg der Shore-Härte A und der Temperatur. Der differente Anstieg der Härtegrade ist in den ersten zwei Minuten nach Mischbeginn besonders ausgeprägt, wohin gegen sich die Werte der relativen Endhärte (nach 1 h gemessen) wieder stark annähern. Der stärkste Anstieg erfolgt in der maschinellen Serie mit breitem Mischflügel. Der geringste Anstieg erfolgt beim manuellen Anmischen; hier sind erste Shore-Härte A-Werte erst nach 2 min messbar. Die maschinelle Serie mit schmalem Flügel nimmt eine Mittelstellung ein. Die Härtegrade nähern sich nach einem Zeitraum von ca. 5,5 min einem fast einheitlichem Niveau (siehe Tab. 4).



	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	60
manuell	0	0	0	5,5	14	21	29	34	38	43	46	49	50	51	53	54	65
Speed-U. schm. Fl.	0	0	5	17	26	32	38	41	45	47	48	49	50	51	52	53	60
Speed-U. breiter Fl.	0	3,5	17	24	32	36	41	44	46	47	49	50	50	51	52	53	57

Tabelle 4: Shore-Härte A Anstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Silaplast* + Katalysator flüssig

Betrachtet man die Temperaturentwicklung durch den Mischvorgang, so zeigen sich Parallelen zum Kurvenverlauf der Shore-Härte A-Messungen (Tab. 4). Der Mischvorgang mit der großen Flügelbreite erzeugt den stärksten Temperaturanstieg (14 °C) und der manuelle Mischvorgang den geringsten Temperaturanstieg (4,5 °C). Der Temperaturanstieg durch den Mischvorgang mit schmalem Flügel (9 °C) liegt etwa mittig zwischen den zuvor genannten Methoden (Tab. 5).

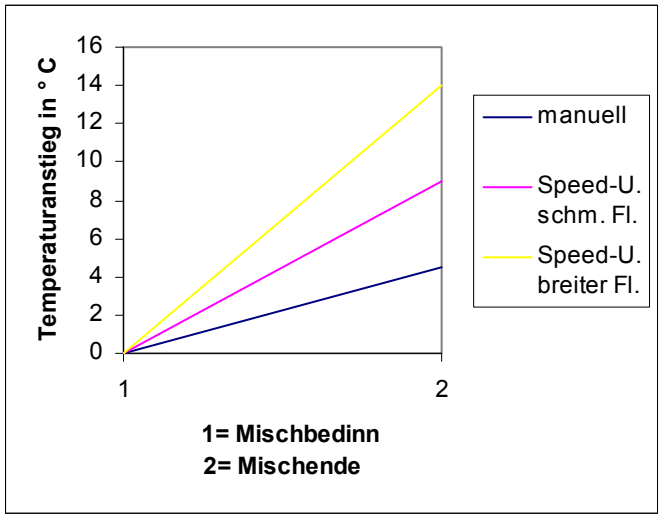


Tabelle 5: Temperaturanstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Silaplast* + Katalysator flüssig

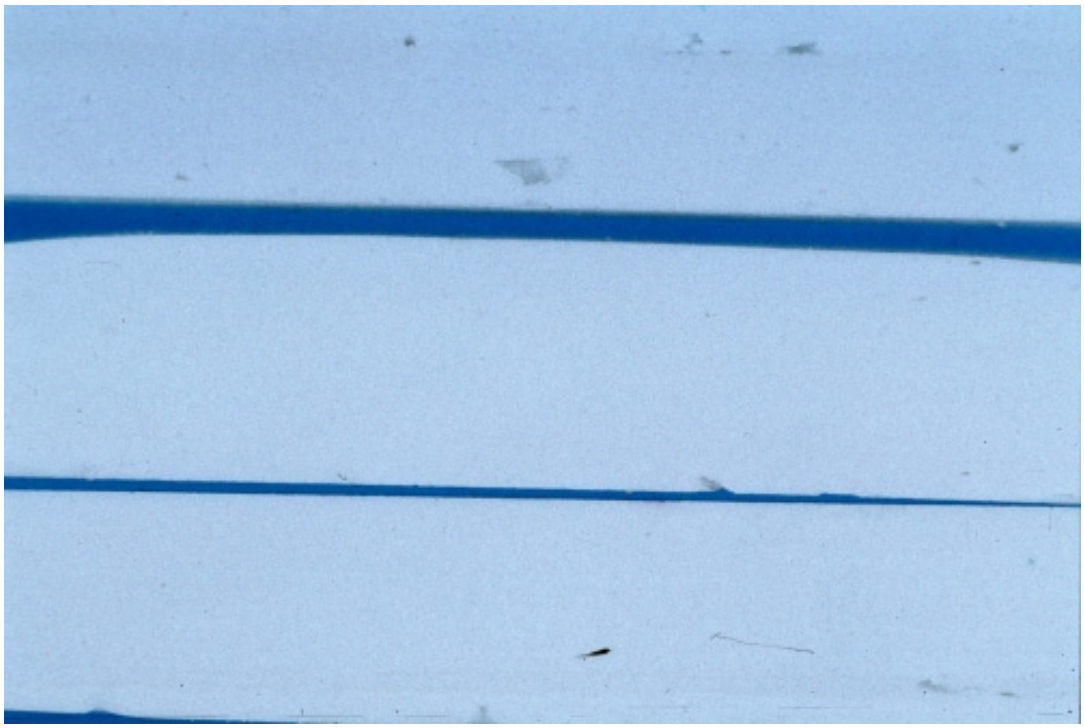


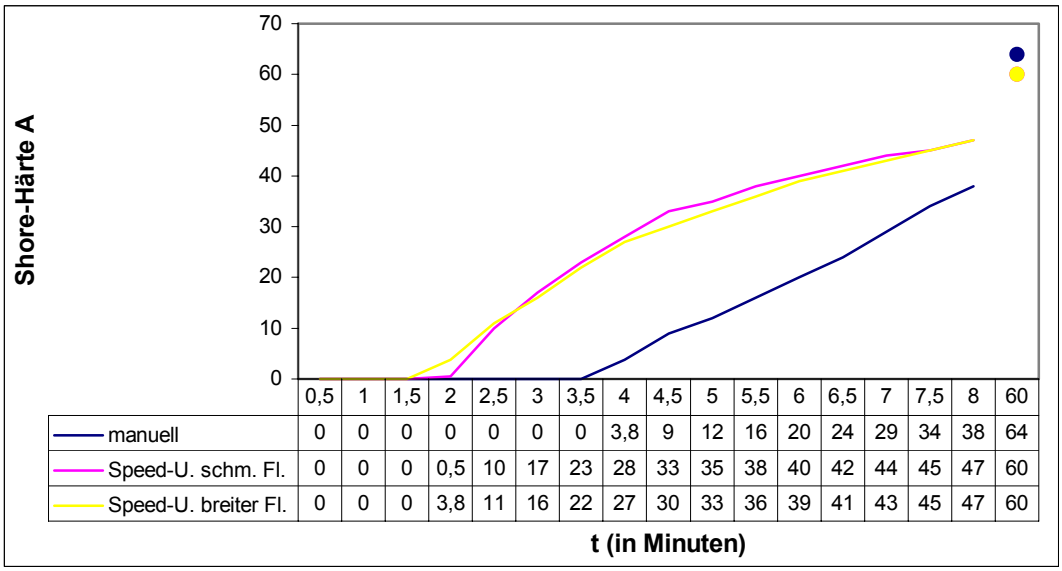
Abbildung 18: *Silaplast* + Katalysator flüssig. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

Die in Abb. 18 dargestellten Materialproben sind nach Mischmethoden angeordnet. Die obere Probe zeigt das Ergebnis nach manueller Mischtechnik, die mittlere Probe zeigt das Ergebnis durch Anmischen mit dem *Speed-Unguator* unter Verwendung eines schmalen Mischflügels, die untere Aufnahme unter Verwendung eines breiten Mischflügels. Alle Proben weisen eine homogene Durchmischung auf. Farbschlieren, die auf unregelmäßige Durchmischung hinweisen, sind nicht zu erkennen. In der oberen und unteren Probe fallen unregelmäßig angeschnittene Hohlräume auf.

Ergebnisse: Silaplast + Katalysatorpaste

Der Kurvenverlauf weicht von dem bei *Silaplast* + Katalysator flüssig ab. Es ist zu bemerken, dass die Shore- Härte A in den ersten 8 gemessenen Minuten unabhängig von der Anmischtechnik auf einem wesentlich geringeren Niveau liegt als bei der Verwendung eines flüssigen Katalysators. Des Weiteren fällt die Verlaufskurve des maschinellen Anmischens mit kleinem Flügel auf. Diese lehnt sich hier stark an den Kurvenverlauf des manuellen Anmischens an. Bei der Versuchsserie mit flüssigem Katalysator waren jedoch Parallelen zum maschinellen Anmischen mit großem

Flügel zu erkennen. Die nach 60 min gemessenen Härtegrade weisen keine wesentlichen Unterschiede zu den Serien mit flüssigem Katalysator auf (siehe Tab. 6).



	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	60
manuell	0	0	0	0	0	0	0	3,8	9	12	16	20	24	29	34	38	64
Speed-U. schm. Fl.	0	0	0	0,5	10	17	23	28	33	35	38	40	42	44	45	47	60
Speed-U. breiter Fl.	0	0	0	3,8	11	16	22	27	30	33	36	39	41	43	45	47	60

Tabelle 6: Shore-Härte A-Anstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Silaplast* + Katalysatorpast

Wird *Silaplast* mit einer Katalysatorpaste angemischt, so erzeugt das manuelle Anmischen eine Temperaturerhöhung von 5,4 °C. Die maschinellen Mischtechniken führen zu einer Temperaturerhöhung von 11,5 °C bei der Verwendung eines schmalen Mischflügels und 15,6 °C bei der Verwendung eines breiten Mischflügels. Wird *Silaplast* mit einer Kat-Paste angemischt, so liegen die Werte im Vergleich zu flüssigem Katalysator je nach verwendeter Technik um ca. 1 – 2 °C höher (siehe Tab. 7).

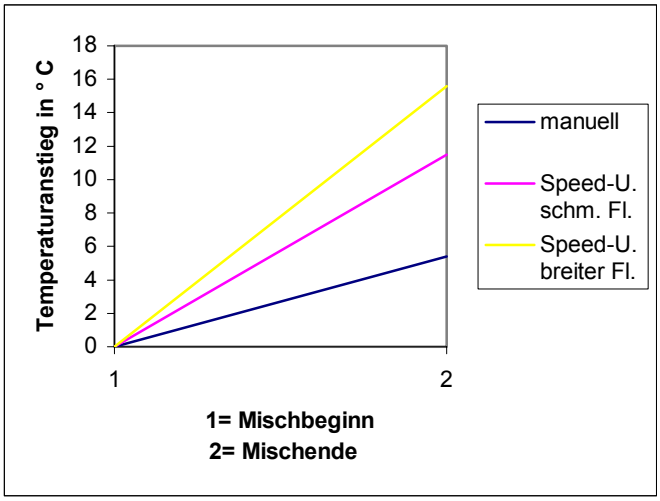


Tabelle 7: Temperaturanstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Silaplast* + Katalysatorpaste

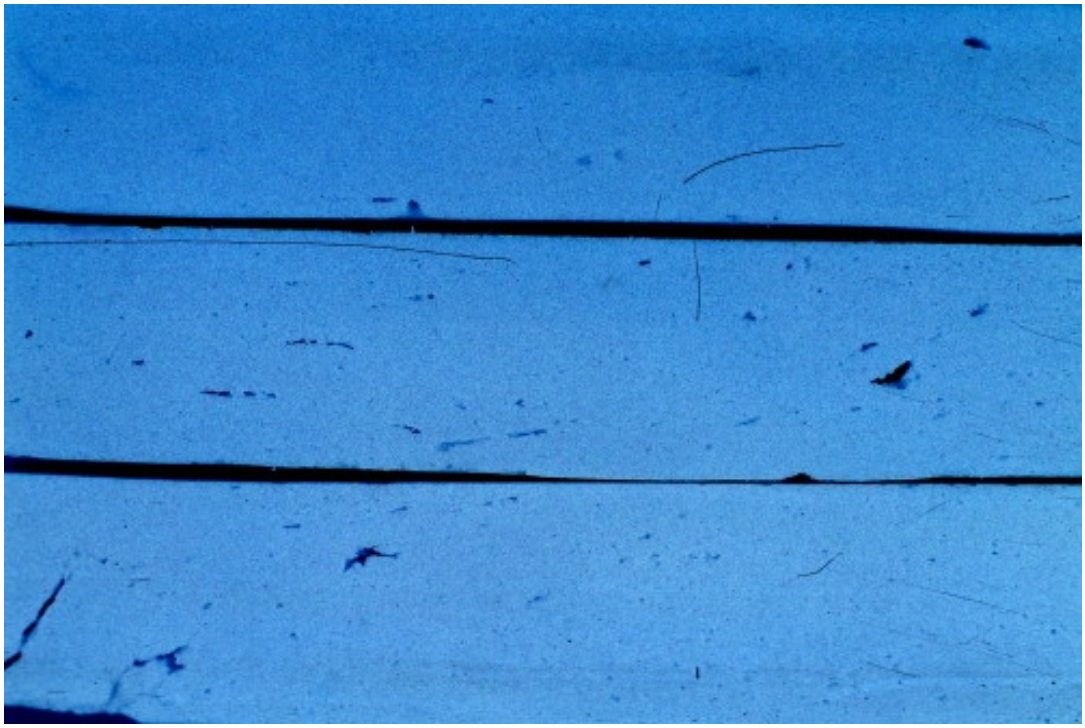


Abbildung19: *Silaplast* + Katalysatorpaste. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

Die in Abb. 19 dargestellten Materialproben sind nach Mischmethoden angeordnet. Die obere Probe zeigt das Ergebnis nach manueller Mischtechnik, die mittlere Probe zeigt das Ergebnis durch Anmischen mit dem *Speed-Unguator* unter Verwendung

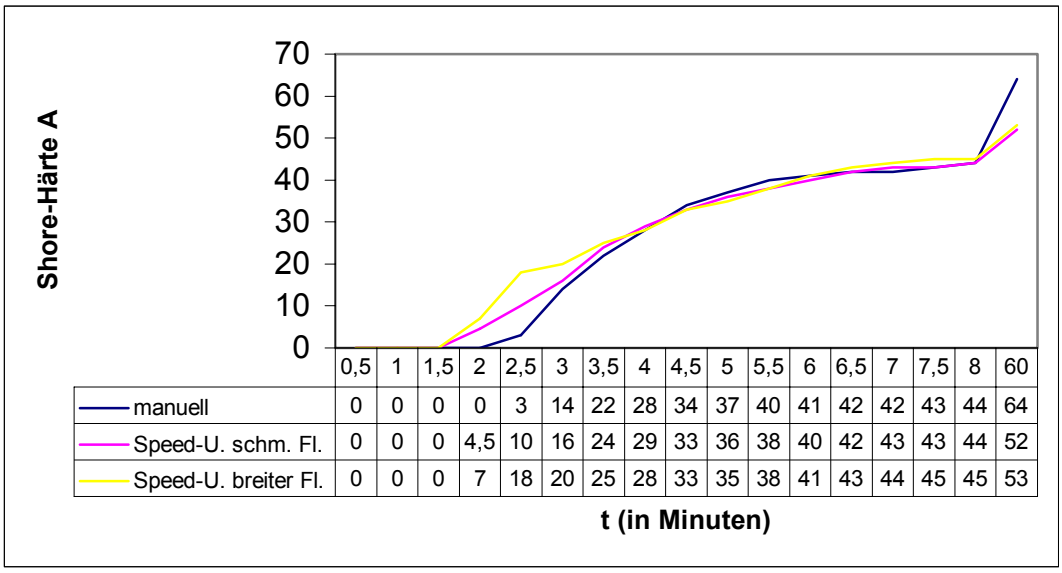
eines schmalen Mischflügels, die untere Aufnahme unter Verwendung eines breiten Mischflügels. Alle Proben weisen angeschnittene Hohlräume auf, wobei die obere Probe deutlich weniger Porositäten aufweist als die mittlere und untere Probe. Die obere Probe zeigt den dunkelsten Farbton.

C.2.3.2 Silasoft S + N

Nach Herstellerangaben wurden 9 g *Silasoft S* mit 10 g *Silasoft N* vermischt und 36 Tropfen Aktivator universal zugesetzt. Die Ausgangstemperatur der Materialien betrug 21 ± 1 °C. Mit der angegebenen Dosierung wurden 3 Versuchsserien (manuell, maschinell mit kleinem und großem Flügel) durchgeführt. Das manuelle Mischen erfolgte mit einem Spatel auf einem Anmischblock und dauerte ca. 30 sec. Das maschinelle Mischen erfolgte nach Herstellerangaben bei 1450 U/min und dauerte 10 sec.

Ergebnisse:

Die niedrig viskösen Materialien *Silasoft S* und *Silasoft N* zeigen beim manuellen und maschinellen Mischen mit kleinem Flügel einen kontinuierlichen Anstieg der Shore-Härte A. Der Kurvenverlauf beim maschinellen Anmischen mit großem Flügel fällt durch einen frühzeitigen Viskositätsanstieg auf. Bei der manuellen Anmischtechnik sind erste Shore-Härtewerte erst nach 2,5 min messbar. Die nach 60 min gemessene Endhärte liegt wieder auf einem einheitlichem Niveau (siehe Tab. 8).



	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	60
manuell	0	0	0	0	3	14	22	28	34	37	40	41	42	42	43	44	64
Speed-U. schm. Fl.	0	0	0	4,5	10	16	24	29	33	36	38	40	42	43	43	44	52
Speed-U. breiter Fl.	0	0	0	7	18	20	25	28	33	35	38	41	43	44	45	45	53

Tabelle 8: Shore-Härte A Anstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Silasoft S + Silasoft N*

Parallel zu dem Anstieg der Härtewerte zeigt sich auch das Temperaturverhalten bezüglich der Mischmethode. Das manuelle Anmischen führt mit 2,4 °C nur zu

einem geringfügigen Temperaturanstieg. Die maschinellen Methoden führen jedoch mit 8 °C bzw. 9,1 °C zu einer deutlichen Temperaturerhöhung durch den Mischvorgang (siehe Tab. 9).

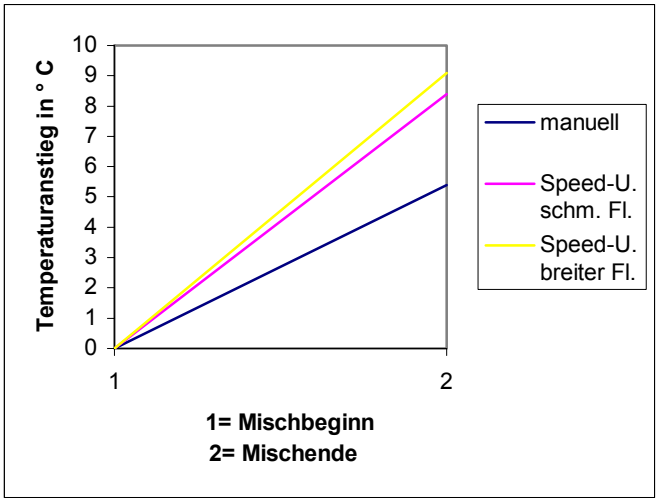


Tabelle 9: Temperaturanstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Silasft S* + *Silasoft N*

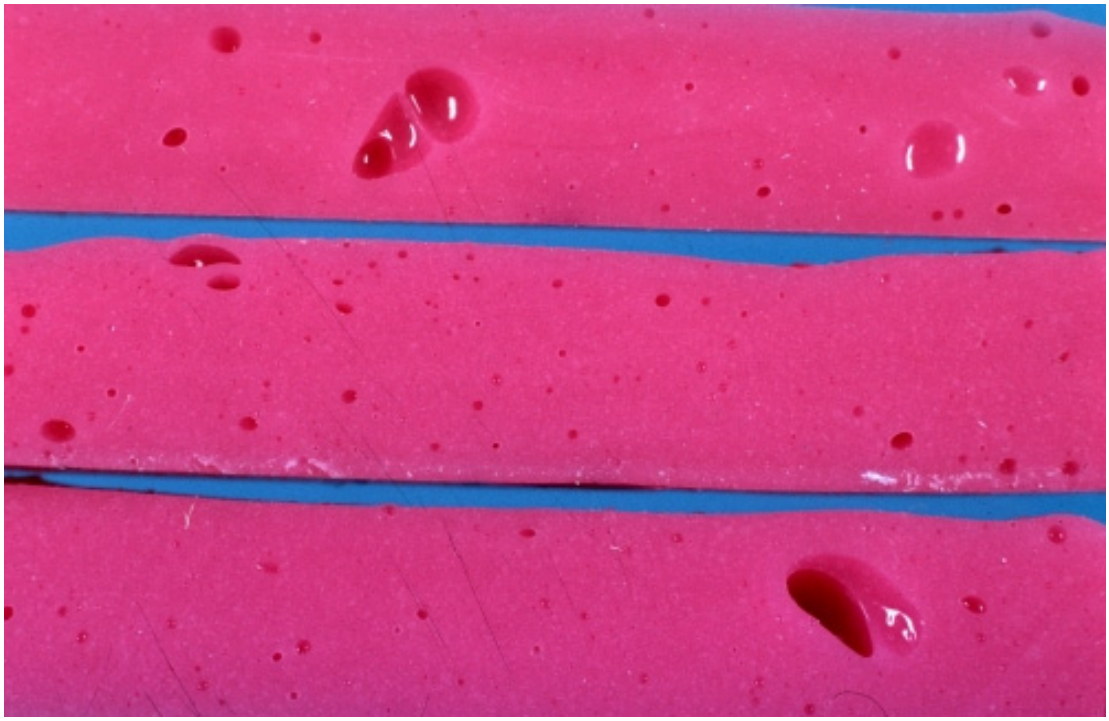


Abbildung 20: *Silasoft S* + *Silasoft N*. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

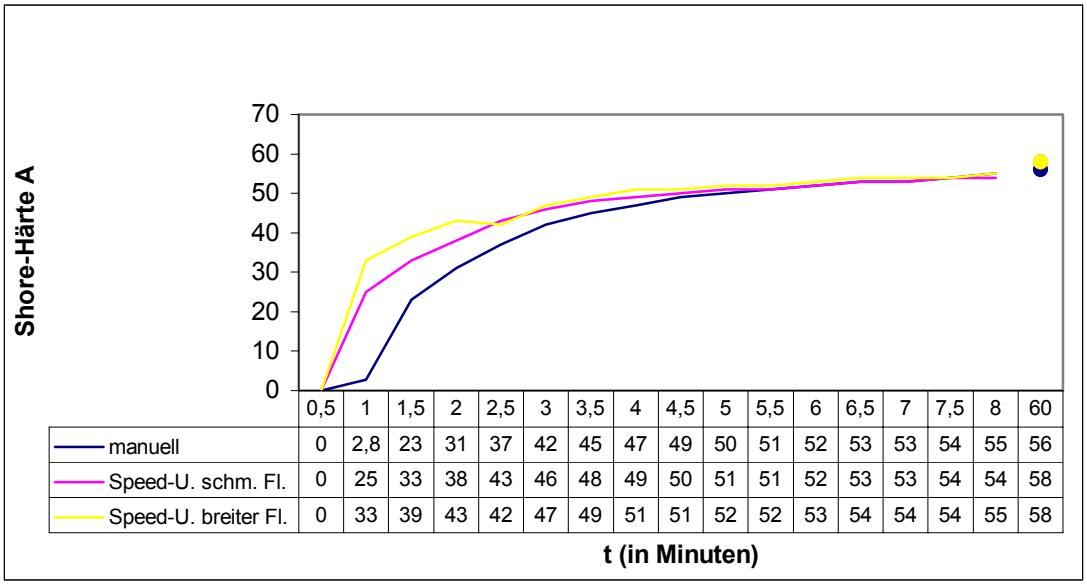
Die in Abb. 20 dargestellten Materialproben sind nach Mischmethoden angeordnet. Die obere Probe zeigt das Ergebnis nach manueller Mischtechnik, die mittlere Probe zeigt das Ergebnis nach Anmischen mit dem *Speed-Unguator* unter Verwendung eines schmalen Mischflügels, die untere Aufnahme unter Verwendung eines breiten Mischflügels. Alle Proben zeigen angeschnittene Hohlräume, wobei deren Größe stark variiert. In den beiden unteren Proben fallen zusätzlich viele kleine Porositäten auf. Allgemein machen die unteren Proben einen „aufgelockerten" Eindruck. Die obere Probe wirkt kompakter und hebt sich auch farblich von den unteren Proben ab.

C.2.3.3 Optosil comfort

Nach Herstellerangaben wurden 21,2 g *Optosil komfort* 16 Tropfen *Aktivator universal* zugesetzt. Wie in den Versuchen zuvor wurden drei Serien von Mischmethoden (manuell und maschinell mit großem und kleinem Flügel) durchgeführt und miteinander verglichen. Die Ausgangstemperatur der Materialien betrug jeweils 21 ± 1 °C. Das manuelle Anmischen erfolgte auf einem Mischblock. Hierfür wurde das Material ausgebreitet und mit Hilfe eines Spatels kreuzweise mit Rillen versehen, in die der Katalysator gegeben wurde. Das hochvisköse Material wurde zu Beginn mit einem Spatel auf einem Mischblock und anschließend mit den Fingern gründlich durchmischt. Dieser Vorgang dauerte ca. 45 sec. Das maschinelle Mischen erfolgte nach Herstellerangaben bei einer Drehzahl von 1450 U/min und einer Dauer von 10 sec.

Ergebnisse:

Das Material vom Viskositätstyp 0 reagiert auf das maschinelle Anmischen mit einem sofortigen starken Anstieg der Shore-Härte A. Besonders ausgeprägt ist dieses Verhalten, wenn das Mischen mit einem breitem Flügel erfolgt. Hier sind nach 1min schon über 50 % der Endhärte erreicht. Erfolgt das Mischen mit einem schmalen Flügel, werden 50 % der Endhärte nach ca. 2 min überschritten. Bei der manuellen Mischserie erfolgt ein deutlicher Viskositätsanstieg hingegen erst nach ca. 2 min, wobei erste Shore-Härte A-Werte schon nach 1 min messbar sind (siehe Tab. 10).



	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	60
manuell	0	2,8	23	31	37	42	45	47	49	50	51	52	53	53	54	55	56
Speed-U. schm. Fl.	0	25	33	38	43	46	48	49	50	51	51	52	53	53	54	54	58
Speed-U. breiter Fl.	0	33	39	43	42	47	49	51	51	52	52	53	54	54	54	55	58

Tabelle 10: Shore Härte A-Anstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Optosil* comfort + Aktivator universal

Die stärkste Temperaturerhöhung erfährt das knetbare *Optosil comfort* bei der maschinellen Verarbeitung mit einem großen Flügel. Sie fällt mit 18 °C über 4 mal höher aus als bei der manuellen Verarbeitung mit 4,5 °C. Mit 11,7 °C Temperaturerhöhung liegt der maschinelle Anmischvorgang mit kleinem Flügel mittig zwischen manuellem und maschinellem Anmischen mit großem Flügel (Tab. 11).

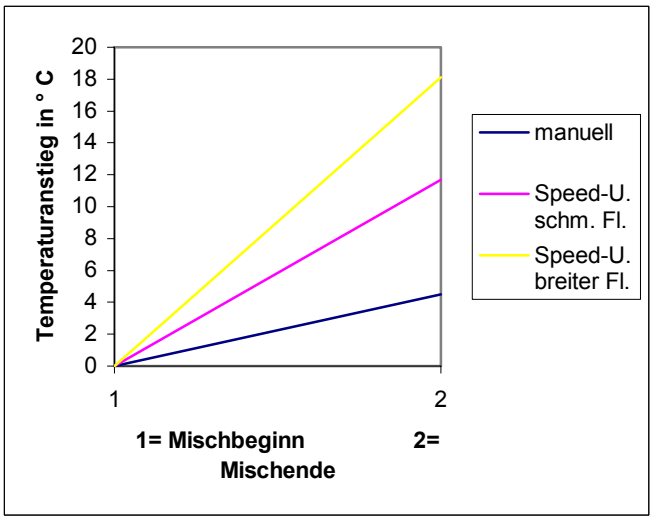


Tabelle 11: Temperaturanstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Optosil comfort* + Aktivator universale

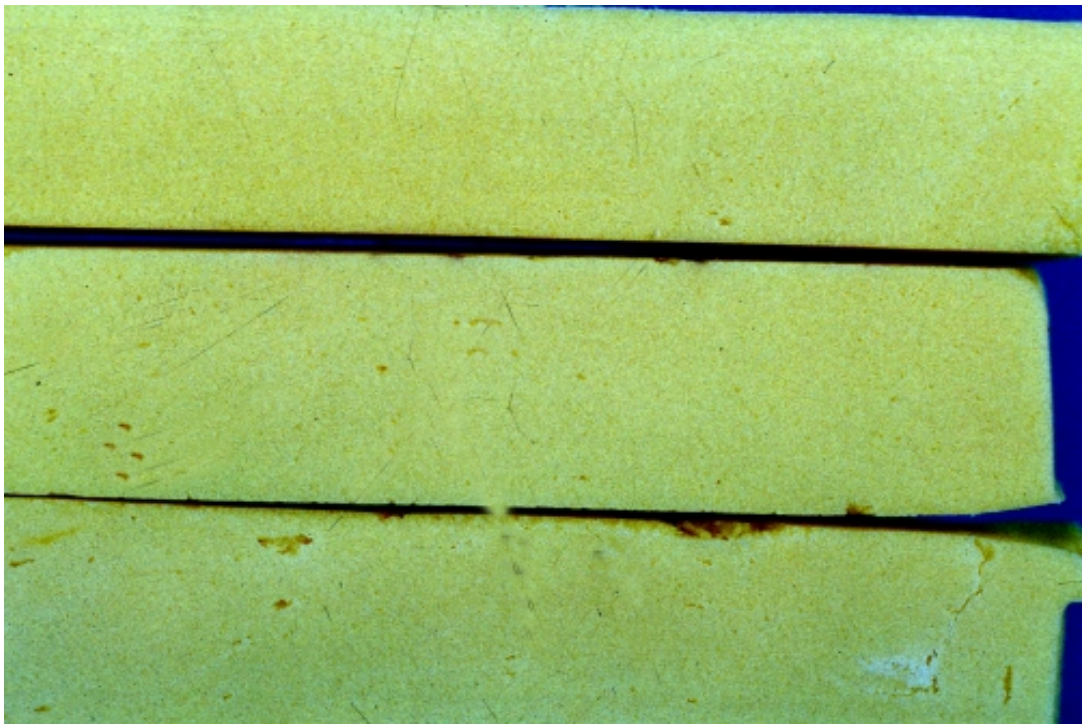


Abbildung 21: *Optosil kompfort* + *Aktivator universale*. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

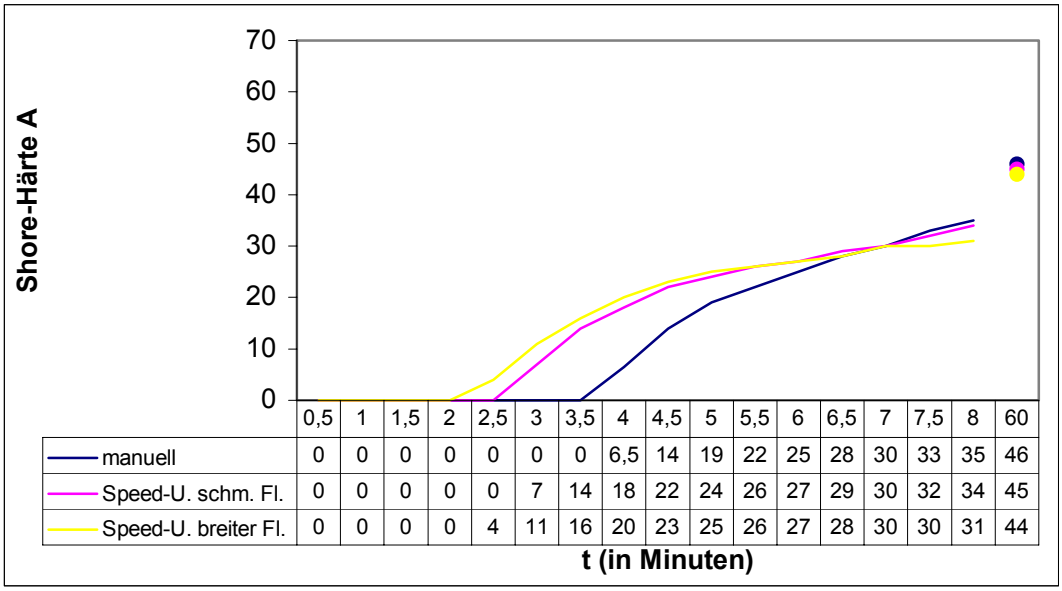
Die in Abb. 21 dargestellten Materialproben sind nach Mischmethoden angeordnet. Die obere Probe zeigt das Ergebnis nach manueller Mischtechnik, die mittlere Probe zeigt das Ergebnis nach Anmischen mit dem *Speed-Unguator* unter Verwendung eines schmalen Mischflügels, die untere Aufnahme unter Verwendung eines breiten Mischflügels. Die obere Probe zeigt sich fast blasenfrei und homogen durchmischt. Die unteren Proben zeigen vereinzelt angeschnittene Blasen und heben sich farblich durch eine „Grautönung" von der oberen Probe ab. Die untere Probe zeigt im Bereich auftretender Artefakte vereinzelte „Grauschleier".

C.2.3.4 Xantopren VL

16 Gramm des Korrekturmaterials *Xantopren VL* wurden 24 Tropfen *Aktivator universal* zugesetzt und mit drei verschiedenen Mischmethoden angemischt (manuell, maschinell mit großem und kleinem Flügel). Das manuelle Anmischen erfolgte mit Hilfe eines Spatels auf einem Anmischblock und dauerte ca. 30 sec. Das maschinelle Mischen erfolgte mit einer Drehzahl von 1450 U/min und einer Dauer von 10 sec. Die Ausgangstemperatur der Materialien lag bei ca. 21 ± 1 °C.

Ergebnisse:

Das leicht fließende Typ 3 C-Silikon *Xantopren VL* reagiert in der manuellen Serie erst nach ca. 4 min mit einem messbaren Viskositätsanstieg. Während bei der maschinellen Verarbeitung schon nach ca. 2,5 min bei der Verwendung eines großen Flügels und nach ca. 3 min bei der Verwendung eines kleinen Flügels der Viskositätsanstieg in messbare Bereiche gelangt. Der Anstieg der Shore-Härte A erfolgt beim maschinellen Anmischen früher und stärker im Vergleich zum Kurvenverlauf der manuellen Serie. Die nach 60 min gemessenen Endhärten liegen auf annähernd gleichem Niveau (siehe Tab. 12).



	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	60
manuell	0	0	0	0	0	0	0	6,5	14	19	22	25	28	30	33	35	46
Speed-U. schm. Fl.	0	0	0	0	0	7	14	18	22	24	26	27	29	30	32	34	45
Speed-U. breiter Fl.	0	0	0	0	4	11	16	20	23	25	26	27	28	30	30	31	44

Tabelle 12: Shore Härte A-Anstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Xantopren VL* + Aktivator universale

Der Temperaturanstieg in der manuellen Serie fällt mit 3 °C gering aus. Trotz der niedrigen Viskosität des Ausgangsmaterials erhöht sich die Temperatur durch das maschinelle Anmischen um 7 °C (kleiner Flügel) bzw. 9 °C (großer Flügel) gegenüber der Ausgangstemperatur (Tab. 13).

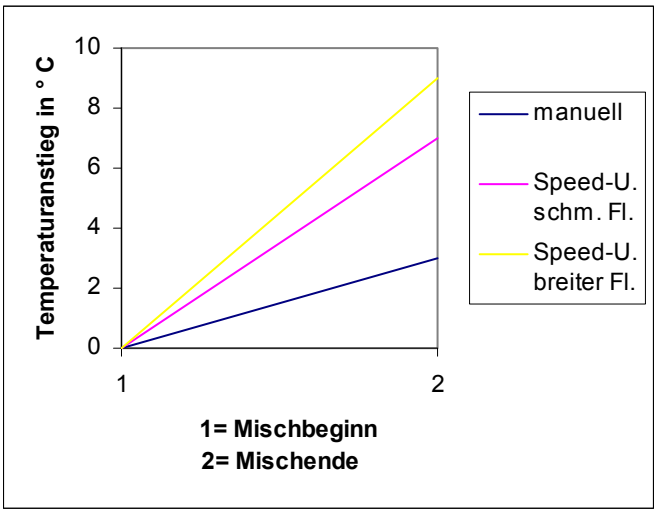


Tabelle 13: Temperaturanstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Xantopren VL* + Aktivator universale

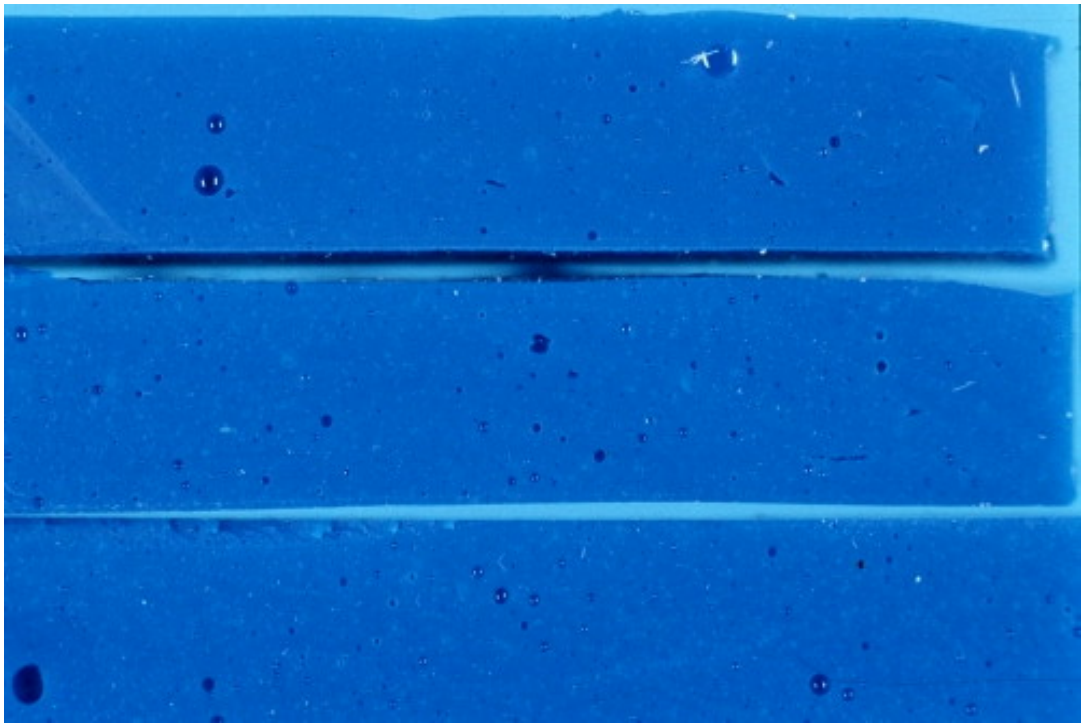


Abbildung 22: X*antopen VL* + *Aktivator universale*. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

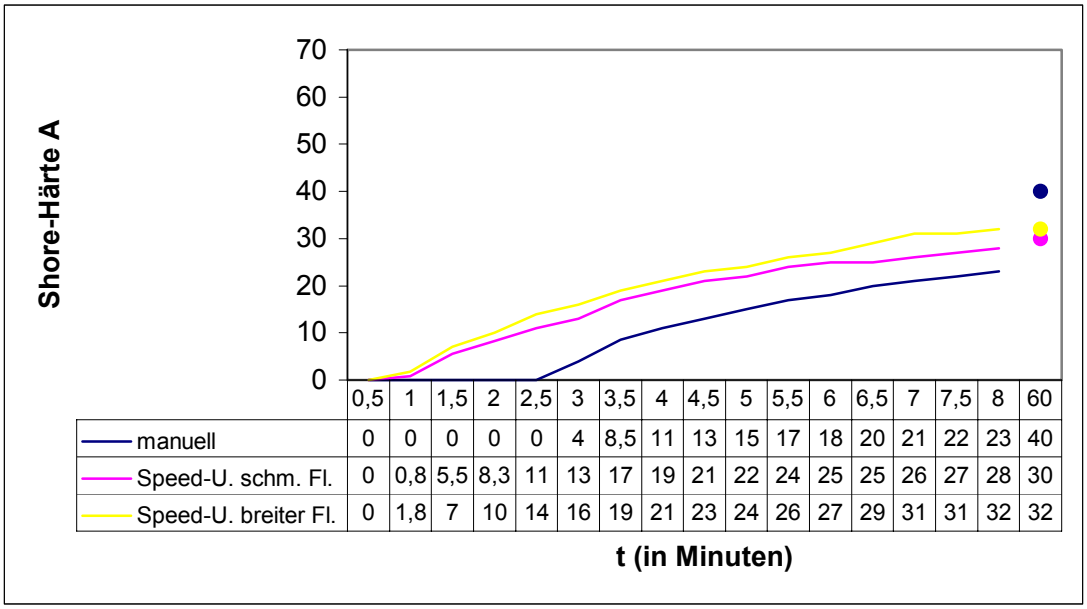
Die in Abb. 22 dargestellten Materialproben sind nach Mischmethoden angeordnet. Die obere Probe zeigt das Ergebnis nach manueller Mischtechnik, die mittlere Probe zeigt das Ergebnis nach Anmischen mit dem *Speed-Unguator* unter Verwendung eines schmalen Mischflügels, die untere Aufnahme unter Verwendung eines breiten Mischflügels. Alle Proben weisen Porositäten unterschiedlicher Kaliber auf, wobei alle Proben eine hohe Anzahl kleiner Blasen aufweisen. Farblich differenzieren sich die Proben nicht voneinander.

C.2.3.5 Xantopren mucosa

Nach Herstellerangaben wurden 18 g *Xantopren mucosa* 24 Tropfen *Aktivator universal* zugesetzt und die Masse in 3 Versuchsserien (manuell, maschinell mit großem und kleinem Flügel) angemischt. Das manuelle Mischen erfolgte auf einem Anmischblock und wurde mit Hilfe eines Spatels durchgeführt. Der Mischvorgang erstreckte sich über ca. 30 sec. Das maschinelle Anmischen erfolgte nach Herstellerangaben mit einer Drehzahl von 1450 U/min über einen Zeitraum von 10 sec. Die Ausgangstemperatur der Materialien lag bei ca. 21±1 °C.

Ergebnisse:

Der Viskositätsanstieg des mittelfließenden Typ 2 C-Silikon *Xantopren mucosa* zeigt deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der verwendeten Mischtechnik. Während das manuelle Mischen erst nach ca. 4 min erste messbare Viskositätsanstiege verzeichnet und dann ein langsamer Anstieg erfolgt, beginnt der Viskositätsanstieg bei den maschinellen Anmischserien bereits nach 1 min und wird gefolgt von einem kontinuierlichen Shore-Härte A-Anstieg. Die nach 60 min erreichte Endhärte liegt nicht auf einem einheitlichen Niveau. Die erreichten Endwerte der maschinellen Serien liegen deutlich unter den Werten der manuellen Serie (Tab. 14).



	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	60
manuell	0	0	0	0	0	4	8,5	11	13	15	17	18	20	21	22	23	40
Speed-U. schm. Fl.	0	0,8	5,5	8,3	11	13	17	19	21	22	24	25	25	26	27	28	30
Speed-U. breiter Fl.	0	1,8	7	10	14	16	19	21	23	24	26	27	29	31	31	32	32

Tabelle 14: Shore Härte A-Anstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Xantopren mucosa*

Die Temperaturentwicklung durch den Mischvorgang fällt bei der manuellen Serie mit 2,3 °C gering aus. Die größte Temperaturerhöhung der Massen von 16,3 °C zeigt die maschinelle Serie mit großem Flügel. Auch bei der Verwendung eines kleinen Mischflügels erfährt die Abformmasse eine deutliche Temperaturerhöhung von 9,9 °C (Tab. 15).

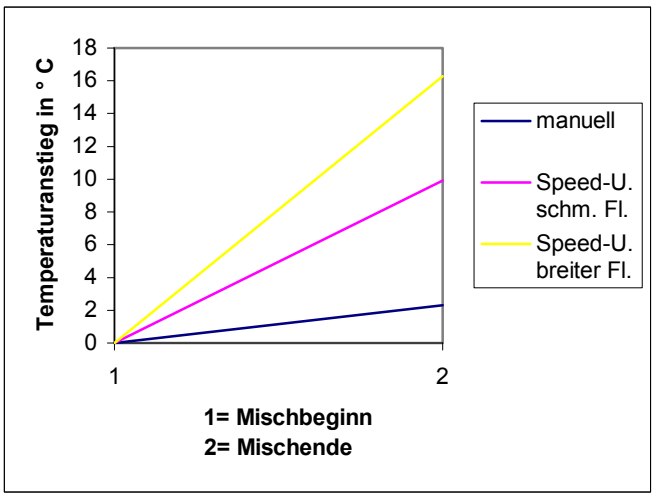


Tabelle 15: Temperaturanstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Xantopren mucosa*

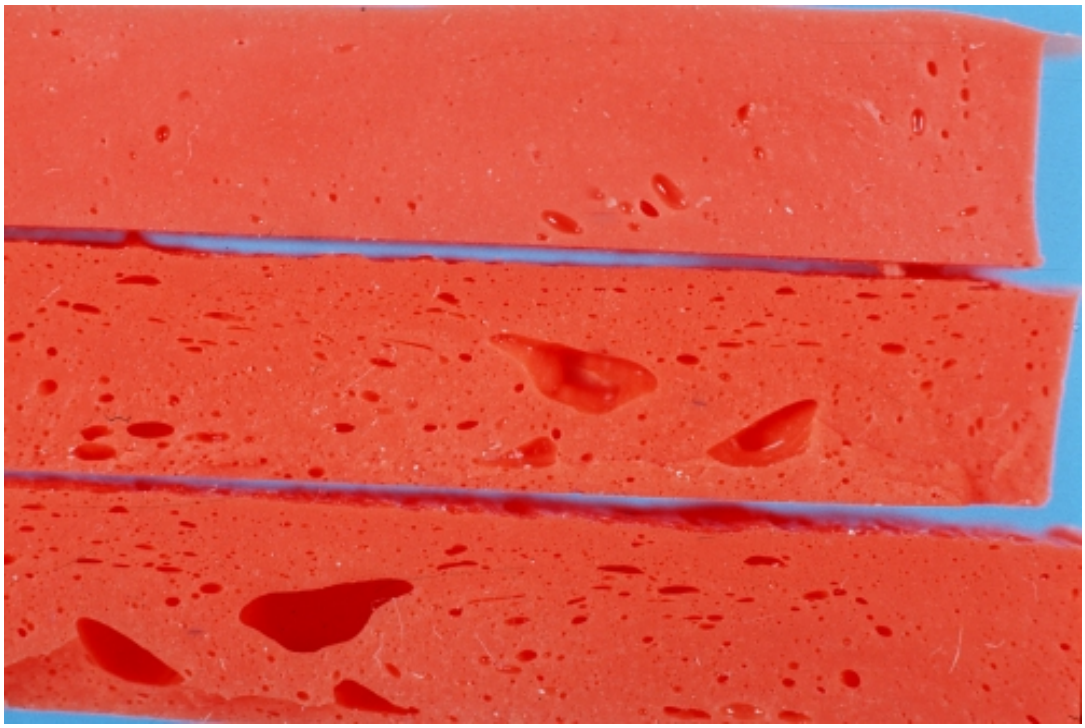


Abbildung 23: *Xantopren Mucosa*. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

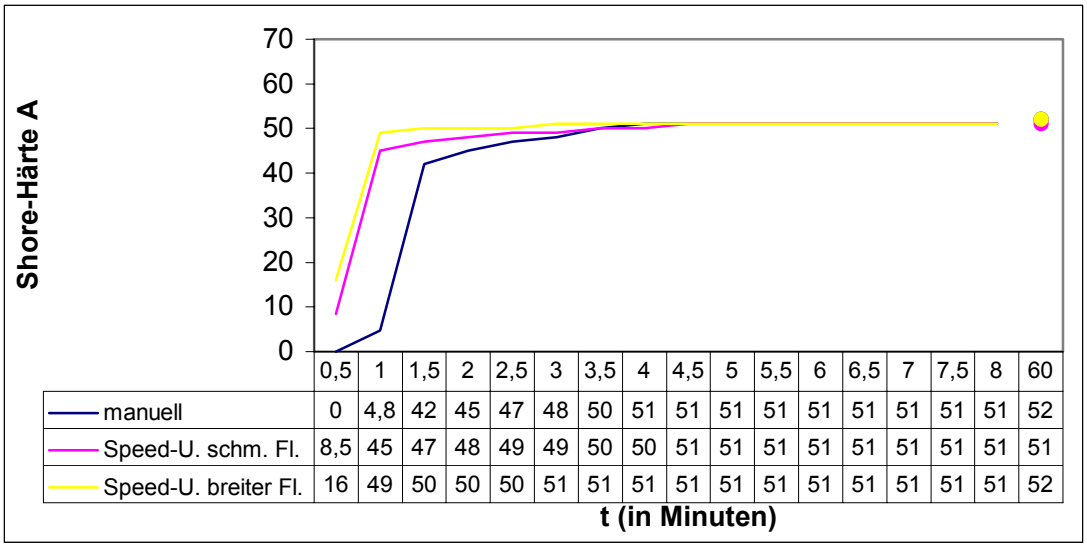
Die in Abb. 23 dargestellten Materialproben sind nach Mischmethoden angeordnet. Die obere Probe zeigt das Ergebnis nach manueller Mischtechnik, die mittlere Probe zeigt das Ergebnis nach Anmischen mit dem *Speed-Unguator* unter Verwendung eines schmalen Mischflügels, die untere Aufnahme unter Verwendung eines breiten Mischflügels. Alle Proben weisen Hohlräume auf, jedoch sind die unteren Proben generalisiert von Blasen unterschiedlicher Kaliber „durchwachsen“. Bei der oberen Probe treten im Durchschnitt weniger und kleinere Blasen auf, zudem weist die obere Probe blasenfreie Bezirke auf. Farblich heben sich die unteren Proben durch einen helleren Grundton von der oberen Probe ab.

C.2.3.6 Provil novo Putty soft

Die Dosierung erfolgte nach Herstellerangaben; es wurden 18 g *Provil novo Putty soft* 18 g *Provil novo Putty Catalysator* zugesetzt. Das Vermischen erfolgte in 3 Serien (manuell, maschinell mit kleinem und großem Flügel). Das manuelle Vermischen des Typ 0 A-Silikons erfolgte mit Handballen und Fingern, dieser Vorgang dauerte ca. 45 sec. Bei den maschinellen Versuchsserien wurde eine Einstellung gewählt, 1450 U/min für 10 sec, die der Hersteller des *Speed-Unguator* für andere Abformmassen des Typ 0 vorgibt. Das Material hatte vor dem Vermischen jeweils eine Temperatur von 20 ± 1 °C.

Ergebnisse:

Die gemessenen Shore-Härte A-Werte differenzieren sich in der ersten Minute zwischen der manuellen und den maschinellen Serien sehr. Aber schon nach der zweiten Minute haben sich die Werte auf ein fast einheitlich hohes Niveau angeglichen, das sich bis zur Endhärte gemessen nach 60 min nur noch unwesentlich steigert (Tab. 16).



	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	60
manuell	0	4,8	42	45	47	48	50	51	51	51	51	51	51	51	51	51	52
Speed-U. schm. Fl.	8,5	45	47	48	49	49	50	50	51	51	51	51	51	51	51	51	51
Speed-U. breiter Fl.	16	49	50	50	50	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	52

Tabelle 16: Shore-Härte A-Anstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Provil novo Putty* soft

Die Temperaturentwicklung des sehr hoch viskösen Materials verzeichnet unabhängig von der Mischmethode einen hohen Anstieg. Die maschinellen Serien

verzeichnen die höchsten Temperaturzuwächse mit 21,2 °C bei der Verwendung eines großen Flügels und 15,9 °C bei der Verwendung eines kleinen Flügels (Tab. 17).

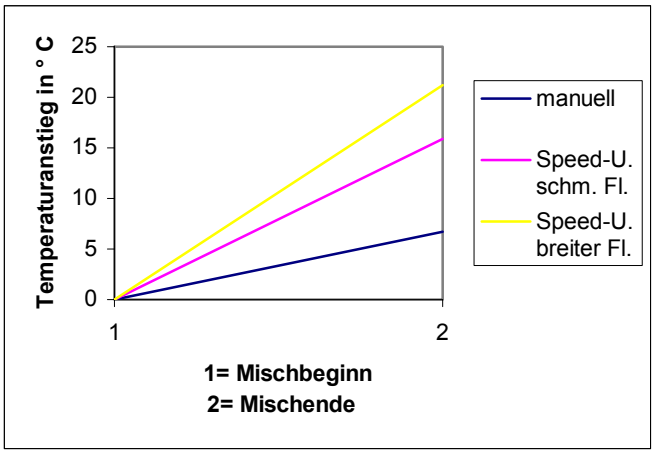


Tabelle 17: Temperaturanstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Provil novo Putty soft*

Abbildung 24: *Provil novo Putty soft*. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

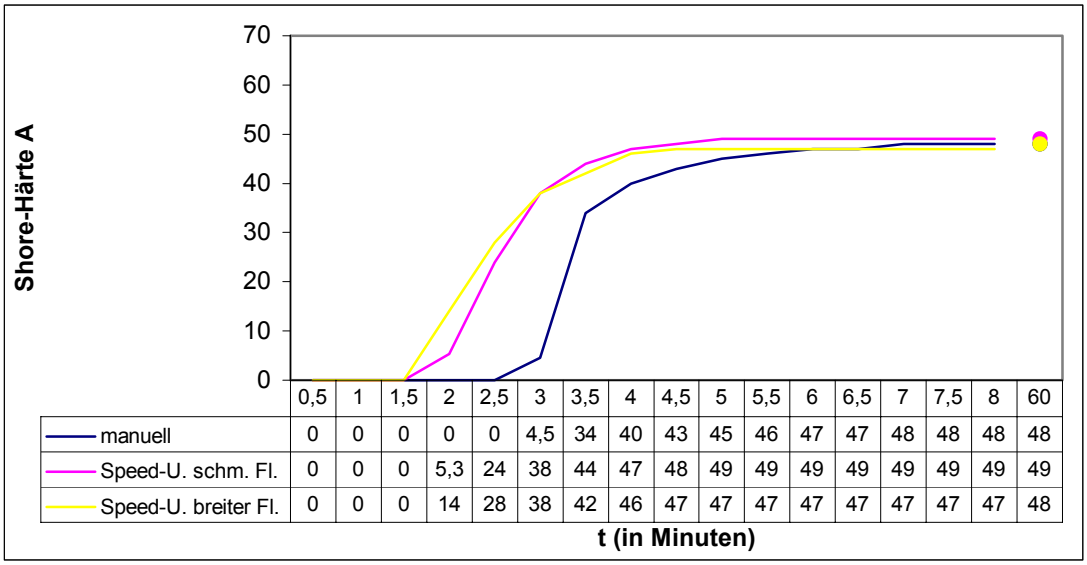
Die in Abb. 24 dargestellten Materialproben sind nach Mischmethoden angeordnet. Die obere Probe zeigt das Ergebnis nach manueller Mischtechnik, die mittlere Probe zeigt das Ergebnis nach Anmischen mit dem *Speed-Unguator* unter Verwendung eines schmalen Mischflügels, die untere Aufnahme unter Verwendung eines breiten Mischflügels. Alle Proben weisen Porositäten auf, wobei die obere Probe deutlich weniger Blasen als die unteren Proben aufweist. Die obere Probe erscheint farblich sehr homogen durchmischt. Neben der erhöhten Anzahl von Blasen zeigt die untere Probe Schlieren in Form von grauen Streifen, welche auf die Katalysatorkomponente zurückzuführen sind.

C.2.3.7 Provil novo Light base

Nach Herstellerangaben wurden 10 g *Provil novo Light base* 10 g *Provil novo Catalyst* zugesetzt. Das Vermischen erfolgte in 3 Serien (manuell, maschinell mit großem und kleinem Flügel). Das manuelle Mischen erfolgte mit Hilfe eines Spatels auf einem Anmischblock; der Vorgang dauerte ca. 30 sec. Die maschinellen Serien wurden mit einer Drehzahl von 1450 U/min und einer Mischdauer von 10 sec durchgeführt. Das Material hatte vor dem Mischvorgang eine Temperatur von 21 ± 1 °C.

Ergebnisse:

Das Typ 3 A-Silikon reagiert auf den Mischvorgang je nach Anmischtechnik mit einem unterschiedlich späten Anstieg der Viskosität. Das maschinelle Anrühren führt nach 2 min zu einem messbaren Anstieg der Viskosität, wobei die Serie mit dem großen Mischflügel den stärksten Anstieg aufweist. Das manuelle Anmischen führt erst nach ca. 3 min zu einem messbaren Viskositätsanstieg. Die manuelle und maschinelle Kurve mit kleinem Flügel zeigen einen fast parallelen Kurvenverlauf, wobei die manuelle Serie die jeweiligen Shore-Werte erst eine Minute später erreicht. Nach ca. 5 min nähern sich die Shore-Härte A-Werte der 3 Serien an. Bei der nach 60 min gemessenen Endhärte bewegen sich die gemessenen Werte wieder auf einem einheitlichen Niveau (siehe Tab. 18).



	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	60
manuell	0	0	0	0	0	4,5	34	40	43	45	46	47	47	48	48	48	48
Speed-U. schm. Fl.	0	0	0	5,3	24	38	44	47	48	49	49	49	49	49	49	49	49
Speed-U. breiter Fl.	0	0	0	14	28	38	42	46	47	47	47	47	47	47	47	47	48

Tabelle 18: Shore Härte A-Anstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Provil novo Light base* + catalyst

Die Temperaturentwicklung der 3 Serien zeigt Parallelen zum Viskositätsverhalten. Die maschinellen Serien weisen eine deutlich höhere Temperaturentwicklung während des Mischvorganges auf, 10,8 °C bei Verwendung eines breiten Flügels bzw. 8 °C bei Verwendung eines schmalen Flügels, als die bei der manuellen Mischtechnik von 1,7 ° C (Tab. 19).

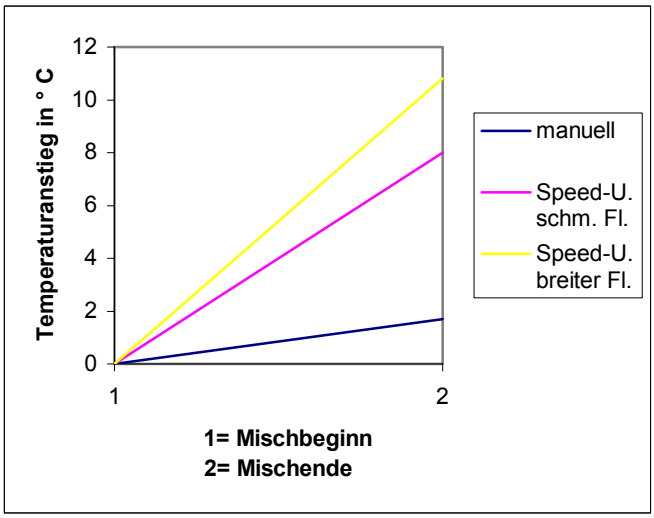


Tabelle 19: Temperaturanstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Provil novo Light base* + catalyst

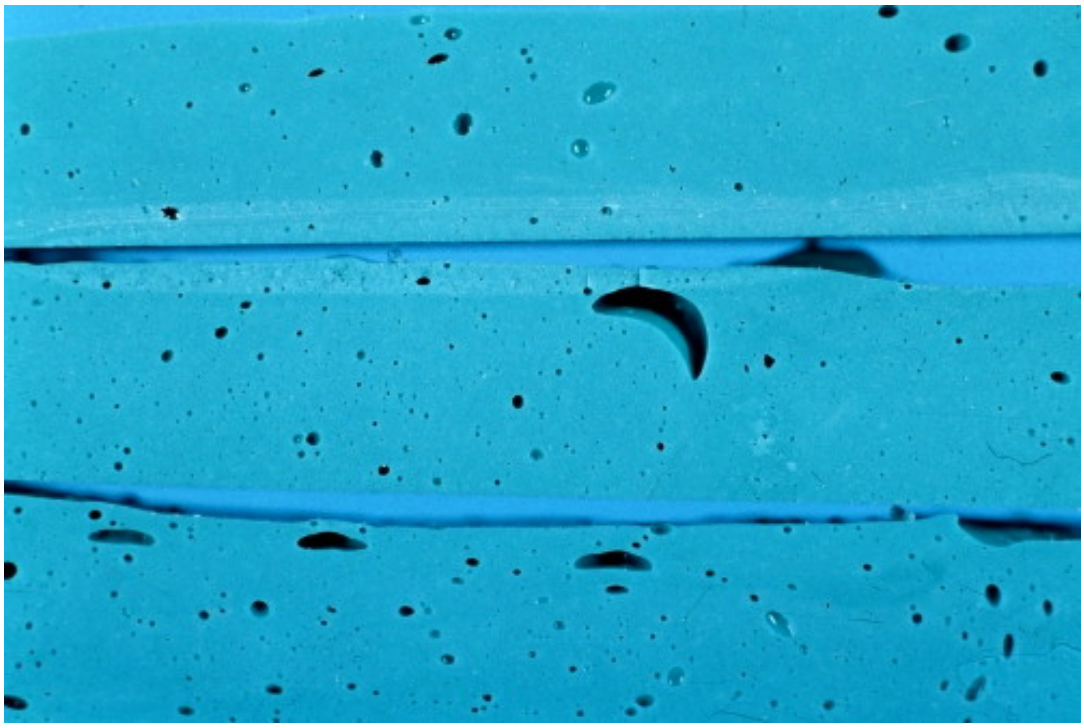


Abbildung 25: *Provil novo Light base + catalyst*. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

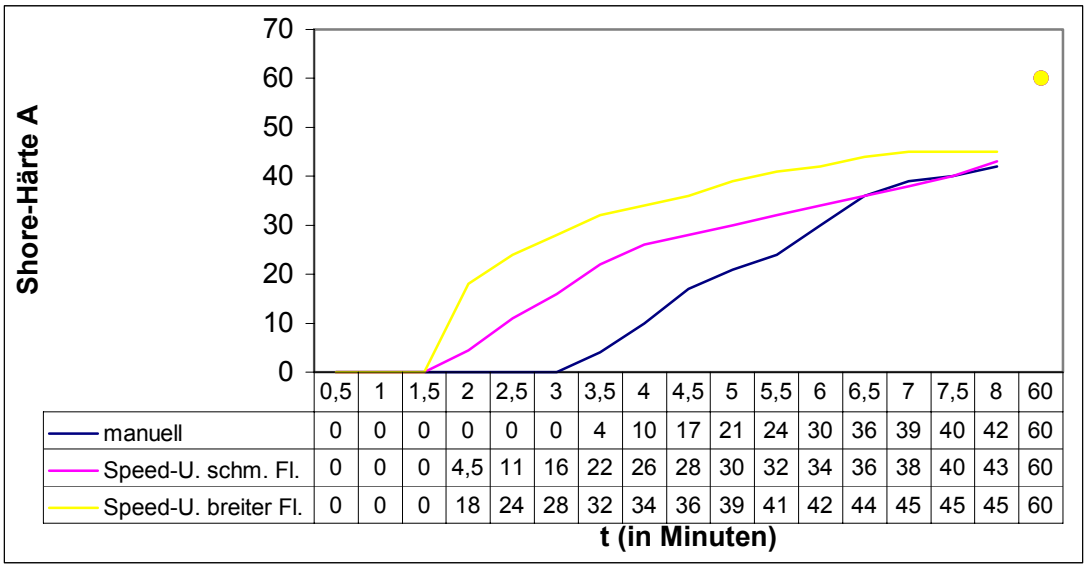
Die in Abb. 25 dargestellten Materialproben sind nach Mischmethoden angeordnet. Die obere Probe zeigt das Ergebnis nach manueller Mischtechnik, die mittlere Probe zeigt das Ergebnis nach Anmischen mit dem *Speed-Unguator* unter Verwendung eines schmalen Mischflügels, die untere Aufnahme unter Verwendung eines breiten Mischflügels. Alle Proben weisen Porositäten auf. Besonders die untere Probe zeigt generalisiert kleine bis große Blasen, auch die mittlere Probe zeigt eine große Anzahl kleiner Blasen. Die obere Probe weist ebenfalls eine Vielzahl von mittleren bis großen Blasen auf, es fehlt jedoch die große Anzahl kleiner Blasen. Andeutungsweise lassen sich in der mittleren und unteren Probe farbliche Inhomogenitäten erkennen.

C.2.3.8 Impregum F

Die Dosierung von *Imregum F* erfolgte nach Herstellerangaben: 14 ml Basispaste wurden 2 ml Katalysatorpaste zugesetzt. Das Vermischen erfolgte in 3 Serien (manuell, maschinell mit großem und kleinem Flügel). Das manuelle Anmischen erfolgte mit Hilfe eines Spatels auf einem Anmischblock; dieser Vorgang dauerte ca. 45 sec. Das maschinelle Anmischen erfolgte nach Angaben des *Speed-Unguator*-Herstellers für Polyether mit einer Drehzahl von 1450 U/min und über eine Dauer von 10 sec.

Ergebnisse:

Der Viskositätsanstieg des mittelfließenden Polyethers *Impregum F* ist in der maschinellen Serie mit breitem Flügel nach 1,5 min und mit schmalem Flügel nach 2 min messbar. In der manuellen Serie sind erste Shore-Härte A-Werte nach 3,5 min messbar. In der manuellen und der maschinellen Serie mit kleinem Flügel erfolgt der Anstieg der Shore-Härte innerhalb der gemessenen 8 min kontinuierlich. In der maschinellen Serie mit großem Flügel erfolgt innerhalb der ersten 3 min ein starker Anstieg der Viskosität, anschließend nimmt der Viskositätszuwachs ab (Tab. 20).



	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	60
manuell	0	0	0	0	0	0	4	10	17	21	24	30	36	39	40	42	60
Speed-U. schm. Fl.	0	0	0	4,5	11	16	22	26	28	30	32	34	36	38	40	43	60
Speed-U. breiter Fl.	0	0	0	18	24	28	32	34	36	39	41	42	44	45	45	45	60

Tabelle 20: Shore-Härte A-Anstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Impregum F*

Die maschinellen Techniken verursachen die höchsten Temperaturerhöhungen mit 13,6 °C bei der Verwendung des breiten Flügels und 7,7 °C bei der Verwendung eines schmalen Flügels. Das manuelle Anmischen erwärmt die Massen um 2,4 °C (siehe Tab. 21).

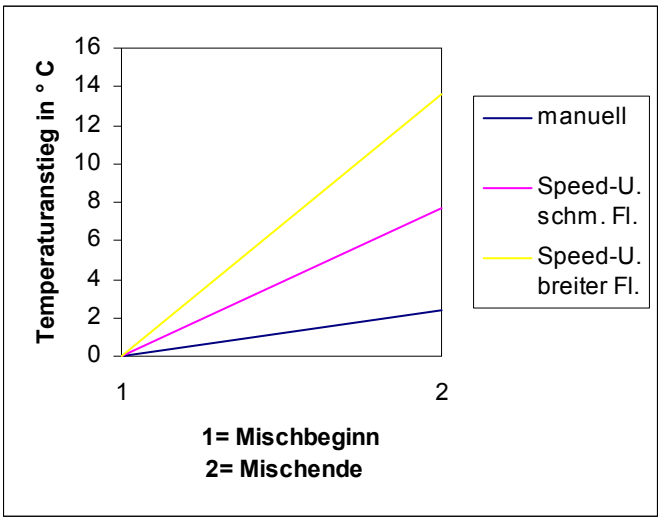


Tabelle 21: Temperaturanstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Impregum F*

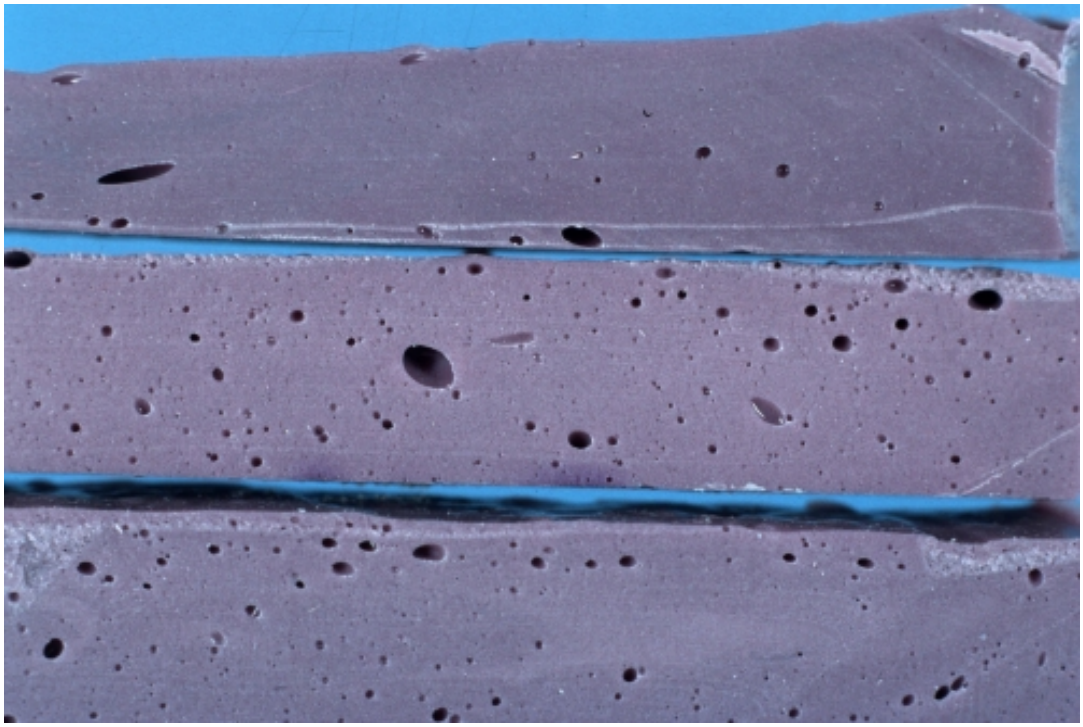


Abbildung 26: *Impregum F*. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

Die in Abb. 26 dargestellten Materialproben sind nach Mischmethoden angeordnet. Die obere Probe zeigt das Ergebnis nach manueller Mischtechnik , die mittlere Probe zeigt das Ergebnis nach Anmischen mit dem *Speed-Unguator* unter Verwendung eines schmalen Mischflügels, die untere Aufnahme unter Verwendung eines breiten Mischflügels. Alle Proben weisen Porösitäten auf. Besonders die unteren Proben zeigen generalisiert Blasen aller Kaliber, wodurch das Material aufgelockert erscheint. Auch farblich heben sich die unteren Proben durch einen helleren Grundton von der oberen Probe ab. Die obere Probe erscheint trotz auftretender Blasen kompakt und homogen durchmischt. In der unteren Probe sind weißliche Schleier zu erkennen.

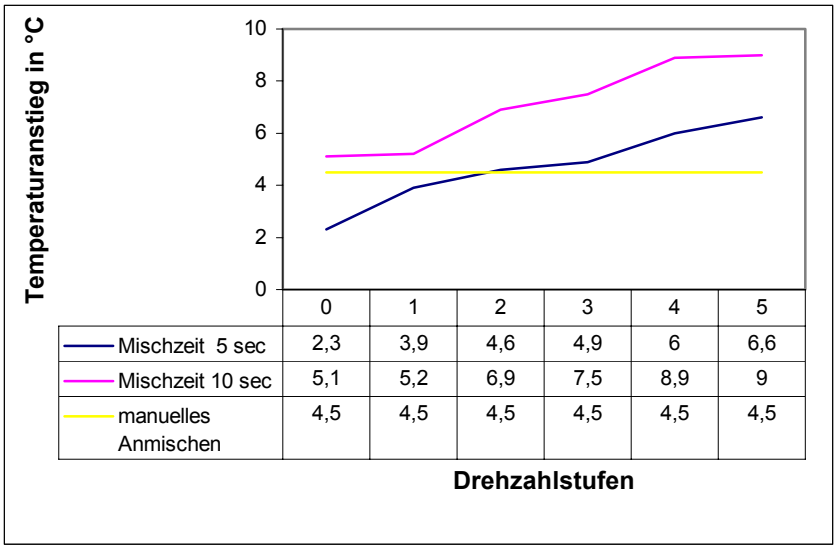
C.2.4 Versuchsreihen und Ergebnisse mit reduzierter Drehzahl und Anmischzeit

Verwendet man für die Einstellung von Drehzahl und Mischzeit die vom Hersteller des *Speed-Unguator–Dental* angegebenen Werte, so führt das besonders bei den hochviskösen Elastomeren *Silaplast, Optosil comfort* und *Provil novo Putty soft* zu einem frühzeitigen Abbinden und Ansteigen der Viskosität. Die ermittelten Viskositätswerte lassen eine präzise Abformung, frei von endogenen Spannungen, nicht erwarten.

Aufgrund der Überlegung, dass ein Reduzieren der Mischzeit und/oder Drehzahl zu einer minderhohen Temperaturentwicklungen während des Mischvorganges und so zu einer Verlängerung der Verarbeitungszeit führen könnte, entstand der Gedanke, die Drehzahl und Mischzeit soweit herunterzufahren, dass die Abformmaterialien gerade noch homogen durchmischt werden, aber bei einer möglichst geringen Temperaturentwicklung. Die Versuche wurden in Kruken mit 50 ml Nennvolumen und mit einem schmalen Mischflügel durchgeführt.

Die folgenden Tabellen zeigen den Temperaturanstieg direkt nach dem Mischende und die Shore-Härte A-Entwicklung für die hochviskösen Elastomere *Silaplast, Optosil comfort* und *Provil novo Putty soft* während der ersten 2 bzw. 4 min nach Mischende. Zur besseren Orientierung sind die entsprechend ermittelten Werte bei manueller Anmischung mit eingezeichnet.

C.2.4.1 Silaplast + Katalysator flüssig



	0	1	2	3	4	5
Mischzeit 5 sec	2,3	3,9	4,6	4,9	6	6,6
Mischzeit 10 sec	5,1	5,2	6,9	7,5	8,9	9
manuelles Anmischen	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

Tabelle 22: Temperaturanstieg bei *Silaplast* + *K*atalysator flüssig in Abhängigkeit von der Mischzeit- und Mischdrehzahl

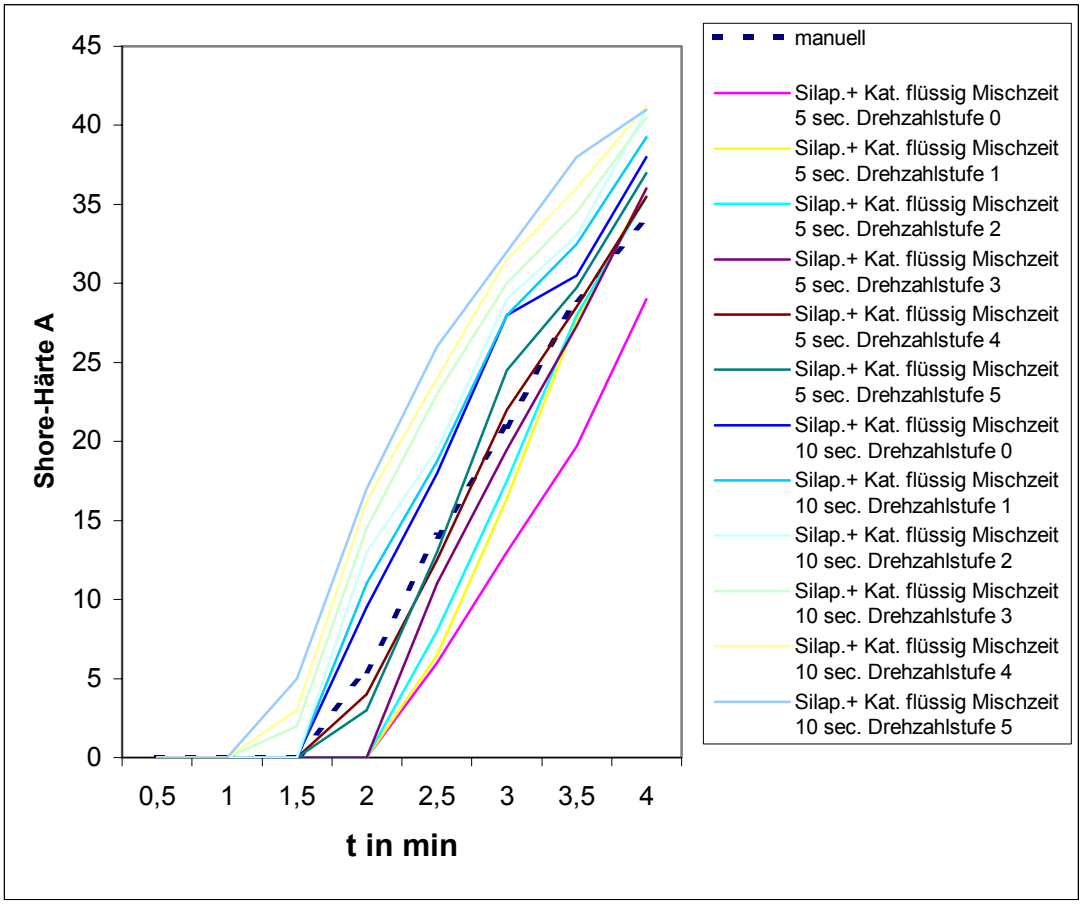


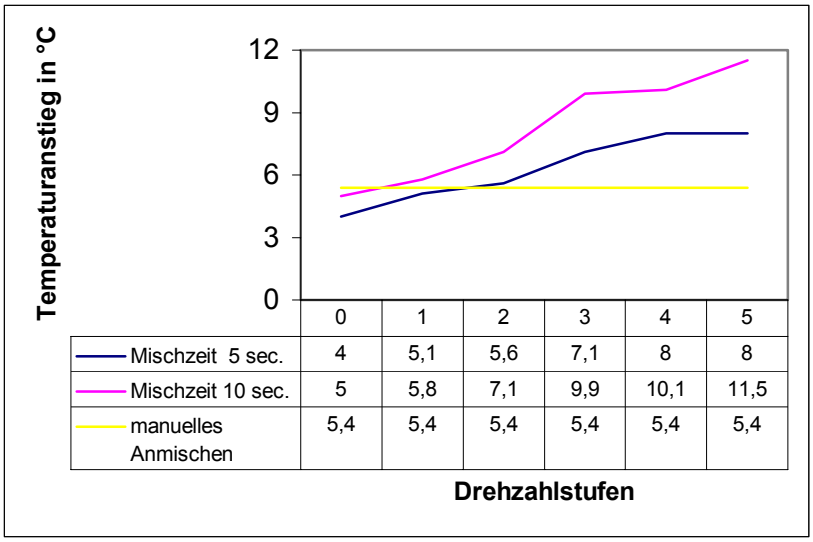
Tabelle 23: Shore-Härte A-Anstieg bei *Silaplast* + Katalysator flüssig in Abhängigkeit von der Mischzeit und Mischdrehzahl

Bei einer Anmischzeit von 5 sec wurde das Material bei den Drehzahlstufen 0, 1, 2 und 3 nach optischer Beurteilung der Proben nicht homogen durchmischt. Bei den Drehzahlstufen 4 und 5 erfolgte nach optischen Kriterien eine homogene Durchmischung der Komponenten. Bei einer Anmischzeit von 10 sec erbrachte die optische Beurteilung der Proben bei allen Drehzahlstufen eine homogene Durchmischung der Komponenten.

t in min	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
manuell	0	0	0	5,5	14	21	29	34
Silap.+ Kat. flüssig Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 0	0	0	0	0	6	13	19,7	29
Silap.+ Kat. flüssig Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 1	0	0	0	0	6,5	16,4	27,7	36
Silap.+ Kat. flüssig Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 2	0	0	0	0	8	17,5	28	35,5
Silap.+ Kat. flüssig Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 3	0	0	0	0	11	19,5	27,3	36
Silap.+ Kat. flüssig Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 4	0	0	0	4	12,5	22	28,5	35,5
Silap.+ Kat. flüssig Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 5	0	0	0	3	13	24,5	29,8	37
Silap.+ Kat. flüssig Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 0	0	0	0	9,5	18	28	30,5	38
Silap.+ Kat. flüssig Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 1	0	0	0	11	18,8	28	32,5	39,3
Silap.+ Kat. flüssig Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 2	0	0	0	13	19,5	29	33	41
Silap.+ Kat. flüssig Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 3	0	0	2	14,5	23	30	34,5	40,5
Silap.+ Kat. flüssig Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 4	0	0	3	16,3	24	31,5	36	41,3
Silap.+ Kat. flüssig Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 5	0	0	5	17	26	32	38	41

Tabelle 24: Shore-Härte A-Werte in Abhängigkeit von Mischzeit und Mischdrehzahl

C.2.4.2 Silaplast + Katalysatorpaste



	0	1	2	3	4	5
Mischzeit 5 sec.	4	5,1	5,6	7,1	8	8
Mischzeit 10 sec.	5	5,8	7,1	9,9	10,1	11,5
manuelles Anmischen	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4

Tabelle 25: Temperaturanstieg bei *Silaplast* + Katalysatorpaste in Abhängigkeit von der Mischzeit- und Mischmethode

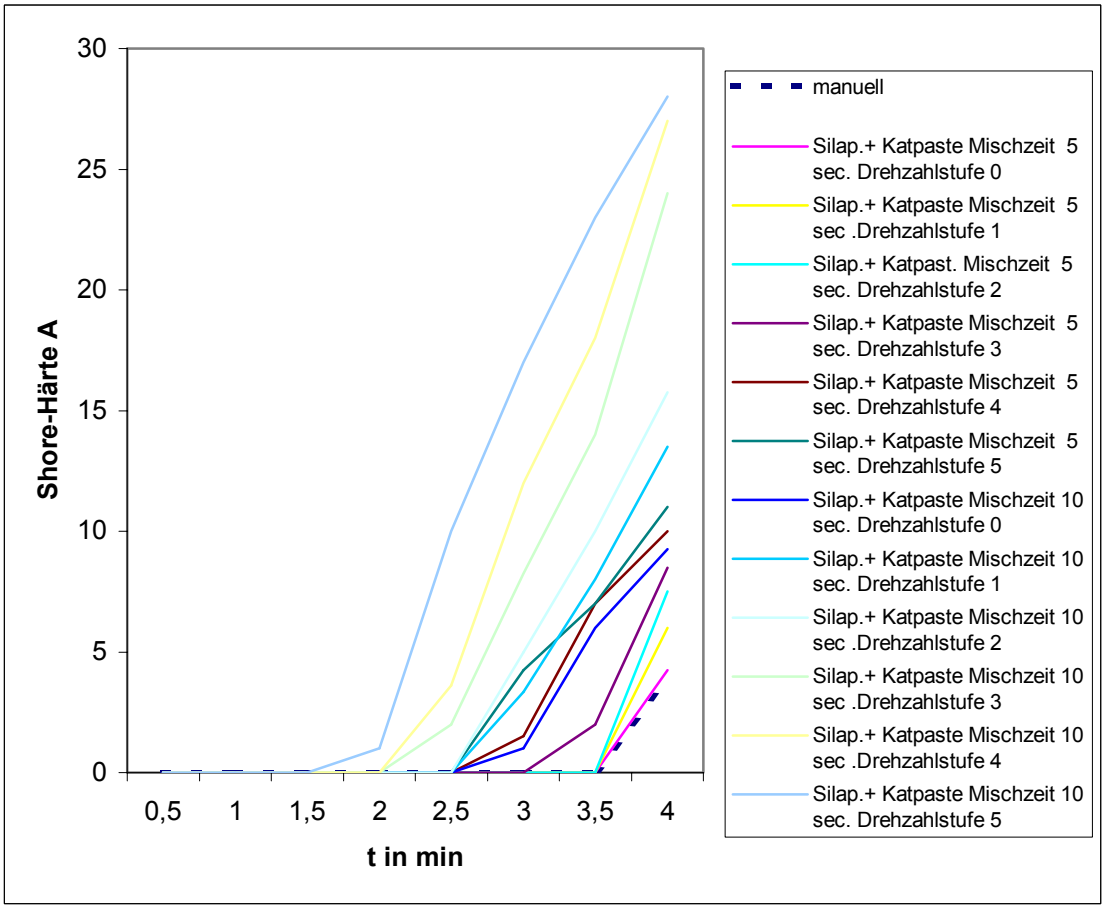


Tabelle 26: Shore-Härte A-Anstieg bei *Silaplast* + Katalysatorpaste in Abhängigkeit von der Mischzeit und Mischdrehzahl

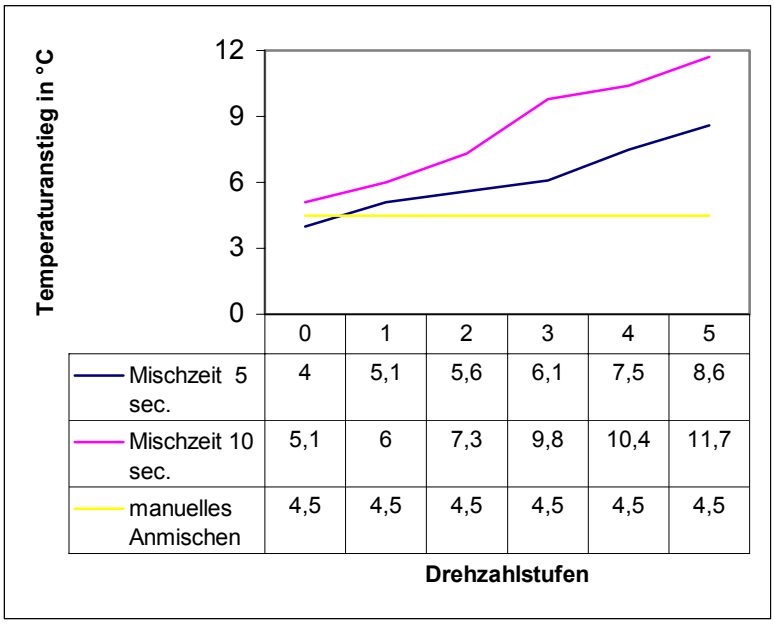
Bei einer Anmischzeit von 5 sec wurde das Material bei den Drehzahlstufen 0, 1, 2, 3, und 4 nach optischer Beurteilung der Proben nicht homogen durchmischt. Bei der Drehzahlstufe 5 erfolgte nach optischen Gesichtspunkten eine homogene Durchmischung der Komponenten.

Bei einer Anmischzeit von 10 sec erbrachte die optische Beurteilung der Proben bei allen Drehzahlstufen eine homogene Durchmischung der Komponenten.

t in min	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
manuell	0	0	0	0	0	0	0	3,8
Silap.+ Katpaste Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 0	0	0	0	0	0	0	0	4,25
Silap.+ Katpaste Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 1	0	0	0	0	0	0	0	6
Silap.+ Katpaste Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 2	0	0	0	0	0	0	0	7,5
Silap.+ Katpaste Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 3	0	0	0	0	0	0	2	8,5
Silap.+ Katpaste Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 4	0	0	0	0	0	1,5	7	10
Silap.+ Katpaste Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 5	0	0	0	0	0	4,25	7	11
Silap.+ Katpaste Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 0	0	0	0	0	0	1	6	9,25
Silap.+ Katpaste Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 1	0	0	0	0	0	3,35	8	13,5
Silap.+ Katpaste Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 2	0	0	0	0	0	5	10	15,8
Silap.+ Katpaste Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 3	0	0	0	0	2	8,25	14	24
Silap.+ Katpaste Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 4	0	0	0	0	3,6	12	18	27
Silap.+ Katpaste Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 5	0	0	0	1	10	17	23	28

Tabelle 27: Shore-Härte A-Werte in Abhängigkeit von Mischzeit und Mischdrehzahl

C.2.4.3 Optosil comfort



	0	1	2	3	4	5
Mischzeit 5 sec.	4	5,1	5,6	6,1	7,5	8,6
Mischzeit 10 sec.	5,1	6	7,3	9,8	10,4	11,7
manuelles Anmischen	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

Tabelle 28: Temperaturanstieg bei *Optosil comfort* in Abhängigkeit von der Mischzeit- und Mischdrehzahl

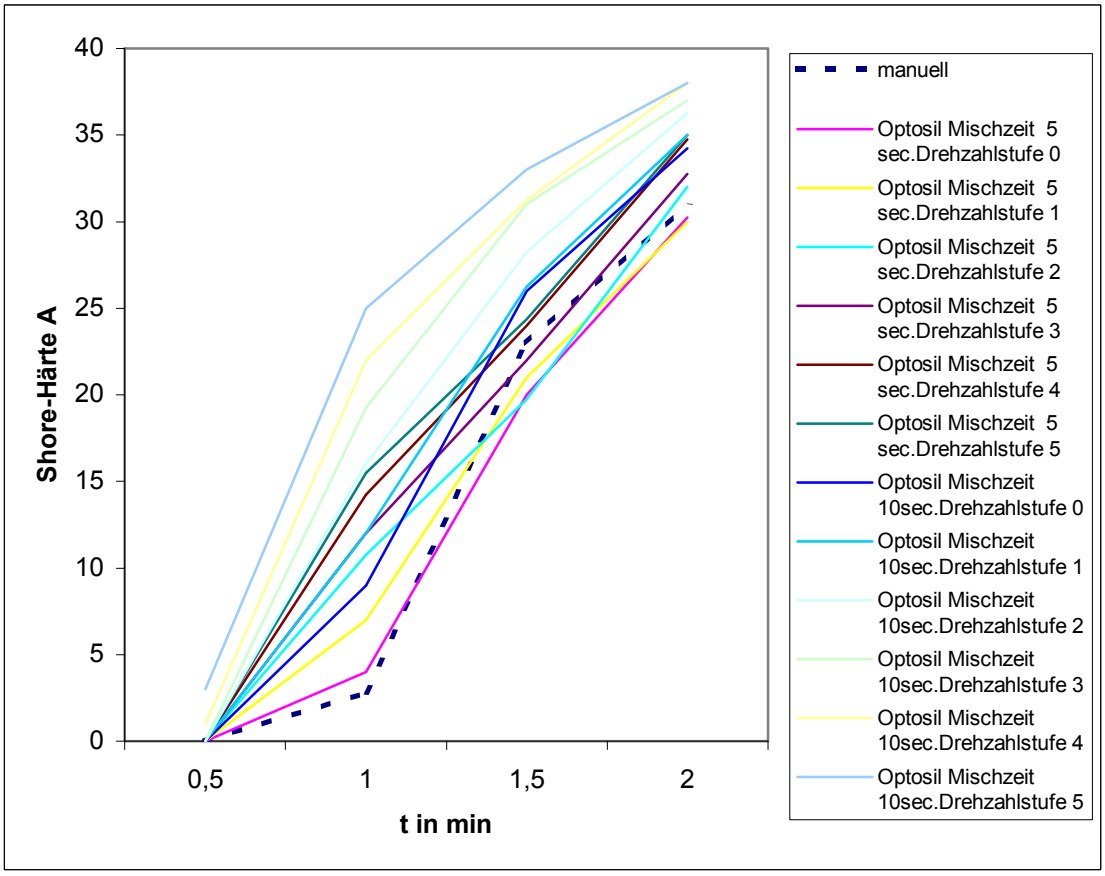


Tabelle 29: Shore-Härte A-Anstieg bei *Optosil comfort* in Abhängigkeit von der Mischzeit- und Mischdrehzahl

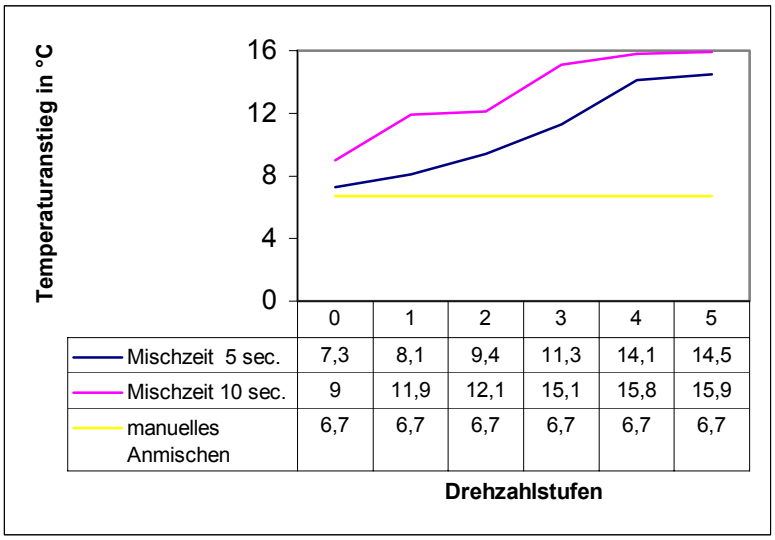
Bei einer Anmischzeit von 5 sec wurde das Material bei den Drehzahlstufen 0, 1 und 2 nach optischer Beurteilung der Proben nicht homogen durchmischt. Bei den Drehzahlstufen 3, 4 und 5 erfolgte nach optischen Gesichtspunkten eine homogene Durchmischung der Komponenten.

Bei einer Anmischzeit von 10 sec erbrachte die optische Beurteilung bei allen Drehzahlstufen eine homogene Durchmischung der Komponeneten.

t in min	0,5	1	1,5	2
manuell	0	2,8	23	31
Optosil Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 0	0	4	20	30,3
Optosil Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 1	0	7	21	30
Optosil Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 2	0	10,8	19,8	32
Optosil Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 3	0	12	22	32,8
Optosil Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 4	0	14,3	24	34,8
Optosil Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 5	0	15,5	24,4	35
Optosil Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 0	0	9	26	34,3
Optosil Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 1	0	12	26,3	35
Optosil Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 2	0	16	28,3	36,3
Optosil Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 3	0	19,3	31	37
Optosil Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 4	1	22	31,3	38
Optosil Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 5	3	25	33	38

Tabelle 30: Shore-Härte A-Werte in Abhängigkeit von Mischzeit und Mischdrehzahl

C.2.4.4 Provil novo Putty soft



	0	1	2	3	4	5
Mischzeit 5 sec.	7,3	8,1	9,4	11,3	14,1	14,5
Mischzeit 10 sec.	9	11,9	12,1	15,1	15,8	15,9
manuelles Anmischen	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7

Tabelle 31: Temperaturanstieg bei *Provil novo Putty soft* in Abhängigkeit von der Mischzeit- und Mischdrehzahl

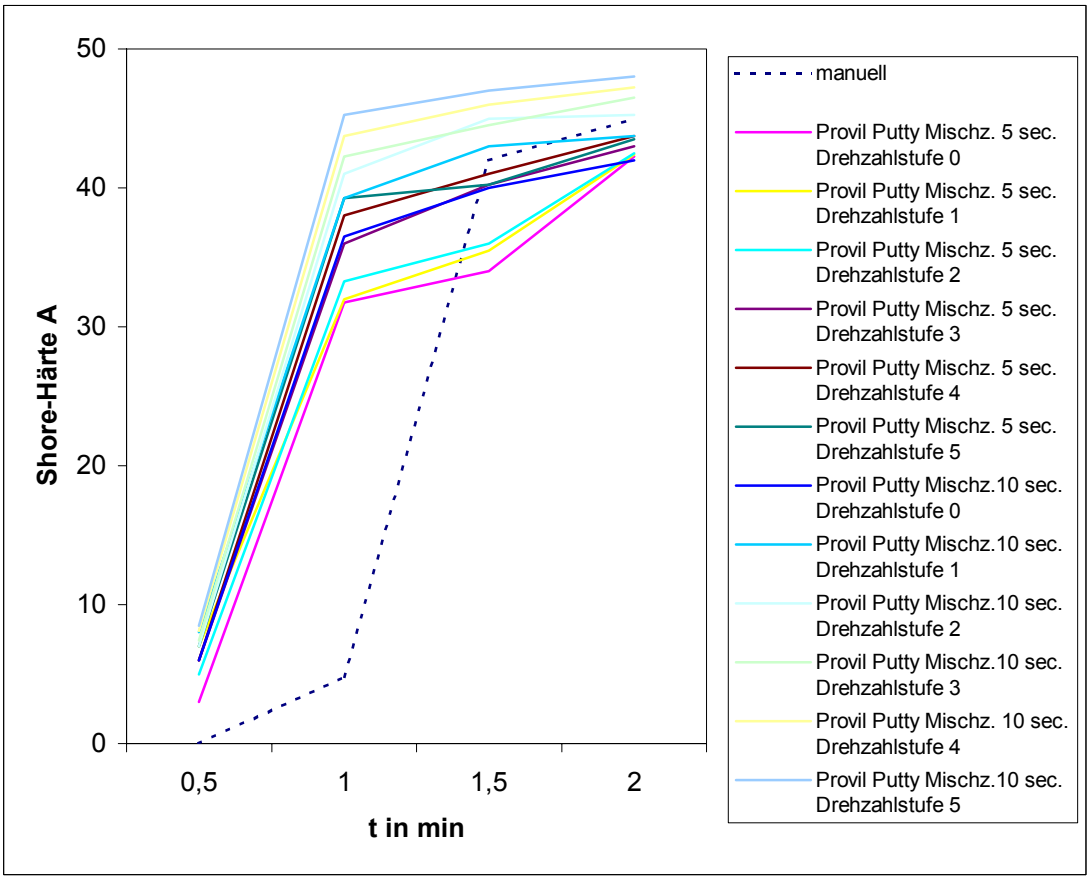


Tabelle 32: Shore-Härte A-Anstieg bei *Provil novo Putty soft* in Abhängigkeit von der Mischzeit und Mischdrehzahl

Das Abformmaterial Provil novo Putty soft befindet sich nach dem Anmischvorgang durch den *Speed-Unguator-Dental* in einem fast abgebundenen Zustand. Auch durch das Reduzieren der Mischdrehzahl und Mischzeit lässt sich die plastische Phase des Abformmaterials nicht wesentlich verlängern.

t in min	0,5	1	1,5	2
manuell	0	4,8	42	45
Provil novo Putty soft Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 0	3	31,8	34	42,3
Provil novo Putty soft Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 1	7	32	35,5	42,4
Provil novo Putty soft Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 2	5	33,3	36	42,5
Provil novo Putty soft Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 3	6	36	40,3	43
Provil novo Putty soft Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 4	6	38	41	43,8
Provil novo Putty soft Mischzeit 5 sec Drehzahlstufe 5	7	39,3	40,3	43,5
Provil novo Putty soft Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 0	6	36,5	40	42
Provil novo Putty soft Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 1	8	39,3	43	43,8
Provil novo Putty soft Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 2	7	41	45	45,3
Provil novo Putty soft Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 3	7,4	42,3	44,5	46,5
Provil novo Putty soft Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 4	8,1	43,8	46	47,3
Provil novo Putty soft Mischzeit 10 sec Drehzahlstufe 5	8,5	45,3	47	48

Tabelle 33: Shore-Härte A-Werte in Abhängigkeit von Mischzeit und Mischdrehzahl

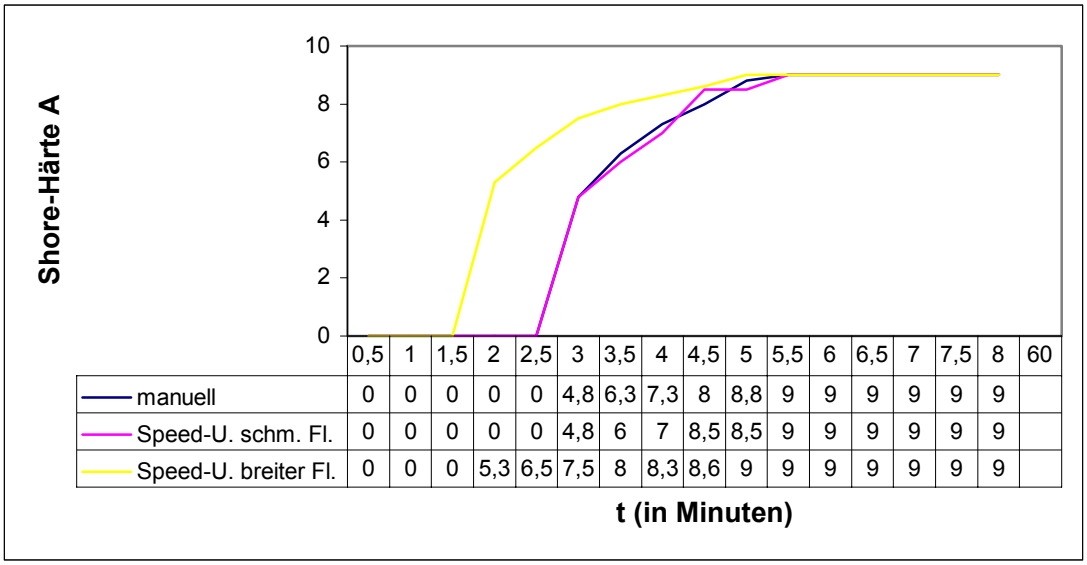
C.3 Alginat

C.3.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Die Dosierung des schnellabbindenden Alginats *Bluepint Cremex* richtet sich nach den Herstellerangaben. 7,35g Alginat wurden 17 ml Wasser zugesetzt. Das Vermischen erfolgte wiederum in 3 Serien (manuell, maschinell mit großem und kleinem Flügel). Das manuelle Mischen erfolgte in einem Alginatanmischbecher mit Hilfe eines Spatels und dauerte ca. 15 sec. Das maschinelle Anmischen erfolgte nach Angaben des *Speed-Unguator* Herstellers für Alginate mit einer Drehzahl von 1130 U/min für eine Dauer von 5 sec. Die Ausgangstemperatur betrug für das Alginatpulver 23 °C und für das zugesetzte Wasser 22 °C.

C.3.2 Ergebnisse

Durch keine der angewandten Anmischvarianten erfährt das Alginat eine deutliche Temperaturerhöhung. Die höchste Temperaturerhöhung von 1,7 °C wurde beim maschinellen Anmischen mit breitem Flügel gemessen. Die niedrigste Temperaturerhöhung von 1,3 °C verursacht das manuelle Anmischen, die maschinelle Serie mit kleinem Flügel verursacht mit 1,4 °C nur eine geringfügig größere Temperaturerhöhung (siehe Tab. 30). Erste Shore-Härte A-Messungen waren nach 2 min bei maschinellem Anmischen unter Verwendung des großen Flügels registrierbar. Bei der manuellen und maschinellen Serie mit kleinem Flügel waren erste messbare Viskositätsanstiege erst nach 3 min zu verzeichnen. Der Shore-Härte A-Anstieg der manuellen und maschinellen Serie mit kleinem Flügel verläuft mit fast gleichen Werten. Die maschinelle Serie mit großem Flügel zeigt den gleichen Viskositätskurvenverlauf, jedoch beginnt dieser eine Minute früher (siehe Tab. 29).



	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	60
manuell	0	0	0	0	0	4,8	6,3	7,3	8	8,8	9	9	9	9	9	9	
Speed-U. schm. Fl.	0	0	0	0	0	4,8	6	7	8,5	8,5	9	9	9	9	9	9	
Speed-U. breiter Fl.	0	0	0	5,3	6,5	7,5	8	8,3	8,6	9	9	9	9	9	9	9	

Tabelle 34: Shore-Härte A-Anstieg durch verschiedene Anmischmethoden bei *Blueprint Cremex*

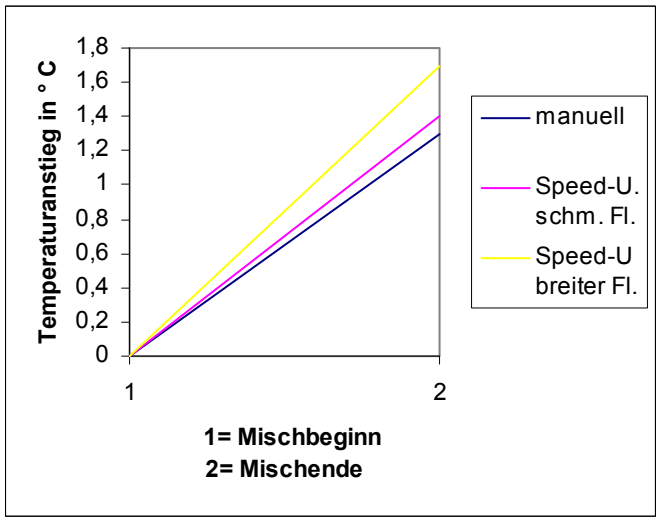


Tabelle 35: Temperaturanstieg durch verschiedene Mischmethoden bei *Blueprint Cremex*

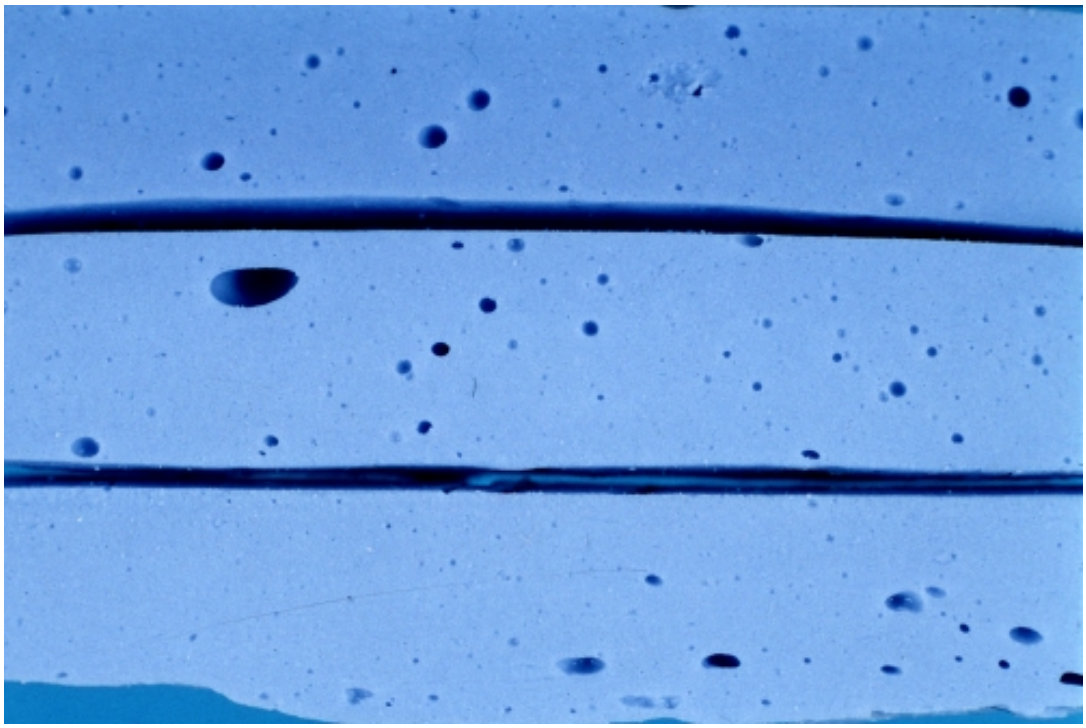


Abbildung 27: *Blueprint Cremex*. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

Die in Abb. 27 dargestellten Materialproben sind nach Mischmethoden angeordnet. Die obere Probe zeigt das Ergebnis nach manueller Mischtechnik, die mittlere Probe zeigt das Ergebnis nach Anmischen mit dem *Speed-Unguator* unter Verwendung eines schmalen Mischflügels, die untere Aufnahme unter Verwendung eines breiten Mischflügels. Alle Proben weisen Porositäten unterschiedlichster Kaliber auf. Die Blasen treten bei den unteren Proben generalisiert auf. Farblich lassen sich die drei Proben nicht unterscheiden.

Das angemischte Alginat läßt sich unabhängig von der Mischtechnik durch Hochdrücken des Krukenbodens aus der Deckelöffnung problemlos z. B. in einen Abformlöffel applizieren.

C.4 Gips

C.4.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Neben den Versuchen mit irreversibel elastischen Abformmassen wurden auch die Auswirkungen des maschinellen Anmischens durch den *Speed-Unguator* auf Gipse untersucht. Der Hersteller gibt für die Anwendung alle Gipsarten frei. Die Versuchsserien wurden mit 3 verschiedenen Gipstypen durchgeführt.

1.Typ 2-Alabastergips (*Snow White Plaster No. 2*)
2.Typ 3-Hartgips (*Occlumedanit*)
3.Typ 4-Hartgips, extrahart (*Silky Rock*)

In den durchgeführten Vorversuchen zeigte sich, dass das Messen des Shore-Härte A-Verlaufs und der Temperatur während des Abbindeverlaufs von Gips wenig aussagekräftig für die Qualität des Mischens ist. Nach dem Mischvorgang wurde für jede Gipssorte und Mischmethode nur der Zeitpunkt notiert, an dem der erste Shore-Härte A-Wert messbar war.
Um die Qualität des Mischgutes beurteilen zu können, wurden von den verschiedenen Gipsarten jeweils Versuchsserien mit dem *Speed-Unguator-Dental,* von Hand in einem Gipsanmischbecher und mit der *BEGO Motora SL* Gipsanmischmaschine angefertigt und gegenübergestellt. Die angefertigten Gipsproben wurden nach 24 h aus ihrer Form entnommen. Um evtl. Porösitäten, Einschlüsse, Blasen und nicht homogen vermischte Bereiche besser aufdecken und beurteilen zu können, wurden mit Hilfe einer *Struers DP-U2* Präzisionsschleifmaschine die Längsflächen der Proben plan geschliffen. Bei dem dabei verwendeten Schleifpapier handelt es sich um Waterproof *Silicon Carbide Paper 320.* Von jedem Material und jeder Mischmethode wurden 4 Proben angefertigt (36 insgesamt).

Für die manuellen Serien wurden 200 g Gipspulver in 188 ml Wasser eingestreut und für 10 sec sickern gelassen. Das manuelle Mischen erfolgte mit Hilfe eines Mischspatels durch Ausstreichen des Gipsbreis an den Rand des Anmischbechers.

Um Lufteinschlüsse zu vermeiden, wurden hektische Rührbewegungen vermieden. Die Gipsanrührmaschine der Firma BEGO wurde mit der gleichen Menge Pulver und Wasser beschickt. Nach 10 sec Sickerzeit wurde die Maschine gestartet, die das Mischen mit einer Drehzahl von 380 U/min und einem Vakuum von 70 mbar für 30 sec durchführte.

Die vorhandenen Kruken des *Speed-Unguator*, mit einem max. Füllvolumen von 140 ml, erlaubten nicht das Anmischen gleicher Mengen Gips wie bei den manuellen Serien oder mit der *BEGO* Gipsanrührmaschine. Es wurden jeweils 80 g Gipspulver angemischt. Auch hier wurde der Mischvorgang erst nach einer Sickerzeit von 10 sec. gestartet. Das Mischen wurde mit einer Drehzahl von 650 U/min und für eine Dauer von 30 sec durchgeführt. Nach dem Mischen wurde der Gipsbrei für 24 h in der Kruke belassen. Der Gipsbrei, der von Hand und mit der Gipsanrührmaschine der Firma *BEGO* angemischt wurde, wurde ebenfalls in Kruken gleicher Größe gefüllt und für 24 h zum Aushärten stehengelassen.

C.4.2 Versuchsreihen und Ergebnisse

C.4.2.1 Snow White Plaster No. 2

Manuell und mit der *BEGO* Anmischmaschine wurden jeweils 200 g Gipspulver mit 188 g Wasser angemischt. Die Unguator Kruken wurden mit 80 g Gipspulver und 75 g Wasser beschickt.

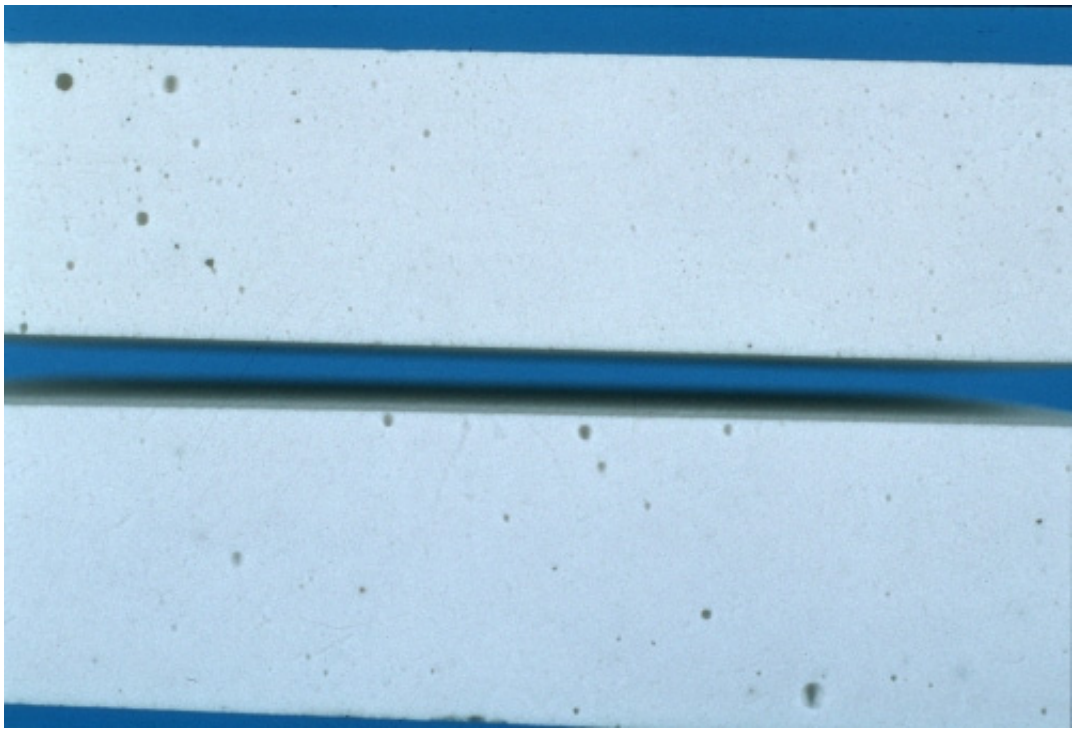


Abbildung 28: *Snow White* manuell / Unguator Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

Die untere Probe der in Abb. 28 dargestellten Materialproben wurde manuell erstellt, die obere Probe mit Hilfe des Speed-Unguator angefertigt. Beide Proben weisen Porösitäten kleiner bis mittlerer Kaliber auf. Die Blasen treten generalisiert auf und lassen sich nicht auf begrenzte Bezirke festlegen. Farblich differenzieren die Proben nur unwesentlich voneinander.

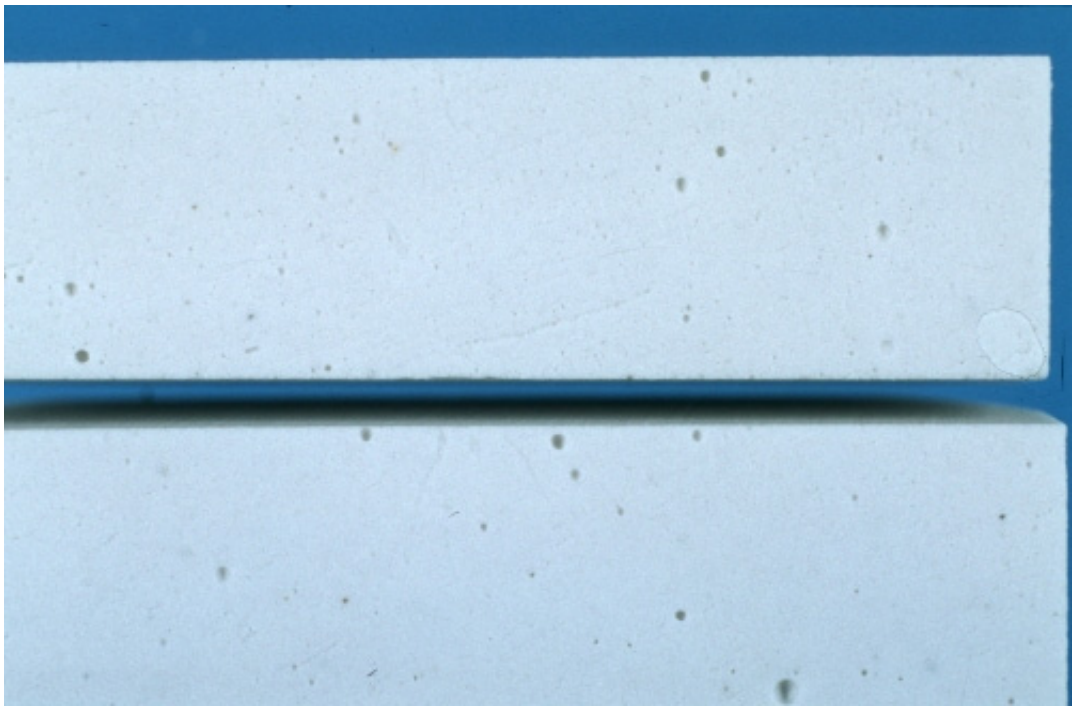


Abbildung 29: *Snow White* manuell / BEGO. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

Die untere Probe der in Abb. 29 dargestellten Materialproben wurde manuell erstellt, die obere Probe mit Hilfe einer *BEGO*-Gipsanrührmaschine. Beide Proben weisen Porositäten kleiner bis mittlerer Kaliber auf. Beide Materialproben erscheinen farblich homogen, wobei die untere Probe in einem helleren Grundton auftritt.

C.4.2.2 Occlumedanit

Manuell und mit der *BEGO*-Anmischmaschine wurden jeweils 200 g Gipspulver mit 60 ml Wasser angemischt. Die *Unguator Kruken* wurden mit 80 g Gipspulver und 24 ml Wasser beschickt.

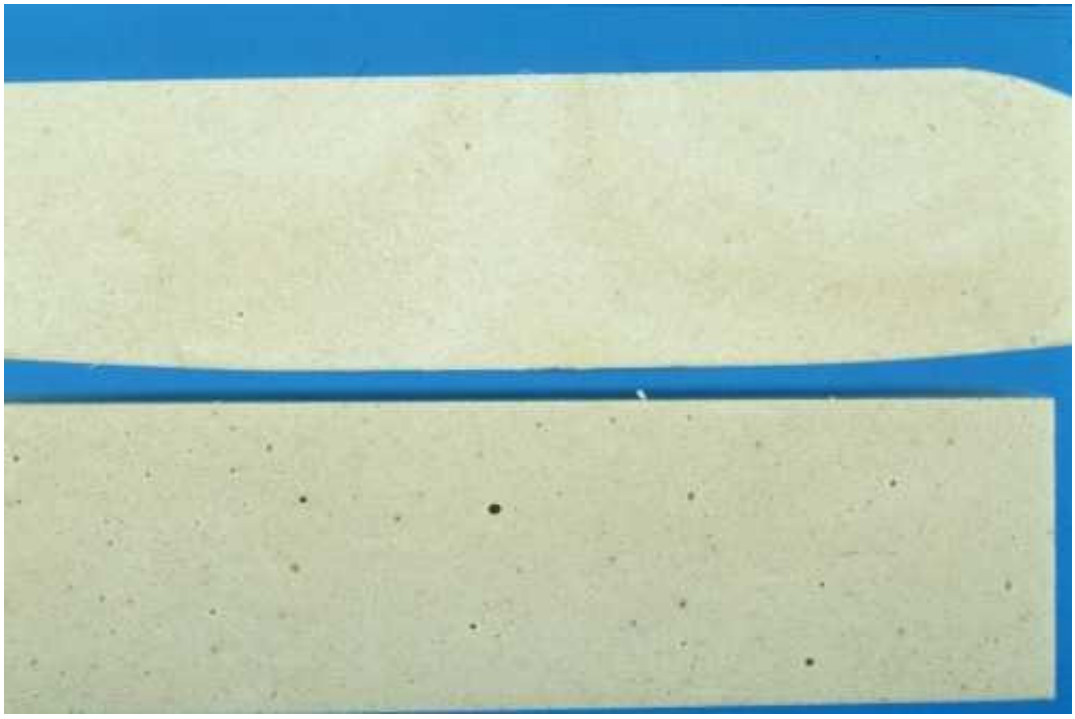


Abbildung 30: *Occlumedanit* manuell / Unguator. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

Die untere Probe der in Abb. 30 dargestellten Materialproben wurde manuell erstellt, die obere Probe mit Hilfe des *Speed-Unguator* angefertigt. Die untere Probe ist fast blasenfrei, die obere Probe weist Porositäten kleinen bis mittleren Kalibers auf. Die obere Probe erscheint farblich einheitlich, aber in einem dunkleren Grundton als die untere Probe. Die untere Probe erscheint von der Struktur kompakt, jedoch weist sie, von der Mitte beginnend, weißlich bogenförmige Schlieren auf.

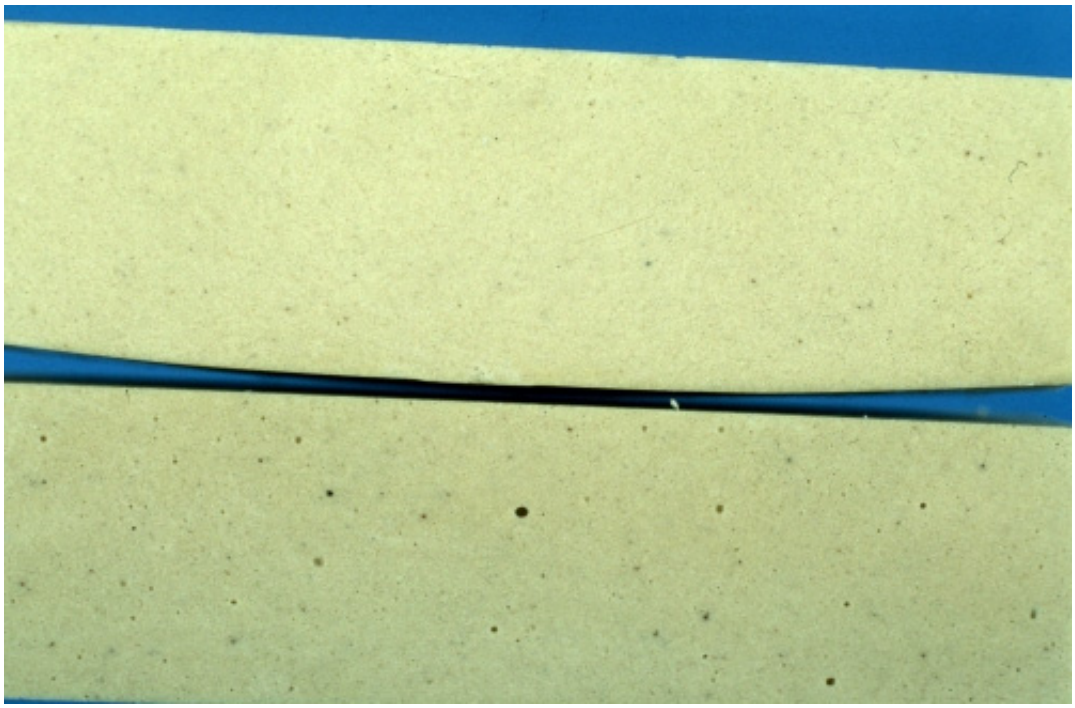


Abbildung 31: *Occlumedanit* manuell / BEGO. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

Die untere Probe der in Abb. 31 dargestellten Materialproben wurde manuell erstellt, die obere Probe mit Hilfe einer *BEGO*-Gipsanrührmaschine. Beide Proben zeigen eine kompakte Struktur, wobei die untere Probe blasenfrei erscheint, in der oberen Probe fallen vereinzelt Blasen kleinen bis mittleren Kalibers auf. Farblich zeigt sich jede Probe für sich einheitlich, wobei die untere Probe heller erscheint.

C.4.2.3 Silky Rock

Manuell und mit der *BEGO* Anmischmaschine wurden 200 g Gipspulver und 46 ml Wasser angemischt. Die *Unguator Kruken* wurden mit 80 g Gipspulver und 18 ml Wasser beschickt.

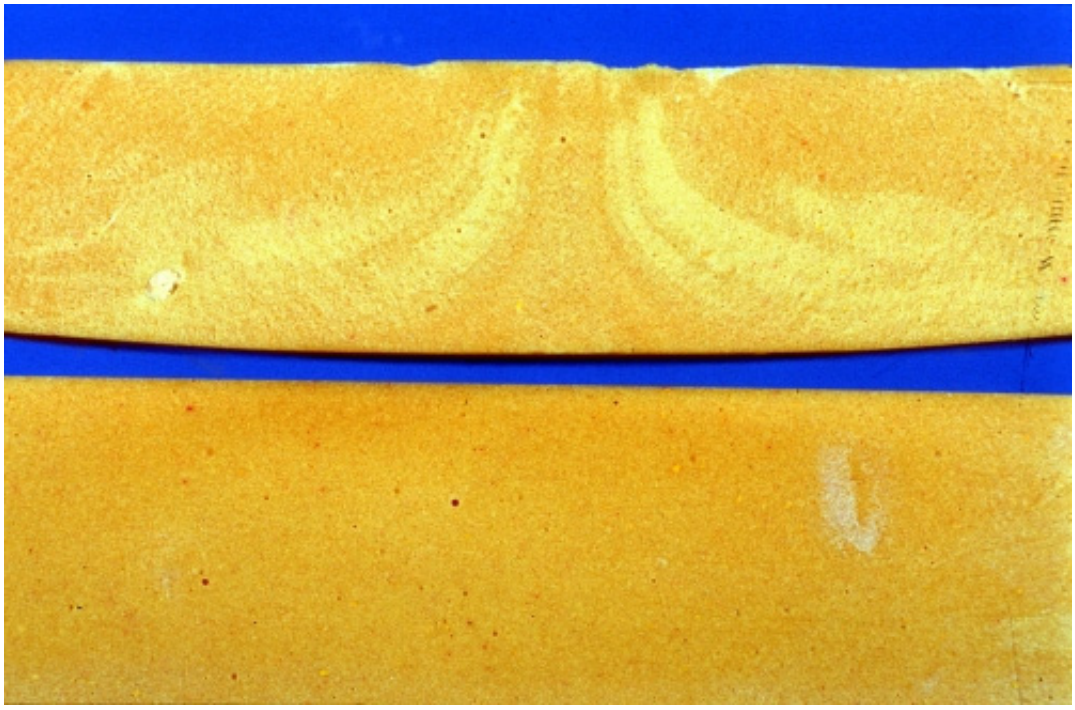


Abbildung 32: *Silky Rock* manuell / Unguator. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

Die untere Probe der in Abb. 32 dargestellten Materialproben wurde manuell erstellt, die obere Probe mit Hilfe des *Speed-Unguator* angefertigt. Beide Proben zeigen eine kompakte Struktur, in der vereinzelt Blasen kleinen Kalibers festzustellen sind. Farblich erscheint die obere Probe fast schlierenfrei und in einem deutlich dunkleren Ton als die untere Probe. Diese weist zudem in der Mitte der Probe beginnende weißlich bogenförmige Schlieren auf.

Abbildung 33: *Silky Rock* manuell / BEGO. Die Originalgröße der Proben entspricht ca. 25 × 40 mm.

Die untere Probe der in Abb. 33 dargestellten Materialproben wurde manuell erstellt, die obere Probe mit Hilfe einer *BEGO*-Gipsanrührmaschine. Beide Proben erscheinen kompakt und fast blasenfrei. Farblich erscheint jede Probe für sich in einen einheitlichen Ton, wobei die untere Probe etwas heller ausfällt.

C.4.3 Abbindeverhalten

Um die Auswirkungen der verschiedenen Mischmethoden auf das Abbindeverhalten der einzelnen Gipssorten zu untersuchen, wurde jeweils der Zeitpunkt der ersten messbaren Shore-Härte A notiert und die Ergebnisse in einer Tabelle dargestellt (siehe Tab. 31).

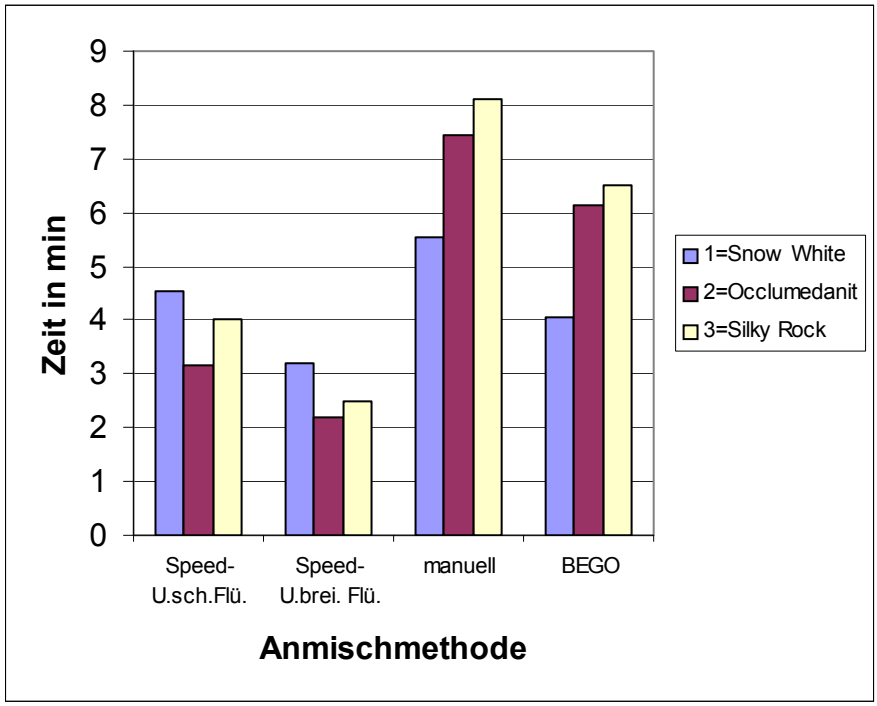


Tabelle 36: Gibt die jeweilige Zeit in min nach Mischende für verschiedene Mischmethoden und Gipssorten an, bis der erste Shore-Härte A-Wert messbar ist.

Wird Gips mit dem *Speed-Unguator* in 200 ml Kruken unter Verwendung eines breiten Mischflügels angemischt, so vergehen bis zur ersten messbaren Shore-Härte A bei *Occlumedanit* 2:18 min, bei *Silky Rock* 2:50 min und bei *Snow White* 3:20 min. Wird der Gips unter Verwendung eines schmalen Mischflügels angemischt, so vergehen bis zur ersten messbaren Shore-Härte A bei *Occlumedanit* 3:15 min, bei *Silky Rock* 4 min und bei *Snow White* 4:55 min.

Wird der Gips mit der *BEGO*-Anmischmaschine zubereitet, so vergehen bis zur ersten messbaren Shore-Härte A bei *Snow White* 4:05 min, bei *Occlumedanit* 6:14 min und bei *Silky Rock* 6:50 min.

Beim manuellen Anmischen von Gips vergeht bis zur ersten messbaren Shore-Härte A bei *Snow White* 5:54 min, bei *Occlumedanit* 7:44 min und bei *Silky Rock* 8:10 min.

C.5 Wirtschaftliche Aspekte

Die Anschaffungskosten des *Speed-Unguator-Dental*-Universalmischer liegen bei ca. 1800 €. Das Mischset „High Viskosity“, bestehend aus 2 Flügelrührern TI / lang für 15 und 100 ml Kruken, 10 × 15 ml, 10 × 100 ml Kruken und 50 ml Anti-Haft-Trennmittel, kostet ca. 67 €. Das Mischset „Low Viscosity“, bestehend aus einem Flügelrührerschaft TI / lang, 20 Einwegflügelrührern für 50 ml Kruken, 25 Einwegflügeln für 100 ml Kruken, 10 × 50 ml Kruken und 10 × 100 ml Kruken, verursachen Kosten in Höhe von ca. 67 € (alle Preise Stand 06.1999).

Die Versuchsserien wurden zum Großteil mit Kruken von 50 ml Nennvolumen durchgeführt. Nach dem Anmischen der Elastomeren verblieben, je nach Material, im Durchschnitt zwischen 0,1 und 1,32 g Abformmasse an den entsprechenden Mischflügeln haften. Die geringsten Rückstände verzeichnet *Provil novo Putty soft* mit 0,1 g. Die größten Rückstände verursacht das Anmischen von *Xantopren mucosa* mit durchschnittlich 1,32 g. *Provil novo Light base* verursacht durchschnittlich 0,37 g, *Silasoft S + N* durchschmittlich 0,28 g, *Xantopren VL* durchschnittlich 0,26 g, und *Optosil comfort* durchschnittlich 0,24 g Rückstände am Mischflügel.
Werden niedrig visköse Elastomere verarbeitet und das Material durch maximales Hochschieben des Bodens ausgetrieben, so verbleiben im Durchschnitt bei *Xantopren mucosa* 5,2 g, bei *Impregum F* 5,4 g, bei *Xantopren VL* 5,3 g, bei *Silasoft S + N* 5,3 g, und *Provil novo Light base* 5,4 g in einer Kruke mit 50 ml Nennvolumen zurück. Bei der Verwendung einer Kruke mit 100 ml Nennvolumen bleiben bei *Xantopren mucosa* 8,5 g, bei *Impregum F* 8,6 g, bei *Xantopren VL* 8,5 g, bei *Silasoft S + N* 8,5 g und bei *Provil novo Light base* 8,6 g zurück.
In einer 1992 veröffentlichen Untersuchung, die sich mit dem Verlust von Silikon beim Anmischen auseinandersetzt, wird bei dem manuellen Mischen auf dem Anmischblock das durchschnittlich zurückbleibende Abformmaterial mit 3,5 ml angegeben. Je nach verwendetem Abformmaterial liegt hier der Verlust zwischen 3,7 und 4,9 g. Dabei wurde das in der Applikationsspritze verbliebene Material nicht berücksichtigt. Für die Ermittlung der Daten wurden 386 Anmischvorgänge ausgewertet [88].

Der durchschnittliche Materialverlust bei der Verarbeitung von dünnflüssigen Elastomeren in 50 ml Kruken ist ca. 1,5 - 2 g größer als der Materialverlust, der beim manuellen Anmischen im Durchschnitt auf einem Anmischblock zurückbleibt. Bei der Verwendung von 100 ml Kruken liegt der Verlust sogar um ca. 4 - 6 g höher. Bei diesem Vergleich ist zu bedenken, dass Milliliter in etwa Gramm entsprechen.

Die Hersteller *Detax* GmbH, *ESPE* und *Heraeus Kulzer* geben für ihre Produkte folgende spezifische Gewichte an:

Silasoft S	1,19 g/ml
Silasoft N	1,06 g/ml
Provil novo light base	1,41 g/ml
Xantopren VL	1,11 g/ml
Xantopren mucosa	1,17 g/ml
Impregum F	1,10 g/ml

Nach diesen Daten ergeben sich folgende Materialverluste in g. In Klammern der jeweilige Gegenwert in € (nach durchschnittlichen Dental Depotpreisen 2002).

	Manuell auf Anmischblock	maschinell 50 ml Kruke	maschinell 100 ml Kruke
Silasoft S	4,16 (0,32)	5,58 (0,43)	8,78 (0,68)
Silasoft N	3,7 (0,33)	5,58 (0,50)	8,78 (0,78)
Provil novo light base	4,9 (0,66)	5,77 (0,77)	8,97 (1,20)
Xantopren VL	3,9 (0,39)	5,56 (0,55)	8,76 (0,86)
Xantopren mucosa	4,0 (0,39)	6,52 (0,61)	9,82 (0,92)
Impregum F	3,8 (0,67)	6,52 (1,12)	9,72 (1,67)

Viele Hersteller bieten neben den normalen Tuben-Systemen auch Kartuschen an, die in sog. Statikmischerpistolen verwendet werden. Hier entsteht ein durchschnittlicher Materialverlust von ca. 1,4 ml in der Mischkanüle [88]. Dem geringen Materialverlust durch Statikmischersysteme steht aber ein höherer Preis für das Kartuschenmaterial und die Mischkanüle gegenüber.

C.6 Diskussion

Der Universalmischer *Unguator-Dental* soll zu einer Vereinfachung beim Anmischen verschiedener Materialien beitragen. Neben der Vereinfachung des Anmischvorgangs wird auch eine optimale Durchmischung der Komponenten bei genügend verbleibender Verarbeitungszeit erwartet.

C.6.1 Elastomere

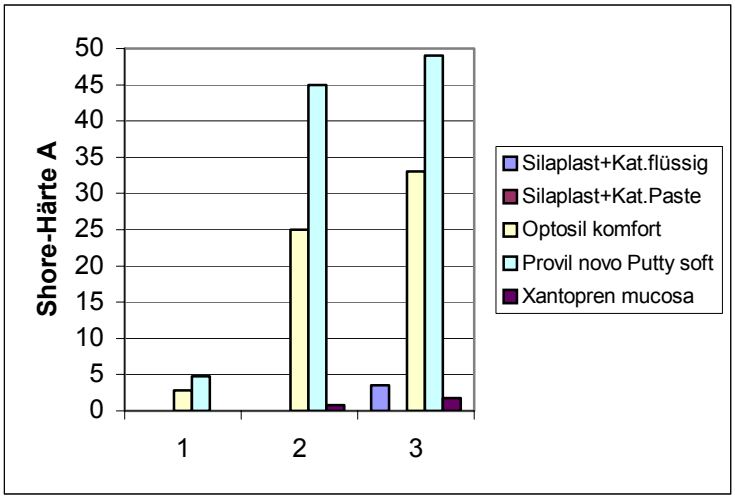
Das Abbinden der elastomeren Abformmaterialien beruht auf einer durch die Zugabe von Härtersubstanz ausgelösten chemischen Reaktion der in der Grundmasse vorhandenen Makromoleküle untereinander. Die fortschreitende Verlängerung und Vernetzung der Kettenmoleküle bewirkt einen zunehmenden Verformungswiderstand der ursprünglich fließenden bzw. plastischen Massen, wodurch diese schließlich in einen festen gummielastischen Zustand überführt werden [1, 43, 44, 51, 54, 66].
Die Verarbeitungszeit elastomerer Massen muss so bemessen sein, dass die homogene Mischung der Grundkomponenten, das Beschicken des Abformlöffels und die Abformung durchgeführt werden können, bevor sich in der Abformmasse messbare elastische Eigenschaften ausbilden. Mit dem Auftreten erster messbarer elastischer Eigenschaften ist die Verarbeitungszeit überschritten und die Abbindezeit hat begonnen [8, 20, 50, 67].
In den eigenen Versuchen wurden die Auswirkungen des maschinellen Anmischens durch den *Speed-Unguator-Dental* auf die Vernetzungsgeschwindigkeit der Molekühle indirekt durch das Messen der Shore-Härte A und der Temperaturentwicklung untersucht. Neben den ermittelten Daten wurden von den Proben Schnittmodelle angefertigt und beurteilt. Zur besseren Orientierung und Einordnung der Werte wurden jeweils parallel Messungen an manuell angemischten Abformmassen durchgeführt.
Die Diskussion der Elastomere teilt sich in zwei Teile:

1. Ergebnisse nach Drehzahl- und Mischzeiteinstellung des Herstellers
2. Ergebnisse nach reduzierter Drehzahl und Mischzeit

Zu 1: Ergebnisse nach Drehzahl- und Mischzeiteinstellung des Herstellers

Die mit dem *Speed-Unguator-Dental* durchgeführten Versuchsserien zeigen im Vergleich zu den manuellen Mischserien generell einen früheren Anstieg der Viskosität, gemessen über die Shore-Härte A, wobei dieses Verhalten bei der Verwendung eines breiten Mischflügels besonders ausgeprägt ist. Den frühzeitigsten und stärksten Anstieg erfahren die hochviskösen A- und K-Silikone *Provil novo Puttysoft* und *Optosil comfort.*

Besonders das A-Silikon *Provil novo Puttysoft* zeigt schon eine Minute nach Mischende einen Shore-Härte A-Wert von 49, das entspricht ca. 94 % der nach einer Stunde gemessenen Endhärte von 52. Bei dem K-Silikon *Optosil comfort* ist das rasche Ansteigen der Viskosität nach dem Mischen nicht ganz so stark ausgeprägt. Nach einer Minute wurde durchschnittlich ein Shore-Härte A-Wert von 33 gemessen, das entspricht ca. 57 % der nach 60 min gemessenen Endhärte. Ein weiteres Material von hoher Konsistenz ist das K-Silikon *Silaplast*, der Katalysator liegt hier sowohl als Paste als auch flüssig vor. Der Viskositätsanstieg beginnt hier später. Bei der Verwendung des flüssigen Katalysators wurde 1 min nach Mischende eine Shore-Härte A von 3,5 und bei der Verwendung der Katalysatorpaste, die nach Herstellerangaben die Abbindezeit von 3,75 Minuten auf 4,75 Minuten verlängern soll, waren erste Viskositätsanstiege erst nach 2 min messbar (siehe Tab. 37).



1= manuelles Anmischen, 2= Speed-U. schmaler Flügel, 3= Speed-U. breiter Flügel

Tabelle 37: Shore-Härte-A gemessen eine Minute nach Mischende für die Typ 0-Silikone *Silaplast* + Katalysator flüssig, *Silaplast* + Katalysatorpaste, *Optosil comfort* und *Provil novo Putty* soft, Typ 2-Silikon *Xantopren mucosa* nach Mischmethoden getrennt

Betrachtet man vor diesem Hintergrund die Zeitangaben der Abformmittelhersteller zur Verarbeitungszeit für *Provil novo Puttysoft*: 1,5 min, *Optosil comfort*: 1,25 min, *Xantopren mucosa*: 1,5 min und *Silaplast*: 1,25 min und vergleicht diese mit den in Tabelle 24 dargestellten Shore-Härte A-Werten, so zeigt sich deutlich, dass die Materialien *Optosil comfort, Provil novo Puttysoft, Xantopren mucosa* und bei Verwendung eines breiten Mischflügels auch *Silaplast* + Kat. flüssig, zu diesem Zeitpunkt für eine Abformung aufgrund ihrer fortgeschrittenen elastischen Eigenschaften nicht mehr geeignet sind.

Es ist zu bedenken, dass die in Tab. 37 unter 1 dargestellten Werte ca. 1,75 min und unter 2 bzw. 3 ca. 1,3 min nach Mischbeginn ermittelt wurden.

Der Viskositätsanstieg der dünnflüssigen Elastomere lässt sich erst später über die Shore-Härte A messen. Das Typ 3-K-Silikon *Xantopren VL* erreicht nach 2,5 min erste messbare Werte. Das Typ 3-A-Silikon *Provil novo light base* und eine Mischung der Typ 3-K-Silikone *Silasoft S* und *Silasoft N* erreichen nach 2 min erste messbare Shore-Härte A-Werte. Es ist zu bedenken, dass der Zeitraum von ca. 2 min zwischen Mischende und ersten messbaren Shore-Härte A-Werten nicht gleichzusetzen ist mit einem Zeitraum, in dem das angemischte Material frei von endogenen Spannungen ist.

Das Nachweisen von endogenen Spannungen könnte indirekt über das Vermessen von Modellen erfolgen, die anhand von Abformungen eines definierten Urmodells angefertigt werden. Mit Hilfe eines Messmikroskopes (z.B. Leitz Wetzlar) könnten Differenzen zwischen dem Urmodell und den angefertigten Duplikaten ermittelt werden. Treten geringe Dimensionsveränderungen auf, sollten zuerst materialbedingte Fehler (Abbindeexpansion des Gipses und Abbindekontraktion der Abformmaterialien), die nur geringe Auswirkungen auf die Dimensionstreue haben, berücksichtigt werden. Zeigen sich jedoch erhebliche Dimensionsveränderungen, so sind diese offensichtlich auf verfahrensbedingte Fehler zurückzuführen. Hier treten neben Verdrängungseffekten vor allem endogene Spannungen in den Vordergrund. Ist zum Zeitpunkt der eigentlichen Abformung der Vernetzungszustand der Molekülketten schon so weit fortgeschritten, dass die auftretenden endogenen Spannungen durch Fließvorgänge nicht mehr ausgeglichen werden können, kommt es zu verzerrten Abformungen [1, 43, 44, 45, 46, 51, 54, 88].

Die dargestellten Zusammenhänge zwischen der Ausgangsviskosität der Komponenten, der Mischmethode und dem Shore-Härte A Anstieg spiegeln sich auch in der Temperaturentwicklung durch den Mischvorgang wieder.

Hier erfahren auch die zähflüssigsten Massen während des maschinellen Mischvorganges unter Verwendung eines breiten Mischflügels die höchsten Temperaturzuwächse. 21,2 °C bei *Provil novo Putty soft*, wohingegen das dazugehörige Korrekturmaterial *Provil novo light base* „nur“ eine Temperaturerhöhung von 10,8 °C aufweist. *Optosil komfort* weist eine Temperaturerhöhung von 18,1 °C auf, das dazugehörige Korrekturmaterial *Xantopren VL* erwärmt sich um 9 °C. Bei *Silaplast* + Katalysatorpaste kommt es zu einer Temperaturerhöhung von 15,6 °C, das dazugehörige Korrekturmaterial *Silasoft S* + *Silasoft N* weist eine Temperaturerhöhung von 9,1 °C auf.

Die mittelfließenden Typ 2-Elastomere *Xantopren mucosa* und *Impregum* erfahren durch das maschinelle Anmischen unter Verwendung eines breiten Mischflügels eine Temperaturerhöhung von 16,3 bzw. 13,6 °C (siehe Tab.38).

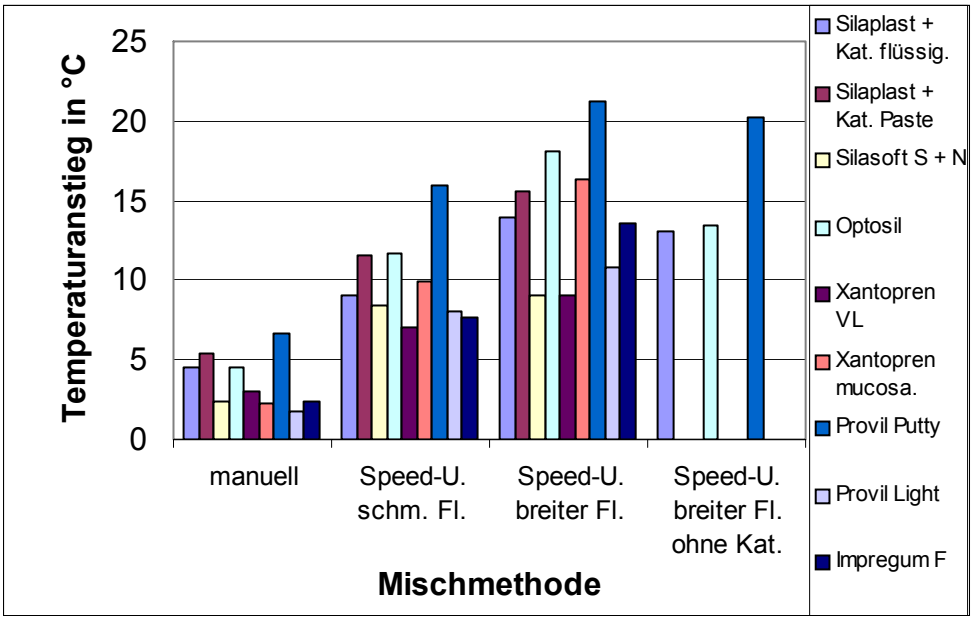


Tabelle 38: Temperaturanstieg während des Mischvorganges für verschiedene Elastomere in Abhängigkeit von der Mischmethode
(in der Spalte Speed-U. breiter Fl. ohne Kat. wurden die gleichen Mengen, jedoch nur Basismaterial ohne Katalysatorzusätze angemischt)

Tabelle 38 veranschaulicht deutlich das Temperaturverhalten der Abformmassen in Abhängigkeit von der Grundviskosität der Komponenten und der verwendeten Mischtechnik. Der starke Temperaturanstieg in den maschinellen Serien lässt eine beschleunigte Reaktionsgeschwindigkeit und damit ein forciertes Vernetzen der Moleküle erwarten. Im Anschluss werden verschiedene Einflussgrößen und deren Gewichtung auf das Abbindeverhalten von elastomeren Abformmassen diskutiert.

Großen Einfluss auf das Abbindeverhalten hat die Lagerungstemperatur. Verschiedene Autoren wie *Finger, Franz*, *Lockowandt, Mansfield, Meiners, Rehberg* und *Schwickerath* [8, 11, 41, 43, 44, 45, 46, 48, 50, 51, 60] beschreiben negative Auswirkungen, die zu hohe Lagerungstemperaturen auf die Verarbeitungszeit und Präzision der Abformung haben. Andere Autoren beschreiben die positiven Auswirkungen, die die Kühlung von Abformmaterialien bedingt. *Hambrok* kommt bei Untersuchungen über den Einfluss maschinellen Anmischens auf das Abbindeverhalten zu den Ergebnissen, dass vermehrte Knet- und Walkvorgänge die Reibungsenergie erhöhen und so die Abbindegeschwindigkeit beschleunigen. Umgekehrt verzögert das Kühlen der Abformmassen auf 4 – 8 °C die Abbindegeschwindigkeit [27].
Auch *Franz* beschreibt eine Verlängerung der Verarbeitungszeit auf bis zu 7 min, wenn das Abformmaterial zuvor auf 8 °C gekühlt wurde [23].
Stachniss befürwortet eine Lagerung der Abformmaterialien zwischen 5 – 10 °C. Bei der Korrekturabformung empfiehlt er die Kühlung des Vorabdrucks in 5 °C kaltem Eiswasser. *Stachniss* ermittelte in eigenen Versuchen eine geringere Dimensionsveränderung (max. bis 0,48 %) bei der Kühlung der Vorabdrücke im Vergleich zu Abformungen ohne Eiswasserkühlung (max. bis 0,7 %) [73].
Der verfälschende Einfluss erhöhter Lagerungstemperaturen auf den Anstieg der Shore-Härte A wurde in den eigenen Versuchsserien durch eine konstante Temperierung der Materialien auf 21 ± 1 °C weitgehend ausgeschlossen.

Da es sich bei der Vernetzungsreaktion der Elastomere um eine exotherme Reaktion handelt, führt die Reaktionswärme zu einer messbaren Erwärmung des Reaktionsgemisches. *Meiners* stellte an isolierten Proben Temperaturerhöhungen bei Polysulfiden von 3,4 °C, bei Silikonen von 1,1 °C und bei Polyether von 4,2 °C fest. Praktisch jedoch bleibt die entstehende Wärmetönung gering, da die freiwerdende

Wärmemenge schnell an die Umgebung abgeben wird. Bei Messungen an Proben, die in einen Metallöffel eingebracht wurden, betrug die Temperaturerhöhung maximal 1 °C [49, 53].

In den Serien, in denen *Silaplast, Optosil komfort* und *Provil novo Puttysoft* durch Kneten in der Hand durchmischt wurden, verursacht die Handwärme eine Temperaturerhöhung. *Britz, Franz, Meiners* und *Marxkors* geben eine Temperaturerhöhung um 6 – 9 °C durch manuelles Mischen knetbarer Massen an [3, 17, 44, 49, 50]. Die in den eigenen manuellen Versuchsserien ermittelten Daten bewegen sich bei den Typ O-Abformmassen zwischen 4,5 °C bei *Silaplast + Katalysator flüssig* bzw. *Optosil komfort* und 6,7 °C bei *Provil Putty soft*. In den Serien, in denen der Mischvorgang durch den *Speed-Unguator* durchgeführt wurde, ist der Einfluss der Handwärme weitgehend auszuschließen. Die Materialien kamen nur kurzfristig zum Dosieren mit den Fingern in Kontakt, und die Temperatur der Komponenten wurde jeweils kurz vor Mischbeginn ermittelt.

Neben den verschiedenen Temperaturgrößen wirkt sich auch die Dosierung des Katalysators auf die Reaktionsgeschwindigkeit aus. Das Beschicken der Kruken für den *Speed–Unguator-Dental* erfordert im Vorfeld eine manuelle volumetrische oder gravimetrische Dosierung der Komponenten mit den damit verbundenen Dosierabweichungen. Je nach Autor und Konsistenz des Katalysators bewegen sich diese zwischen ± 10 % für Flüssigkeiten und ± 22 % für Pasten. Während sich eine Unterdosierung des Katalysators besonders auf die Endhärte und Elastizität auswirkt, führt eine Überdosierung des Katalysators zu einem beschleunigten Vernetzen der Moleküle und damit zu einer Verkürzung der Verarbeitungszeit [15, 21, 23, 43, 51]. Die Dosierung der Basis- und Härterkomponenten in den eigenen Versuchsreihen wurde gravimetrisch vorgenommen, ein beschleunigtes oder verlangsamtes Abbindeverhalten der Elastomere aufgrund von Dosierungenauigkeiten ist dadurch weitgehend auszuschließen.

Die bisher genannten Parameter Lagerungstemperatur, Handwärme, exotherme Reaktionswärme und Dosierabweichungen kommen für einen derart starken Anstieg der Temperatur (wie in Tab. 38 dargestellt) nicht oder nur eingeschränkt in Betracht.

Die Hauptursache für den Temperaturanstieg und den damit verbundenen Viskositätsanstieg ist in der Mischtechnik zu suchen. Der *Speed-Unguator–Dental* verwendet als Mischwerkzeug einen Flügel, der die in den Kruken befindlichen Massen „durchknetet“. Der Hersteller der Universalmischmaschine gibt für Elastomere eine Mischdrehzahl von 1450 U/min an, das entspricht einer Geschwindigkeit von ca. 3,2 m/sec (50 ml Kruke, am Flügelende). Die kinetische Energie des Flügels verformt die anzumischende Masse, die dadurch erzeugte „innere Reibung“ wird in Wärme umgewandelt, die ihrerseits für das frühzeitige Vernetzen der Abformmaterialien sorgt [49, 54].

Unter „Innerer Reibung“ versteht man den Widerstand einer Substanz gegen bleibende Formveränderungen, wobei nicht nur das Einleiten, sondern auch das Aufrechterhalten eines Fließvorganges Energie erfordert [50]. Ein Maß für diese physikalische Eigenschaft aller Stoffe, einschließlich der duktilen, also nicht ideal sprödbrechenden Feststoffe, ist die Viskosität. Bei den makromolekularen Flüssigkeiten wie den hier betrachteten Abformmaterialien im Ausgangszustand ist die Viskosität insbesondere auch von der Molekülgröße (mittlerer Polymerisationsgrad; mittleres Molekulargewicht) und Molekülform (linear; verzweigt) abhängig. Die Viskosität nimmt mit der Länge und dem Verzweigungsgrad zu, welche neben den sekundären chemischen Bindungen der Moleküle untereinander zunehmend auch mechanische Interaktionen (Verhängungen) ermöglichen. Dadurch werden der Zusammenhalt der Substanz, also der Verformungswiderstand und damit die innere Reibung erhöht. Zusätze wie Füllstoffe (erhöhend) oder Lösungsmittel (erniedrigend) beeinflussen die Viskosität einer makromolekularen Flüssigkeit ebenso, wie die Temperatur (erniedrigend) und die Verformungsgeschwindigkeit (erhöhend) auf die Viskosität einwirken [28, 43, 45, 51, 52, 54].

Rehberg und *Schwickerath* geben für die Ausgangsviskosität von Elastomeren Werte von 4 - 20x10^3 cP für leicht fließende, 80 - 200x10^3 cP für normal weiche und Werte von über 1000x10^3 cP für knetbare Massen an [60].

In den Versuchsserien, die mit Hilfe des *Speed-Unguator-Dental* durchgeführt wurden, sind Temperaturerhöhungen zwischen 9 °C bei *Xantopren VL* und 21,2 °C bei *Provil novo Putty soft* ermittelt worden.

Die Reaktionsgeschwindigkeit, mit der eine chemische Reaktion abläuft, ist neben der Konzentration der Ausgangssubstanzen von der Konstanten k abhängig. Die Temperaturentwicklung wirkt sich exponentiell auf k und damit auch auf die Reaktionsgeschwindigkeit aus. K entspricht einer für die jeweilige Reaktion spezifischen Konstanten.

Van`t Hoff und *Zeek* verweisen bei einer Temperaturzunahme um 10 °C auf eine Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit um den Faktor 2 - 4 [36, 92].

Rehberg und *Schwickerath* deuten in ihren Ausführungen über elastomere Abformmaterialien darauf hin, dass eine Erhöhung der Ausgangstemperatur von 23 °C auf 27 °C eine Verkürzung der Verarbeitungszeit um bis zu einer Minute bedingt [60].

Besonders deutlich wird der negative Einfluss der Temperaturerhöhung an den Materialien *Provil novo Putty soft* und *Optosil comfort.* Am Ende der Anmischzeit von 10 sec hat der Mischvorgang mit Hilfe des *Speed-Unguators* unter Verwendung eines breiten Mischflügels das Material um 21,2 °C bzw. um 18,1 °C erwärmt. *Provil novo Putty soft* befindet sich zu diesem Zeitpunkt schon in einem fast völlig abgebundenen Zustand; geringfügige plastische Veränderungen sind nur noch unter Kraftaufwand möglich. Das Beschicken eines Abformlöffels und das Durchführen einer Abformung sind nicht mehr möglich. *Optosil comfort* lässt sich nach der Mischzeit noch aus der Kruke entfernen und plastisch verformen, jedoch ist auch hier schon ein erheblicher Widerstand gegen eine Verformung zu bemerken.

Auch die Materialien *Silaplast* und *Xantopren mucosa* befinden sich am Ende der Mischzeit in einem so fortgeschrittenen Vernetzungszustand, dass die Durchführung einer präzisen Abformung als fraglich anzusehen ist.

Werden mit dem *Speed-Unguator* unter Verwendung eines breiten Mischflügels dünnflüssige Elastomere angemischt, so zeigen auch diese im Vergleich zu manuell angemischten Materialien einen frühzeitigeren Anstieg der Viskosität. Im Durchschnitt sind erste, über die Shore-Härte A messbare Vernetzungen der Moleküle bei den Materialien *Silasoft S + N, Xantopren VL und Provil novo Light base* 0,5 - 1 min früher messbar, als bei manuell angemischtem Material.

Betrachtet man die Querschnitte der mit dem *Speed-Unguator* erstellten Materialproben und vergleicht diese mit denen der manuell erstellten Serien, so fallen besonders die Aufnahmen von *Silaplast* + Katalysatorpaste Abb.19, *Xantopren mucosa* Abb. 23, *Provil novo Putty soft* Abb. 24, *Provil novo Light base* Abb. 25 und *Impregum F* Abb. 26 auf. Die Materialquerschnitte der *Speed-Unguator* Serien zeigen im allgemeinen eine höhere Anzahl von Lufteinschlüssen, was besonders bei *Xantopren mucosa* und *Impregum F* hervortritt. Sie setzen sich auch farblich gegen die manuellen Proben ab. Die *Speed-Unguator* Serien der Materialien *Optosil comfort* und *Provil novo Putty soft* weisen nur eine geringfügig höhere Anzahl kleinkalibriger Lufteinschlüsse auf als die vergleichbaren manuellen Serien. Jedoch sind bei den Proben Bereiche zu erkennen, in denen das Material nicht homogen durchmischt wurde. Bereiche, in denen die Basis- und Katalysatormassen nicht gleichmäßig vermischt wurden, zeigen sich farblich uneinheitlich, es treten sog. Schlieren auf. Eine uneinheitliche Verteilung der Härterkomponenten führt lokal zu unterschiedlichen Vernetzungsgraden und damit insbesondere zu inhomogenen mechanischen Eigenschaften, die infolge der Deformation beim Entfernen der Abformung zu groben Verzerrungen führen können [27, 46, 50, 51, 55, 62].

Bei den Proben der Materialien *Xantopren VL*, *Silasoft S + N und Silasoft* + Kat. flüssig lassen sich keine eindeutigen Unterschiede bezüglich homogener Durchmischung und Blasenzahl zwischen den *Speed-Unguator* Serien und den manuell angemischten Serien erkennen.

Inwieweit sich der Mischvorgang durch den *Speed-Unguator* auf mechanische Eigenschaften und Volumenstabilität der Materialien auswirkt, ist im Rahmen dieser Arbeit nicht ermittelt worden. Anhand der optischen Beurteilung der Proben lässt sich sagen, dass die bei den Materialien *Xantopren mucosa* und *Impregum F* vermehrt auftretenden Lufteinschlüsse und die inhomogen durchmischten Bereiche bei den Materialien *Provil novo Puttysoft* und *Optosil comfort* jedenfalls einer präzisen Abformung entgegenstehen.

Zu 2: Ergebnisse nach reduzierter Drehzahl und Mischzeit

Das Reduzieren der Mischzeit und Mischdrehzahl wirkt sich erniedrigend auf den Temperaturanstieg während des Mischvorgangs aus. Es gilt der im Vorfeld auf Seite 106 beschriebene Zusammenhang zwischen „innerer Reibung“ durch den Mischvorgang und Temperaturentwicklung [49, 54]. Durch die kurze Mischzeit und reduzierte Mischdrehzahl verringert sich die „innere Reibung“ und führt so zu einem minder hohen Temperaturzuwachs.

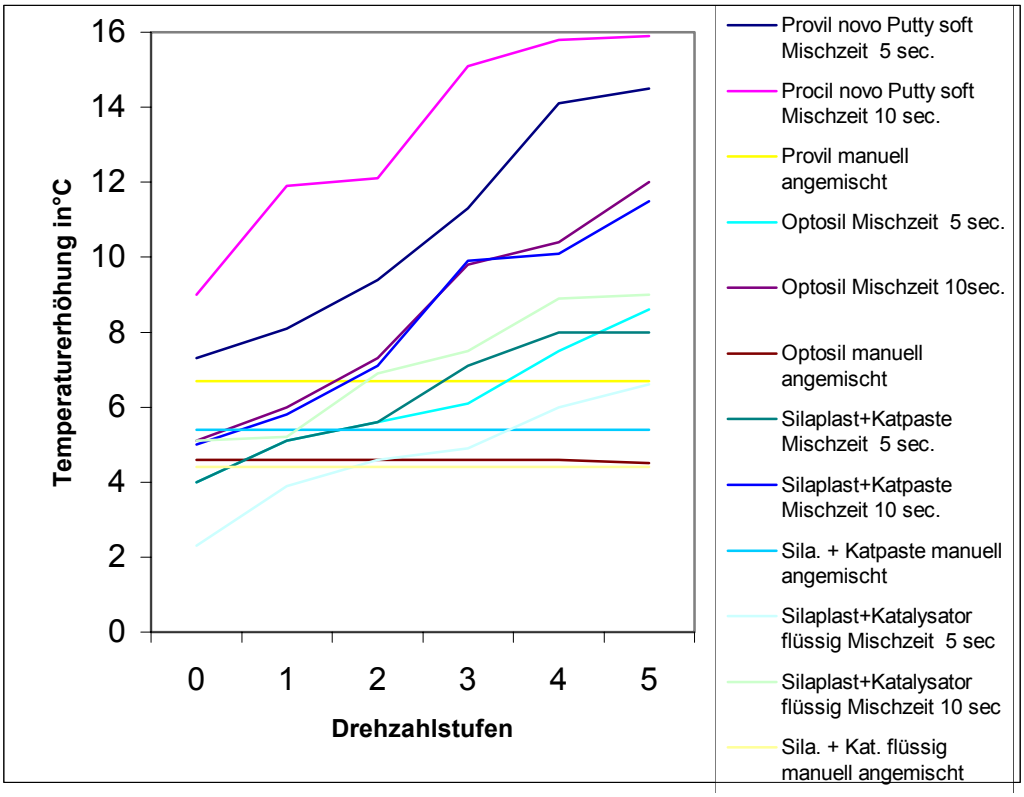


Tabelle 39: Temperaturentwicklung für verschiedene Elastomer in Abhängigkeit von der Mischzeit und Mischdrehzahl

Bei Einstellung der niedrigsten Drehzahlstufe und Mischzeit sinkt der Temperaturzuwachs bei den hochviskösen K-Silikonen *Silaplast* und *Optosil comfort* unter den Temperaturzuwachs, der durch manuelles Anmischen entsteht (siehe Tab. 39).

Infolge der verminderten Temperaturen zögert sich auch der Zeitpunkt der ersten messbaren Shore-Härte A hinaus. Das A-Silikon *Provil novo Putty soft* reagiert auf das Anmischen mit Hilfe des *Speed-Unguator–Dental* bei der niedrigsten Mischdrehzahl und Mischzeit mit einer Temperaturerhöhung von 7,3 °C. Mit 7,3 °C

liegt die Temperaturerhöhung nur 0,5 °C über der Temperaturzunahme durch manuelles Anmischen von *Provil novo Putty soft*. Trotz des relativ niedrigen Temperaturzuwachses von 7,3 °C war der Vernetzungsgrad der Probe soweit fortgeschritten, dass direkt nach dem Mischvorgang eine Shore-Härte A von 3 vorlag. Die manuell angemischtes *Provil novo Putty soft* zeigt trotz einer Temperaturzunahme von 6,8 °C erst eine Minute nach Mischende einen Shore Härte A-Wert von 4,8.

Die mechanische Arbeit des Mischflügels wirkt trotz relativ geringer Temperaturzunahme stark beschleunigend auf die Vernetzungsreaktion. Es ist davon auszugehen, dass für eine detailgetreue Abformung der Vernetzungsgrad zu weit fortgeschritten ist.

Das Herunterfahren der Mischzeit und Mischdrehzahl wirkt sich positiv auf das Temperaturverhalten, aber negativ auf die Homogenität der Durchmischung aus. Diese Einschätzung beruht unter anderem auf optischen Eindrücken. *Franz, Marxkors*, *Meiners* und *Rehberg* [20, 43, 54, 61] geben jedoch zu bedenken, dass die Qualität eines Mischvorganges besser bei verschieden eingefärbten Materialien gleicher Konsistenz, als bei der Verwendung von flüssigen Katalysatoren, zu beurteilen ist. Flüssige Katalysatoren grenzen sich farblich nur gering gegen die Basiskomponente ab. Deutlich wird dies am *Silaplast,* das sowohl mit einer Katalysatorpaste als auch Katalysatorflüssigkeit angeboten wird.

Bei einer Anmischzeit von 5 sec erscheint *Silaplast* + Katalysatorflüssigkeit in den Drehzahlstufen 0, 1, 2 und 3 nicht optimal durchmischt. Wird *Silaplast* eine Katalysatorpaste zugesetzt, so erscheint auch bei Drehzahlstufe 4 optisch keine homogene Durchmischung der Komponenten. Die Katalysatorpaste ist intensiver eingefärbt als der flüssige Katalysator und setzt so stärkere Kontraste zur Basispaste.

Die visuellen Eindrücke einer unzureichenden Durchmischung der Komponenten werden durch eine weite Streuung der Shore Härte A-Messwerte bestätigt. Wird die Mischzeit des *Speed-Unguator-Dental* auf 5 sec reduziert, so zeigen die Proben der hochviskösen Silikone *Optosil comfort, Silaplast* und *Provil novo Putty soft* in den Drehzahlstufen 0, 1, 2 und 3 differente Härtemesswerte an verschiedenen Stellen der Proben auf. Diese Differenzen deuten auf Bereiche hin, in denen Basis und Katalysatormassen unterschiedlich stark vermischt wurden.

Auch *Britz* [3] kommt bei Untersuchungen über die *Universalmischmaschine AM 501* der Hausschild & Co. KG zu dem Ergebniss, dass Mischzeiten von unter 10 sec

eine mangelnde Homogenität des Mischgutes bedingen. *Britz* verwendete für seine Untersuchungen die Abformmassen *Silaplast* und *Permagum*.

Inwieweit die optisch homogenen Proben bei einer Abformung dimensionsgetreue „Negative“ liefern, konnte in dieser Arbeit nicht bestimmt werden. Diese Frage könnte der Gegenstand einer eigenen Untersuchung sein.

Abschließend betrachtet zeigte das Reduzieren der Mischdrehzahl und Mischzeit bei *Optosil comfort, Silaplast* und *Provil novo Putty soft* nicht die erhoffte Verzögerung der Vernetzungsgeschwindigkeit bei homogener Vermischung der Komponenten.

Eine weiter reduzierte Mischdrehzahl sowie eine geänderte Mischflügelgeometrie, die die Kontaktfläche zu den zu mischenden Materialien verringert oder auf mehrere Stellen verteilt, wie z.B. „vertikal stehende Dorne“, könnte möglicherweise die Abbindegeschwindigkeit bei homogener Durchmischung verlängern.

C.6.2 Alginat

Das Alginat *Blueprint Cremex* wurde mit Hilfe des *Speed-Unguator-Dental* unter Verwendung eines schmalen und breiten Mischflügels sowie manuell angemischt.
Das Mischen von Alginat durch den *Speed-Unguator-Dental* liefert farblich homogen durchmischte Massen, die von einer größeren Anzahl Blasen verschiedenster Kaliber durchwachsen sind. Optisch lassen sich die maschinellen Serien nicht von den manuellen Serien unterscheiden. Betrachtet man das maschinelle Anmischen über den Viskositätsanstieg in gemessener Shore-Härte A, so zeigen die maschinellen Serien unter Verwendung eines schmalen Mischflügels einen nahezu gleichen Viskositätsverlauf wie manuell angemischtes Alginat. Erste Shore-Härte A-Werte sind nach 3 min messbar. Die maschinellen Serien unter Verwendung eines breiten Mischflügels weisen schon nach 2 min erste messbare Viskositätsanstiege auf. Betrachtet man die vom Hersteller angegebene Verarbeitungszeit von 1,25 min, so müssten die endogenen Spannungen bei allen Mischmethoden in einem so geringen Ausmaß vorliegen, dass eine präzise Abformung möglich sein müsste.
Die Temperaturerhöhung während des Mischenvorganges fällt mit 1,3 °C beim manuellen Mischen am geringsten und mit 1,7 °C für den *Speed-Unguator* unter Verwendung eines breiten Mischflügels am höchsten aus. Bei Verwendung eines schmalen Mischflügels beträgt die Temperaturerhöhung 1,4 °C.
Wie bei den Elastomeren, so wirkt sich eine Temperaturerhöhung auch beschleunigend auf das Abbindeverhalten von Alginat aus [2, 36, 46]. Die gemessenen Temperaturerhöhungen durch den Mischvorgang bewegen sich jedoch auf einem so niedrigem Niveau, dass eine starke Verkürzung der Verarbeitungszeit nicht zu erwarten ist und über den gemessenen Viskositätsanstieg auch nicht bestätigt werden kann.
Der Hersteller gibt die Abbindezeit mit zwei Minuten an. Zu diesem Zeitpunkt weisen nur die Serien des *Speed-Unguators* unter Verwendung eines breiten Mischflügels messbare Shore-Härte A-Werte (5,25) auf. *Kühn* gibt bei einer Untersuchung verschiedener Alginate Shore-Härte A-Werte zum Abbindezeitpunkt zwischen 5 und 20 an [38].

Die Auswirkungen der verschiedenen Mischmethoden auf die Druckfestigkeit, das Rückstellvermögen und die Wiedergabegenauigkeit wurden in dieser Arbeit nicht ermittelt.

Die rein optische Beurteilung der Proben lässt keine eindeutig bessere Mischmethode erkennen. Alle Proben erscheinen farblich homogen durchmischt und alle Proben weisen eine größere Anzahl Lufteinschlüsse verschiedenster Kaliber auf.

Hinsichtlich der Serien, die mit Hilfe des *Speed-Unguators* hergestellt wurden, zeigt es sich als vorteilhaft, den Krukendeckel nach Mischende zu entfernen und das angemischte Material mit Hilfe eines Spatels zu entnehmen. Ein Entleeren des Alginats durch die Deckelöffnung, indem der Boden hochgefahren wird, erscheint praktisch als umständlich und birgt die Gefahr, dass während des Beschickens der Abformlöffel zusätzliche Lufteinschlüsse eingearbeitet werden.

C.6.3 Gips

Von dem Typ 1-Abdruckgips *Snow White No. 2*, Typ 3-Hartgips *Occlumedanit* und dem Typ 4-Extra Hartgips *Silky Rock* wurden mit Hilfe des *Speed-Unguator-Dental,* der *BEGO* Gipsanmischmaschine und durch manuelles Mischen Proben erstellt.

Das Beurteilen der angefertigten Gipsproben beschränkte sich auf visuelles Beschreiben und Vergleichen der hergestellten Proben untereinander sowie das Darstellen der Abbindecharakteristik für die verschiedenen Gipssorten in Abhängigkeit von der Mischmethode.

Die porenreichsten Proben entstanden bei *Snow White No. 2* unabhängig von der Mischtechnik (siehe Abb. 28, 29). Das Material *Occlumedanit* lieferte bei allen Mischtechniken porenarme und gleichmäßig strukturierte Proben (siehe Abb. 30, 31). Auch *Silky Rock* zeigte unabhängig von der Mischtechnik porenarme Proben, jedoch wiesen die mit Hilfe des *Speed-Unguator* hergestellten Proben symmetrisch angeordnete Schlieren auf, die bei der entsprechenden *Occlumedanit* Probe schon andeutungsweise zu sehen sind (siehe Abb. 32, 33).

Betrachtet man die Ergebnisse hinsichtlich der Porenzahl nach Mischmethode, so lieferte die *BEGO* Gipsanrührmaschine die besten und das manuelle Mischen die schlechtesten Ergebnisse.

Die mit Hilfe des S*peed-Unguators* angemischten Gipsproben zeigten sich, bis auf die Snow White-Probe, blasenfrei und das, obwohl der *Speed-Unguator* mit einem stark rotierenden Flügel (650 U/min) ohne Vakuum arbeitet.

Die bei den Materialien *Silky Rock* und *Occlumedanit* auftretenden weißlichen, bogenförmigen, in der Mitte der Probe beginnenden Schlieren deuten auf das Mischprinzip des *Speed-Unguator* hin. Die Schlieren befinden sich in einem Bereich, in dem der Flügel während des Mischens rotiert. Ob in den weißlichen Bereichen die Materialeigenschaften beeinträchtigt sind, konnte in dieser Arbeit nicht ermittelt werden.

Denkbar wäre eine Reduzierung der mechanischen Eigenschaften, da einige Autoren vor den negativen Auswirkungen von zu langem und vor allem zu intensivem Anrühren des Gipsbreis warnen [25, 38]. *Franz* spricht in diesem Zusammenhang von „totgerührt“, d.h., übermäßiges Rühren zerstört den Kristallverband und erniedrigt so die Festigkeit.

Die Autoren *Breustedt, Franz, Körber, Marxkors* und *Meiners* [2, 25, 36, 46] beschreiben auch ein Verkürzen der Abbindezeit durch langes und intensives Anmischen.

Auch das Anmischen mit Hilfe des *Speed-Unguator* wirkt sich im Vergleich zu den manuell angemischten Proben reduzierend auf die Abbindezeit aus.

Die in den eigenen Versuchen gemessene Zeit bis zum Auftreten erster messbarer Shore-Härte A-Werte geben für den *Speed-Unguator* im Vergleich zu den manuell angemischten Proben deutlich verkürzte Zeiten an. Besonders ausgeprägt tritt dieses Verhalten bei der Verwendung eines breiten Mischflügels auf.

Ob und inwieweit sich das Anmischen von Gips durch den *Speed-Unguator* auf die Expansion, Biege-, Zug- und Druckfestigkeit auswirkt, wäre ggf. Gegenstand einer gesonderten Untersuchung.

Alle zur Gipsherstellung benötigten Geräte müssen sauber und frei von Dihydrat sein. Zurückgebliebene Kristallisationskeime führen zu einer beschleunigt ablaufenden Kristallisation und somit zu einer erhöhten Abbindegeschwindigkeit und Expansion [24, 36].

Werden die zum Gipsanrühren verwendeten Kruken und Flügel nicht sofort nach Gebrauch gereinigt, so entstehen schwer zu entfernende Gipsrückstände, die zu den eben beschriebenen Folgen führen können. Die verwendeten Kruken zeigen nach mehrmaligem Gebrauch spürbare Aufrauhungen der Wände. An diesen Stellen lagern sich schwer zu entfernende Gipsreste an. Werden die Kruken als Einmalmaterial verwendet, so entstehen Kosten von ca.1,50 € für eine 200 ml-Kruke. Soll der Universalflügelrührer für eine 200 ml-Kruke ausgewechselt werden, so verursacht das Kosten von ca. 22,50 €.

C.6.4 Bedienung und Kosten

Die Einstellung der Drehzahl und Mischzeit für das jeweilige Material ist einfach und auch für den Ungeübten leicht zu erlernen. Dies liegt an der knapp gehaltenen Tastatur und einleuchtenden Symbolik. Das Anbringen des Mischflügels, der über einen Schaft mit dem Motor verbunden wird und zuvor durch eine Öffnung am Krukendeckel geführt werden muss und dann mit diesem an einem Trägerarm angeschraubt wird, erweist sich auch als eine einfache, jedoch im Vergleich zu anderen Mischmethoden zusätzliche Tätigkeit. An das so vorbereitete Gerät wird nun der Krukenbecher mit den zuvor eingebrachten zu mischenden Materialien angeschraubt und der Mischvorgang durch das Drücken der Starttaste gestartet.

Das Füllen der Kruken wirft zweierlei Probleme auf. Wie bei vielen anderen Mischmethoden, so wird auch durch den *Speed-Unguator-Dental* das Problem der exakten Dosierung nicht gelöst.

Die Dosierung der Basis- und Katalysatormassen muss weiter nach Herstellerangaben volumetrisch oder gravimetrisch erfolgen. Bei Typ 0-Elastomeren, bei denen die Dosierung in der Regel durch Löffel erfolgt, liegen die Dosiergenauigkeit und der zeitliche Aufwand auf dem Niveau üblicher Methoden. Sollen hingegen Typ 1, 2 oder 3-Elastomere verarbeitet werden, so erhöhen sich der zeitliche und materielle Aufwand. Die Dosierung muss im Vorfeld auf einem Anmischblock nach volumetrischem Raster erfolgen oder abgewogen werden. *Schwickerath* [68] verweist bei der Dosierung von größeren Mengen A- und K-Silikonen aus Tuben auf einem Anmischblock auf Dosierungenauigkeiten bis zu ± 22% vom Mittelwert. Die so bestimmten Massen müssen z.B. mit Hilfe eines Spatels von der Unterlage aufgenommen und in die Kruke eingebracht werden. Bei diesem zusätzlichem Arbeitschritt erhöht sich zudem die Dosierungenauigkeit mit dem daraus unter Punkt B. 2 „Dosieren“ beschriebenen Folgen. Gibt der Hersteller der Abformmassen die Dosierung in Gewichtsangaben an, so besteht die Möglichkeit, die Pasten in den Kruken aufzuwiegen. Diese Variante lässt eine exakte Dosierung zu. Ob jedoch der Praktiker den damit verbundenen erhöhten zeitlichen und apparativen Aufwand zur Dosierung von Abformmassen in Kauf nimmt, mag dahingestellt sein.

Sind die Massen in die Kruken eingebracht und der Krukenbecher an den Deckel angeschraubt, so beginnt nach dem Drücken der Starttaste der Mischvorgang. Ist der

Mischvorgang abgeschlossen, ergeben sich zwei Möglichkeiten, das angemischte Material weiterzuverarbeiten. Durch Drücken eines Knopfes an der Oberseite des *Speed-Unguator-Dental* wird die Flügelschaftarretierung gelöst und die Kruke kann mit Deckel, Flügel und Schaft vom Trägerarm abgeschraubt werden. Der Flügel muss nun aus dem Deckel entfernt werden und dieser wieder auf den Becher geschraubt werden. Durch Hochdrücken des Bodens können nun dünnflüssige Massen aus einer Öffnung in der Deckelmitte ausgetrieben werden. Bei der Verarbeitung von hochviskösen Massen kann es dazu kommen, dass sich der Krukendeckel durch den Mischvorgang derart fest auf dem Krukenunterteil festzieht, dass ein Öffnen der Kruke nur unter großer Kraftanstrengung möglich ist.

Zur besseren Applikation bietet der Hersteller Applikatoraufsätze an. Ein Austreiben der Massen über die Deckelöffnung war bei den durchgeführten Versuchen nur mit Alginat und dünnflüssigen Typ 3-Silikonen möglich.

Die schwerpunktmäßige Verwendung letzterer leichtfließender Massen liegt in der Korrektur des Erstabdrucks bei zweizeitigen Verfahren oder bei einzeitigen Verfahren in der Doppelmisch- und Sandwichabformung. Wird eine Korrektur- oder Doppelmischabformung angestrebt, so ist es notwendig, die dünnflüssigen Massen intraoral zu applizieren. Der mitgelieferte Applikator ist für diese Aufgabe wenig geeignet. Neben dem gezielten Applizieren erweist sich auch die Steuerung der Mengenabgabe durch Hochdrücken des Bodens als ungeeignet. Mit einer Hand, wie dieses im praktischen Alltag gehandhabt wird, ist es sogar fast unmöglich. Als Ausweg bietet sich die Möglichkeit, die Abformmassen aus den Kruken in eine Applikationsspritze zu füllen. Dieses erfordert wiederum Zeit, in der die Vernetzung der Abformmaterialien fortschreitet.

Eine andere Möglichkeit, die Abformmassen nach dem Anmischen zu verarbeiten, ist das Entnehmen mit Hilfe eines Spatels oder bei knetbaren Massen mit den Fingern. Bei den durchgeführten Versuchen, in denen die Massen mit Hilfe des *Speed-Unguators* unter Verwendung eines breiten Flügels gemischt wurden, erwies sich das Entnehmen der Massen nach dem Anmischen und das Einbringen in einen Abformlöffel bei den Produkten *Silaplast, Optosil comfort* und *Provil novo Puttysoft soft fast set* als schwierig. Die zu diesem Zeitpunkt schon stark angestiegene Viskosität weist auf einen vorangeschrittenen Abbindeprozess hin, der ein rechtzeitiges Einbringen der Elastomere in einen Abformlöffel verhindert und so eine Abformung mit geringem Vernetzungszustand der Abformmassen verunmöglicht.

Das Säubern der gebrauchten Flügel und Kruken gestaltet sich bei leichtfließenden Elastomeren als zeitaufwändig und schwierig, da sich häufig unvermischte Basis- und Katalysatorkomponenten recht hartnäckig an diese anheften, besonders im Übergangsbereich zwischen Flügel und Schaft. Neben der zeitaufwändigen Entfernung der unvermischten Komponenten wirkt sich die unvollständige Durchmischung natürlich auch über das unkorrekte Mengenverhältnis zwischen Basis und Katalysator auf die Materialeigenschaften aus. Besonders trifft dieses für das Material *Impregum F* zu (siehe Abb.34).

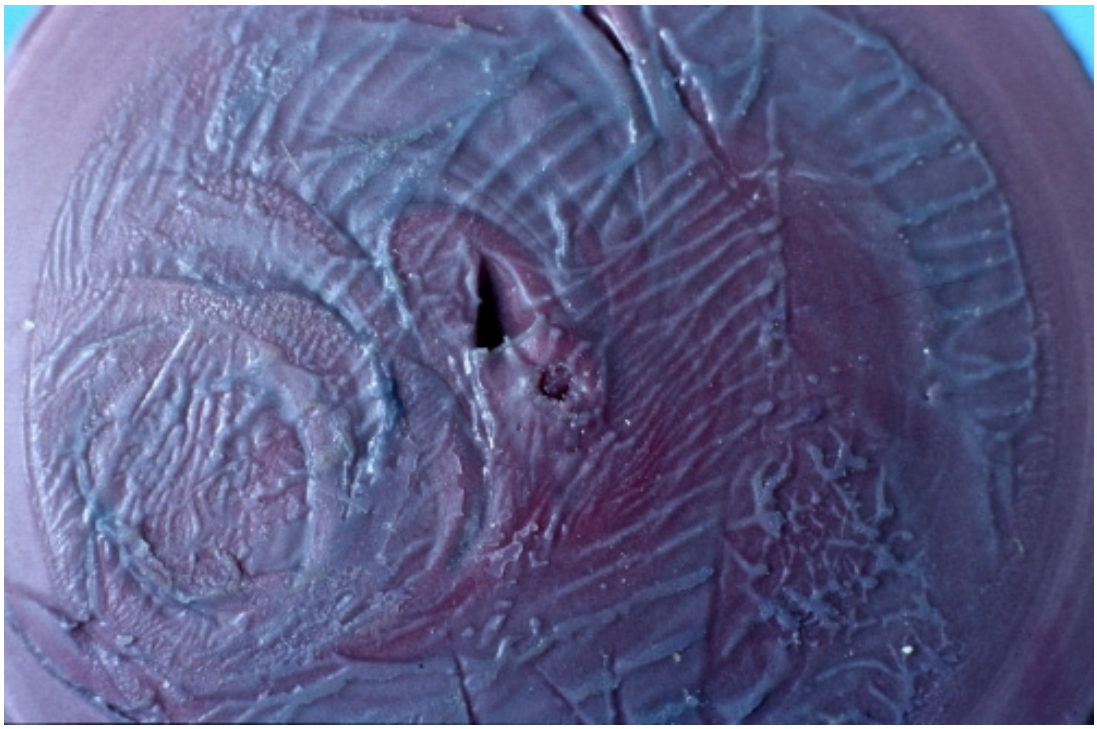


Abbildung 34: *Impregum F*, aus Krukenboden entfernt, mit nicht abreagierten Katalysatorresten

Werden die Mischgefäße häufiger verwendet, so zeigen diese an den Wandungen deutliche Gebrauchsspuren. An diesen aufgerauhten Stellen lagern sich geringe Mengen der Abformmassen an. Das Reinigen von Flügel und Kruken ist unerlässlich, besonders wenn verschiedene Abformmaterialien mit dem gleichen Flügel und Mischbecher verarbeitet werden. Wird das Säubern unterlassen, so werden die abgebundenen belassenen Massen in die neu zu mischende Abformmasse eingearbeitet. Bestehen die Rückstände aus zurückgelassenen unabgebundenen Basis- oder Härterkomponenten, so entstehen Schlieren mit der Gefahr, dass das Material an diesen Stellen nicht ordnungsgemäß abbindet (siehe Abb. 35).

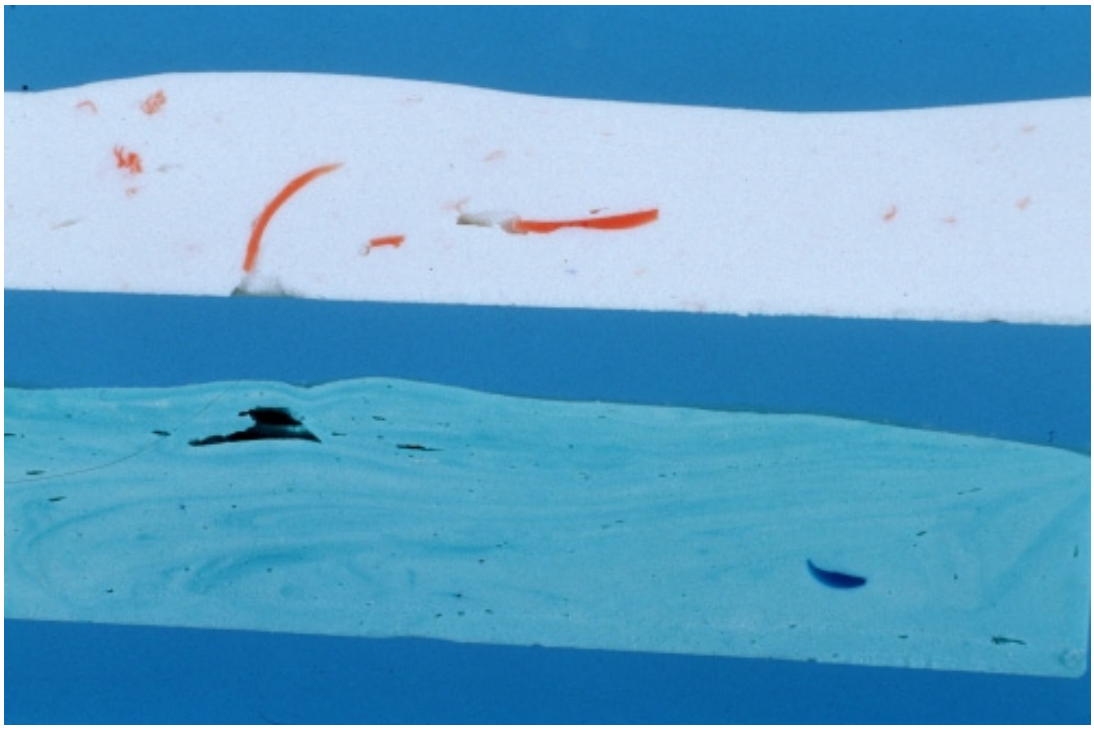


Abbildung 35: Oben: Angemischtes *Silaplast*, ohne im Vorfeld gebrauchte Kruke und Mischflügel von Xantopren mucosa zu reinigen. Unten: Angemischtes *Provil novo Putty soft*, ohne im Vorfeld gebrauchte Kruke und Mischflügel von *Xantopren VL* zu reinigen.

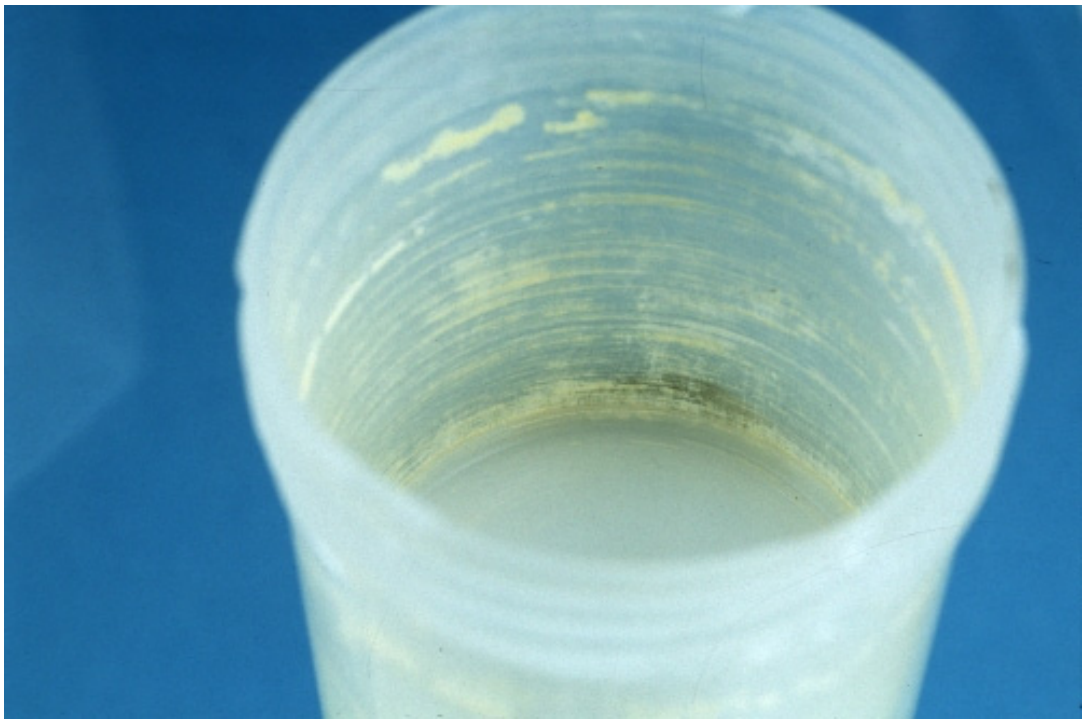


Abbildung 36: Deutliche Gebrauchsspuren in einer 50 ml Kruke nach mehrmaligem Anmischen von Gips

Der von dem Hersteller angebotene Einmalflügel eignet sich nur für das Anmischen dünnflüssiger Medien. Wird der Mischwiderstand zu groß, dreht der Flügelschaft die Arretierungsnoppen am Flügel ab und der Mischvorgang kommt zum Erliegen (siehe Abb.37).

Abbildung 37: Zerstörter Einmalflügelrührer

Der Speed-Unguator-Dental verursacht Anschaffungskosten von ca. 1800 €. Neben diesen Ausgaben sind noch Kosten für zu ersetzende Kruken und Flügelrührer zu berücksichtigen. Das Mischset „High Viskosity“ bestehend aus 2 Flügelrühren und insgesamt 20 Kruken kostet ca. 67 €. Die gleichen Kosten entstehen für das Mischset „Low Viskosity“ bestehend aus Flügelrührerschaft und insgesamt 45 Einwegflügelrührern.
Der tägliche Praxisbetrieb verursacht Kosten durch in Kruken und an Mischflügeln zurückbleibenden Abformmaterialien. Bei der Verwendung von dünnflüssigen Elastomeren entstehen so Kosten je Mischvorgang (50 ml-Kruke) von ca.:

Silasoft S	0,43 €
Silasoft N	0,50 €
Provil novo light base	0,77 €
Xantopren mucosa	0,61 €
Xantopren VL	0,55 €
Impregum F	1,12 €

Die Materialverluste bei der Verwendung von 100 ml-Kruken liegen ca. 1/3 höher, so entstehen Kosten je Mischvorgang von ca.:

Silasoft S	0,68 €
Silasoft N	0,78 €
Provil novo light base	1,20 €
Xantopren mucosa	0,86 €
Xantopren VL	0,92 €
Impregum F	1,67 €

Neben diesen Kosten entstehen weitere durch den zeitlichen Aufwand für das Reinigen der Kruken und Flügel, wenn diese nicht als Einmalartikel verwendet werden. Besonders bei der Verwendung von verschiedenen Stoffgruppen ist eine gründliche Reinigung zu fordern (die sich bei einigen Materialien als zeitaufwändig erwies), da die verbliebenen Reste nachfolgend anzumischende Materialien beeinflussen können. Das trifft neben den Elastomeren besonders für Gips zu. Die Krukeninnenwand rauht nach mehrmaligem Gebrauch stark auf. An diesen Stellen

lassen sich Gipsreste nur schwer entfernen (siehe Abb.36). Die verbleibenden „Kristallisationkeime“ können zu einem beschleunigten Abbindeverhalten führen.

C.6.5 Andere Mischsysteme für Elastomere

Statikmischer

Die Hersteller gehen immer mehr dazu über, bei dünnflüssigen elastomeren Abformmassen ihre Produkte neben den üblichen Paste-Paste- oder Paste-Flüssigkeits-Systemen in „Kartuschen-Systemen“ anzubieten. Diese ermöglichen weitgehend unabhängig von der „manuellen Komponente“ bei exakter Dosierung eine optimale Durchmischung der Abformmassen. Auch Lufteinschlüsse, die beim Anmischen von Hand nicht vermeidbar sind, werden reduziert. Zusätzlich erlauben es die zu fast allen Statikmischsystemen erhältlichen Applikationsspritzen intraoral die präparierten Zähne unmittelbar damit zu umspritzen, was die Vorbereitung und Durchführung einer Abformung in der täglichen Praxis erheblich erleichtert [6, 35, 74, 88, 90].

Universalmischmaschine AM 501

Britz zeigte in “*Der Einfluß des maschinellen Anmischens auf das Abbindeverhalten elastischer Abformmassen“*, dass mit der *Universalmischmaschine AM 501* der *Hausschild & Co KG* trotz kurzer Mischzeiten (minimal 10 sec) zähflüssige, knetbare Abformmaterialien und Alginate homogen angemischt werden können [3, 27].

Pentamix Mischgerät

Höing kam in “*Vergleichende Untersuchung manuell und maschinell angerührter und dosierter dentaler Abformmassen im Hinblick auf die Abformgenauigkeit“* zu dem Ergebniss, dass sich mit der Anwendung des *Pentamix-Gerätes* der Firma *ESPE* die Materialeigenschaften und Dimensionsgenauigkeit der verwendeten Materialien verbessern lassen. Ungenauigkeiten in der Dosierung und Fehler beim Anmischen seien nahezu auszuschließen. Die einfache Handhabung des Gerätes ermögliche es, Abformmaterial ohne Hilfspersonal anzumischen [31]. Neben dünnflüssigen Materialien eignet sich das *Pentamix-Gerät* auch für zähflüssige Abformmassen auf Polyether- und A-Silikonbasis [87, 90].

C.6.6 Schlussfolgerung für die Praxis

Der *Speed-Unguator-Dental-Fullautomat* wird der Bezeichnung Universalmischer somit nicht gerecht, da er zur Erzielung optimaler Anmischergebnisse nicht universell eingesetzt werden kann.
In Anbetracht der erbrachten Mischergebnisse sowie der verbleibenden manuellen Dosierproblematik einerseits und der alternativ vorhandenen Mischsysteme mit besseren Ergebnissen andererseits hat der *Speed-Unguator-Dental-Fullautomat* nach unseren Untersuchungen seine Bewährungsprobe für die zahnärztliche Praxis nicht bestanden.

D Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Praxistauglichkeit der *Speed-Unguator-Dental* Universalmischmaschine untersucht. Im allgemeinen Teil wurden neben chemischen Grundlagen und Eigenschaften der im speziellen Teil verwendeten Materialien auch die aus klinischer Sicht wichtigen Phasen der Abbindereaktion, das Dosieren und Mischen von Abformmaterialien sowie das Bestimmen von elastischen Eigenschaften erläutert.

Im speziellen Teil wurden die Abformmaterialien *Silaplast, Silasoft S + N*, *Optosil comfort, Xantopren VL, Xantopren mucosa, Impregum F, Provil novo Putty soft*, *Provil novo Light base*, das *Alginat Blueprint Cremex* sowie die Dentalgipse *Snow White No. 2, Occlumedanit* und *Silky Rock* sowohl mit Hilfe der Universalmischmaschine *Speed-Unguator-Dental* als auch manuell angemischt.

Die erhaltenen Materialproben der Silikone, Polyether und Alginate wurden hinsichtlich ihres Temperatur- und Viskositätsverhaltens sowie optisch untersucht. Der Viskositätsverlauf wurde über das Messen der Shore-Härte A nach DIN 53505 fortlaufend in einem Abstand von 30 sec über 8 min ermittelt. Die erhaltenen Daten der manuellen und maschinellen Serien wurden gegenübergestellt und graphisch abgebildet.

Die Zusammenhänge zwischen der Ausgangsviskosität der elastomeren Abformmassen, der Mischmethode, der Mischflügelbreite und dem Viskositätsanstieg wurden auf molekularer Basis erläutert.

Neben den werkstoffkundlichen Untersuchungen wurden die Handhabung und wirtschaftliche Aspekte beurteilt.

Der *Speed-Unguator-Dental-Fullautomat* wird der Bezeichnung Universalmischer nicht gerecht, da er zur Erzielung optimaler Anmischergebnisse nicht universell eingesetzt werden kann.

In Anbetracht der erbrachten Mischergebnisse sowie verbleibenden manuellen Dosierproblematik und der alternativ vorhandenen Mischsystemen kann der *Speed-Unguator-Dental-Fullautomat* für die zahnärztliche Praxis nicht empfohlen werden.

Zusammenfassend stellen sich die Ergebnisse zur Praxistauglichkeit des *Speed-Unguator-Dental* wie folgt dar:

- Das Anmischen der hochviskösen Elastomere *Provil novo Putty soft, Optosil comfort* und *Silaplast* nach Herstellerangaben durch den *Speed-Unguator-Dental* beschleunigte das Vernetzen der Materialien so stark, dass eine Abformung, frei von endogenen Spannungen, nicht mehr durchführbar war.
- Ein Reduzieren der Drehzahl und Mischzeit führte zwar zu einem verzögerten Abbinden der Abformmassen, jedoch konnte bei keinem der untersuchten Materialien bei homogener Durchmischung der manuell erstellten Probe vergleichbare Verhältnisse erreicht werden.
- Das Anmischen von niedrig- und mittelviskösen Elastomeren durch den *Speed-Unguator-Dental* führte im Vergleich zu manuell angemischten Proben zu einem 0,5-1 min früher messbaren Anstieg der Viskosität.
- Die Proben von *Xantopren mucosa* und *Impregum F* wiesen im Vergleich zu manuell angemischten Proben eine erhöhte Anzahl von klein- bis großkalibrigen Blasen auf.
- Das maschinelle Anmischen führte bei *Silaplast, Silasoft S + N, Xantopren VL* und *Xantopren mucosa* im Vergleich zu manuell erstellten Proben zu erniedrigten Shore-Härte A-Endwerten.
- Das Anmischen des Alginats *Blueprint Cremex* durch den *Speed-Unguator-Dental* lieferte im Bezug auf Farbe und Porositäten dem manuell angemischten Alginat vergleichbare Ergebnisse.
- Das Anmischen der Gipse *Snow White, Occlumedanit* und *Silky Rock* nach Herstellerangaben durch den *Speed-Unguator-Dental* führte im Vergleich zu manuell erstellten Proben zu einem beschleunigten Abbinden.
- Das Anmischen der Gipse *Occlumedanit* und *Silky Rock* lieferte blasenarme, aber mit Schlieren durchzogene Proben.
- Das Anmischen von dünnflüssigen Elastomeren durch den S*peed-Unguator-Dental* führte zu einem Materialverlust bei 50 ml Kruken von ca. 5,6 - 6,5 g (je nach Abformmasse), bei 100 ml Kruken von ca. 8,8 - 9,8 g (je nach Abformmasse). Demgegenüber verbleiben beim manuellen Mischen durchschnittlich ca. 3,7 - 4,4 g (je nach Abformmasse) auf dem Anmischblock.

- Nach dem Anmischen von dünnflüssigen Elastomeren gestaltete sich die erforderliche Reinigung von Kruke und Mischflügel als aufwendig.
- Bei der Verwendung des *Speed-Unguator-Dental* blieb die Problematik des manuellen Dosierens und dessen Folgen erhalten.
- Das Anmischen mit Hilfe des *Speed-Unguator-Dental* zeigte gegenüber manuellen Mischmethoden keinen zeitlichen Vorteil.

E Literaturverzeichnis

1 Berger, H. J.
Abformgenauigkeit bei ringlosen Abdrücken
Dtsch Zahnärztl Z 28, 1051-1054 (1973)

2 Breustedt, A.
Stomatologische Werkstoffkunde
Johann Ambrosius Barth, Leipzig (1978)

3 Britz, B.
Der Einfluss des maschinellen Anmischens auf das Abbindeverhalten elastischer Abformmassen
Med Diss, Saarland (1982)

4 Brown, D.
An Update on Elastomeric Impression Materials
Br Dent J 150, 35-40 (1981)

5 Combe, E. C.
Zahnärztliche Werkstoffe
Carl Hanser, München-Wien 199-206 (1984)

6 Craig, R. G.
Evaluation of an automatic mixing system for an Addition silicon Impresson material
J Am Dent Assoc 110, 213-215 (1985)

7 Dahl, B. L.
Tissue hypersensitivity to dental materials
J Oral Rehab 3, 117-120 (1978)

8 Das Dental-Vademecum
Deutscher Zahnärzteverlag Carl Hanser, Köln-München (2001)

9 Dreve, V.
Additionsvernetzende Silikone
Dentalmagazin Heft 4, 28-30 (1989)

10 Drummond, J. L., Randolph, R. G.
Comparsion Study of elastic impressions materials
J Prosthet Dent 56, 188-192 (1986)

11 Finger, W., Lockowandt, F.
Abform- und Modellmaterialien, eine funktionelle Einheit
Dtsch Zahnärztl Z 27, 620-624 (1972)

12 Finger, W.
Der Wärmeaustauschkoeffizient gummielastischer Abformmaterialien
Dtsch Zahnärztl Z 28, 671-676 (1973)

13 Finger,W.
Elastic and plastic propertis of elastic dental impression materials
Dent Mater 1, 129-134 (1985)

14 Finger, W., Ohsawa, M.
Effekt of mixing ratio on peoperties of elastomeric dental impression Materials
Dent Mater 2, 183-186 (1986)

15 Franz, G., Ritze, H.
Prüfung der Verarbeitungs- und Abbindezeit bei elastischen Abformmassen
Dtsch Zahnärztl Z 27, 189-196 (1972)

16 Franz, G.
Die elastische Rückstellung der Abformmassen und ihre Abhängigkeit von den Püfungsbedingungen
Dtsch Zahnärztl Z 27, 604-609 (1972)

17 Franz, G.
Das Prüfen der Konsistenz bei elastomeren Abformmaterial
Dtsch Zahnärztl Z 27, 665-673 (1972)

18 Franz, G.
Abbindezeit von Gips I. Kritik bisheriger Methoden
Dtsch Zahnärztl Z 28, 677-682 (1973)

19 Franz, G.
Abbindung von Gips II. Eigene Meßmethoden
Dtsch Zahnärztl Z 28, 1073-1077 (1973)

20 Franz, G.
Möglichkeiten und Grenzen elastischer Abformmaterialien
Zahnärztl Mitt 65, 24-29 (1975)

21 Franz, G.
Möglichkeiten und Grenzen elastischer Abformmaterialien
Zahnärztl Mitt 65, 64-68 (1975)

22 Franz, G.
Irreversibel elastische Abformmaterialien 1
Quintessenz J 6, 45-50 (1976)

23 Franz, G.
Irreversibel elastische Abformmaterialien 2
Quintessenz J 6, 37-43 (1976)

24 Franz, G.
Irreversible elastische Abformmaterialien 3
Quintessenz J 6, 49-52 (1976)

25 Franz, G.
Gips. In: Eichner, K. (Hrsg.), Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung.Band 1
Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH, Heidelberg (1981)

26 Gall, H.
Allergische Reaktionen auf zahnärztliche Werkstoffe
Dtsch Zahnärztl Z 38, 735-741 (1983)

27 Hambrok, H. J.
Einfluß des maschinellen Anmischens auf das Abbindeverhalten elastischer Abformmassen
Dtsch Zahnärztl Z 36, 805-810 (1981)

28 Harten, H. J.
Physik für Mediziner 7. Auflage
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg (1995)

29 Hoffmann-Axthelm, W.
Die Geschichte der Zahnmedizin
Quintessenz Verlag, Berlin (1973)

30 Hoffman-Axthelm, W.
Lexikon der Zahnmedizin. 6. Auflage
Quintessenz Verlag, Berlin (1995)

31 Höing, M. L.
Vergleichende Untersuchung manuell und maschinell angerührter und dosierter dentaler Abformmassen im Hinblick auf ihre Abformgenauigkeit
Med Diss, Münster (1997)

32 James, W. B., Wallace, S. W.
Acuracy and dimensional stability of elastomeric impression materials
J Prosthet Dent 42, 159-162 (1979)

33 Johnson G. H., Craig, R. G.
Accuracy of addition silicones as a funktion of technique
J Prosth Dent 55, 197-203 (1986)

34 Kachel, C.
Der Druckverformungsrest nach 30 % Stauchung von 10 elastomeren Abformmaterialien in Abhängigkeit von der Zeit und vom Mischungsverhältnis
Med Diss, FU Berlin (1981)

35 Keck, S. C.
Automixing: A new concept in elastomeric impression material delivery systems
J Prosthet Dent 54, 479-483 (1985)

36 Körber, K., Ludwig, K.
Zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart-NewYork (1993)

37 Kulenkamp, D.
Berufliche Kontaktallergie durch neuartige Abdruckmaterialien in der zahnärztlichen Praxis
Zahnärztl Mitt 66, 968-969 (1976)

38 Kühn, A.
Zahnärztliche Werkstoffkunde, In: Schwenzer, N., Grimm, G. (Hrsg.), Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde, Prothetik und Werkstoffkunde. Band 3,
Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York (1994)

39 Lehmann, K. M.
Abformmaterialien und- methoden. In: Voß, R., Meiners, H. (Hrsg.), Fortschritte in der Zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde. Band 4
Carl Hanser Verlag, München Wien (1980)

40 Mahler, D. B.
The volumetric contraktion of elastic dental impression materials
J Dent Res 32, 354-361 (1953)

41 Mansfield, M.
Elastomeric impression materials, a comparison of
methods for working and setting time
Br Dent J 132, 106-110 (1972)

42 Marcianah, C. F., Draughn, R. A.
Linear dimensional changes in addition curing silicone impression materials
J Prosthet Dent 47, 411-413 (1982)

43 Marxkors, R., Meiners, H., Mende, Th.
Einfluß von Temperatur und Dosierung auf die Vernetzungsgeschwindigkeit
elastomerer Abformmaterialien
Dtsch Zahnärztl Z 29, 810-814 (1974)

44 Marxkors, R.
Abformfehler und deren Vermeidung
Zahnärztl Welt 94, 466-473 (1985)

45 Marxkors, R.
Lehrbuch der Zahnärztlichen Prothetik. 2. Auflage,
Carl Hanser Verlag, München Wien (1993)

46 Marxkors, R., Meiners, H.
Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. 4. Auflage,
Carl Hanser Verlag, München Wien (1993)

47 McCabe, J. F., Stober, R.
Elasomeric Impression Materials
Br Dent J 149, 73-79 (1980)

48 Meiners, H.
Temperatur Effekte
Zahnärztl Welt 82, 448-456 (1973)

49 Meiners, H.
Reaktionswärme elastomerer Abformmaterialien
Dtsch Zahnärztl Z 30, 680-681 (1975)

50 Meiners, H.
Abformgenauigkeit mit elastomeren Abformmaterialien
Carl Hanser Verlag, München-Wien (1977)

51 Meiners, H.
Eigenschaft und Genauigkeit von elastomeren Abformmaterialien
(Polysulfide, Silikone, Polyäther)
Zahnärztl Welt 87, 426-430 (1978)

52 Meiners, H.
Vergleich der verschiedenen Elastomertypen
Zahnärztl Welt 87, 590-592 (1978)

53 Meiners, H.
Wärmetönung und Reaktionswärme elastomerer Abformmaterialien
Dtsch Zahnärztl Z 34, 678-680 (1979)

54 Meiners, H.
Der richtige Umgang mit elastomeren Abformmaterialien
Zahnärztl Mitt 70, 480-485 (1980)

55 Meiners, H.
Abdruckmaterialien
Quintessenz J 12, 721728 (1982)

56 Meiners, H.
Abformmaterialien. In: Maschinski, G. (Hrsg.), Lexikon Zahnmedizin, Zahntechnik
Urban & Fischer Verlag, München-Jena (2000)

57 Merkatz, H. E. von, Klötzer W. T.
Materialeigenschaften gebräuchlicher Gipsprodukte und deren Prüfung
Dtsch Zahnärtl Z 30, 194-199 (1975)

58 Neissen, L. C.
Effekt of latex gloves on setting time of polyvinylsiloxane putty impression material
J Prosth Dent 55, 128-129 (1986)

59 Pfeiffer, D.
Werkstoffkundliche Erkentnisse über elastomere Abformmaterialien und ihre Bedeutung für die routinemäßige Abformung
Zahnärztl Welt 97, 224-234 (1988)

60 Rehberg, H. J., Schwickerath, H.
Der Stand unserer Erkentnisse über die elastomeren Abformmaterialien
Dtsch Zahnärztl Z 29, 382-389 (1974)

61 Rehberg, H. J.
Die Quintessenz der zahnärztlichen Abformhilfsmittel
Quintessenz Verlag, Berlin (1978)

62 Rehberg, H. J.
Das Alginat-Abformmaterial-
Verarbeitung und klinische Einsatzmöglichkeiten
Zahnärztl Mitt 70, 470-475 (1980)

63 Rosen, M.
The effekt of latex gloves on setting time of vinylpolysiloxan putty impression material
Br Dent J 166, 374-375 (1989)

64 Schwander, U., Klötzer, W. T.
Werkstoffkundliche Prüfung von Alginatabformmaterialien
Dtsch Zahnärztl Z 31, 688-693 (1976)

65 Schwickerath, H.
Grundsätzliches zur Abformung und zu den Abformmaterialien
Dtsch Zahnärztl Z 27, 91-95 (1972)

66 Schwickerath, H.
Form- und Wiedergabegenauigkeit von elastomeren Abformmaterialien
Dtsch Zahnärztl Z 27, 616-619 (1972)

67 Schwickerath, H.
Zur Definition der Begriffe Verarbeitungszeit und Abbindezeit 1
Zahnärztl Welt 8, 105-109 (1972)

68 Schwickerath, H.
Werkstoffkunde in der Zahnheilkunde
Quintessenz Verlag, Berlin (1977)

69 Schwickerath, H.
Eigenschaften und Genauigkeit der Alginate
Zahnärztl Welt 87 669-672 (1978)

70 Schwickerath, H.
Die Quintessenz der Abformung mit Elastomeren
Quintessenz Verlag, Berlin (1981)

71 Schwindling, R.
Das Messen von Dimensionsveränderungen an elastomeren Abformmassen
Dtsch Zahnärztl Z 25, 710-716 (1970)

72 Schwindling, R.
Maßnahmen zur Vermeidung der Abbindekontraktion des Abformwerkstoffes Impregum
Dtsch Zahnärztl Z 25, 899-902 (1970)

73 Stachniss, V.
Fehler bei der Korrekturabformung und ihre Vermeidung
Dtsch Zahnärztl Z 32, 934-936 (1977)

74 Stackhouse, J. A.
A study of bubbles in a rubber elastomer manipulated under clinical conditions
J Prosthet Dent 57, 591-596 (1987)

75 Verweyen, W.
Geschichte und Entwicklung der plastischen Abdruckmassen
Zahnmed Diss, FU Berlin (1978)

76 Viohl, J.
Verarbeitungszeit und Abbindezeit elastomerer Abformwerkstoffe
Dtsch Zahnärztl Z 27, 598-603 (1972)

77 Viohl, J.
Abformwerkstoffe. In: Eichner, K. (Hrsg.), Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Band 1
Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH, Heidelberg (1981)

78 Welker, D.
Experimentelle Untersuchungen über die Auswirkung unterschiedlicher Dosierungen und Verarbeitungstemperatur auf Fließverhalten und elastische Eigenschaften normalfließender Silikonabformmasse
Stomatol DDR 26, 569-580 (1976)

79 Welker, D., Mehner, M.
Additionsvernetzte Silikone-Abformwerkstoffe
Stomatol DDR 29, 391-400 (1979)

80 Wenzler, J.
Quellung der elastomerem Abformmaterialien unter besonderer Berücksichtigung galvanoplastischer Modellherstellung
Med Diss, Köln (1976)

81 Williams, J. R., Craig, R. G.
Physical properties of addition silicones as a funktion of composition
J Oral Rehab 15, 639-650 (1988)

82 Williams, P. T.
An evaluation of the time-dependent dimensional stability of eleven elastomeric impression materials
J Prosth Dent 52, 120-125 (1984)

83 Wilson, H. J.
Elastomeric impression materials 1
Br Dent J 121, 277-283 (1966)

84 Wilson, H. J.
Elastomeric impression materials 2
Br Dent J 121, 322-328 (1966)

85 Wimmer, G.
Beeinflussung des Druckverformungsrestes von sieben zahnärztlichen elastomeren Abformmaterialien in Abhängigkeit von Dosier- und Mischhilfen
Med Diss, FU Berlin (1992)

86 Wirz, J.
Moderne Elastomere. Wichtige physikalische Eigenschaften Teil 2
Quintessenz 40, 1151-1156 (1989)

87 Wirz, J., Wöstmann, B.
Die Präzisionsabformung. Ein Leitfaden für Theorie und Praxis
ESPE Dental AG (1999)

88 Wöstmann, B.
Zum derzeitigen Stand der Abformung in der Zahnheilkunde
Habilitationsschrift, Münster (1992)

89 Wöstmann, B.
Abformmaterialien auf Silikonbasis
ZMK 6, 4-7 (1993)

90 Wöstmann, B.
Abformung und Modellherstellung. In: Diedrich, P. (Hrsg.),
Praxis der Zahnheilkunde. 5. Auflage
Urban & Fischer, München-Stuttgart-Jena-Lübeck-Ulm (1999)

91 Yeh, C. L.
Properties of addition type silicone impression materials
J Am Dent Assoc 101, 482-485 (1980)

92 Zeeck, A.
Chemie für Mediziner
Urban und Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore (1992)

F Danksagung

Herrn Prof. Dr. Dr. L. Figgener danke ich für die Überlassung des Themas und seine Anregungen.
Herrn Prof. Dr. H. Meiners danke ich für die Beratung in werkstoffkundlichen Fragen und die Überlassung der Meßinstrumente.
Bedanken möchte ich mich ebenso bei C. Schneider für die kollegiale Zusammenarbeit.

G Lebenslauf

Name:	Manfred Förster
Wohnort:	34431 Marsberg, Holunderweg 6
Geburtsdatum:	28.01.1968
Geburtsort:	Niedermarsberg
Familienstand:	ledig
Konfession:	römisch-katholisch
schulische Ausbildung:	1974 bis 1978 Besuch der Grundschule in Meerhof 1978 bis 1983 Besuch der Hauptschule in Westheim 1991 bis 1995 Besuch des Abendgymnasiums der Stadt Lippstadt, Abschluss der Allgemeinen Hochschulreife mit der Durchschnittsnote 1,6
berufliche Ausbildung:	1983 bis 1986 Besuch der Berufsschule in Büren, Abschluss als staatlich geprüfter Landwirt mit der Gesamtnote "gut" 1986 bis 1989 Besuch der Krankenpflegeschule des St. Johannesstift Marsberg, Abschluss als staatlich anerkannter Krankenpfleger mit der Gesamtnote "gut"
berufliche Tätigkeit:	1989 bis 1995 als Krankenpfleger im St. Johannesstift Marsberg Seit Oktober 2001 Ausbildungsassistent in der Praxis Dr. Wüllner in Marsberg
Grundwehrdienst:	Januar 1991 bis Dezember 1991 bei dem Fallschirmjägerbataillon 271 Iserlohn
Studium:	1995 bis 2001 Studium der Zahnmedizin an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Abschluss durch das Staatsexamen mit der Gesamtnote "gut"