

Vergleichende Untersuchungen über das Dimensionsverhalten hand- und maschinell dosierter Abformmaterialien im Hinblick auf Abweichungen gegenüber einem Urmodell.

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde  
des Fachbereiches Humanmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Eric Stamm  
aus Marburg

Gießen 2000

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde

Abteilung der zahnärztlichen Prothetik

Leiter: Prof. Dr. Ferger

des Klinikums der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter: Prof.Dr.Wöstmann

Gutachter: Prof. Dr. Dr. Herget

Tag der Disputation: 28.11.00

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ZIEL DER UNTERSUCHUNG</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Chemie und Eigenschaften moderner Abformmaterialien</b>	<b>4</b>
3.1.1	K-Silikone	4
3.1.2	A-Silikone	6
<b>3.2</b>	<b>Abformtechniken</b>	<b>9</b>
3.2.1	Korrekturabformtechnik	9
3.2.2	Doppelmischabformung	10
3.2.3	Sandwichabformung	11
3.2.4	Einphasenabformung	12
3.2.5	Die Washtechnik	12
<b>3.3</b>	<b>Wahl des Abformlöffels</b>	<b>13</b>
<b>3.4.</b>	<b>Die Modellherstellung</b>	<b>16</b>
3.4.1	Modellwerkstoff	16
3.4.2	Zeitpunkt der Modellherstellung	18
<b>3.5</b>	<b>Methoden zur Untersuchung des Dimensionsverhalten von Abformmaterialien in vitro</b>	<b>19</b>
<b>3.6</b>	<b>Problematik des Dosierens und Mischens von zahnärztlichen Abformmaterialien</b>	<b>21</b>
3.6.1	Dosieren	21
3.6.2	Der Mischvorgang	22
3.6.3	Dosier- und Mischhilfen	24
<b>4</b>	<b>MATERIAL UND METHODE</b>	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Getestete Abformmaterialien</b>	<b>29</b>
<b>4.2</b>	<b>Das Urmodell</b>	<b>32</b>
<b>4.3</b>	<b>Die verwendeten Löffel</b>	<b>35</b>
<b>4.4</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>37</b>
4.4.1	Vorbemerkung	37
4.4.2	Das Pentamixgerät	38
4.4.3	Die Einphasenabformung	38
4.4.4.	Die Sandwichabformung	39
4.4.5	Die Korrekturabformung	40
4.4.6	Die Modellherstellung	41
4.4.7	Die Sägemodellherstellung	43
<b>4.6</b>	<b>Vermessen der Modelle</b>	<b>49</b>
<b>4.7</b>	<b>Darstellung der Ergebnisse</b>	<b>54</b>
4.7.1	Pfeilerabstände	54
4.7.2	Pfeilerdurchmesser	54
4.7.3	Die Boxplots	56

<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>57</b>
<b>5.2</b>	<b>Pfeilerdurchmesser</b>	<b>62</b>
<b>5.3</b>	<b>Vergleich verschiedener Materialien aber gleicher Methoden</b>	<b>66</b>
5.3.1	Dimension Penta/Dimension garant L, maschinell angemischt ⇔ President putty soft/ President Regular body, manuell angemischt (Serie 1 und 4), jeweils Sandwichtechnik	66
5.3.2	Dimension Penta / Dimension garant L, maschinell angemischt ⇔ Panasil putty soft / Panasil contact plus, manuell angemischt (Serie 1 und 6), jeweils Sndwichttechnik	67
5.3.3	Dimension Penta / Dimension garant L, maschinell angemischt ⇔ 3M Express STD putty / 3M Express, manuell angemischt (Serie 1 und 9), jeweils Sndwichttechnik	68
5.3.4	Dimension putty soft / Dimension garant L, manuell angemischt ⇔ President putty soft / President Regular body, manuell angemischt (Serie 2 und 5), jeweils Korrekturtechnik	69
5.3.5	Dimension putty soft / Dimension garant L, manuell angemischt ⇔ Panasil putty soft / Panasil contact plus, manuell angemischt (Serie 2 und 7), jeweils Korrekturtechnik	70
5.3.6	Dimension putty soft / Dimension garant L, manuell angemischt ⇔ 3M Express STD putty / 3M Express, manuell angemischt (Serie 2 und 10), jeweils Korrekturtechnik	71
<b>5.4</b>	<b>Vergleich gleicher Materialien aber verschiedener Methoden</b>	<b>72</b>
5.4.1	Dimension Penta / Dimension garant L, Sandwichtechnik, maschinell angemischt ⇔ Dimension putty soft / Dimension garnat L, Korrekturtechnik, manuell angemischt (Serie 1 und 2)	72
5.4.2	President putty soft / President Regular body, Sandwichtechnik ⇔ Korrekturtechnik (Serie 4 und 5)	73
5.4.3	Panasil putty soft / Panasil contact plus, Sandwichtechnik ⇔ Korrekturtechnik (Serie 6 und 7)	74
5.4.4	3M Express STD putty / 3M Express, Sandwichtechnik ⇔ Korrekturtechnik (Serie 9 und 10)	75
<b>5.5</b>	<b>Vergleich verschiedener Materialien und verschiedener Methode, aber jeweils im einzeitigen Verfahren</b>	<b>76</b>
5.5.1	Monopren transfer mit Statikmischer verarbeitet, einphasig ⇔ Dimension Penta / Dimension garant L maschinell angemischt, Sandwichttechnik (Serie 8 und 1)	76
5.5.2	Monopren transfer mit Statikmischer verarbeitet, einphasig ⇔ President putty soft /President Regular body, manuell angemischt, Sandwich-technik (Serie 8 und 4)	77
5.5.3	Monopren transfer mit Statikmischer verarbeitet, einphasig ⇔ Panasil putty soft / Panasil contact plus, manuell angemischt, Sandwichttechnik (Serie 8 und 6)	78
5.5.4	Monopren transfer mit Statikmischer verarbeitet, einphasig ⇔ 3M Express STD putty / 3M Express, manuell angemischt, Sandwichttechnik (Serie 8 und 9)	79
<b>5.6</b>	<b>Vergleich gleicher Materialien und Methoden, jeweils mit verschiedenen Löffeln verarbeitet</b>	<b>80</b>
5.6.1	Dimension Penta / Dimension garant L im Anatomic B1 ⇔ Dimension Penta / Dimension garant L im Schreinemakers, jeweils maschinell angemischt und Sandwichtechnik (Serie 1 und 3)	80

<b>5.7</b>	<b>Vergleich von Modellen aus vier verschiedenen Gipssorten, die aus Abformungendes gleichen Materials und der gleichen Technik gewonnen wurden (Serie 11, 12, 13 und 14)</b>	<b>82</b>
<b>5.8</b>	<b>Vergleich von Sägemodellen zwei verschiedener Systeme, vor und nach dem Sägen</b>	<b>83</b>
5.8.1	Sägemodell Pins ungesägt - Sägemodell Pins gesägt (Serie 15 und 16)	83
5.8.2	Modelltray ungesägt - Modelltray gesägt (Serie 17 und 18)	84
<b>5.9</b>	<b>Diskussion</b>	<b>85</b>
5.9.1	Pfeilerabstände	85
5.9.2	Pfeilerdurchmesser	93
5.9.3	Folgerungen	95
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>97</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>98</b>
<b>8</b>	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>115</b>
<b>9</b>	<b>LEBENS LAUF</b>	<b>116</b>

# 1 Einleitung

Die zahnärztliche Abformung hat ihren Ursprung im 17. Jahrhundert. Der Breslauer Stadtarzt *Purmann* fertigte Abdrücke aus Wachs. *Pfaff*, der Hofarzt Friedrich des Großen, hatte 1756 den Einfall, die Wachsabdrücke mit Gips auszugießen. Weitere Abformmaterialien waren Gips und Guttapercha, die später von *Delabarre* und *Richardson* verwendet wurden. Im Jahre 1857 wurde von *Stent* eine Kompositabformmasse beschrieben. In Amerika verwendeten die Brüder *Greene* in dieser Zeit als Abformmasse Kerr.

Als erste elastische Abformmaterialien, die in der Lage waren untersichgehende Bezirke abzuformen, wurden 1925 von *Poller* die Hydrocoloide beschrieben, die 1928 unter dem Namen „Dentocol“ von der Firma De Trey auf den Markt gebracht wurden. *Windling* nutzte erstmals 1944 die Alginat zahnmedizinisch. In den 50er Jahren fanden die Polysulfide der Firma Thikol Laboratories Inc. Einzug in die Zahnheilkunde. Seit 1955 wurden zuvor nur industriell genutzte Silikonpolymere auch als Abformmaterial in der Zahnheilkunde verwendet und in den folgenden Jahren immer weiter entwickelt. Damit wurde eine neue Materialklasse, die kondensationsvernetzenden Silikone (K-Silikone), in der Zahnheilkunde eingesetzt. Seit 1965 werden von der Firma Espe Polyäther angeboten, die nur für zahnmedizinische Zwecke entwickelt wurden. Dabei handelt es sich um ein additionsvernetzendes hydrophiles Abformmaterial, das bei den mechanischen Werten den Hydrokolloiden und K-Silikon weit überlegen ist (170). 1975 wurden Silikone in ihrer weiterentwickelten Form als Abformmaterialien eingesetzt. Diese additionsvernetzenden Silikone (A-Silikone) hatten aber immer noch den Nachteil der Hydrophobie. Erst seit einigen Jahren gelingt es, die molekularchemisch bedingte Hydrophobie zu reduzieren. Durch Zusatz von oberflächenaktiven Tensiden steigt die Hydrophilie des abgebundenen Materials (2, 35, 111, 170).

Die Abformung stellt eine wichtige Voraussetzung für das Erreichen eines adäquaten Arbeitsmodelles dar. Sie ist, wie auch das Arbeitsmodell, ein Glied in einer Reihe von Arbeitsschritten, das maßgeblich die Qualität des Endproduktes beeinflusst. Da die im Zahnlabor hergestellten Arbeiten nur so gut sein können, wie die vom Zahnarzt zur Verfügung gestellte Abformung, kommt dieser eine erhebliche Bedeutung zu.

Beispiele:

- ⇒ Eine Krone, die auf einem im Durchmesser zu kleinen Kronenstumpf hergestellt wurde, wird am Patienten die Präparationsgrenze nicht erreichen.
- ⇒ Aus einem zu groß wiedergegebenem Stumpf resultiert ein zu großer Kronenrandspalt.
- ⇒ Sind die Abstände zweier Brückenpfeiler nicht exakt wiedergegeben, läßt sich eine Brücke oder Teleskoparbeit erst gar nicht einsetzen oder zumindest nicht in Sollposition bringen.

Dem Zahnarzt stehen derzeit mannigfache, qualitativ hochwertige Abformmaterialien auf dem Dentalmarkt zur Verfügung, mit deren Hilfe jedoch bis heute keine absolut dimensionstreue Abformung auf Grund material- und verfahrenstechnischer Fehler erreichbar ist.

Eine exakte Abformung und damit ein möglichst originalgetreues Modell ist dennoch unabdingbare Voraussetzung für eine hohe Passgenauigkeit von festsitzendem und herausnehm-barem Zahnersatz sowie für Diagnostik okklusaler Verhältnisse am Modell.

Dies läßt sich erreichen, indem möglichst durch Fehlervermeidung aus werkstoffkundlicher und verarbeitungstechnischer Sicht, die Paßgenauigkeiten der Werkstücke innerhalb einer biologischen Toleranzgrenze liegen. Ungenauigkeiten, die über diese Grenze hinausreichen, sind in der Regel durch vermeidbare Fehler bedingt.

Zu den wichtigsten Fehlern gehören:

- ⇒ falsches Dosieren der Komponenten
- ⇒ falsches Zeitintervall beim Anmischen der Komponenten

Um diese Fehler minimal zu halten sowie zur leichteren Verarbeitung, werden seit einiger Zeit Dosier- und Anmischhilfen auf dem Dentalmarkt angeboten. Seit 1993 steht das PENTAMIX-Gerät der Firma ESPE (Seefeld) zur Verfügung.

## **2 Ziel der Untersuchung**

Die vorliegende Arbeit umfaßt drei Versuchsreihen :

1. Vergleichende Untersuchungen über das Dimensionsverhalten hand- und maschinell dosierter Abformmaterialien im Hinblick auf Abweichungen gegenüber einem Urmodell, insbesondere unter dem Aspekt der automatischen Mischung. Hierbei wurden fünf Abformmassen jeweils im Sandwich und im Korrekturverfahren verarbeitet mit einer Ausnahme, bei der es sich um ein einphasiges Material handelte.
2. Vergleichende Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von zwei verschiedenen Hartgipsen sowie von zwei verschiedenen Spezialhartgipsen.
3. Vergleichende Untersuchungen über die Veränderung der Dimension von Sägemodellen nach dem Sägen eines Stumpfsegmentes. Hierbei wurden zwei verschiedene Sockelsysteme miteinander verglichen. Eine Hälfte der Sägemodelle wurde hierbei mit den üblichen Doppelpins versehen, die andere Hälfte wurde mit dem System MODEL-TRAY hergestellt.

### **3                    Literaturübersicht**

Im Folgenden sollen die in der vorliegenden Dissertation verwendeten Abformmaterialien dargestellt werden. Es wurden ausschließlich additionsvernetzende Silikone verarbeitet. Da es sich bei dieser Materialklasse um eine Weiterentwicklung der K-Silikone handelt, werden diese ebenfalls bezüglich der Chemie und Eigenschaften abgehandelt.

#### **3.1                    Chemie und Eigenschaften moderner Abformmaterialien**

##### **3.1.1                K-Silikone**

Die seit den fünfziger Jahren erhältlichen kondensationsvernetzenden Silikone, auch Polysiloxane genannt, sind makromolekulare Kondensationsprodukte organischer Siliziumverbindungen. Ihre Eigenschaften sind biologische Indifferenz, Resistenz gegen Lösungsmittel, Hydrophobie und, bis auf Volumeneffekte, Unempfindlichkeit gegen Temperatureinflüsse (88). Der Hauptbestandteil der K-Silikone, neben den Füllstoffen, ist das Polydimethylsilanol. Es handelt sich dabei um ein Makromolekül mit endständigen Hydroxylgruppen (14, 16). Um die Makromoleküle vom flüssigen in einen gummielastischen Zustand zu überführen, ist eine Härtersubstanz notwendig (99). Bei dieser Härtersubstanz handelt es sich um tetrafunktionelle Moleküle (Alkoxysilane) und eine Zinnverbindung als Katalysator. Durch die Härtermoleküle werden die Polymere unter Abspaltung von Methanol oder Ethanol miteinander vernetzt.

Der Volumenverlust beträgt je nach Fabrikat und Füllungsgrad zwischen 0,2 und 0,4% lin. innerhalb von 24 Stunden (97, 101, 105). Die Schrumpfung setzt sich zusammen aus der Polymerisationsschrumpfung und dem Volumenverlust durch die Verdunstung des Ethanol. Hinzu kommt die thermische Kontraktion des Materials bei der Abkühlung von Mund- auf Raumtemperatur. Insgesamt erreichen die K-Silikone Kontraktionswerte von bis zu 0,8 % lin.. Einzelne Produkte liegen sogar noch darüber (30, 38, 101, 106, 121).

Durch Änderung der Härterzugabe läßt sich die Verarbeitungszeit der K-Silikone zu Lasten der Materialeigenschaften verändern. Für Funktionsabformungen des zahnlosen oder teilbezahnten Kiefers werden von einigen Herstellern besonders langsam härtende Materialien angeboten (28). Durch Kühlung des Materials läßt sich ebenfalls eine Verlangsamung der Vernetzungsre-

aktion erreichen (100, 151). Eine Temperaturniedrigung um 10 ° C bedeutet etwa eine Verdoppelung der Verarbeitungszeit, analog zur van' t Hoff'schen Regel (21, 143).

Bei einigen K- Silikonen muß der Härter in flüssiger Form dem festeren Material zugemischt werden. Dabei können die Abweichungen bei +/- 10 % liegen, je nach Größe und Beschaffenheit der Tropfflasche. Auch durch Verspritzen der Flüssigkeit während des Anmischens kommt es zu Ungenauigkeiten der Dosierung\* (4, 66). Eine Unterdosierung des Härters hat eine unzureichende Vernetzung und damit eine erhebliche Verschlechterung, insbesondere der Elastizität und der Endhärte des Materials, zur Folge. Eine Überdosierung führt zu einer beschleunigten Vernetzung und zu einer Verkürzung der Verarbeitungszeit (100, 108).

\*Weitere Ausführungen zur Problematik des falschen Dosierens sind im Teil 3.6 zu finden.

### 3.1.2 A- Silikone

Der Nachteil der kondensationsbedingten Schrumpfung konnte mit der Entwicklung eines anderen Vernetzungsmechanismus beseitigt werden. Bei diesen in den 70er Jahren entstandenen Polyvinylsiloxanen wird das Prinzip der Additionsvernetzung genutzt. Während dieser Art von Reaktion werden keine Nebenprodukte freigesetzt, was eine Schrumpfung durch deren Verdunstung ausschließt. An der Reaktion sind unterschiedliche monomere siliziumfunktionalisierte Kohlenwasserstoffketten (Hydrogen-Siloxan, Vinyl-Siloxan) und ein Platinkatalysator beteiligt. Die Additionsreaktion von Hydrogen Siloxan (-O-Si-H) an Vinyl-Siloxan (CH<sup>2</sup>=CH-Si-O-) zum Polyvinylsiloxan findet unter Bildung von Ethylbrücken am Platinkatalysator statt (2, 30, 70, 99, 159, 170, 171, 173). Der Platinkatalysator ist eine Platinverbindung, die ausgehend von H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> durch Reduktion eingestellt wird, und dient als molekulare "Andockstation" für die beiden Reaktionspartner, die anschließend aneinander gekoppelt die Platinverbindung wieder verlassen (Abb. 3.1) (170).

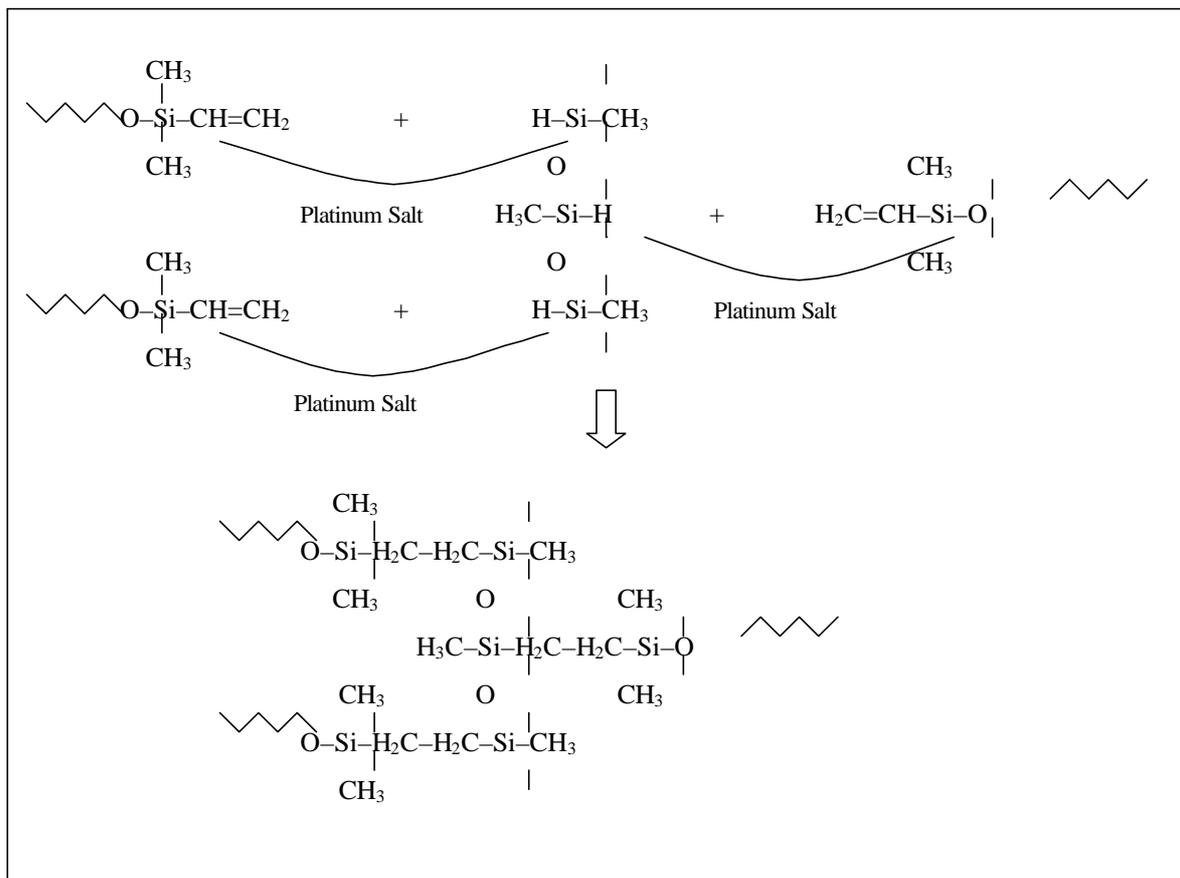


Abb.3.1: Polymerisationsmechanismus bei A-Silikonem (170)

A-Silikone sind hydrophob, da sie mehr oder weniger aus apolaren Kohlenwasserstoffketten bestehen. Durch geeignete Zusätze lassen sich die Materialien hydrophilisieren. Es handelt sich dabei aber immer um extrinsische Zusätze, eine echte intrinsische Hydrophilie wie bei den polaren Polyäthermolekülen lässt sich bei diesen Molekülen nicht einstellen (170).

Um die flüssigen Siloxan Ausgangsverbindungen pastös zu machen, werden den Pasten anorganische Füllstoffe beigemischt. Über entsprechende Füllstoffe lassen sich auch die thixotropen Eigenschaften der A-Silikone steuern. Die Farbe der Materialien wird durch Zugabe von Pigmenten eingestellt (170).

Bestimmte Fremdstoffe können während der Verarbeitung der Silikone einen Einfluß auf die Vernetzungsreaktion haben. Hierbei sind die A-Silikone wesentlich empfindlicher als die K-Silikone.

Als Beispiele sind zu nennen:

- ⇒ Latexpartikel
- ⇒ Metallsalze

Latexpartikel inhibieren den Katalysator, so daß es zumindest teilweise zu einer unvollständigen Vernetzungsreaktion kommt (65, 114, 115, 117, 126). Daher sollte beim Anmischen darauf geachtet werden, daß immer geeignete Handschuhe verwendet werden oder die Komponenten ohne Handschuhe angemischt werden. Ebenso inhibieren Metallsalze die Vernetzungsreaktion. Daher sollten Adstringentien, in denen diese enthalten sind, nicht verwendet werden (171).

Die polymerisations- und lagerungsbedingte Schrumpfung der meisten A-Silikone liegt unterhalb von 0,5 % lin. (30, 63, 101, 102, 106). Daraus resultiert ein entscheidender Vorteil der A-Silikone bzgl. der Lagerungsfähigkeit, die problemlos mehrere Tage betragen kann, während K-Silikone innerhalb einer Stunde ausgegossen werden sollten (73, 163).

Die A-Silikone zeigen gegenüber vergleichbaren K-Silikonem einen höheren E-Modul sowie eine höhere Zerreißfestigkeit (101, 127, 156, 175).

Bei der Entfernung eines Abformmaterials aus einer Infrawbung wird das Material zwangsläufig mehr oder weniger gestaucht, wobei eine Stauchung bis auf 2/3 der Ausgangslänge noch tolerabel ist. Da abgebundenes Silikon neben elastischen Eigenschaften auch plastische Eigenschaften aufweist, verbleibt bei der Entfernung aus einer Infrawbung ein Verformungsrest. Dieser ist insbesondere bei additionsvernetzenden Silikonem sehr gering (68, 158). Das hohe

Rückstellungsvermögen der A-Silikone wird von keinem anderen Material erreicht (37, 51, 61, 165).

A-Silikone haben eine relativ lange Verarbeitungszeit und binden dann schnell zu festen Elastomeren ab (52, 110). Die Verarbeitungszeit kann durch Zugabe von Verzögerern kontrolliert verlängert werden (148, 149). Die dabei entstehende geringfügige Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften (152) ist vernachlässigbar, da solche Verzögerer in erster Linie in Zusammenhang mit Funktionsabformungen bei der Totalprothetik verwendet werden, bei denen schon allein aufgrund der Schleimhautresilienz nicht die gleiche Präzision erforderlich ist, wie bei der Abformung präparierter Zähne. Wie bei den K-Silikonem läßt sich die Verarbeitungszeit auch durch Abkühlen des Materials verlängern (21, 100, 151, 143).

Werden die vom Hersteller empfohlenen Mischungsverhältnisse nicht beachtet\*, hat dies stets Auswirkungen auf die Reaktionskinetik und die physikalischen Eigenschaften der Silikone. Eine Überdosierung des Härter bedingt eine beschleunigte Vernetzung und führt somit zu einer Verkürzung der Verarbeitungszeit (100). Dieses wiederum hat vermehrt das Entstehen von endogenen Spannungen zur Folge (105).

Endogene Spannungen entstehen dadurch, daß die Abformmasse in dem Moment in dem sie in die Mundhöhle eingebracht wird, bereits mit der Vernetzung begonnen hat, da diese in dem Moment beginnt, in dem der Härter hinzugemischt wird (60). Es existieren zum Zeitpunkt der eigentlichen Abformung also bereits einige elastische Bezirke innerhalb des Materials. Zwar vermindern sich die Spannungen auf Grund von Fließvorgängen während der Aushärtung, ein Teil der Spannungen bleibt jedoch erhalten. Diese „eingefrorenen“ Spannungen haben eine gewisse Rückstellungstendenz, die nach Entnahme aus dem Mund zu Deformationen der dargestellten Lumina führen (96, 107, 112, 131). Die Reaktionskinetik der A-Silikone weist einen späteren Beginn der Vernetzung auf, als es bei den K-Silikonem der Fall ist (157, 167). Somit haben sie auch eine geringere Tendenz zur Ausbildung endogener Spannungen.

\*Weitere Ausführungen zur Problematik des falschen Dosierens sind im Teil 3.6 zu finden.

## **3.2 Abformtechniken**

### 3.2.1 Korrekturabformtechnik

Die Technik der Korrekturabformung stellt ein zweizeitiges zweiphasiges Verfahren dar, bei dem zunächst eine Vorabformung aus einem hoch viskösen Material gewonnen wird, die dann in einem zweiten Schritt mit einem niedrig viskösen Material präzisiert wird. Das für die Abformung von Inlays, Teilkronen, Kronen, Brücken und Kombinationsarbeiten am häufigsten angewandte Verfahren war bis 1991 in den alten Bundesländern das Korrekturverfahren (171). Die heute gebräuchliche Korrekturabformung wurde erstmals 1965 von *Hoffmann* vorgestellt (54) und stellt eine Weiterentwicklung des Doppelabdruckverfahrens nach *Stahl* dar, das erstmals 1956 beschrieben wurde (147). Bei diesem Verfahren wurden, in einer ersten Phase, die noch unpräparierten Zähne mit einem thermoplastischen Material abgeformt, nach der Präparation erfolgte eine Zweitabformung mit einem Elastomer. Der entscheidende Nachteil dieses Verfahrens bestand in der unzureichenden Haftung des Elastomers an dem thermoplastischen Material (55, 56).

Auch bei sachmäßiger Anwendung des Korrekturabformverfahrens resultieren stets zu klein wiedergegebene Kronenstümpfe (4, 13, 18, 31, 34, 47, 55, 56, 72, 74, 82, 142). Die Ursache hierfür ist methodisch bedingt. Durch unvollständig ausgeflossenes Korrekturmaterial kommt es zur Deformation der Erstabformung, welche sich nach Abnahme der Abformung zurückstellt. Dadurch verengen sich die abgeformten Lumina (4, 55, 56, 77). Die stärkste Deformation findet an den Stellen des geringsten Widerstandes statt, nämlich in der Mitte der abgeformten Flächen und in Richtung der größten Schichtdicke des zuerst abgeformten Materials (161). Daraus ergibt sich nicht nur eine Verkleinerung, sondern auch eine sanduhrähnliche Verjüngung der Kronenstümpfe (31). *Wirz* und *Schmidli* führen die Entstehung dieser Verjüngung auf das Auftreten eines Unterdrucks, der beim Abzug der Abformung von zylindrischen Körpern entsteht, zurück (165).

Um die elastischen Deformationen möglichst gering zu halten, muß die Erstabformung von allen Unterschnitten befreit werden. Diese entfernt man mit einem Skalpell. Dadurch wird einem zu großen Staudruck vorgebeugt und damit die Verdrängung gering gehalten (74, 96). Nachweislich erhöhen dünne Schichtdicken des Korrekturmaterials die Abformgenauigkeit (86). *Meiners* warnt vor einer Druckanwendung über die Applikationsphase hinaus, da sonst Spannungen im Erstmaterial entstehen, die zu Ungenauigkeiten führen können (104, 105). *Knoblauch* weist darauf hin, daß das Erstmaterial eine Shore Härte von 70 erreichen muß, um durch den Applikationsdruck nicht verformt zu werden (69). Speziell für den Fall, infragingivale Bereiche darzu-

stellen, ist die Methode der Korrekturabformung besonders gut geeignet, da der beim Einbringen entstehende Staudruck das Korrekturmateriale in diese sonst schwer erreichbaren Stellen preßt (75).

### **3.2.2 Doppelmischabformung**

Die Methode der Doppelmischabformung ist ein einzeitiges zweiphasiges Verfahren, das den Vorteil gegenüber der Korrekturtechnik oder dem Doppelabdruckverfahren hat, weniger zeitaufwendig zu sein und genauere Abformergebnisse zu liefern. Es wurde bei diesem Verfahren die gleiche Technik, die schon bei dem Kerr- Permlastik- Doppelmischverfahren angewendet wurde, auf Silikonabformmaterialien übertragen (12, 13, 31).

Hierbei werden ein hoch und ein niedrig visköses Material gleichzeitig angemischt und appliziert. Dabei wird zunächst der abzuformende Zahn mit dem dünnfließenden Material umspritzt und der mit dem hoch viskösen Material beschickte Löffel direkt nachgeschoben. Beide binden gleichzeitig ab (71). Die etwas genaueren Abformergebnisse gegenüber dem Korrekturverfahren resultieren aus der einzeitigen Vorgehensweise, durch die Verdrängungseffekte ausgeschlossen werden (31, 72, 81). Dennoch sind auch bei dem Doppelmischverfahren die abgeformten Lumina geringfügig zu klein wiedergegeben. Dies ist darin begründet, daß bereits einige vernetzte Bereiche im Material vorliegen, bevor die Abformung in Position gebracht wird, da durch die gleichzeitige Verarbeitung beider Materialphasen die jeweilige Abformmasse eine längere Verarbeitungszeit aufweist. Es entstehen also endogene Spannungen (vgl. 3.1.2), die sich nach der Entnahme zumindest teilweise zurückstellen. Dieses wiederum führt zu einer Verkleinerung der Lumina (4, 8, 81, 97). Bei einer Untersuchung von *Bollmann* und *Meiners* konnte dieser Effekt durch den Einsatz eines Langzeithärterers minimiert werden (8).

Die seltene Anwendung des Verfahrens in Deutschland (171) ist wahrscheinlich darin begründet, daß der Stempeldruck, der für die doch häufig abzuformenden subgingivalen Bereiche benötigt wird, unzureichend ist (119). Außerdem ist ein gutes Timing zwischen Behandler und Hilfsperson nötig, da das hoch visköse Material im gleichen Moment angemischt sein muß, in dem der Behandler das Applizieren des niedrig viskösen Materials im Zahnbereich beendet hat (93, 95).

### **3.2.3 Sandwichabformung**

Eine Modifikation des Doppelmischverfahrens stellt die Sandwichabformung dar. Aufgrund der erheblich verkürzten Verarbeitungszeit gegenüber dem Doppelmischverfahren lassen sich Vorvernetzungen und damit endogene Spannungen nahezu vollständig vermeiden (4, 119). Beide Abformmaterialien werden in etwa gleichzeitig angemischt, wobei mit dem zähplastischen Material etwas früher begonnen werden sollte, da der Mischvorgang länger dauert (97, 119). Der entscheidende Unterschied zur Technik der Doppelmischabformung ist die Applikation des Korrekturmateri als. Dieses wird nicht am abzuformenden Zahn appliziert, sondern direkt auf das höher visköse Material aufgebracht, das sich bereits im Löffel befindet. Durch das Über-einanderschichten der Materialien entstand der Begriff „Sandwich“ (95). Dem Vorteil der Zeitersparnis steht der Nachteil der häufig ungenügenden Abformgenauigkeit in subgingivalen Bereichen gegenüber. Grund hierfür ist zum einen der fehlende Stempeldruck, zum anderen die Tatsache, daß die marginale Gingiva von dem hochviskösen Material beim Einbringen des Löffels verdrängt und dadurch der Sulcus verschlossen wird, selbst wenn dieser zuvor mit Retraktionsfäden geöffnet wurde (119). Dieser Nachteil ist bei dem Doppelmischverfahren nicht gegeben, da durch die direkte Applikation am Zahn, die subgingivalen Bezirke per Applikationsspritze erreicht werden können. Trotz der Abformgenauigkeit und der einfachen Durchführbarkeit wird das Sandwichverfahren nur sehr selten angewandt (171).

### **3.2.4 Einphasenabformung**

Es handelt sich hierbei um ein einzeitiges, einphasiges Verfahren, bei dem also ein Material mit nur einer Konsistenz verwendet wird. Die Konsistenz muß derart beschaffen sein, daß sich das Material gerade noch mit einer Spritze applizieren läßt (97). Desweiteren wird genau so ver-

fahren wie bei der Doppelmischabformung, indem gleichzeitig der Löffel beschickt und der präparierte Zahn umspritzt wird (171). Zur Herstellung einer Einphasenabformung werden individuelle Löffel empfohlen, um zu gewährleisten, daß eine gleichmäßige Schichtstärke des Abformmaterials in allen Bereichen entsteht (48, 94, 97,143). Ungenauigkeiten, die durch Reaktionsmechanismen zustande kommen, werden dadurch gering gehalten (94). Eine Deformation des Löffels durch das Abformmaterial selbst ist aufgrund der niedrigen Viskosität nicht zu befürchten.

### **3.2.5 Die Washtechnik**

Wie bei dem Doppelmischverfahren handelt es sich bei dieser Technik um ein einzeitiges, zweiphasiges Verfahren, das vor allem in den USA große Verbreitung gefunden hat. Es wird also mit zwei unterschiedlichen Konsistenzen gearbeitet. Das höher visköse Material „heavy body“ genannt, weist hierbei keine so hohe Differenz zu dem niedrig viskösen auf, wie es bei der Putty Masse der Doppelmischtechnik der Fall ist. Die Verfahrensweise entspricht sonst der der Doppelmischtechnik. Ein weiterer Unterschied liegt in der Verwendung von individuellen Löffeln, wie es auch bei der Einphasenabformung der Fall ist (48, 94, 97, 134).

Da endogene Spannungen und elastische Deformationen durch Verwendung eines individuellen Löffels nur noch in sehr geringem Maße auftreten (97), lassen sich mit Hilfe der Washtechnik oder der Einphasenabformung sehr genaue Ergebnisse erzielen.

## **3.3 Wahl des Abformlöffels**

Für die Präzision der Abformung ist die Wahl der Abformtechnik ebenso wichtig, wie die korrekte Wahl des Abformlöffels.

Bedingt durch die Abformtechnik wird bei der Durchführung eine bestimmte Kraft auf den Löffel und das darin befindliche Abformmaterial ausgeübt, wenn dieser im Mund in Position gebracht wird. Nach dem physikalischen Gesetz „*actio = reactio*“ wirkt diese Kraft in gleichem Maße auf Zähne, Schleimhaut, Abformmaterial und den Löffel. Ist diese Kraft entsprechend groß, kann es zur Verformung der Löffelwände kommen. Diese Verformungen stellen sich nach dem Entfernen aus dem Munde wieder teilweise zurück und können somit eine Verzerrung der Abformung zur Folge haben (121, 124, 132, 137). Die Kraft, die der Behandler beim Einbringen einer Abformung aufbringen muß, ist ihm willentlich nur in geringem Maße kontrollierbar (132, 137, 138).

Folgende Faktoren, die diese Kraft beeinflussen, werden von *Schwickerath* aufgeführt (132, 137,138) :

- ⇒ die Eintauchgeschwindigkeit der Zähne
- ⇒ die Abflußmöglichkeiten des Abformmaterials
- ⇒ der Zeitpunkt des Einbringens der Abformung
- ⇒ die Viskosität des Abformmaterials

Die Viskosität wiederum ist unter anderem von der Menge des zugemischten Härters und somit der Dosierung abhängig.

Es muß grundsätzlich ein starrer, verwindungssteifer Löffel benutzt werden, wenn zähplastische Materialien verwendet werden (124, 130, 133). Diese Eigenschaft wird am ehesten mit verchromtem Messing oder besser noch mit nicht rostendem 18/8-Stahl erreicht. Stahl hat einen etwa doppelt so hohen E- Modul wie die Messinglegierung (137, 138). Da sich Form und Größe der Löffel kaum unterscheiden, ist somit nur eine halb so große Verformung der Stahllöffel gegenüber der Löffel aus Messing bei gleichen Kräften zu erwarten (130, 132).

Konfektionierte Löffel aus Kunststoff sind für Abformverfahren mit zähplastischen Materialien ungeeignet, da aufgrund ihrer geringen Stabilität mit erheblichen Deformationen zu rechnen ist. Das E-Modul dieser Kunststoffe beträgt nur 1/70 des E-Moduls von Stahl. Um diesen Deformationen entgegenzuwirken, reicht es nicht aus, die Löffelwände zu verstärken (132).

Konfektionierte Löffel aus Stahl oder Messing müssen bzgl. Form und Größe bestimmte Kriterien erfüllen. Es ist darauf zu achten, daß im Bereich der Unterschnitte die Schichtstärke des

Abformmaterials mindestens drei bis viermal so groß ist wie seine Tiefe, weil nur dadurch sichergestellt wird, daß keine übermäßigen Deformationen des Abformmaterials zurückbleiben (96, 129). Weiterhin wird durch Form und Größe des Löffels die Schichtstärke des Abformmaterials bestimmt. Je größer die Schichtstärke ist, desto größer sind die Ungenauigkeiten, die durch Volumenänderungen auftreten, welchen jedes Abformmaterial unterliegt. Es ist also eine möglichst gleichmäßig dünne Schicht anzustreben. Dies veranschaulicht, daß der Löffel nicht wahllos zu groß ausgewählt werden darf, sondern möglichst nur so groß, daß die geforderten Schichtstärken erreicht werden. Dies ist am ehesten mit individuellen Löffeln zu erreichen (6, 10, 94, 132, 166). Sind Unterschnitte in dem abzuformendem Objekt vorhanden, so sind diese vor Anfertigung des Löffels in drei bis vierfacher Stärke auszublocken (94).

### **Individuelle Löffel**

Die Anwendung von individuellen Löffeln bei Abformverfahren mit zähplastischen Materialien ist nicht zulässig, da ihnen ebenfalls der Nachteil der unzureichenden Formstabilität anhaftet, und sie somit nicht als starr zu betrachten sind (122, 124, 174). Die Größe der Deformation hängt entscheidend von dem verwendeten Löffelmaterial ab. Thermoplastisch verformbare Kunststoffplatten und Schellackplatten sind als Löffelmaterial ungeeignet. Die besten Ergebnis-

se zeigen kaltpolymerisierende und lichtpolymerisierende Kunststoffe, sofern eine ausreichende Schichtdicke des Materials von  $> 2$  mm eingehalten wird (122, 124).

Werden individuelle Löffel aus Polymethylmethacrylat verwendet, ist zu beachten, daß diese nach der Fertigstellung mindestens 24 Stunden lagern, damit innere Spannungen, die durch Polymerisationsschrumpfung und Temperaturänderungen auftreten, abgebaut werden können, und keine Formveränderungen mehr zu erwarten sind. Die Schichtdicke des Materials sollte 4 mm betragen und darüber hinaus an besonders beanspruchten Stellen verstärkt werden (132). Hinsichtlich der möglichen Verzerrung der Abformung ist auch der Haftverband zwischen Löffel und Abformmaterial zu beachten. Hierbei ist einerseits ein Adhäsiv erforderlich, das speziell auf das entsprechende Abformmaterial abgestimmt ist (20), andererseits ist eine möglichst dünne Schicht des Adhäsivs anzustreben, da zu dicke Schichten die Adhäsion des Abformmaterials am Löffel vermindern (1, 79). Löst sich nach dem Abformvorgang das Material vom Löffel oder kehrt dieses nicht vollständig in seine Ausgangslage zurück, führt dies unweigerlich zu Verzerrungen der gesamten Abformung (99, 129, 132). Deshalb sollten perforierte Löffel eingesetzt werden, wenn zähplastische Materialien zur Verwendung kommen (74, 167). Als zusätzliche Retention sollte außer den Perforationen ein geeignetes Adhäsiv verwendet werden (79).

Trotz dieser Maßnahmen kommt es zu einer Verzerrung der Abformung, da aufgrund von Volumenänderungen das Abformmaterial schrumpft. Dies geschieht in Richtung der Löffelwände. Das Ausmaß dieser Verzerrung ist somit vom Volumen, bzw. von der Schichtdicke des Abformmaterials abhängig (96).

### **3.4 Die Modellherstellung**

Abformung und Modellherstellung hängen unmittelbar zusammen. Das Arbeitsmodell ist in der Herstellungskette einer Arbeit wie z.B. einer Krone ein wichtiger Faktor, weil die Modellherstellung nicht wiederholbar ist, ohne eine neue Abformung zu machen und alle anschließenden Arbeitsschritte nur so genau sein können, wie dieses Modell (98). Da es um die Frage geht, wie präzise die Dimensionen eines Urmodelles mit Hilfe eines Abformmaterials wiedergegeben werden können, stößt man auf die recht undankbare Aufgabe, in der Abformung Hohlformen

ausmessen zu müssen. Um dies zu umgehen, beurteilt man die Abformung indirekt durch Vermessen des von der Abformung gewonnenen Modelles. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Eigenschaften der verwendeten Modellwerkstoffe ihrerseits die Dimensionen des Modells beeinflussen. Da außerdem die Einflüsse von verschiedenen Abformmaterialien und -techniken zu untersuchen sind, werden selbstverständlich die Bedingungen der Modellherstellung konstant gehalten ebenso wie der Modellwerkstoff selbst.

### **3.4.1 Modellwerkstoffe**

Zur Modellherstellung werden in erster Linie Spezialhartgipse vom Typ IV der DIN-Norm 13911 verwendet (29). Deren Abbindeexpansion darf nicht mehr als 0,15 % lin. betragen. Überdies werden auf dem Dentalmarkt auch Epoxykunststoffe angeboten. Im Gegensatz zu Gips schrumpfen Epoxykunststoffe bei der Verfestigung (32). Ein Nachteil, der den Epoxykunststoffen anhaftet, ist die chemische Reaktion mit Abformmaterialien auf Polyätherbasis, die zu einem Verkleben an den Oberflächen der Werkstoffe führt (78).

Die Dentalgipse vom Typ IV erreichen ihre maximale Expansion 24 Stunden nach der Abbindereaktion und schrumpfen während eines Zeitraumes von 6 bis 7 Tagen wieder auf ein Drittel ihrer maximalen Expansion und gelangen somit erst nach dieser Zeit auf ihre Enddimension (40, 41). Alle Gipsmodelle unterliegen aufgrund der Abbindereaktion einer Vergrößerung gegenüber dem „Original“ (41, 84, 89). Die besten Gipse vom Typ IV weisen lediglich eine maximale Expansion von 0,05 % lin. auf (19). Die Dimensionen eines daraus resultierenden Modells lassen sich allerdings anhand der Expansionswerte nur annähernd bestimmen, da die Vorgänge bei der Abbindereaktion zu verschieden großen Abweichungen der Dimension führen (92).

#### **Anmischvorgang :**

Bei der Dosierung des Gips/Wasser-Verhältnisses müssen die Angaben des Herstellers genau eingehalten werden (57). Schon kleine Abweichungen dieser Angaben können zu erheblichen, nachteiligen Veränderungen der physikalischen Eigenschaften des Gipses führen (41), wie z.B.:

- ⇒ verminderte Härte
- ⇒ verminderte Druckfestigkeit

Werden vom Hersteller bzgl. der Wassermenge verschiedene Werte angegeben, so ist stets die kleinste Menge zu wählen, da so die besten mechanischen Eigenschaften erreicht werden (40, 41). Der Gips sollte mechanisch in einem Vakuumanrührgerät angemischt werden. Dies gewährleistet zum einen eine gleichmäßige, gleichbleibende Vermischung, zum anderen sorgt die Vakuumpumpe dafür, daß es zu wenigen oder gar keinen Lufteinmischungen kommt und somit die Porenzahl und -größe im Gipsmodell gering gehalten wird (41).

Um beim Ausgießen der Abformung Lufteinschlüsse zu vermeiden, kann es sinnvoll sein diese mit einem Oberflächenentspannungsmittel zu behandeln. Außerdem sollte das Ausgießen unter mechanischer Vibration auf einem Rüttler stattfinden (59).

#### **Lagerung nach dem Ausgießen :**

Unmittelbar nach dem Ausgießen sollte die Abformung so abgelegt werden , daß die Modelloberfläche nach unten zeigt. Da die Gipskristalle sedimentieren, tun sie dies dann in Richtung der Modelloberfläche und erzeugen dort die höchste Härte des Gipses (41, 99).

#### **Modellreifung :**

Seine maximale Härte erreicht das Gipsmodell nach 5 bis 6 Tagen (40). Ein Wässern des Modells sollte unterbleiben, da die nachträgliche Wasseraufnahme zu einer bleibenden Vergrößerung führen würde (41).

Bei der Herstellung eines Sägmodells muß auch für den Sockel ein Gips des gleichen Typs oder ein spezieller „Sockelgips“\* verwendet werden. Wird der Sockel aus Gips des Typs III hergestellt, hat das zur Folge, daß der höher expandierende Typ III Gips den bereits ausgehärteten Zahnkranz über die Pins aufdehnt (41, 62, 84). Dies hat entsprechende Dimensionsveränderungen am fertigen Modell zur Folge.

### **3.4.2 Zeitpunkt der Modellherstellung**

Elastomere dürfen, je nach Hersteller, frühestens nach 30 bis 60 Minuten nach Entnahme aus dem Mund ausgegossen werden. Dies ist darin begründet, daß aufgrund der Entnahme eine Deformation des Materials entsteht, deren elastische Rückstellung erst abgewartet werden muß (40, 41).

Werden Polyäther oder auch kondensationsvernetzende Silikone zu früh ausgegossen, kann dies die Härte des Gipsmodells negativ beeinflussen (41). K-Silikone sollten innerhalb der ersten zwei Stunden ausgegossen werden. Die Lagerung weit über diesen Zeitraum hinaus, wie z.B. über Nacht oder gar über mehrere Tage, ist nicht vertretbar (83, 90). Polyäther und A-Silikone hingegen können ohne weiteres länger gelagert werden (62, 76). Die thermische Kontraktion von Elastomeren bei der Abkühlung von Mund- auf Raumtemperatur kann durch eine Erwärmung der Abformung auf 37°C kurz vor dem Ausgießen kompensiert werden (27).

\*Spezielle Sockelgipse haben eine etwas geringere Härte als ein Typ IV Gips, aber eine gleichmäßig niedrige Expansion.

### **3.5 Methoden zur Untersuchung des Dimensionsverhalten von Abformmaterialien in vitro**

Viele Autoren haben bereits das Dimensionsverhalten elastischer Abformmaterialien untersucht. Meistens wurde ein Prüfkörper oder ein Urmodell mehrfach abgeformt und die daraus hergestellten Modelle vermessen (5, 7, 31, 32, 33, 46, 58, 80, 82, 84, 85, 86, 91, 139, 160, 161). Die indirekte Bestimmung der Dimensionsänderung elastischer Abformmaterialien läuft nach folgendem Schema ab :

⇒ Urmodell

- ⇒ Abformung (Negativ des Urmodells)
- ⇒ Modell (Positiv des Urmodells)
- ⇒ Vermessung des Modells

Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, daß statt einer nachgiebigen Abformung, ein festes Modell metrisch erfaßt werden kann. Außerdem wird das Abformmaterial den gleichen Bedingungen ausgesetzt, die es auch bei der üblichen Abformung und Modellherstellung erfährt (139). Einige Autoren vermaßen die Modelle optisch mit Hilfe eines Meßmikroskops (46, 58, 59, 80, 84, 85) oder einfach mit einer Meßlehre. Beim Vermessen von langen Kieferabschnitten kamen auch elektronisch gestützte Abtastsysteme zum Einsatz (7).

Außer der Methode des indirekten Vermessens besteht auch die Möglichkeit, eine Abformung direkt zu vermessen (86).

Eine weitere Methode zur Untersuchung des Dimensionsverhalten von Abformmaterialien stellt das Verfahren der Vergleichsmakroskopie dar. Bei diesem in der Kriminalistik verwendeten Vergleichsmakroskop handelt es sich um ein Auflichtmikroskop mit zwei Objektiven und zwei Objektischen. Dieses projiziert Prüfkörper und Modell übereinander und stellt die Unterschiede farblich dar (45). Mit dieser Methode ist es allerdings nicht möglich, größere Strecken metrisch zu erfassen.

Um Abformungen zu standardisieren, werden bei einigen Untersuchungsmethoden kalibrierte Abformapparaturen verwendet. Mit Hilfe spezieller Löffel mit Führungshülsen und einem Urmodell mit entsprechenden Führungsstiften ist ein gleiches Aufsetzen des Löffels sowie eine gleiche Materialstärke gewährleistet (7, 59, 84, 85, 86, 89).

Bei einer Untersuchung zur dimensionsgetreuen Wiedergabe eines Restzahnbestandes, in Abhängigkeit vom verwendeten Abformmaterial stellte *Biffar* 1990 fest (7), daß die höchste Übereinstimmung mit den Maßen des Urmodells, mit Hilfe von Hydrokolloiden erreicht werden konnte. Die einzeitigen Polyätherabformungen führten in saggitaler Richtung zu einer geringgradigen Verkürzung der Modellmaße, während die transversalen und diagonalen Strecken etwas vergrößert wurden. Ähnliches Verhalten wiesen Abformungen auf, die aus additionsvernetzenden Einphasensilikon gewonnen wurden. Allerdings waren die Differenzen zum Urmodell bei den A-Silikon größer. Abformungen mit K-Silikon, die zweiphasig verarbeitet wurden,

stellten in allen gemessenen Strecken (saggital, transversal und diagonal) veränderte Modelldimensionen dar.

In einer Reihe von Untersuchungen wiesen *Lehmann* und Mitarbeiter an einem stilisierten Brückenmodell nach, daß bei allen von ihnen verwendeten Abformmaterialien der Brückenpfeilerabstand geringgradig vergrößert wurde. Die Doppelmischtechnik führte dabei zu genaueren Ergebnissen als die des Korrekturverfahrens. Jedoch ist die Übertragung der Meßergebnisse, die an isolierten Prüfkörpern durchgeführt wurden, nicht ohne weiteres auf das Dimensionsverhalten von ganzen Kiefermodellen übertragbar (84, 92).

## **3.6            Problematik des Dosierens und Mischens von zahnärztlichen Abformmaterialien**

### **3.6.1            Dosieren**

Die Verarbeitung von zahnärztlichen Abformmaterialien wird bezüglich der Dosierung ihrer Komponenten vom Hersteller genau angegeben. Meist handelt es sich um visuell-volumetrische Dosierungen, da gravimetrische Methoden in der täglichen Praxis zu umständlich sind (107).

#### **Paste-Flüssigkeit-Systeme**

Bei den Paste-Flüssigkeit-Systemen wird der Härter aus einer Tropfflasche auf einen skalierten Mischblock, mit dessen Hilfe die Paste dosiert wird, gegeben und anschließend mit der Paste vermischt. Die Härterflaschen müssen nach Gebrauch sofort wieder verschlossen werden, da durch die Luftfeuchtigkeit der Aloxysilan - Vernetzer zu Kieselsäure zerfällt und die Öffnung der Flasche durch Kristallisierungen verengt wird (123, 155). Aus diesem Grund soll erst kurz vor Mischbeginn die Härterflüssigkeit auf die Paste aufgetropft werden (42, 123, 155). *Schwickerath* erhielt in Untersuchungen bei der Dosierung mit Tropfen, in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Tropfflasche, Abweichungen von +/- 10%.

### **Paste-Paste-Systeme**

Bei den Paste-Paste-Systemen werden von Basis- und Katalysatorpaste jeweils zwei gleich lange Stränge auf einen skalierten Mischblock gegeben (42, 123, 135, 132, 155). Die jeweiligen Mengen sind vom Durchmesser der Tubenöffnungen abhängig (42, 123, 135, 167). Die Problematik bei diesem System besteht darin, daß beide Pasten immer mit gleicher Geschwindigkeit aus den Tuben gedrückt werden müssen, so daß es weder zu Stauchungen, noch zu Streckungen der Stränge kommt (42, 123). So können, gerade bei großen Stranglängen, Abweichungen in der Dosierung von +/- 22% vom Mittelwert auftreten (132, 134). Von *Schwickerath* kam daher die Empfehlung dünnfließende Silikone in Einmalspritzen umzufüllen und mit deren Hilfe zu dosieren (132).

### **Knetsysteme**

Die Dosierung knetbarer Abformmaterialien wird mit Hilfe von Dosierlöffeln vorgenommen (155). Da das Abstreifen des überschüssigen Materials mit Daumen, Handballen oder einem Spatel erfolgt, kann es auch bei diesem System zu unterschiedlichen Dosierungen mit den entsprechenden Abweichungen kommen (64).

## **3.6.2 Der Mischvorgang**

Die Voraussetzung für ein gleichmäßiges Aushärten und gleiche Eigenschaften des Abformmaterials in der gesamten Abformung ist das homogene Vermischen des Basismaterials mit dem Katalysator (105, 123).

Knetbare Abformmaterialien, die mit flüssigem Härter vermischt werden müssen, bereiten häufig Probleme (105, 123), da die Flüssigkeit während des Mischvorgangs verspritzt werden kann und damit das Mischungsverhältnis nicht mehr stimmt (105, 123, 155). Die ausgeprägte Hydrophobie der Silikone erschwert zusätzlich das Einmischen des flüssigen Härters in das Basismaterial. Daher empfiehlt es sich, das Material zunächst auf einem Anmischblock zu einem breiten Fladen auszuformen und zusätzlich, mit Hilfe des Spatels, die Oberfläche in Form von Gittermustern oder Löchern zu vergrößern, in denen sich dann der flüssige Härter besser verteilen kann (39, 123). Anschließend wird der Fladen mehrmals gefaltet und auseinandergezogen. Durch diese Technik verbessert sich die Aufnahme des Härters in das Basismaterial gegenüber einem „Eindrücken“ oder einem „Einkneten“ (172). Erst wenn durch diese Vorgehensweise der Härter vollständig von dem Basismaterial aufgenommen wurde, wird die Masse intensiv durchgeknetet (39, 42, 108, 123, 135, 155). Durch das manuelle Anmischen wird dem Material Wärme zugeführt, die aus Handwärme, innerer Reibung und der Reaktionswärme resultiert (109). Dieses hat wiederum eine erhöhte Reaktionsgeschwindigkeit zur Folge (44, 100). *Franz* (43) ermittelte bei einer Untersuchung eine erste Temperatur des unvermischten Materials von 23°C (+/- 2°C) und eine zweite Temperatur nach dem Mischen von 29°C (+/- 1°C). Ebenso wie *Franz* registrierte *Meiners* (105) eine Temperaturerhöhung von 6°C durch das Ankneten von plastischen Abformmaterialien mit den Händen. Daher empfiehlt er an Stelle der zweiten Hand einen Mischblock als Unterlage zu verwenden (103, 105). Je dünnflüssiger die Materialien sind und je näher ihre Viskositätswerte beieinander liegen, desto leichter ist ihre homogene Durchmischung zu erreichen. Aus diesem Grund sind die Paste-Paste-Systeme den Paste-Flüssigkeit-Systemen vorzuziehen (108). Paste-Paste-Systeme werden mit einem Spatel verarbeitet (42, 66, 155), wobei die Gefahr besteht, daß Luftblasen oder Verunreinigungen eingemischt werden, welche die werkstofflichen Eigenschaften der Abformung nachteilig verändern können (63, 119). *Viohl* empfahl die einzelnen Komponenten zunächst mit dem Spatelende vorsichtig zu verrühren und sie anschließend über die Spatelkante kräftig zu verstreichen (155). Durch die Verschiedenfarbigkeit der meisten über den Dentalmarkt erhältlichen Abformmaterialien tritt eine Mischfarbe auf, die wiederum einen idealen Indikator zur Überprüfung einer ausreichend homogenen Durchmischung darstellt (39, 42, 108, 123, 167). Farbschlieren weisen auf eine unzureichende Homogenität des verarbeiteten Materials hin (42, 123).

### **3.6.3 Dosier- und Mischhilfen**

Zur Minimierung der unter 3.6.1 und 3.6.2 erwähnten Fehler, die bei den Vorgängen des Dosierens und des Mischens auftreten können, gibt es verschiedene Dosier- und Mischhilfen.

Für das Abformmaterial SICCOFORM von der Firma KETTENBACH liegt eine Dosierhilfe in Form einer zylindrischen Kunststofftube vor. Basis- und Härterpaste haben jeweils eine Kalibrierung an der Stirnseite. Durch Drehen an einer Spindel, wird das Abformmaterial aus den Austrittsöffnungen herausgedrückt (42, 123, 134). Im Gegensatz zur visuell manuellen Dosierung zweier Stranglängen, lassen sich über die Spindeltuben sehr genaue Materialmengen abgeben (64).

Für das Abformmaterial SILASOFT-S entwickelte die Firma DETAX den DOSIMAT, der im wesentlichen aus einem Gehäuse und einer Doppelkolbenstange besteht. Basis- und Katalysatorpaste befinden sich in auswechselbaren Kartuschen, die in den DOSIMAT eingelegt werden. Die Doppelkolbenstange wird mit leichtem Druck gleichzeitig in die Kartuschen geführt und das Material herausgedrückt. Auch mit diesem Gerät sind genauere Mischungsverhältnisse zu erzielen als beim manuell visuellen Dosieren (164).

*Stackhouse* (145) untersuchte 1983 zwei mechanische Mischgeräte, den COLUMBUS MIXER und den ALGINATOR, der eigentlich nicht für Elastomere verwendet wurde. Letzterer bestand aus einem Gumminapf, der auf einer Drehscheibe befestigt wurde und deren Drehzahl variiert werden konnte. Ein Spatel wurde dabei so lange in den rotierenden Gumminapf gehalten, bis eine homogene Farbdurchmischung erreicht ist. Der COLUMBUS MIXER enthielt eine Mischvorrichtung mit einem Pistill, der eine gegenläufige Rotationsbewegung zum Mischbehälter ausführt. In seiner Untersuchung verglich *Stackhouse* (145) die Anzahl der Blasen im abgebundenen Abformmaterial REFLECT, das im COLUMBUS MIXER, im ALGINATOR und per Hand angerührt wurde. Die Anzahl der Luftblasen war bei Anmischung im COLUMBUS MIXER am geringsten und bei Anmischung im ALGINATOR am größten. 1981 untersuchte *Ham-brock*, welchen Einfluß das maschinelle Verarbeiten mit dem UNIVERSAL MISCHGERÄT AM 501 der Firma HAUSCHILD auf das Abbindeverhalten des K-Silikons SILAPLAST hat (52). Dieses Gerät arbeitet nach dem gegenläufigen Rotationsprinzip. Grundmasse und Härter wurden in einem runden, verschließbaren Kunststoffbecher durchmischt, aus dessen Boden zwei radial angeordnete, 22mm lange Dorne ragten. Das maschinelle Anmischen reduzierte in dieser Untersuchung die Mischzeit\* beträchtlich und führte zu einer homogeneren Durchmischung gegenüber dem manuellen Anmischen. Die Verarbeitungszeit\*\* wurde um eine Minute verkürzt, während die Abbindezeit\*\*\* bei beiden Vorgehensweisen gleich bleibt. Durch die maschinelle Verarbeitung wurde dem Abformmaterial jedoch eine erhebliche Menge an Energie zugeführt, die sich in Form einer Temperaturerhöhung äußert. Die Endhärte des abgebundenen Materials, welches maschinell angemischt wurde, war um etwa 10% geringer, als das manuell angemischte (50).

Seit 1985 werden in den USA erstmals sogenannte Statikmischersysteme von *Craig* (24, 25) und *Keck* (66) beschrieben, die fähig sind Dosier- und Mischfehler weitestgehend zu vermei-

den. Dabei handelte es sich im wesentlichen um eine zweiläufige Kartusche, aus der jeweils beidseitig simultan ein gleiches Volumen durch eine Einwegmischdüse gepresst wurde. Diese Einwegmischdüse enthielt eine Spirale, die dazu diente, das Material kräftig zu vermengen. Durch einen aufgesetzten „Oral Tip“ konnte das gemischte Material direkt im Munde appliziert werden. Nach der Applikation verblieb die Mischdüse als Verschluss auf der Kartusche. Vor dem Aufsetzen einer neuen Mischdüse war darauf zu achten, daß keine polymerisierten Reste aus der alten Mischdüse die Kartuschenöffnung blockieren (116).

\*Mischzeit: Zeit, die für das homogene Durchmischen der Komponenten benötigt wird (44, 105, 131, 135, 154)

\*\*Verarbeitungszeit: Zeit, die für das Beschicken des Löffels und den Vorgang des Abformens benötigt wird (44, 105, 131, 135, 154).

\*\*\*Abbindezeit: Zeitintervall zwischen dem Ende der Verarbeitungszeit und dem Punkt im Verlauf der Abbindekurve, an dem die Kurve in eine Waagerechte übergeht (44, 105, 131, 135, 154)..

Luft einschüsse, wie sie beim manuellen Anmischen auftreten (66, 141, 144, 146), werden durch dieses System vermieden (24, 25, 66). Abformmaterialien der gleichen Charge weisen dabei im abgebundenen Zustand vernachlässigbar schlechtere physikalische Eigenschaften auf, als die manuell verarbeiteten (23, 66). In der Mischdüse verbleiben etwa 1,6 ml Abformmaterial, während beim herkömmlichen Anmischen auf einem Anmischblock ca. die doppelte Menge als Überschuss verbleibt. Die Statikmischersysteme sind also bezüglich des Abformmaterials nicht als unwirtschaftlich einzustufen (171).

Anfänglich wurden mit diesen Systemen nur dünnfließende A-Silikone mit gleichfarbigen Komponenten verarbeitet, inzwischen sind auch dünn- und mittelfließende A-Silikone mit unterschiedlich gefärbten Komponenten erhältlich (24).

Das PANAFIX- Mischgerät, welches PANASIL REGULAR body sowohl dosiert als auch mischt, wurde 1992 von *Wimmer* beschrieben (164). Durch Drehen einer Handkurbel wurden Basis- und Katalysatorpaste aus Vorratszylindern gefördert und traten zur gleichmäßigen Vermischung in den sich drehenden Mischvorsatz aus. In die Vorratszylinder führten senkrecht von oben zwei Kartuschenaufnahmen, in die sogenannte „Jumbo - Kartuschen“ gesteckt wurden. Mit dem PANAFIX-Gerät wurden gute Werte in der Dosierung und Mischung, die in den Druckverformungsrestwerten ihren Ausdruck fanden, erreicht (164).

Ähnlich dem PANAFIX-Gerät ist das seit 1995 im Handel befindliche PENTAMIX-Gerät der Firma ESPE. Auch hier pressen zwei maschinell betriebene Kolben Basis- und Härterpaste durch eine rotierende Mischdüse. Mit dem PENTAMIX-Gerät steht ein Gerät zur maschinellen Anmischung und Dosierung verschiedener A-Silikone zur Verfügung, welches im folgenden noch ausführlicher beschrieben wird (Abb. 3.2).

Das PENTAMIX-Gerät ist ausschließlich für Paste-Paste-Systeme geeignet. Durch ein Mischungsverhältnis von fünf Teilen Basis zu einem Teil Katalysatorpaste wurde das Material infolge einer Umverteilung der chemischen Einzelkomponenten für die automatische Anmischung und Dosierung vorbereitet (118). Das jeweilige Material wird in Folienschlauchbeuteln geliefert, die paarweise in spezielle Kartuschen eingelegt werden. Nach Verbrauch des Materials muß lediglich der Folienschlauchbeutel ausgetauscht werden. Dies reduziert die Abfallmenge auf ein ökologisch wünschenswertes Minimum. Zur besseren Handhabung sind die Kartuschen unterschiedlich eingefärbt (36) (Abb.3.3).



Abbildung 3.2: PENTAMIX-Gerät mit eingelegter Kartusche.



Abb. 3.3: Rechts: Die Kartusche. Links: Die auswechselbaren Folienschlauchbeutel. Gewicht bzw. Volumen: 100 Gramm bzw.66 ml Katalysatorpaste; 465 Gramm bzw.300 ml Basispaste.

Auf Knopfdruck pressen zwei synchron arbeitende Kolben Basis- und Katalysatorpaste getrennt durch zwei Austrittsöffnungen der Kartusche in eine Einmalverwirbelungsdüse hinein, die der Kartusche aufgesetzt wird und durch einen Schnappverschluß gesichert ist. Die Austrittsöffnung der Basispaste an der Kartusche hat einen Innendurchmesser von 9mm, die der Katalysatorpaste von 1mm.

Damit einerseits das Material möglichst homogen durchmischt wird und um andererseits ein Erwärmen des Materials durch einen zu hohen Stempeldruck zu vermeiden, wird über eine Mechanik des Gerätes im Inneren der Mischdüse eine Art „Quirl“ in Rotation versetzt. Bis zu jedem neuen Mischvorgang verbleibt die mit ca. 4 Gramm abgebundenen Material gefüllte Düse als Verschluß auf der Kartusche (Abb. 3.2).

Eine zum System passende Applikationsspritze paßt genau auf die Austrittsöffnung der Mischdüse und dient zum Einspritzen der dünnfließenden Komponente in den Sulcus gingivae (36).

Das Material erscheint 8-10 Sekunden nach Betätigung des Startknopfes an der Düsenöffnung. Bei neuen Folienschläuchen kann die erste Menge des Materials noch etwas inhomogen durchmischt sein bis die Druckverhältnisse in beiden Schläuchen gleich sind. Diese erste Menge muß verworfen werden (118). Eine Unterbrechung des Befüllungsvorgangs bringt auch immer eine zeitliche Verzögerung mit sich. Sobald der Startknopf losgelassen wird stoppt das Gerät und die Kolben fahren etwas zurück, um die Schläuche zu entlasten. Beim erneuten Anfahren benötigt das Gerät ca. 5 Sekunden bis die Kolben wieder in Druckposition sind. Es muß deshalb darauf geachtet werden, daß der Mischvorgang nicht unterbrochen wird (118).

1994 beschrieb *Pospiech* (118) erste klinische Erfahrungen mit dem PENTAMIX-Gerät der Firma ESPE. Zu diesem Zeitpunkt seiner Beobachtungen konnte nur das Abformmaterial IMPREGUM in dem PENTAMIX-Gerät verarbeitet werden. Er beschreibt zusammenfassend, daß mit dem PENTAMIX-Gerät die Möglichkeit besteht, ein bewährtes Abformmaterial sauber und materialsparend zu verarbeiten, da eine genaue Dosierung möglich ist. So werden große überschüssige Mengen, wie sie beim manuellen Mischen anfallen, vermieden. Ein weiterer großer Vorteil liegt in der absolut homogenen Durchmischung des Materials, während sich an den Eigenschaften des Materials nichts geändert hat (118).

## 4 Material und Methode

### 4.1 Getestete Abformmaterialien

Zur Untersuchung des Dimensionsverhaltens von Abformmaterialien, die mit dem PENTAMIX-Gerät verarbeitet wurden, im Vergleich zu manuell angemischten Abformmaterialien, wurden folgende Materialien und Verfahren miteinander verglichen:

Serie	Produkt	Stoffklasse	Hersteller	Methode	Anmischart
1	Dimension Penta (Serienlöffel/glatt)	Polyvinylsiloxan	ESPE	Sandwich	maschinell
2	Dimension Putty Soft (Serienlöffel/gelocht)	Polyvinylsiloxan	ESPE	Korrektur	manuell
3	Dimension Penta (Schreinemakers-L.)	Polyvinylsiloxan	ESPE	Sandwich	maschinell
4	President Putty Soft (Serienlöffel/gelocht)	Polyvinylsiloxan	coltene	Sandwich	manuell
5	President Putty Soft (Serienlöffel/gelocht)	Polyvinylsiloxan	coltene	Korrektur	manuell
6	Panasil Putty Soft (Serienlöffel/gelocht)	Polyvinylsiloxan	Kettenbach	Sandwich	manuell
7	Panasil Putty Soft (Serienlöffel/gelocht)	Polyvinylsiloxan	Kettenbach	Korrektur	manuell

8	Monopren transfer (Serienlöffel/glatt)	Polyvinylsiloxan	Kettenbach	Einphasig	maschinell
9	3M Express STD Putty (Serienlöffel/glatt)	Polyvinylsiloxan	3M	Sandwich	manuell
10	3M Express STD Putty (Serienlöffel/glatt)	Polyvinylsiloxan	3M	Korrektur	manuell

Von den Versuchsreihen 1-10 wurden jeweils 10 Abformungen gewonnen, aus denen Situationsmodelle aus Spezialhartgips Typ IV hergestellt wurden.

Zur Untersuchung des Dimensionsverhaltens verschiedener Gippsorten wurden folgende Produkte verwendet:

<b>Serie</b>	<b>Produkt</b>	<b>Stoffklasse</b>	<b>Hersteller</b>
11	Dentorock	Spezialhartgips Typ IV	Dentona
12	Fujirock	Spezialhartgips Typ IV	GC Europe
13	Dentodur	Hartgips Typ III	Dentona
14	Moldano	Hartgips Typ III	Heraeus

In den Versuchsreihen 11-14 wurden mit Hilfe von 5 Dublierformen je Versuchsreihe 5 Situationsmodelle gewonnen.

Zur Untersuchung der Veränderung der Dimension von Säge modellen nach dem Sägen eines Stumpfsegmentes wurden folgende Säge modell-Systeme verwendet:

<b>Serie</b>	<b>System</b>	<b>Hersteller</b>	<b>Besonderheit</b>
15	BI-PINS	Renfert	ungesägt
16	BI-PINS	Renfert	gesägt
17	MODEL-TRAY	MTS	ungesägt
18	MODEL-TRAY	MTS	gesägt

Die Säge Modelle der Serien 15 bis 18 wurden aus Abformungen des gleichen Materials und der gleichen Abformmethode gewonnen. Dabei wurde Spezialhartgips Typ IV der Marke Fujirock verwendet. Es wurden lediglich für die Serien 15 und 17 jeweils 5 Säge Modelle hergestellt. Die Serien 16 und 18 stellen die selben Säge Modelle wie die Serien 15 und 17 dar, mit dem Unterschied, daß diese jeweils vor dem Messen gesägt wurden.

## 4.2 Das Urmodell

Alle Abformungen wurden von einem Urmodell genommen, welches *Höing* bereits 1997 für gleichartige Untersuchungen verwendete (58). Dieses bestand aus vier kegelförmigen, okklusal und cervical plangeschliffenen Metallpfeilern aus Chrom-Nickelstahl. Alle vier Pfeiler waren in Form eines Parallelogramms fest auf eine Metallplatte verschraubt. Dadurch war eine unveränderte Position der Pfeiler zueinander gewährleistet. Dieses wurde durch regelmäßiges Nachmessen des Modells während der gesamten Dauer des Versuches überprüft und bestätigt. Die Pfeiler wiesen darüber hinaus cervical, an sich gegenüberliegenden Stellen, plan geschliffene Felder auf, die es ermöglichten, die Durchmesser der Pfeiler zu ermitteln. Auf der planen Okklusalfäche befand sich eine kreisrunde kegelförmige Körnung mit einem Durchmesser von 2,00 mm und einer Tiefe von 1,00 mm. Diese Körnung diente als Bezugspunkt zum Vermessen der Strecken zwischen den Pfeilern. Eine feinere Körnung erwies sich in Vorversuchen als ungeeignet, da ihre Struktur nicht auf allen Modellen erkennbar war (Abb. 4.1).



Abb. 4.1: Okklusale Körnung des Pfeilers im Gipsmodell.

Um die Abformungen möglichst praxisnah zu gestalten, wurden aus einem realen Oberkiefermodell Gaumen, Front- und Seitenzähne auf die Metallplatte mit den Pfeilern hinzugefügt. Dazu

wurde ein Modellmaterial auf Epoxybasis\* verwendet. Nach Herstellerangaben und Vorversuchen eignet sich dieses Material für alle additions- und kondensationsvernetzende Silikone, sowie Abformmaterialien auf Polyätherbasis. In der vorliegenden Studie wurden nur additionsvernetzende Silikone verwendet. Auf diese Weise konnte ein Prüfkörper verwendet werden, der den klinischen Bedingungen eines Brücken- oder Teleskopmodells sehr nahe kommt, und der während der gesamten Versuchsdauer unverändert in seinen Maßen bleibt (Abb.4.2).



Abb.4.2: Das verwendete Urmodell.

\*Epoxy-Die IVOCLAR

Maße des Urmodells:

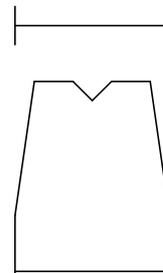
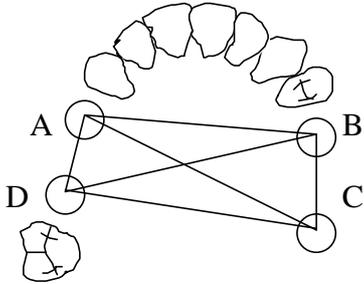
**Strecke:**AB 37950  $\mu\text{m}$ BC 14459  $\mu\text{m}$ CD 47528  $\mu\text{m}$ DA 13448  $\mu\text{m}$ AC 45762  $\mu\text{m}$ BD 43624  $\mu\text{m}$ **Pfeilerdurchmesser:**A 8044  $\mu\text{m}$ B 8041  $\mu\text{m}$ C 8045  $\mu\text{m}$ D 8036  $\mu\text{m}$ 

Abb. 4.3: Links: Schematische Darstellung des Urmodells mit den eingezeichneten Strecken, die vermessen wurden. Rechts: Schematisch die Seitenansicht eines Pfeilers mit planen Cervicalflächen zwischen denen der Durchmesser ermittelt wurde.

**4.3 Die verwendeten Löffel**

Um der klinischen Situation möglichst nahe zu kommen, wurden für sämtliche Korrektur- und Sandwichabformungen Serienlöffel verwendet. Dabei kamen für manuell anzumischende Silikone perforierte Edelstahlöffel der Firma ANATOMIC B0 SUP INOX Größe B1 zum Einsatz, während für maschinell anzumischende Silikone die gleichen Löffel verwendet wurden, nur daß diese unperforiert, also glatt waren. Die Wandstärke dieser Löffel beträgt 0,8 mm (Abb. 4.4). Zusätzlich wurde bei dem Abformmaterial DIMENSION anstelle der bereits erwähnten Löffel in einer Serie die verchromten Messinglöffel SCHREINEMAKERS Nr. 43 verwendet. Die Wandstärke dieser Löffel beträgt 1,7 mm (Abb. 4.5).



Abb. 4.4: Perforierter Edelstahlöffel/glatte Edelstahlöffel.



Abb. 4.5: Schreinemakers-Löffel.

Bei allen drei Löffelsorten war gewährleistet, daß die Schichtstärke des Abformmaterials im Bereich der Unterschnitte mindestens drei bis vier mal so groß war wie ihre Tiefe, so daß die Stauchung des Materials unter 30% gehalten werden konnte.

Um eine optimale Haftung des Abformmaterials am Löffel zu erreichen, wurden die in Tabelle 4.1 aufgelisteten Adhäsive verwendet:

<b>Adhäsive</b>	<b>Hersteller</b>	<b>Abformmaterial</b>
Permagum Adhäsive	Espe	Dimension
Universal Adhäsive	Bayer	President, Panasil, Monopren, 3M

Tabelle 4.1: Die zu den verwendeten Abformmaterialien kompatiblen Adhäsive

## 4.4 Versuchsdurchführung

### 4.4.1 Vorbemerkung

Alle Untersuchungen wurden in vollklimatisierten Laborräumen mit annähernd konstanter Luftfeuchtigkeit von 50% und bei Raumtemperatur durchgeführt. Vor jeder Abformung wurde das Urmodell in einem Wasserbad, welches eine konstante Temperatur von 37°C hatte, 10 Minuten lang vorgewärmt, damit die Abformbedingungen bezüglich der Reaktionsgeschwindigkeit (100) und thermischen Dimensionsveränderungen (140) der Situation in der Mundhöhle weitgehend gleichkommen. Die Abformung und der Abbindevorgang erfolgten bei Raumtemperatur.

Alle Materialien wurden nach Herstellerangaben verarbeitet.

Sämtliche Abformungen wurden auf dem Lumen liegend gelagert und frühestens nach 30, spätestens nach 60 Minuten mit dem Superhartgips Typ IV Fuji Rock ausgegossen.

In den unter 4.1 aufgeführten Versuchsreihen 1-10 wurden jeweils 10 Abformungen gewonnen. Zur Ermittlung des Einflusses des Modellgipses auf die Versuchsergebnisse wurden zusätzlich mit Hilfe von 5 Duplierformen je Versuchsreihe 5 Modelle gewonnen. Dabei wurden vier verschiedene Gipssorten, zwei davon waren Superhartgipse vom Typ IV und zwei Hartgipse vom Typ III, untereinander verglichen. Die Eigenschaften der Gipse sind in Tabelle 4.2 aufgelistet.

Gipssorte	Wasser/Pulver	Abbindeexpansion	Druckfestigkeit
Fujirock	20 ml / 100 g	0,08%	53 Mpa
Dentorock	20 ml / 100 g	-0,10%	90 Mpa
Dentodur	30 ml / 100 g	-0,15%	40 Mpa
Moldano	30 ml / 100 g	-0,16%	30 N/mm <sup>2</sup>

Tabelle 4.2: Eigenschaften der verwendeten Gipse

### 4.4.2 Das Pentamixgerät

Die Hinweise von *Pospiech* (118) und die des Herstellers zur Handhabung des Gerätes wurden genau beachtet.

Nach Angaben des Herstellers wirft das Gerät etwa 1 Gramm Material pro Sekunde aus (36). Für das Beschicken eines konfektionierten Löffels wurden etwa 50 Sekunden benötigt. Aus technischen Gründen ist ein schnelleres Beschicken nicht möglich, da sich das Material durch den erhöhten Stempeldruck zu stark erwärmen würde, so daß sich die Verarbeitungszeit erheblich reduzieren würde. Eine Vergrößerung der Mischkanüle würde eine homogene Durchmischung nicht mehr gewährleisten (118).

#### **4.4.3 Die Einphasenabformung**

Diese Abformtechnik wurde bei der Verwendung des Abformmaterials MONOPREN in Verbindung mit einem glatten Serienlöffel angewandt. Das Material wurde manuell mit einem Statikmischer verarbeitet. Dabei wurde zuerst der Löffel beschickt und anschließend die Modellstümpfe umspritzt. Der gefüllte Löffel wurde sodann mit leichtem Druck auf das Urmodell gesetzt. Bei Raumtemperatur härtete das Material aus. Die Zeitspanne des Aushärtens richtete sich nach den Angaben des Herstellers, dieser Zeitraum wurde zusätzlich um drei Minuten verlängert, da die Herstellerangaben aus Praxisgründen Minimalwerte für den Vorgang des Aushärtens darstellen. Anschließend wurde der Löffel mit einem kurzen, kräftigen Ruck vom Urmodell entfernt. Danach wurde die Abformung trocken geblasen und erst nach einem Zeitraum von 30 Minuten ausgegossen. Auch dieser Zeitraum richtete sich nach den Herstellerangaben.

#### **4.4.4 Die Sandwichabformung**

Bei dieser Abformtechnik wurde das Material DIMENSION / DIMENSION GARANT sowohl mit konfektionierten Löffeln der Sorte ANATOMIC B1, als auch mit SCHREINEMAKERS - Löffeln Nr.43 verwendet. Weiterhin wurden die Materialien PRESIDENT, PANASIL und 3M in Verbindung mit konfektionierten Löffeln verwendet.

Lediglich das Material DIMENSION wurde maschinell mit Hilfe des PENTAMIX-Gerätes verarbeitet, dabei wurde die Mischdüse an einem Ende des Löffels auf den Grund aufgesetzt und das Material bis zum anderen Ende vor sich hergeschoben. Das Befüllen des ANATOMIC - Löffels dauerte ca. 30 Sekunden, das Befüllen des SCHREINEMAKERS - Löffel dauerte ca. 25 Sekunden. Sofort im Anschluß daran wurde das hochvisköse Material DIMENSION GARANT aus einem Statikmischer (66) auf das zähplastische Material appliziert.

Der auf diese Weise befüllte Löffel wurde dann mit leichtem Druck auf das Urmodell gesetzt.

Das Material härtete bei Raumtemperatur in dem vom Hersteller vorgegebenen Zeitraum aus. Der Löffel wurde dann mit einem kurzen, kräftigen Ruck vom Urmodell entfernt und ebenso, wie bei der Einphasenabformung frühestens nach einem Zeitraum von 30 Minuten ausgegoßen.

Bei der Verarbeitung der Materialien PRESIDENT und PANASIL wurden konfektionierte, perforierte Löffel der Sorte ANATOMIC B1 verwendet, bei dem Material 3M wurden ebenfalls die konfektionierten Löffel der Sorte ANATOMIC B1 verwendet, diese allerdings unperforiert aufgrund der niedrigeren Viskosität des Materials.

Für das manuelle Verarbeiten dieser drei Materialien wurden zunächst mit den zum System gehörenden Dosierlöffeln zwei gleich große Mengen Katalysator- und Basismasse abgemessen und dann mit den Händen solange durchmischt, bis eine einheitlich homogene Farbe entstanden war. Um die Abbindezeit zu verzögern, wurde nur gekühltes Material verwendet (100, 151).

Bei dem Mischvorgang wurden keine Handschuhe getragen, damit die Vernetzungsreaktion nicht beeinflusst wird (65, 115, 117, 125, 126). Der Mischvorgang dauerte ca. 60 Sekunden. Im Anschluß wurde das durchmischte Material in einer Portion auf den Löffel gegeben und danach, wie auch bei dem Material DIMENSION, das niedrigvisköse Material des jeweiligen Systems mit Hilfe eines Statikmischers auf das zähplastische Material appliziert.

#### **4.4.5 Die Korrekturabformung**

Bei dieser Abformtechnik wurde das Material DIMENSION PUTTY, PRESIDENT, PANASIL und 3M verwendet. Alle Korrekturabformungen wurden mit konfektionierten Löffeln der Sorte ANATOMIC B1 hergestellt. Die Verarbeitung der Materialien sowie das Befüllen des konfektionierten Löffels entsprechen der Vorgehensweise, wie es bei der Sandwichabformung unter 4.4.4 beschrieben wurde.

Die mit dem hochviskösen Material gewonnene Vorabformung wurde vom Urmodell entfernt und wie folgt für die Korrekturphase vorbereitet. Alle untersichgehende Stellen wurden zunächst mit einem scharfen Skalpell entfernt. Ebenfalls entfernt wurden alle Interdentalsepten, und das palatum. Anschließend wurden im Bereich des Restgebisses von vestibulär und von palatinal Abflußrillen angelegt (74). Diese Abflußrillen wurden bei allen Korrekturabformungen an den gleichen Stellen angelegt, um möglichst ähnliche Versuchsbedingungen zu gewährleisten. Die auf diese Weise vorbereitete Vorabformung wurde dann mit dem niedrigviskösen Material des jeweiligen Systems aus einem Statikmischer beschickt und zusätzlich die Stümpfe des Urmodells umspritzt.

Nach dem Replatzieren der Vorabformung wurde ein fester Druck von 5 Sekunden Dauer auf das Urmodell ausgeübt, damit sich eine gleichmäßige und möglichst dünne Schicht des Korrekturmaterials ausbildet (86, 104, 105).

Das manuelle Anmischen der hochviskösen Materialien geschah hierbei in gleicher Weise, wie es bei der Sandwichabformung unter 4.4.4 beschrieben wurde.

Um die Verarbeitungszeit zu verlängern, wurden die Materialien nur in gekühltem Zustand verarbeitet.

Zur besseren Haftung wurden die konfektionierten Löffel bei der Verarbeitung von DIMENSION mit dem PERMAGUM Adhäsiv von Espe bestrichen. Bei den übrigen Silikonen wurde Universal Adhäsiv von Bayer verwendet.

#### **4.4.6 Die Modellherstellung**

Alle Abformungen wurden auf dem Lumen liegend gelagert und je nach Vorgaben der Hersteller frühestens nach 30, spätestens nach 60 Minuten nach dem Abformen ausgegossen. Dabei wurde für die Versuchsreihen 1-10 und 12 Spezialhartgips Typ IV der Marke Fujirock verwendet. In der Versuchsreihe 11 wurde Spezialhartgips Typ IV der Marke Dentorock verwendet, in der Versuchsreihe 13 Hartgips der Marke Dentodur und in der Versuchsreihe 14 Hartgips der Marke Moldano.



Abb. 4.6: Fertiges Gipsmodell

Die insgesamt 130 Modelle wurden immer von der selben Person unter Beachtung der Verarbeitungsvorschriften der jeweiligen Gipshersteller angefertigt.

Um das Gips - Wasser - Verhältnis exakt einzuhalten, wurde das Wasser in einem Meßbecher und das Gipspulver auf einer Waage\* mit einer Genauigkeit von 0,1 Gramm dosiert. Das Anrühren erfolgte mit Hilfe eines Vakuumanmischgerätes, das bei einem Druck von 80 – 100 mbar im Rührbecher arbeitet. Ein Vakuum würde ein Sieden des Wassers erzeugen, welches wiederum zu einer Blasenbildung führen würde. Das Rührwerk des Vakuumanmischgerätes\*\* wurde erst aktiviert, wenn im Rührbecher ein Druck von ca. 90 mbar vorhanden war.

Die vom Hersteller vorgegebenen Anmischzeiten wurden genau eingehalten.

Die Modelle der Serie 1 - 14 wurde mit immer dem gleichen Sockelformer gesockelt. Die Modelle der Reihe 15 und 16 wurden nicht in gleicher Weise gesockelt, da diese Modelle als Sägemodelle hergestellt wurden. Dabei wurde in Serie 15 das MODEL - TRAY - System verwendet und in Serie 16 Sockelgips der Sorte TEWESTONE WEISS von der Firma Kettenbach.

Nach dem Aushärten der Gipsmodelle wurden lediglich die Ränder des Sockels trocken mit einer Gipsfräse gebrochen.

Die Gipsmodelle lagerten nach ihrer Herstellung für mindestens 10 Tage in einem klimatisierten Raum bei einer Temperatur von 20 °C und gleicher Luftfeuchtigkeit von ca. 50 %.

\*Hersteller: Soehnle

\*\*Hersteller: Degussa, Typ R 11

#### **4.4.7 Die Sägemodellherstellung**

Die Modelle der Serien 15 und 16 wurden nach der konventionellen Methode hergestellt. Da in diesem Fall das Sägemodell zweizeitig aus Gips angefertigt wird, wurde zunächst nur der Zahnkranz ohne Modellsockel in Gips ausgegossen. Die Abformung wurde soweit über die Abformmasse hinaus mit Gips aufgeschichtet, daß für den späteren Trimmvorgang und für das Bohrloch, das für die Pinaufnahme benötigt wird, in vertikaler Richtung des Zahnkranzes genügend Platz vorhanden ist (150). Die auf diese Weise hergestellten Zahnkränze lagerten nach ihrer Herstellung für mindestens 10 Tage in einem klimatisierten Raum bei einer Temperatur von 20 °C und gleicher Luftfeuchtigkeit von ca. 50 %. Der aus der Abformung entfernte Zahnkranz wurde anschließend zur Aufnahme der Pins vorbereitend basal plangeschliffen. Die so entstandene Zahnkranzbasis lag in etwa parallel zur Okklusionsebene des Modelles. Die oralen und vestibulären Anteile des Zahnkranzes wurden ebenfalls beschliffen. Dies erfolgte mit einer Hartmetallfräse. Dabei wurde beachtet, daß die Seitenflächen in vertikaler Richtung leicht konisch werden. Für das Bohren der Pinlöcher und das spätere Segmentieren des Kranzes wurden an den Außenflächen (vestibulär und oral) mit einem Bleistift Orientierungsmarkierungen angebracht. Die Bohrung der Pinlöcher erfolgte mit Hilfe eines Bohrtisches, der eine Bohrung im rechten Winkel zur Zahnkranzbasis und ein zueinander paralleles Setzen der Pins ermöglicht. Dabei diente ein Lichtpunkt zur Orientierung, um die Lage des Bohrloches zu markieren. Bohrer und Pins waren aufeinander abgestimmt. Bei dem hier verwendeten Pinsystem BI-PINS von Renfert handelte es sich um Doppelpins, von denen einer der beiden Pins einen stärkeren Durchmesser aufweist als der andere. Beide Pins sind in einem Stück gegossen, haben die gleiche Länge und weisen einen Befestigungsschaft auf. Als Führungsmatrize dient eine Metallhülse im Modellsockel. Die Pins wurden mit dem größtmöglichen Abstand zueinander platziert. Für einen sicheren Halt wurden die Pins mit Cyanoacrylat-Kleber eingesetzt. Anschließend wurden die Metallhülsen übergeschoben und auf korrekten Sitz überprüft. Im Folgenden wurde der Zahnkranz mit den eingeklebten Pins und den aufgesteckten Hülsen an den Flächen, die den Sockelgips berühren, mit einer Isolierschicht versehen. Anschließend wurde ein Sockelformer der Marke SAM bereitgestellt, in den eine entsprechende Gipsmenge der Klasse IV bis zum oberen Rand der Gummimanschette eingefüllt wurde. Nachfolgend wurde dafür gesorgt, daß die Pins sicher umflossen sind. Danach wurde der Zahnkranz unter leichten Vibrationen in den mit Gips gefüllten Sockelformer eingelassen (150).

Die so entstandenen Sägemodelle lagerten nach ihrer Herstellung wieder für mindestens 10 Tage in einem klimatisierten Raum bei einer Temperatur von 20 °C und gleicher Luftfeuchtigkeit von ca. 50 % und wurden anschließend vermessen. Erst dann erfolgte das Segmentieren.

Die Segmentschnitte wurden dabei so angelegt, daß pro Modell ein Meßstumpf als einzelnes Sägestumpfsegment vorlag. Zuvor wurden die Pins an der Modellunterseite mit einem Handinstrument freigelegt (150). Das Durchführen der Sägeschnitte erfolgte maschinell mit Hilfe der Sägemaschine MODEL-CUT von MTS (Abb.4.7). Somit konnten alle Sägeschnitte genau im rechten Winkel zur Modellbasis und parallel zueinander ausgeführt werden.

Erst nach der Durchführung des Sägens wurden die Segmente einmalig vom Sockel gelöst, von allen Staubresten befreit und dann wieder auf den Sockel zurückgebracht (150). Die auf diese Weise bearbeiteten Modelle wurden dann ein zweites Mal vermessen.



Abb.4.7: Fertiges Sägemodell

Die Serien 17 und 18 wurden mit dem System MODEL-TRAY von MTS hergestellt. Dieses System basiert auf der Verwendung eines Kunststoffsocklers mit dessen Hilfe ein gleichzeitiges Ausgießen der Abformung und des Modellsockels möglich ist. Es handelt sich also um ein Sy-

stem ohne Pins. Dieses System wurde von dem Zahntechnikermeister *Gerd Haker* entwickelt und ist seit 1974 auf dem Dentalmarkt erhältlich (49, 153). Vorbereitend wurden an den Abformungen mit einem wasserfesten Faserstift die Mittellinie und dorsal die Kieferkammmittlinie gekennzeichnet. Ein model-tray-Sockler der Größe 4, an dem zuvor Spange und Riegel montiert werden müssen (Abb.4.8), wurde auf den Abform-Basis-Regulator, der mit einem Kombisnapper (retentiv lösbar) versehen ist, aufgesetzt. Bei dem Abform-Basis-Regulator handelt es sich um ein Hilfsgerät, durch das man Abformung und Modellsockel gleichzeitig in einem Arbeitsgang ausgießen und anschließend in der vorher festgelegten Horizontal- und Vertikallage automatisch mittig richtig und lagebezogen zusammenfügen kann (Abb.4.10 und 4.11).

Nach Befestigung des model-tray-Socklers wurde die Abformung mittels Adhäsiv-Plastiline auf dem Abformtisch des Regulators fixiert (4.10). Dabei wurde die Abformung über die Markierungsspitzen des Sockeltisches und den Hilfslinien an der Rückenwand in vertikaler sowie horizontaler Lage mittig ausgerichtet. Die vordere Markierungsspitze des Sockeltisches wurde dabei auf die palatinale Inzisivenfläche ausgerichtet. Nach dem Fixieren und Ausrichten von Abformung und model-tray-Sockler wurde der Regulator für das Ausgießen um 180° aufgeklappt und mit seinen beiden Tischen für Abformung und Sockelformer rückseitig plan auf einen Rüttler gestellt. Dann wurde, zuerst regional der Zahnkranz und danach der Sockelformer unter Vibrationen mit Gips der Klasse IV aufgefüllt.

Bevor die Eindickungsphase oder aber der Abbindevorgang begann, wurde der Regulatortisch mit dem Sockelformer in vertikaler Translation angehoben, um 180° gegen die Abformung gekippt und wieder in vertikaler Translation bis zum Berührungskontakt zwischen Abformung und Sockelformer abgesenkt. Der dabei leicht überquellende Teil des Gipses wurde abgestrichen. Nach 30 Minuten wurden Abformung und Sockelformer gemeinsam, durch Auseinanderziehen des Sockler- und Abformtisches, aus dem Regulator entfernt. Anschließend wurde die Abformung vom Modell abgehoben.

Nach 90 Minuten ab dem Anmischbeginn wurde das Modell aus dem Sockler entnommen. Dazu wurden Spange und Riegel vom model-tray-Sockler entfernt und im Zentrum des tray-Bodens mit einem Rosenbohrer der Größe 8 eine Bohrung von ca. 5mm Tiefe angelegt. Durch die Bohrung konnte das Modell durch Druckluft aus dem Sockler ausgetrieben werden. Anschließend wurden Gipsüberschüsse im Bereich des Riegels und der Spange mit einer Fräse entfernt. Dieses einmalige Herausnehmen des Modells vor dem Vermessen war notwendig, da nach 90 Minuten der optimale Zeitpunkt zum Herauslösen ist (49, 153). Dies hängt mit der thermischen

Expansion, die der model-tray-Sockler beim Abbinden des Gipses erfährt, zusammen. Würde man wesentlich länger mit der Entnahme warten, z.B. bis sämtliches interkristallines Wasser entwichen wäre, so würde der Sockler mit einer so hohen Spannung auf der Modelloberfläche aufsitzen, daß ein Lösen ohne Beschädigung des Modells nicht möglich wäre. Anschließend wurden die Modelle ungesägt in den Sockler zurückgesetzt und wieder für mindestens 10 Tage in einem klimatisierten Raum bei einer Temperatur von 20 °C und gleicher Luftfeuchtigkeit von ca. 50 % gelagert und anschließend vermessen.

Danach erfolgte das Segmentieren. Die Segmentschnitte wurden dabei so angelegt, daß pro Modell ein Meßstumpf als einzelnes Sägestumpfsegment vorlag. Das Durchführen der Sägeschnitte erfolgte maschinell mit Hilfe der Sägemaschine MODEL-CUT von MTS. Nach Durchführung der Sägeschnitte wurden die Stumpfsegmente durch ein Hebelinstrument, das in die große Führungsrille an der Modellunterseite gesetzt wurde, herausgebrochen, anschließend versäubert und in den Sockler zurückgesetzt. Durch das Reponieren der Spange und des Riegels wurden die einzelnen Stumpfsegmente unverrückbar arretiert (Abb. 4.9). Dies sicherte den einwandfreien Sitz der Segmente und des Grundmodells auf dem Socklerboden (49, 153). Die auf diese Weise bearbeiteten Modelle wurden dann ebenfalls ein zweites Mal vermessen.



Abb.4.8 : model-tray-Sockler mit Spange und Riegel.



Abb.4.9: fertiges model-tray-Sägemodell



Abb. 4.10: Abform-Basis-Regulator, aufgeklappt



Abb. 4.11: Abform-Basis-Regulator, geschlossen

## 4.6 Vermessen der Modelle

Die Strecken zwischen den einzelnen Pfeilern wurden mit dem Meßmikroskop M 420 der Firma LEICA optisch vermessen. Die Messgenauigkeit des Gerätes liegt aufgrund der optischen Auflösung bei +/- 10 µm.

Sowohl das Urmodell als auch die Gipsmodelle wurden während des Vermessens fest auf einem Modellträger verschraubt (Abb. 4.12).

Der Modellträger wurde auf dem Meßtisch fixiert, um ein Verrutschen während des Meßvorganges und daraus resultierende Meßfehler auszuschließen (Abb. 4.14).

Mittels einer Glasplatte und einer darauf befestigten Wasserwaage, mit zwei senkrecht aufeinander stehenden „Libellen“, wurden die Modelle in horizontale Lage gebracht und in dieser fixiert (Abb. 4.13). Die Glasplatte wurde mit speziell für die Modellform angefertigten Positionsbegrenzern aus Kunststoff versehen, damit diese immer in gleicher Position auf die Modelle gelegt werden konnte. Auf diese Weise konnten Meßfehler durch Paralaxe ausgeschaltet werden.



Abbildung 4.12: Modellträger mit Modell



Abbildung 4.13: Modellträger mit Modell und Wasserwaage.



Abbildung 4.14: Modell und Wasserwaage auf dem Meßtisch des Mikroskops.

Zu Beginn der Messung wurden die Mikrometerschrauben, mit denen der Meßtisch bewegt wurde, auf Null eingestellt. Manuell wurde die okklusale Körnung des Pfeilers A auf das Fadenkreuz der Mikroskopoptik ausgerichtet und in dieser Position fixiert. Es wurde immer dann der gleiche Meßpunkt anvisiert, wenn das Fadenkreuz die Körnung der Pfeiler in vier gleiche Segmente teilte (Abb. 4.15).

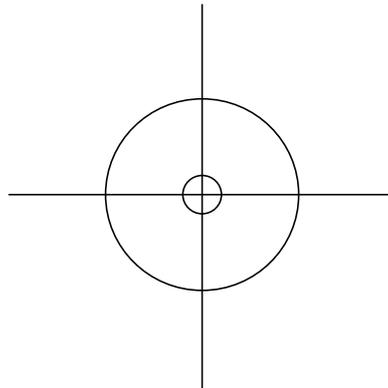


Abbildung 4.15: Sicht durch das Mikroskop beim „Anvisieren“ einer Körnung (schematisch).

Die Koordinaten der ersten Einstellung waren damit immer  $X=0$  und  $Y=0$ . Durch Drehen der Mikrometerschrauben wurde nun die okklusale Körnung der Stümpfe B, C und D mit dem Fadenkreuz nacheinander anvisiert. Die jeweiligen X- und Y-Koordinaten wurden protokolliert. Danach wurden die Mikrometerschrauben wieder auf die Nullposition zurückgedreht um zu prüfen, ob das Modell noch die gleiche Position wie am Beginn der Messung hatte. Sofern das Fadenkreuz die Körnung des Pfeilers A nicht mehr in vier gleiche Segmente teilte, wurde die gesamte Messung wiederholt. Zum Ausschluß möglicher Ablesefehler wurde jede Messung solange wiederholt, bis die erhaltenen Werte eindeutig reproduzierbar waren.

Die Umwandlung der ermittelten Koordinaten in metrische Werte erfolgte mit Hilfe des Satzes des PYTHAGORAS :  $a^2+b^2=c^2$

Für die einzelnen Strecken gilt:

$$AB=(XA-XB)^2 + (YA-YB)^2$$

$$BC=(XB-XC)^2 + (YB-YC)^2$$

$$CD=(XC-XD)^2 + (YC-YD)^2$$

$$DA=(XD-XA)^2 + (YD-YA)^2$$

$$AC=(XA-XC)^2 + (YA-YC)^2$$

$$BD=(XB-XD)^2 + (YB-YD)^2$$

Die Berechnung der Strecken erfolgte EDV gestützt.

Auf diese Weise wurden bei 130 Modellen 780 Strecken ermittelt.

Zur Überprüfung der Konstanz der Werte wurde während der gesamten Versuchsphase das Urmodell in regelmäßigen Abständen neu vermessen. Eine Änderung des Pfeilerabstandes war nicht erkennbar.

Neben den Strecken zwischen den Pfeilern wurden auch die Durchmesser der Pfeiler ermittelt. Gemessen wurde zwischen den planen Flächen im basalen Teil der Pfeiler mit einer Mikrometerschraube der Firma MITUTOYO\*. Diese hat eine Messgenauigkeit von 100 µm.

\*Mitutoyo Mfg. Co. Ltd. Japan No.: 102-117

#### **4.7 Darstellung der Ergebnisse**

#### **4.7.1 Pfeilerabstände**

Es wurden die Differenzen der ermittelten Pfeilerabstände (AB, BC, CD, DA, AC und BD) der Modellserien 1 bis 16 zum Urmodell errechnet. Mit diesen Werten wurden Boxplot - Graphiken erstellt (Abb. 5.1 – 5.6).

Um eine Darstellung aller Abweichungen zum Urmodell zu erhalten, wurden für die einzelnen Serien die Beträge der Differenzen (der Pfeilerabstände zum Urmodell) pro Modell aufsummiert und ebenfalls als Boxplot - Diagramm graphisch dargestellt (Abb. 5.7).

Die aufsummierten Beträge der Differenzen (im Weiteren „Gesamtabweichungen“) aller Pfeilerabstände (Strecken) zum Urmodell der Serien 1 – 10 wurden untereinander mit dem Mann-Whitney U Wilcoxon Test (53) statistisch auf Signifikanz geprüft.

Um den Einfluß der Abbindeexpansion des Gipses auf die Modellgenauigkeit zu ermitteln, wurden die Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände zum Urmodell untereinander mit dem Mann-Whitney U Wilcoxon Test statistisch auf Signifikanz geprüft.

Die statistische Auswertung erfolgte EDV-gestützt mit dem Computerprogramm SPSS 8.0\*.

#### **4.7.2 Pfeilerdurchmesser**

Für die Pfeilerdurchmesser der einzelnen Serien wurden die Differenzen (zu den Pfeilerdurchmessern des Urmodells) berechnet und als Boxplot - Diagramm graphisch dargestellt (Abb. 5.8 - 5.11).

Um eine Darstellung aller Differenzen (der Pfeilerdurchmesser zum Urmodell) der einzelnen Serien zu erhalten, wurden die Mittelwerte der Differenzen pro Modell berechnet und mit einem Boxplot - Diagramm graphisch dargestellt (Abb. 5.12).

\*SPSS 8.0 for Windows. Release 502

Die Mittelwerte der Differenzen der Pfeilerabstände der Serien 1 - 10 wurden untereinander mit dem Mann-Whitney U Wilcoxon Test statistisch auf Signifikanz geprüft.

Die statistische Auswertung erfolgte auch hier EDV-gestützt mit dem Computerprogramm SPSS.

### **4.7.3 Die Boxplots**

Die Graphiken wurden mit dem Computerprogramm SPSS 8.0 für Windows\* erstellt (siehe Beispiel)



Abb. 4.11: Beispiel eines Boxplots.

**Box:** Zeigt den Bereich an, der vom ersten und dritten Quartil (25. bzw. 75. Perzentil) begrenzt wird und deren schwarze innere Linie den Median repräsentiert. Es werden außerdem der kleinste und größte Wert markiert, sofern sie keine Ausreißer sind.

**Quartile:** Das erste Quartil ist derjenige Punkt der Meßwerteskala, unterhalb dessen 25 % der Meßwerte liegen. Das zweite Quartil ist derjenige Punkt der Meßwerteskala, unterhalb dessen 50 % der Meßwerte liegen. Das dritte Quartil ist derjenige Punkt der Meßwerteskala, unterhalb dessen 75 % der Meßwerte liegen.

**Werte:** Die einzelnen Werte werden nicht angezeigt.

**0-Linie:** Gibt die Dimension des Urmodells an.

**Linie:** Durch die schwarze Linie wird der Median angegeben.

**Median:** Unterhalb des Median liegen 50 % der Meßwerte (= zweites Quartil).

**Stern:** Markiert Extremwerte, die um mehr als drei Kastenlängen außerhalb liegen.

**Kreis:** Markiert Werte, die um mehr als anderthalb Kastenlängen außerhalb liegen

\*SPSS GmbH Software München

## **5 Ergebnisse**

Die Abbildungen 5.1 bis 5.6 zeigen die Differenzen der einzelnen Pfeilerabstände der jeweiligen Modellserien zum Urmodell. Die Beschreibung der aufzuzeigenden Besonderheiten erfolgt im Anschluß für alle Meßstrecken zusammengefaßt.

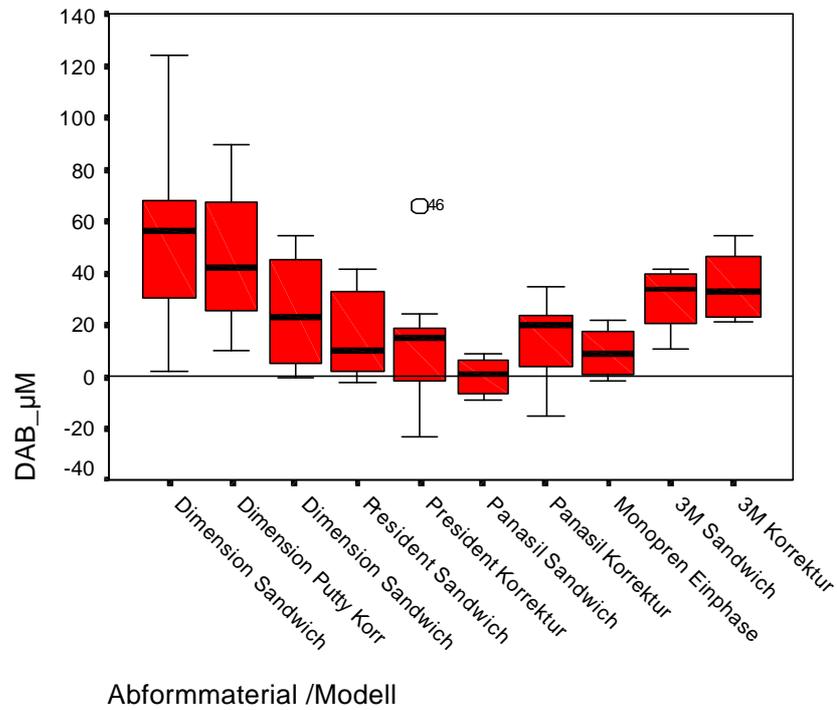


Abb. 5.1: Differenzen der Strecke AB der Modellserien 1 bis 10 zum Urmodell

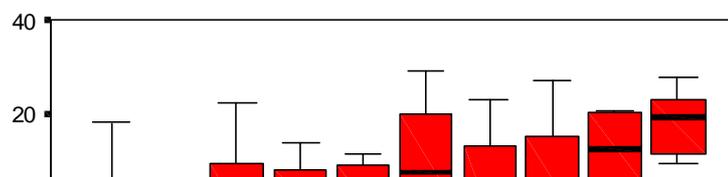


Abb. 5.2: Differenzen der Strecke BC der Modellserien 1 bis 10 zum Urmodell.

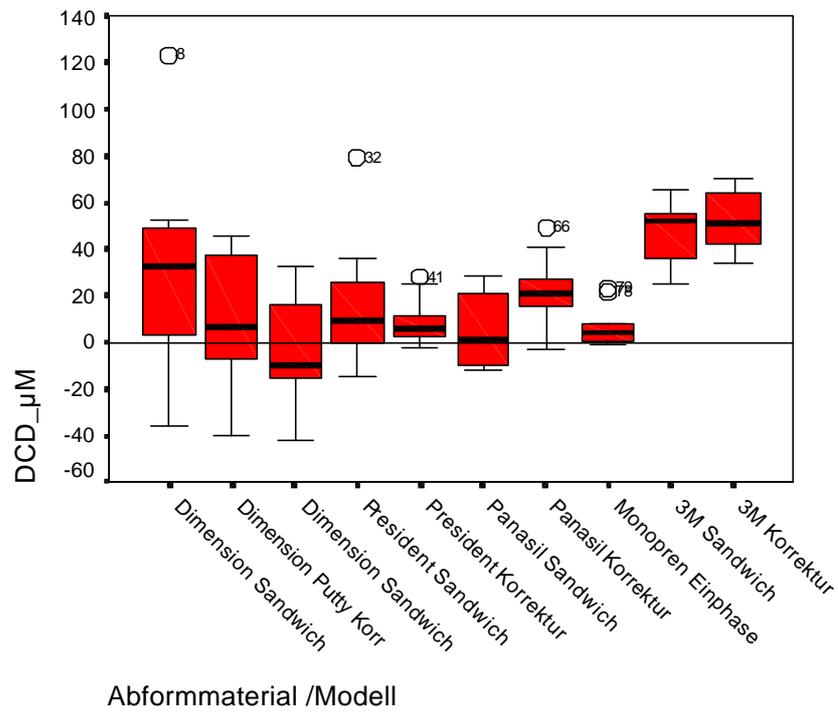


Abb. 5.3: Differenzen der Strecke CD der Modellserien 1 bis 10 zum Urmodell.

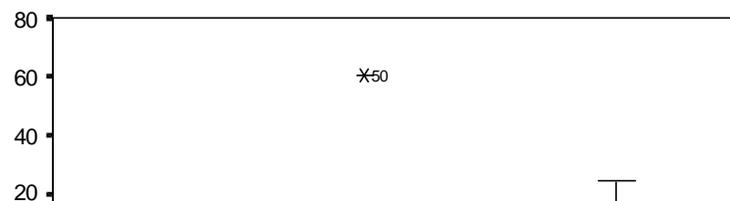


Abb. 5.4: Differenzen der Strecke DA der Modellserien 1 bis 10

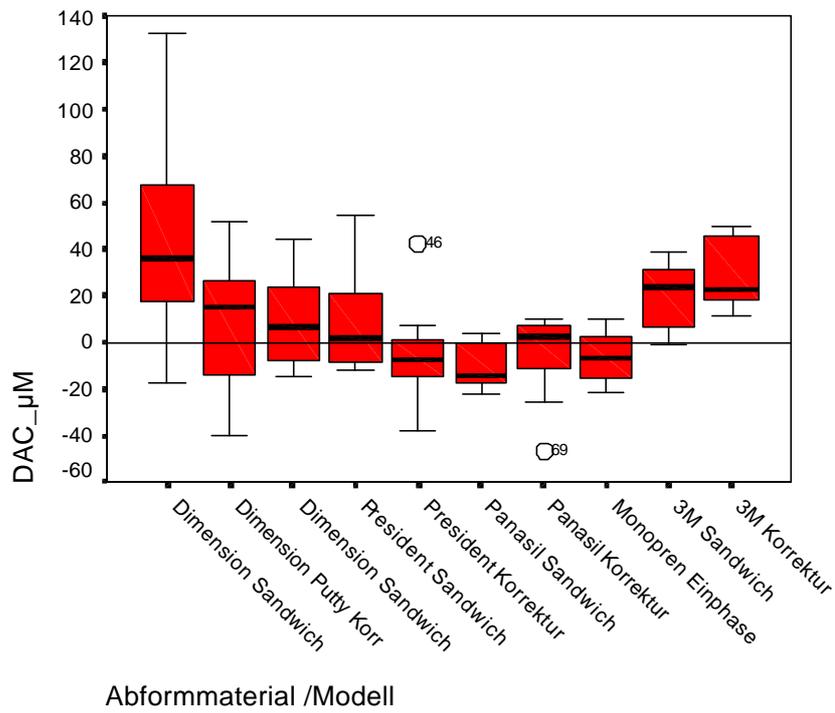


Abb. 5.5: Differenzen der Strecke AC der Modellserien 1 bis 10 zum Urmodell.

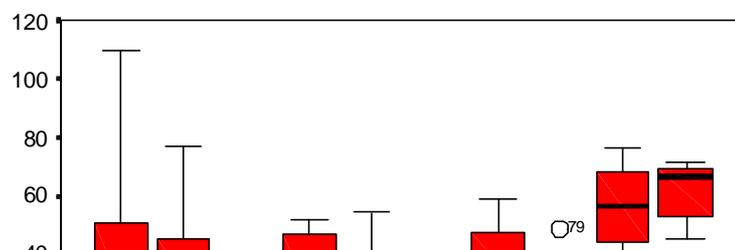


Abb. 5.6: Differenzen der Strecke BD der Modellserien 1 bis 10 zum Urmodell.

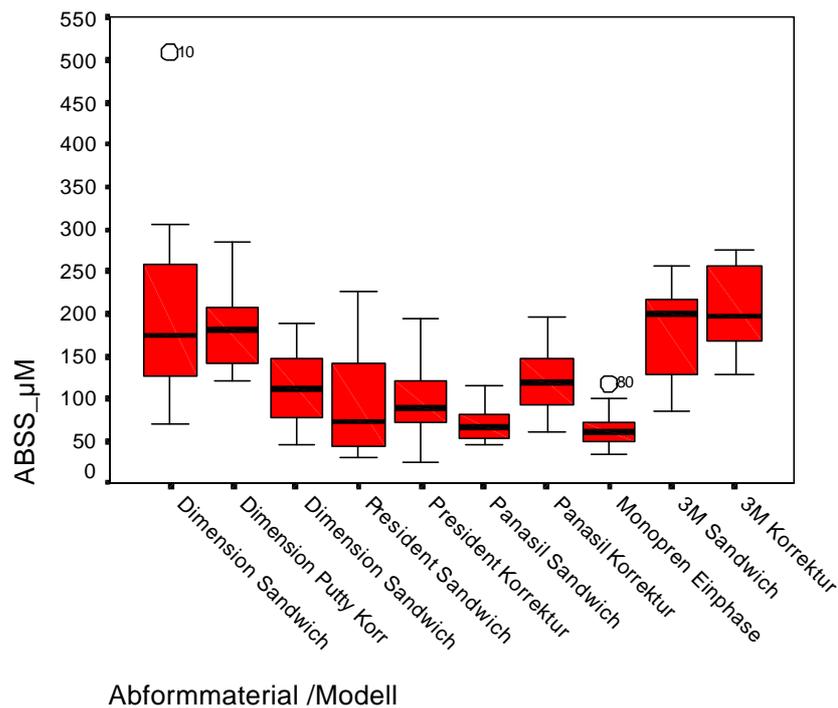


Abb. 5.7: Summe der Beträge aller Differenzen der Pfeilerabstände AB, BC, CD, DA, AC und CD (=Gesamtabweichungen) pro Modell der jeweiligen Modellserie zum Urmodell.

Die Medianwerte der Pfeilerabstände der Strecken AB, BC, CD, AC und BD sind bis auf wenige Ausnahmen, gegenüber dem Urmodell vergrößert. Die Vergrößerungen liegen in den meisten Fällen zwischen 7µm und 56µm. Nur wenige Strecken sind stärker vergrößert dargestellt.

Die stärksten Vergrößerungen zeigte die Strecke BD mit 66,50  $\mu\text{m}$  bei der Serie 10 und mit 56,50  $\mu\text{m}$  bei der Serie 9 und die Strecke AB mit 56,25  $\mu\text{m}$  bei der Serie 1.

Bei den Strecken BC, CD, DA und AC sind die Medianwerte einiger Pfeilerabstände gegenüber dem Urmodell verkleinert dargestellt. Die Verkleinerungen, die in diesen Strecken in den Serien 1 bis 8 auftreten, liegen zwischen -1,2  $\mu\text{m}$  und -15,25  $\mu\text{m}$  und sind damit vernachlässigbar klein. Sehr stark verkleinert sind die Medianwerte der Strecke DA bei der Serie 2 mit -40,35  $\mu\text{m}$  und bei der Serie 3 mit -27,2  $\mu\text{m}$ . Auffällig ist zu dem, daß die Strecke DA bis auf die Serien 9 und 10 ausschließlich verkleinerte Medianwerte aufweist.

Betrachtet man die Differenzen der einzelnen Strecken zum Urmodell in Hinblick auf die jeweilige Gesamtlänge der Strecken, so fällt auf, daß sich die größten Abweichungen bei den langen (transversalen und diagonalen) Strecken AB, CD, AC und BD ergeben, während die kurzen (sagittalen) Strecken DA und BC weniger große Abweichungen zeigen.

Insgesamt scheint die Streuung der Meßwerte der einzelnen Serien, die auf der Abformtechnik im Sandwichverfahren beruhen, größer zu sein als die der Meßwerte, die auf dem Korrekturverfahren beruhen. Dies trifft besonders auf die Materialien Dimension und President zu. Besonders deutlich wird dieses, wenn man die Summe der Differenzen der sechs Pfeilerabstände der jeweiligen Serie zum Urmodell graphisch darstellt.

## **5.2 Pfeilerdurchmesser**

Die Abbildungen 5.8 bis 5.11 zeigen die Mittelwerte der Differenzen der einzelnen Pfeilerdurchmesser der jeweiligen Modellserie zum Urmodell. Die Beschreibung der aufzuzeigenden Besonderheiten erfolgt im Anschluß für alle Pfeilerdurchmesser zusammengefaßt. Zur besseren Übersicht werden dann die jeweils bereits gezeigten Graphiken auf der linken Seite wiederholt wiedergegeben.

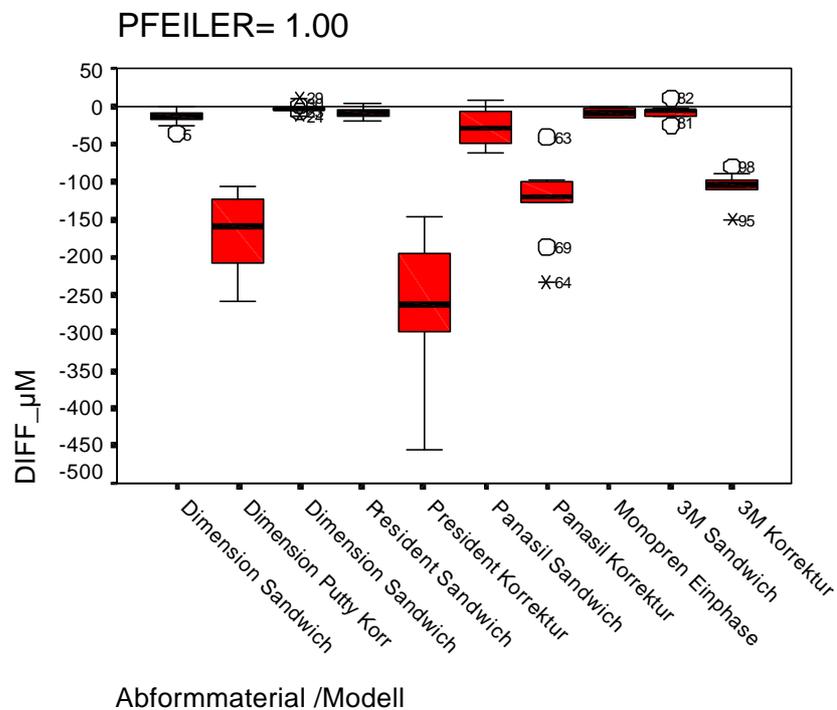


Abb. 5.8: Mittelwerte der Differenzen des Pfeilerdurchmessers A der Modellserien 1 bis 10 zum Urmodell.

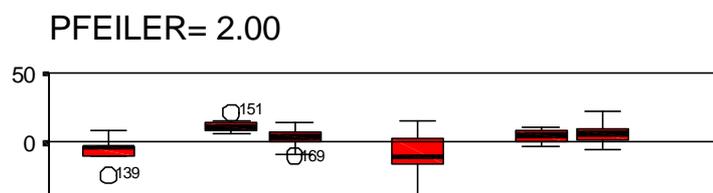


Abb. 5.9: Mittelwerte der Differenzen des Pfeilerdurchmessers B der Modellserien 1 bis 10 zum Urmodell.

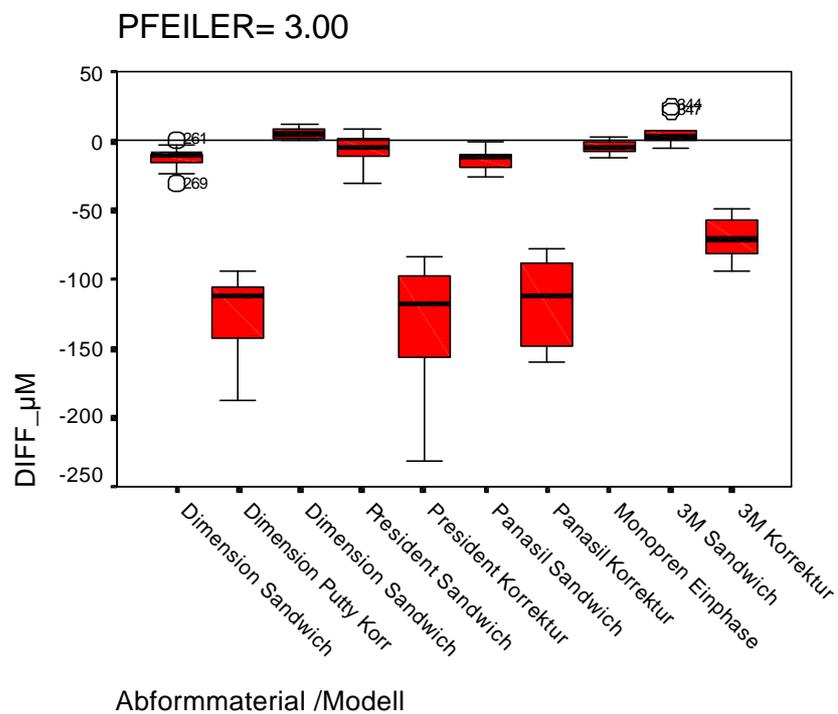


Abb. 5.10: Mittelwerte der Differenzen des Pfeilerdurchmessers C der Modellserien 1 bis 10 zum Urmodell.

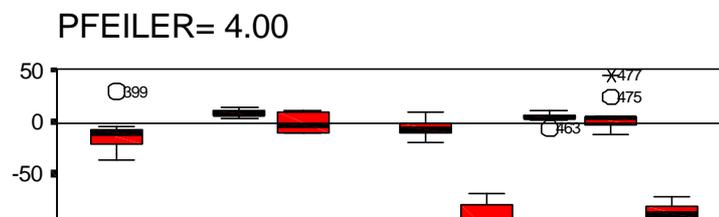


Abb. 5.11: Mittelwerte der Differenzen des Pfeilerdurchmessers D der Modellserien 1 bis 10 zum Urmodell.

Die Abbildung 5.12 zeigt die mittelwertigen Differenzen aller vier Pfeilerdurchmesser pro Modell der jeweiligen Serie zum Urmodell.

Die Beschreibung der aufzuzeigenden Besonderheiten folgt im Anschluß zusammengefaßt.

Zur besseren Übersicht wird die Graphik dann jeweils auf der linken Seite wiederholt wieder gegeben.

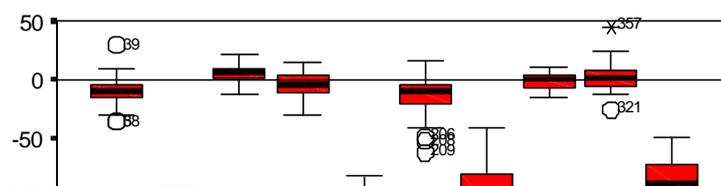


Abb. 5.12: Mittelwerte der Differenzen der Pfeilerdurchmesser A, B, C und D pro Modell der Modellserien 1 bis 10 zum Urmodell.

Die Pfeilerdurchmesser A, B, C und D der Serien, die mit der Korrekturabformtechnik gewonnen wurden, sind alle kleiner dargestellt als die Pfeiler des Urmodells (Serie 2, 5, 7 und 10). Die Medianwerte der Verkleinerungen zu den Pfeilern des Urmodells liegen zwischen  $-71\ \mu\text{m}$  und  $-159\ \mu\text{m}$ .

Deutlich kleinere Durchmesser zum Urmodell, die bis  $-262\ \mu\text{m}$  beim Pfeiler A reichen und eine größere Streuung der Werte als bei den anderen Serien mit der Korrekturtechnik weist die Serie 5 auf, die mit dem Material PRESIDENT hergestellt wurde. Am auffälligsten ist dies am Pfeiler B und D zu erkennen.

Die Pfeilerdurchmesser der übrigen Serien, die alle mit einzeitigen Abformverfahren hergestellt wurden, sind gegenüber den Pfeilern des Urmodells geringfügig vergrößert oder verkleinert dargestellt. Die Medianwerte dieser Serien liegen zwischen  $-29\ \mu\text{m}$  und  $+8\ \mu\text{m}$ .

Die Streuungen der Werte sind bei den Serien 1, 3, 4, 8 und 9 am geringsten und bei den Serien 2, 5, 7 und 10 am größten. Dies geht am deutlichsten aus den Mittelwerten aller Differenzen der einzelnen Serien gegenüber dem Urmodell hervor.

### **5.3 Vergleich verschiedener Materialien aber gleicher Methoden**

**5.3.1 Dimension Penta / Dimension garant L, maschinell angemischt  $\hat{U}$   
President putty soft / President Regular body, manuell angemischt (Se-  
rie 1 und 4), jeweils Sandwichtechnik**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände des maschinell angemischten DIMENSION (Serie 1) liegt bei 174  $\mu\text{m}$ , der Medianwert des manuell angemischten PRESIDENT (Serie 4) liegt bei 74  $\mu\text{m}$ . Die Streuung der Werte beider Serien ist ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen signifikant voneinander,  $p < 0,05$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser bei den Modellen beider Serien verkleinert wiedergegeben. Bei der maschinell angemischten DIMENSION-Serie (Serie 1) beträgt der Medianwert der Verkleinerung -10  $\mu\text{m}$ , während der Medianwert der manuell angemischten PRESIDENT-Serie (Serie 4) lediglich -4  $\mu\text{m}$  beträgt. Die Streuungen der mittelwertigen Abweichungen sind bei beiden Serien ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die mittelwertigen Abweichungen beider Serien nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

**5.3.2 Dimension Penta / Dimension garant L, maschinell angemischt  $\hat{U}$   
Panasil putty soft / Panasil contact plus, manuell angemischt (Se-  
rie 1 und 6), jeweils Sandwichtechnik**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände des maschinell angemischten DIMENSION (Serie 1) liegt bei 174  $\mu\text{m}$ , der Medianwert des manuell angemischten PANASIL (Serie 6) liegt bei 66  $\mu\text{m}$ . Die Streuung der Werte ist bei der Serie 6 deutlich geringer.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen signifikant voneinander,  $p < 0,05$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser bei den Modellen beider Serien ebenfalls verkleinert wiedergegeben. Bei beiden Serien beträgt der Medianwert der Verkleinerung -10 $\mu\text{m}$ . Die Streuungen der mittelwertigen Abweichungen sind bei beiden Serien ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die mittelwertigen Abweichungen beider Serien nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

### **5.3.3 Dimension Penta / Dimension garant L, maschinell angemischt $\hat{U}$ 3M Express STD putty / 3M Express, manuell angemischt (Serie 1 und 9), jeweils Sandwichtechnik**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände des maschinell angemischten DIMENSION (Serie 1) liegt bei 174  $\mu\text{m}$ , der Medianwert des manuell angemischten 3M (Serie 9) liegt bei 201  $\mu\text{m}$ . Die Streuung der Werte beider Serien ist ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser bei den Modellen der DIMENSION-Serie verkleinert wiedergegeben, während die Pfeilerdurchmesser der 3M-Serie geringfügig vergrößert wiedergegeben wurden. Bei der maschinell angemischten DIMENSION-Serie (Serie 1) beträgt der Medianwert der Verkleinerung -10 $\mu\text{m}$ , der Medianwert der Vergrößerung bei der manuell angemischten 3M-Serie (Serie 9) beträgt 2 $\mu\text{m}$ . Die Streuungen der mittelwertigen Abweichungen sind bei beiden Serien ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

#### **5.3.4 Dimension putty soft / Dimension garant L, manuell angemischt $\hat{U}$ President putty soft / President Regular body, manuell angemischt (Serie 2 und 5), jeweils Korrekturtechnik**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände des manuellell angemischten DIMENSION (Serie 2) liegt bei 182 µm, der Medianwert des manuell angemischten PRESIDENT (Serie 5) liegt bei 89 µm. Die Streuung der Werte ist bei DIMENSION geringfügig größer.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen signifikant voneinander,  $p < 0,01$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser bei den Modellen beider Serien verkleinert wiedergegeben. Bei der manuell angemischten DIMENSION-Serie (Serie 2) beträgt der Medianwert der Verkleinerung -147µm, der Medianwert der manuell angemischten PRESIDENT-Serie (Serie 5) beträgt-190µm. Die Streuungen der mittelwertigen Abweichungen sind bei PRESIDENT deutlich größer.

Statistisch unterscheiden sich die mittelwertigen Abweichungen beider Serien nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

### **5.3.5 Dimension putty soft / Dimension garant L, manuell angemischt $\hat{U}$ Panasil putty soft / Panasil contact plus, manuell angemischt (Serie 2 und 7), jeweils Korrekturtechnik**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände des manuell angemischten DIMENSION (Serie 2) liegt bei 182  $\mu\text{m}$ , der Medianwert des manuell angemischten PANASIL (Serie 7) liegt bei 120  $\mu\text{m}$ . Die Streuung der Werte ist bei beiden Serien ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser bei den Modellen beider Serien ebenfalls verkleinert wiedergegeben. Bei der manuell angemischten DIMENSION-Serie (Serie 2) beträgt der Medianwert der Verkleinerung -147  $\mu\text{m}$ , der Medianwert der manuell angemischten PANASIL-Serie (Serie 7) beträgt -106  $\mu\text{m}$ . Die Streuungen der mittelwertigen Abweichungen sind bei beiden Serien ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die mittelwertigen Abweichungen beider Serien nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

### **5.3.6 Dimension putty soft / Dimension garant L., manuell angemischt $\hat{U}$ 3M Express STD putty / 3M Express, manuell angemischt (Serie 2 und 10), jeweils Korrekturtechnik**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände des manuellell angemischten DIMENSION (Serie 2) liegt bei 182  $\mu\text{m}$ , der Medianwert des manuell angemischten 3M (Serie 10) liegt bei 198  $\mu\text{m}$ . Die Streuung der Werte beider Serien ist ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser bei beiden Serien verkleinert wiedergegeben. Bei der manuell angemischten DIMENSION-Serie (Serie 2) beträgt der Medianwert der Verkleinerung -147 $\mu\text{m}$ , der Medianwert der manuell angemischten 3M-Serie (Serie 10) beträgt -89 $\mu\text{m}$ . Die Streuungen der mittelwertigen Abweichungen sind bei DIMENSION etwas größer.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

#### **5.4 Vergleich gleicher Materialien aber verschiedener Methoden**

**5.4.1 Dimension Penta / Dimension garant L, Sandwichtechnik, maschinell angemischt  $\hat{U}$   
Dimension putty soft /Dimension garant L, Korrekturtechnik, manuell angemischt (Serie 1 und 2)**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände der DIMENSION-Sandwich-Serie (Serie 1) liegt bei 174  $\mu\text{m}$ , der Medianwert der DIMENSION-Korrektur-Serie (Serie 2) liegt bei 182  $\mu\text{m}$ . Die Streuung der Werte der Sandwich-Serie ist deutlich größer.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser bei den Modellen beider Serien verkleinert wiedergegeben. Bei der DIMENSION-Sandwich-Serie (Serie 1) beträgt der Medianwert der Verkleinerung -10  $\mu\text{m}$ , bei der DIMENSION-Korrektur-Serie (Serie 2) -147  $\mu\text{m}$ . Die Streuungen der mittelwertigen Abweichungen sind hier bei der Korrektur-Serie größer.

Statistisch unterscheiden sich die mittelwertigen Abweichungen beider Serien nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

**5.4.2 President putty soft / President Regular body, Sandwichtechnik  $\hat{U}$   
Korrekturtechnik (Serie 4 und 5)**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände von PRESIDENT mit der Sandwichtechnik (Serie 4) liegt bei 74  $\mu\text{m}$ ., der Medianwert von PRESIDENT mit Korrekturtechnik (Serie 5) liegt bei 89  $\mu\text{m}$ . Die Streuung der Werte ist bei der Sandwich-Serie größer. Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser bei den Modellen beider Serien verkleinert wiedergegeben. Bei der Sandwich-Serie (Serie 4) beträgt der Medianwert lediglich -4 $\mu\text{m}$ , während der Medianwert der Korrektur-Serie (Serie 5) -190  $\mu\text{m}$  beträgt. Die Streuungen der mittelwertigen Abweichungen sind bei der Korrektur-Serie deutlich größer.

Statistisch unterscheiden sich die mittelwertigen Abweichungen beider Serien nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

#### **5.4.3 Panasil putty soft / Panasil contact plus, Sandwichtechnik $\hat{U}$ Korrekturtechnik (Serie 6 und 7)**



Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände der Sandwich-Serie (Serie 9) liegt bei 201  $\mu\text{m}$ , der der Korrektur-Serie (Serie 10) liegt bei 198  $\mu\text{m}$ . Die Streuung der Werte beider Serien ist ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser bei den Modellen der Sandwich-Serie geringfügig vergrößert wiedergegeben, während die Pfeilerdurchmesser der Korrektur-Serie verkleinert wiedergegeben wurden. Bei der Serie 9 beträgt der Medianwert der Vergrößerung 2  $\mu\text{m}$ . Bei der Serie 10 beträgt die Verkleinerung -89  $\mu\text{m}$ . Die Streuungen der mittelwertigen Abweichungen sind bei der Korrektur-Serie etwas größer.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

## **5.5 Vergleich verschiedener Materialien und verschiedener Methode, aber jeweils im einzeitigen Verfahren**

### **5.5.1 Monopren transfer mit Statikmischer verarbeitet, einphasig $\hat{U}$ Dimension Penta / Dimension garant L maschinell angemischt, Sandwich- technik (Serie 8 und 1)**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände des maschinell angemischten DIMENSION (Serie 1) liegt bei 174  $\mu\text{m}$ , der Medianwert des über einen Statikmischer verarbeiteten MONOPRENS (Serie 8) liegt bei 62  $\mu\text{m}$ . Die Streuung der Werte ist bei der DIMENSION-Serie wesentlich größer.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen signifikant voneinander,  $p=0,001$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser bei den Modellen der Sandwich-Serie geringfügig verkleinert wiedergegeben, während die Pfeilerdurchmesser der einphasigen Serie nahezu im Originalmaßstab wiedergegeben wurden. Bei der Serie 1 beträgt der Medianwert der Verkleinerung -10 $\mu\text{m}$ , während bei der Serie 8 keine Abweichung festzustellen ist (Median: 0,0  $\mu\text{m}$ ). Die Streuungen der mittelwertigen Abweichungen sind bei beiden Serien ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p>0,05$ .

### **5.5.2 Monopren transfer mit Statikmischer verarbeitet, einphasig $\hat{U}$ President putty soft / President Regular body, manuell angemischt, Sandwich- technik (Serie 8 und 4)**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände des manuell angemischten PRESIDENT (Serie 4) liegt bei 74  $\mu\text{m}$ , der Medianwert des über einen Statikmischer verarbeiteten MONOPRENS (Serie 8) liegt bei 62  $\mu\text{m}$ . Die Streuung der Werte ist bei der PRESIDENT-Serie deutlich größer.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser bei den Modellen der Sandwich-Serie geringfügig verkleinert wiedergegeben, während die Pfeilerdurchmesser der einphasigen Serie nahezu im Originalmaßstab wiedergegeben wurden. Bei der Serie 4 beträgt der Medianwert der Verkleinerung  $-4\mu\text{m}$ , während bei der Serie 8 keine Abweichung festzustellen ist (Median:  $0,0\ \mu\text{m}$ ). Die Streuungen der mittelwertigen Abweichungen sind bei beiden Serien ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

### **5.5.3 Monopren transfer mit Statikmischer verarbeitet, einphasig $\hat{U}$ Panasil putty soft / Panasil contact plus, manuell angemischt, Sandwichtechnik (Serie 8 und 6)**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände des manuell angemischten PANASIL (Serie 6) liegt bei 66  $\mu\text{m}$ , der Medianwert des über einen Statikmischer verarbeiteten MONOPRENS (Serie 8) liegt bei 62  $\mu\text{m}$ . Die Streuung der Werte ist bei beiden Serien ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser bei den Modellen der Sandwich-Serie geringfügig verkleinert wiedergegeben, während die Pfeilerdurchmesser der einphasigen Serie nahezu im Originalmaßstab wiedergegeben wurden. Bei der Serie 6 beträgt der Medianwert der Verkleinerung -10 $\mu\text{m}$ , während bei der Serie 8 keine Abweichung festzustellen ist (Median: 0,0  $\mu\text{m}$ ). Die Streuungen der mittelwertigen Abweichungen sind bei beiden Serien ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

#### **5.5.4 Monopren transfer mit Statikmischer verarbeitet, einphasig $\hat{U}$ 3M Express STD putty / 3M Express, manuell angemischt, Sandwichtechnik (Serie 8 und 9)**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände des manuell angemischten 3M (Serie 9) liegt bei 201  $\mu\text{m}$ , der Medianwert des über einen Statikmischer verarbeiteten MO-NOPRENS (Serie 8) liegt bei 62  $\mu\text{m}$ . Die Streuung der Werte ist bei der Sandwich - Serie deutlich größer.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen signifikant voneinander,  $p < 0,001$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser bei den Modellen der Sandwich-Serie geringfügig vergrößert wiedergegeben, während die Pfeilerdurchmesser der einphasigen Serie nahezu im Originalmaßstab wiedergegeben wurden. Bei der Serie 9 beträgt der Medianwert der Vergrößerung 2  $\mu\text{m}$ , während bei der Serie 8 keine Abweichung festzustellen ist (Median: 0,0  $\mu\text{m}$ ). Die Streuungen der mittelwertigen Abweichungen sind bei beiden Serien ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

## **5.6 Vergleich gleicher Materialien und Methoden, jeweils mit verschiedenen Löffeln verarbeitet**

**5.6.1 Dimension Penta / Dimension garant L im Anatomic B1 Ū  
Dimension Penta / Dimension garant L im Schreinemakers,  
jeweils maschinell angemischt und Sandwichtechnik (Serie 1 und 3)**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände des DIMENSION der Serie 1 liegt bei 174 µm, der Medianwert des DIMENSION der Serie 3 liegt bei 113 µm. Die Streuung der Werte ist bei der Serie mit den Anatomic B1 - Löffeln (Serie 1) größer.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen signifikant voneinander,  $p < 0,05$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser bei den Modellen der Serie 1 verkleinert wiedergegeben. Bei dieser Serie beträgt der Medianwert der Verkleinerung -10µm, die Pfeilerdurchmesser der Serie 3 sind geringfügig vergrößert wiedergegeben. Der Medianwert dieser Serie beträgt 7µm. Die Streuungen der mittelwertigen Abweichungen sind bei beiden Serien ähnlich.

Statistisch unterscheiden sich die mittelwertigen Abweichungen beider Serien nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

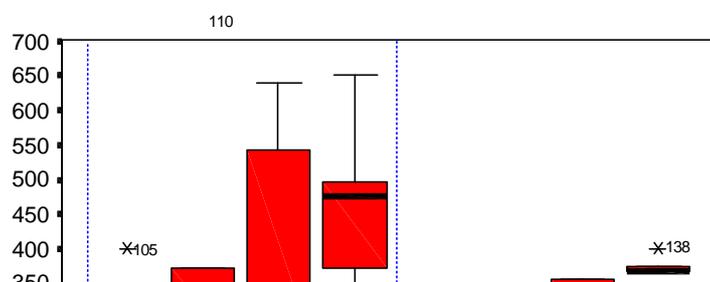


Abb. 5.13: Summe der Beträge aller Differenzen der Pfeilerabstände AB, BC, CD, DA, AC und CD (=Gesamtabweichungen) pro Modell der jeweiligen Modellserie zum Urmodell.

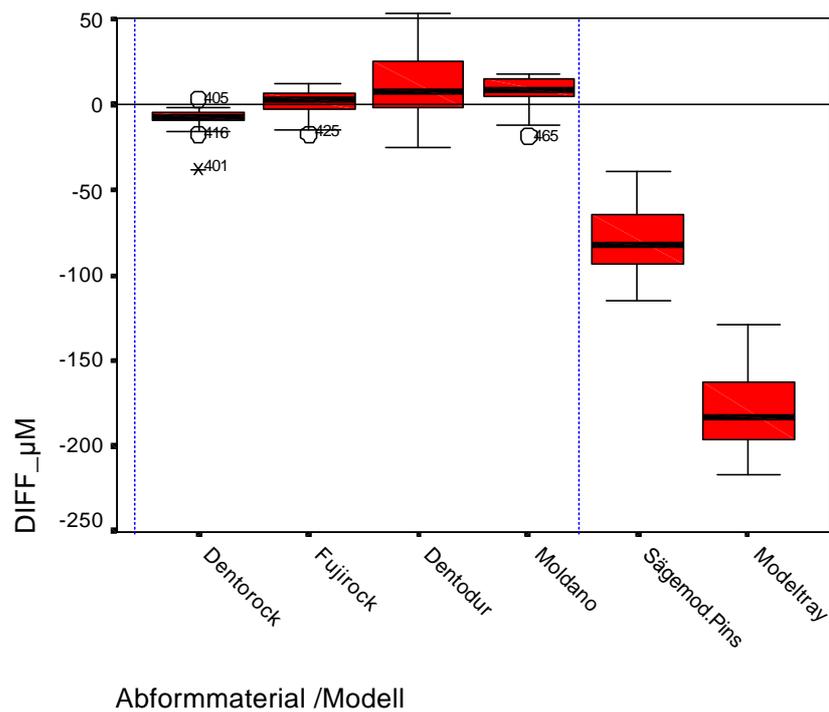


Abb. 5.14: Mittelwerte der Differenzen der Pfeilerdurchmesser A, B, C und D pro Modell der Modellserien 11 bis 16 zum Urmodell.

**5.7 Vergleich von Modellen aus vier verschiedenen Gippsorten, die aus Abformungen des gleichen Materials und der gleichen Technik gewonnen wurden (Serie 11, 12, 13 und 14)**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände der DENTO ROCK - Serie (Serie 11) beträgt 94  $\mu\text{m}$ , der FUJI ROCK - Serie (Serie 12) 267 $\mu\text{m}$ , der DENTO DUR - Serie (Serie 13) 321 $\mu\text{m}$  und der MOLDANO - Serie (Serie 14) 476 $\mu\text{m}$ . Die Streuungen der Werte sind bei den Serien, die mit Hartgips des Typ III (Serie 13 und 14) hergestellt wurden, größer als bei den Serien, die mit Spezialhartgips des Typ IV (Serie 11 und 12) hergestellt wurden. Besonders auffallend ist dies bei der DENTO DUR - Serie.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen der vier Serien nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

Im Mittel sind die Pfeilerdurchmesser der Serien 12, 13 und 14 vergrößert dargestellt, außer der DENTO ROCK - Serie (Serie 11), deren Werte geringfügig verkleinert dargestellt sind. Der Medianwert der Verkleinerung beträgt -8 $\mu\text{m}$ . Der Medianwert der Vergrößerung beträgt bei der FUJI ROCK - Serie 3 $\mu\text{m}$ , bei der DENTO DUR - Serie 7  $\mu\text{m}$  und bei der MOLDANO - Serie 8 $\mu\text{m}$ .

Statistisch unterscheiden sich die Abweichungen aller vier Serien signifikant voneinander,  $p < 0,001$ .

## **5.8 Vergleich von Sägemodellen zwei verschiedener Systeme, vor und nach dem Sägen**

### **5.8.1 Sägemodell Pins ungesägt - Sägemodell Pins gesägt (Serie 15 und 16)**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände der ungesägten Modelle (Serie 15) liegt bei 228  $\mu\text{m}$ , dieser ändert sich nach einer erneuten Messung der selben Modelle, nachdem diese gesägt wurden (Serie 16), auf 204  $\mu\text{m}$ . Die Streuung der Werte ist bei den ungesägten Modellen größer.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

### **5.8.2 Modeltray ungesägt - Modeltray gesägt (Serie 17 und 18)**

Der Medianwert der Gesamtabweichungen aller Pfeilerabstände der ungesägten Modelle (Serie 17) liegt bei 257  $\mu\text{m}$ , dieser ändert sich nach einer erneuten Messung der selben Modelle, nachdem diese gesägt wurden (Serie 18), auf 371  $\mu\text{m}$ . Die Streuung der Werte ist auch hier bei den ungesägten Modellen größer.

Statistisch unterscheiden sich die Gesamtabweichungen nicht signifikant voneinander,  $p > 0,05$ .

### 5.9.1 Pfeilerabstände

Bei allen Gipsmodellen sind die Abstände, die zwischen den Pfeilern gemessen wurden, gegenüber dem Urmodell verändert wiedergegeben worden. Aufgrund der unterschiedlichen Ergebnisse der einzelnen Serien kann davon ausgegangen werden, daß die veränderte Darstellung der Pfeilerabstände nicht nur von dem verwendeten Material, sondern auch von der angewendeten Abformmethode und der Art des Anmischens der Materialien abhängig ist. Nahezu alle Meßstrecken wurden vergrößert wiedergegeben. Zu vergleichbaren Resultaten kamen bereits *Lehmann* (84, 85), *Linke* (89) und *Biffar* (7).

Eine Ursache für die vergrößerte Wiedergabe der Meßstrecken ist mit der Abbindeexpansion der verwendeten Gipse erklärbar. Bei einer Abbindeexpansion von ca. 0,1% linear (die Expansionswerte der verwendeten Gipse lagen zwischen 0,08 und 0,1% linear) bedeutet dies rein rechnerisch, z.B. für die saggitale Strecke BC\*, eine Verlängerung um ca. 14 µm und für die diagonale Strecke AC\*\* eine Verlängerung um ca. 46µm. Die gemessenen Vergrößerungen der einzelnen Strecken lagen in den meisten Fällen in dieser Größenordnung, einige jedoch auch deutlich darüber oder darunter.

Die Hypothese, daß die Abbindeexpansion der Gipse für die vergrößerten Pfeilerabstände zumindest mitverantwortlich war, belegt auch die Beobachtung, daß die größten Abweichungen an den langen (transversalen und diagonalen) Abständen gemessen wurden, während die kleinsten Abweichungen an den kurzen saggitalen Abständen ermittelt wurden.

\*Länge der Strecke BC des Urmodells: 14459µm

\*\*Länge der Strecke AC des Urmodells: 45762µm

Die sehr unterschiedlichen Vergrößerungen der Meßstrecken der einzelnen Serien, die zum Teil weit über die Expansionswerte der verwendeten Gipse hinausgingen, weisen darauf hin, daß sich mit den vom Hersteller angegebenen Expansionswerten die Dimensionen des späteren

realen Modells nicht genau errechnen lassen, da die Vorgänge beim Abbinden des Gipses zu unterschiedlich großen Dimensionsabweichungen führen. Die Ursache hierfür erklärte *Marx* mit der unterschiedlichen Massenverteilung des Gipses, bedingt durch die Form des Kiefermodells und mit der Behinderung der Abbindeexpansion durch den unterschiedlich starken elastischen Widerstand des Abformmaterials in Abhängigkeit von der Wandstärke und der Form (92).

Werden in diesem Zusammenhang die Modellserien 11 und 12, die alle mit DIMENSION und der Sandwichtechnik (also mit gleichem Material und gleicher Methode), aber jeweils mit verschiedenen Gipsen des Typ IV hergestellt wurden, miteinander verglichen, so ist erkennbar, daß alle sechs Meßstrecken zwar verändert wiedergegeben wurden, daß aber die Medianwerte der Serien untereinander in ähnlichen Bereichen liegen, wobei die Werte der Serie 12 mit 267 µm gegenüber der Serie 11 mit 97µm weiter auseinander liegen, als dies zu erwarten war. Auch die Streuung ist bei der Serie 12 deutlich größer. Statistisch unterscheiden sich diese Serien nicht voneinander. Die Abbindeexpansion des Gipses wirkte sich also auf die Dimensionen der Modelle aus und zwar immer in gleicher Richtung, welche zu einer Vergrößerung führte. Dies wird auch besonders deutlich, wenn man die Serien 13 und 14 betrachtet, die auf gleiche Weise, aber jeweils mit verschiedenen Gipsen des Typ III hergestellt wurden. Die Medianwerte der Gesamtabweichungen liegen hier deutlich höher, als bei den Serien, die mit Typ IV - Gipsen hergestellt wurden. Dies war für Hartgipse des Typ III zu erwarten, da deren Expansionswerte nach Herstellerangaben mit jeweils 0,15 und 0,16 % linear angegeben werden. Auch die Streuung der Werte war entsprechend größer. Aufgrund dieser Beobachtungen erschien es statthaft, die Dimensionsänderungen der verschiedenen Serien miteinander zu vergleichen, da die Abbindeexpansion des Gipses die Modelle der einzelnen Serien immer in der gleichen Weise verzerrt hat, und daher die Dimensionsunterschiede andere Ursachen haben müssen.

Für die Dimensionsänderungen der Modelle war allerdings nicht nur allein die Expansion des Gipses verantwortlich, sondern auch Fehler, die von den Abformmaterialien selber verursacht wurden. In erster Linie dürfte in diesem Zusammenhang die Abbindekontraktion, welche allen Abformmaterialien auf Silikonbasis anhaftet, für die Veränderungen der Meßstrecken verantwortlich sein. Bei allen Abformungen wurde darauf geachtet, daß das Abformmaterial fest an der Löffelwand haftet, daher konnte das Material jeweils auf die Löffelwand zuschrumpfen.

Dieses führte sowohl zu einer Verzerrung der Lumina als auch zu einer Veränderung der Pfeilerabstände, die bei den transversalen und den diagonalen Strecken am ausgeprägtesten war. Die sagittalen Meßstrecken BC und DA zeigten bei den meisten Serien die geringsten Dimensionsabweichungen zum Urmodell. Über ähnliche Erfahrungen berichteten bereits *Marxkors* und *Meiners* (99).

Die Kontraktionswerte der A-Silikone werden allgemein mit ca.-0,5% linear angegeben. Um zu überprüfen, in wieweit sich die A-Silikone von unterschiedlichen Herstellern untereinander unterscheiden, wurden die entsprechenden Materialien mit der gleichen Methode verarbeitet und untereinander verglichen. Die hierbei verwendeten Materialien liegen nach Herstellerangaben in einem Bereich von -0,15 bis -0,25 % linear. Hierbei wäre zu erwarten gewesen, daß Materialien, die maschinell angemischt wurden, bessere Ergebnisse aufweisen, als Materialien, die manuell angemischt wurden. In diesem Zusammenhang wurde das Material DIMENSION (Serie 1), welches alleinig maschinell angemischt und auch mit dem günstigsten Wert von -0,15 % linear angegeben wurde, mit Materialien verglichen, die jeweils manuell angemischt wurden (Serie 4, 6 und 9). Diese Erwartung wurde nicht erfüllt, sondern das Gegenteil war der Fall. Das Material DIMENSION zeigte gegenüber den anderen Silikonen, außer 3M, mit 174 µm die höchsten Gesamtabweichungen zum Urmodell. Dies ist eine um ca.100 µm stärkere Abweichung gegenüber den Materialien PRESIDENT und PANASIL, und das, obwohl diese jeweils schon vom Hersteller aus mit ungünstigeren Kontraktionswerten von -0,20 und -0,25% linear angegeben werden. Außerdem wäre anzunehmen, daß die Dosierung und die Durchmischung der Komponenten durch das maschinelle Verarbeiten homogener und somit auch zu geringeren Fehlern führen müßte, als es durch die manuellen Verarbeitung gegeben ist. Auch die Streuung der Werte ist bei DIMENSION am größten. Lediglich das Material 3M liegt mit den Gesamtabweichungen von 201 µm noch höher, als das Material DIMENSION. Statistisch unterschieden sich die Serien 1, 4 und 6 signifikant voneinander. Lediglich die Serie 9 und 1 unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

Außer der Art des Anmischens besteht auch noch die Möglichkeit, über andere Verfahren des Abformens die Dimensionsveränderungen zu beeinflussen. Daher wurden die selben Silikone außer mit der Sandwich-Technik, auch jeweils mit der Korrektur-Technik verarbeitet und untereinander verglichen (Serie 2, 5, 7 und 10). Die Ergebnisse waren hierbei untereinander ähnlich wie bei den Serien der Sandwich-Technik, lediglich die Gesamtabweichungen waren bei allen Serien der Korrektur-Technik etwas größer als bei der Sandwich-Technik, während die Streuungen der Werte bei den Serien der Korrektur-Technik geringer waren. Statistisch unter-

schieden sich die Serien der Korrektur-Technik nicht signifikant voneinander, mit Ausnahme der Serien 2 und 5.

Wie schon bereits erwähnt, wurden die sagittalen Strecken BC und DA nur gering vergrößert und speziell bei der Strecke DA, außer dem Material von 3M, sogar von allen Silikonen verkleinert gegenüber dem Urmodell dargestellt. Über ähnliche Beobachtungen berichtete bereits *Biffar (7)*. Dieses Ergebnis könnte sich dadurch erklären lassen, daß die Pfeiler, die diese Strecke bilden, von den geringsten Schichtstärken an Abformmaterial umgeben sind, und somit bei dieser Strecke die Kontraktion hauptsächlich zwischen den Pfeilern stattfand, während bei der Strecke BC der Pfeiler C singular stand, also durch keinen Nachbarzahn begrenzt war. Daher entstand bei den Abformungen distal des Pfeilers C eine vergleichsweise große Schichtstärke des Abformmaterials, welches dann verstärkt durch die Abbindekontraktion nach distal auf die Löffelwände zuschrumpfen konnte und es bei dieser Strecke zu einer leichten Vergrößerung kam. Auch bei den von *Biffar (7)* vermessenen Modellen standen die jeweils endständigen Zähne singular.

Bezogen auf die Schichtstärken des Abformmaterials war es daher interessant, das gleiche Material mit jeweils unterschiedlichen Löffeln zu verarbeiten. Dieser Vergleich wurde zwischen den Serien 1 und 3 angestellt, wobei einmal konfektionierte Löffel der Marke Anatomic und das andere Mal die Marke Schreinemakers verwendet wurden. Der SCHREINEMAKERS-Löffel weist hierbei eine etwas passgenauere Form auf, als der ANATOMIC-Löffel. Folglich kam es zu deutlich geringeren Schichtstärken und dies wirkte sich wiederum günstiger auf die Dimensionsänderungen aus. Bei allen Strecken war die Abweichung zum Urmodell geringer ausgefallen, als bei der Serie mit den ANATOMIC-Löffeln, mit Ausnahme der Strecke DA, bei der die Abweichungen in ähnlicher Größenordnung lagen. Statistisch unterscheiden sich auch hier die Gesamtabweichungen signifikant voneinander. Die Streuungen sind wie zu erwarten bei der Serie mit den ANATOMIC-Löffeln größer.

Während die materialbedingten Fehler, (Abbindeexpansion des Gipses und Abbindekontraktion der Abformmaterialien) aufgrund der hohen Güte der momentan verfügbarer Materialien, nur geringe Auswirkungen auf die Dimensionstreu realer Kiefermodelle haben oder sich sogar aufheben können, sind für die teilweise erheblichen Dimensionsänderungen offensichtlich verfahrensbedingte Fehler verantwortlich. Um einen solchen verfahrensbedingten Fehler handelt es sich bei den endogenen Spannungen. Diese sind zwar nie ganz zu vermeiden, aber durch unsachgemäßes Dosieren und Mischen der Abformmaterialien kann das Abformergebnis soweit

verschlechtert werden, daß es bei gleichem Material und gleicher Technik zu recht unterschiedlichen Abformergebnissen kommt.

Aus diesen Gründen wäre zu erwarten gewesen, daß das maschinell verarbeitete Material gegenüber den manuell angemischten Materialien im Vorteil wäre. Dies hat sich nicht bestätigt. Das Gegenteil war der Fall. Möglicherweise sind die aktuelleren Materialien durch ihre günstig aufeinander abgestimmte Konsistenzen und die durch Farbindikatorenn gut kontrollierbare Durchmischung gar nicht so anfällig auf verfahrensbedingte Fehler, wie es bei älteren Materialien gewöhnlich der Fall war. Diese waren allerdings auch häufig Paste - Paste - Systeme, deren Dosierbarkeit und gleichmäßige Durchmischung schwierig waren (132, 134). Vielleicht läßt sich die Ursache für die schlechteren Werte der maschinell angemischten Serie auch darin begründen, daß durch den langsamen Befüllungsvorgang des Löffels (ca. 1 Gramm Material pro Sekunde) bereits Teile des Abformmaterials soweit vernetzt waren, daß endogene Spannungen die Abformung verzerrten. Ein schnellerer Befüllungsvorgang wäre zwar wünschenswert, ist aber aus technischen Gründen nicht möglich, da durch den dafür notwendigen höheren Stempeldruck des Gerätes, das Abformmaterial soweit erwärmt würde, daß die Verarbeitungszeit erheblich verkürzt würde (118). Das wiederum hätte endogene Spannungen zur Folge (105).

Naheliegend war nun noch der Vergleich zwischen den unterschiedlichen Abformverfahren, da jeweils entsprechende Serien mit den gleichen Materialien vorhanden waren. Die von einigen Autoren beschriebene Beobachtung, daß Sandwichabformungen genauere Ergebnisse zeigen als Korrekturabformungen (72, 31, 81), konnte im Hinblick auf die Pfeilerabstände nicht voll bestätigt werden. Der Medianwert der Gesamtabweichungen der DIMENSION-Sandwich-Serie betrug 174 µm und war damit etwas niedriger als die DIMENSION-Korrektur-Serie mit 182 µm. Ähnlich verhält es sich mit dem Material PRESIDENT, mit 74 µm in der Sandwich-Serie, gegenüber 89 µm in der Korrektur-Serie oder das Material PANASIL mit 66 µm in der Sandwich-Serie gegenüber 120 µm in der Korrektur-Serie. Hierbei ist eine leichte Tendenz zu erkennen, nach der die Sandwich-Serien etwas genauer abschneiden, als die Korrektur-Serien. Dies liegt aber in einem Bereich von ca. 10 µm, außer im Fall von dem Material PANASIL, wo ein Unterschied von ca. 50 µm auffällt. Dies ist das einzige Material, bei dem auch statistisch signifikante Unterschiede belegbar sind. Die übrigen Materialien unterschieden sich statistisch nicht signifikant voneinander. Im Falle des Materials 3M lagen die Medianwerte der Gesamtabweichungen mit 201 µm und 198 µm sogar auf gleichem Niveau. Scheinbar wirkt sich die verfahrensbedingte Ausschaltung der endogenen Spannungen, durch die kürzere Verarbeitungs-

zeit und die Eliminierung der Verdrängungseffekte durch das einzeitige Vorgehen, nicht auf die Wiedergabegenauigkeit der Pfeilerabstände aus.

Beim Vergleich eines einphasigen Materials mit den übrigen zweiphasigen Materialien konnte zusätzlich ein Vergleich zwischen verschiedenen Abformverfahren, die jeweils einzeitig erfolgen, erbracht werden. In diesem Fall wurde das Material MONOPREN mit den Sandwichserien verglichen. Der Medianwert der Gesamtabweichungen liegt bei diesem Material mit  $62\ \mu\text{m}$  in ähnlichen Bereichen wie die Materialien PRESIDENT und PANASIL. Statistisch unterscheiden sich die Werte der Serien nicht signifikant voneinander. Umgekehrt bei den Materialien DIMENSION und 3M. Hier liegen die Werte über  $100\ \mu\text{m}$  auseinander. Statistisch unterscheiden diese sich signifikant voneinander. Mit Ausnahme des PANASILS sind bei allen Sandwichserien die Streuungen der Werte deutlich größer.

Der Kontraktionswert des Materials MONOPREN wird von Herstellerseite mit  $-0,20\%$  linear angegeben. Es liegt also im gleichen Bereich wie die übrigen Materialien. Eine mögliche Erklärung für die geringste Abweichung vom Urmodell und die geringsten Streuungen der Werte könnte in der Konsistenz des Materials liegen, da dieses sehr niedrig viskös ist. Da es sich auch wesentlich schneller verarbeiten läßt als das Material DIMENSION, welches eine ähnliche Konsistenz aufweist, entstanden wahrscheinlich entsprechend weniger endogene Spannungen und somit genauere Ergebnisse.

Nach der Feststellung, daß die Pfeilerabstände aufgrund verfahrensbedingter und materialbedingter Fehler in ihrer Dimension verändert wiedergegeben werden, und dies in der Regel in einem Bereich einer Vergrößerung von  $14$  bis  $46\ \mu\text{m}$  stattfindet, konnte noch die Überlegung angestellt werden, ob in einem nachfolgenden Arbeitsschritt nicht noch größere Abweichungen der Dimensionen vom Urmodell entstehen, als dies durch die Abformung gegeben ist. Meistens handelt es sich bei dem nachfolgenden Arbeitsschritt um die Herstellung eines Sägemodells, bei dem der aus der Abformung gewonnene Zahnkranz mit sogenannten Pins versehen wird. Anschließend wird in einer zweiten Phase ein Sockel hergestellt. Danach werden Sägeschnitte angelegt, durch die dann einzelne Stümpfe über die Pins mobilisiert werden können. Die grundsätzliche Problematik liegt darin, daß die Pins durch den expandierenden Sockelgips auseinandergedrückt werden. Dadurch geht die Winkeltreue verloren, die Stümpfe kippen aufeinander zu. Das Maß der Kippung hängt dabei vom Typ des Sockelgipses, sowie von der Dilatationskurve des Gipses und der Schichtstärke des Kranzes und des Sockels ab. Über diese Erfahrungen berichtete bereits *Marxkors* (97).

Aus diesem Grund wurden zwei Serien aus Sägemodellen mit jeweils unterschiedlichen Systemen hergestellt und diese vor und nach dem Sägen vermessen, da man davon ausgehen kann, daß der Fehler der Winkeltreue erst nach dem Sägen auftritt, da erst dann die Spannungen, welche durch die Expansion des Sockelgipses entstehen, zum Tragen kommen.

Diese Annahme wurde beim Vermessen der Serien 15 und 16, die mit Doppelpins hergestellt wurden, bestätigt. Der Medianwert der Gesamtabweichungen lag bei den ungesägten Modellen (Serie 15) bei 228  $\mu\text{m}$  und änderte sich nach dem Sägen (Serie 16) auf 204  $\mu\text{m}$ . Es kam also zu einer Verkürzung der Strecken, wie es auch aufgrund der Expansionsauswirkung auf die Doppelpins zu erwarten gewesen wäre. Da es im Falle der Abformungen zur Vergrößerung der Dimensionen gekommen ist, war es nun wünschenswert, daß es im nachfolgenden Schritt der Sägemodellherstellung zu einer Verkleinerung der Dimensionen kommt, damit der schon vorhandene Fehler nicht noch verschlimmert wird. Genau dieses ist hierbei eingetreten. Die Verkleinerung liegt mit 24  $\mu\text{m}$  innerhalb des Bereiches der vorher stattgefundenen Vergrößerung und führt somit wieder zu einer Annäherung an die ursprünglichen Maße. Statistisch unterschieden sich die Gesamtabweichungen nicht voneinander.

Das Umgekehrte fand beim Vermessen der Serien 17 und 18 statt. Da diese Modelle mit dem System MODEL-TRAY hergestellt wurden, fällt ein separates Sockeln weg. Die Funktion des Sockels übernimmt dabei ein spezieller Sockelformer aus Kunststoff. Somit fallen Pins und auch die Problematik des Expandierens einer zweiten Gipsphase weg. Zahnkranz und Sockelbereich werden also in einer Phase gegossen. Die dabei entstehende Expansion wirkt sich gleichmäßig und nach allen Seiten auf den Sockelformer aus. Nach Angaben des Herstellers erfährt der Model-Tray-Sockler durch die freiwerdende Wärme des Abbindeprozesses eine thermische Expansion, die ihn dreidimensional um 0,14% größer werden läßt. Er soll sich somit der Gipsexpansion anpassen (49). Dies zeigt sich auch in einer Vergrößerung der Strecken. Der Medianwert der Gesamtabweichungen betrug bei den ungesägten Modellen 257  $\mu\text{m}$  und war somit geringfügig größer, als bei der Serie mit den Doppelpins. Bemerkenswert ist die Tatsache, daß es nach dem Sägen (Serie 18) zu einer Vergrößerung der Strecken kam. Der Medianwert der Gesamtabweichungen lag anschließend bei 371  $\mu\text{m}$ . Dies entspricht einer Vergrößerung von über 100  $\mu\text{m}$ . Das bedeutet, daß diese Dimensionsänderung weitaus größer ist, als die Dimensionsänderung, die durch die Abformung zustande kommt. Hinzu kommt noch, daß diese Dimensionsänderung, da es sich dabei um eine Vergrößerung handelt, den Fehler der Abformung noch verschlimmert. Auch hier unterschieden sich die Serien statistisch nicht signifikant voneinander. Die Streuungen der Werte sind jeweils bei den ungesägten Modellen größer.

### **5.9.2 Pfeilerdurchmesser**

Ebenso wie die Pfeilerabstände sind nahezu alle Pfeilerdurchmesser verändert gegenüber dem Urmodell wiedergegeben. Eine generell differenzierte Darstellung der Pfeiler A, B, C und D, untereinander pro Serie, konnte nicht festgestellt werden. Die zum Urmodell verändert reproduzierten Durchmesser lassen sich, nach Serien getrennt, in zwei Gruppen einteilen: Solche, die geringfügig verkleinert oder vergrößert wiedergegeben wurden, und solche, die erheblich stärker verkleinert wiedergegeben wurden. Alle Serien, deren Durchmesser erheblich stärker gegenüber den anderen Serien verkleinert wurden, haben die Gemeinsamkeit, daß sie mit der

Korrekturtechnik hergestellt wurden, während die übrigen Serien mit einer einzeitigen Abformmethode hergestellt wurden. Dieses Ergebnis korreliert mit den Beobachtungen zahlreicher Autoren (13, 18, 31, 34, 47, 55, 56, 62, 72, 74, 82, 142).

Die Ursache für die zu klein wiedergegebenen Pfeilerdurchmesser dürften methodisch bedingte Verdrängungseffekte gewesen sein. Durch nicht vollständig ausfließendes Korrekturmaterial kam es zu elastischen Deformationen des Erstmaterials. Nach der Abnahme der Abformungen stellte sich das Erstmateriale wieder zurück und verengte so das Abformlumen. Obwohl das Erstmateriale ausreichend beschnitten wurde, um den Staudruck und damit die elastische Deformation des Erstmaterials möglichst gering zu halten (74, 86), wurden die Durchmesser dennoch verkleinert reproduziert.

Die Verkleinerungen der Pfeilerdurchmesser der einzelnen Serien im Korrekturverfahren untereinander (Serie 2, 5, 7 und 10) weisen statistisch keine signifikanten Unterschiede auf. Die Mittelwerte der Differenzen lagen zwischen -89 und -190  $\mu\text{m}$ . Die unterschiedlich starken Verkleinerungen zwischen den Materialien könnten durch unterschiedliche Endhärten der Erstmateriale und der damit verbundenen Elastizität begründet sein.

Die genaueren Reproduktionen der Pfeilerdurchmesser wurden mit den einzeitigen Verfahren erzielt, da bei diesen Verfahren elastische Deformationen so gut wie ausgeschlossen waren.

Sehr exakte Ergebnisse wurden bei den Sandwich-Serien (Serie 1, 4, 6, und 9) gemessen. Diese Beobachtungen stimmen mit den Erkenntnissen zahlreicher Autoren überein (31, 72, 81). Bei den Sandwich-Serien liegen die Abweichungen zwischen -10  $\mu\text{m}$  und +2  $\mu\text{m}$ . Auch die Streuungen der Meßwerte war bei diesen Serien sehr gering. Untereinander wiesen die Sandwich-Serien keine signifikanten Unterschiede auf.

Die genauesten Ergebnisse wurden mit dem einphasigen Material MONOPREN (Serie 8) erzielt, bei dem keine Abweichung vom Urmodell festzustellen war (Medianwert = 0,0  $\mu\text{m}$ ). Statistisch wies allerdings auch diese Serie zu den Sandwich-Serien keine signifikanten Unterschiede auf.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß durch unterschiedliche Materialien, hinsichtlich der Pfeilerdurchmesser, keine signifikant unterschiedlichen Ergebnisse zu erzielen sind. Bezüglich des Verfahrens sind die einzeitigen den zweizeitigen vorzuziehen. Die Dimensionsänderungen der einzeitigen Serien entsprechen in ihrer Größenordnung alle in etwa den Ab-

bindeexpansionswerten des Gipses. Bei einem Pfeilerdurchmesser von ca. 8050  $\mu\text{m}$  und einem Expansionswert von ca. 0,1 % linear kommt man zu einer rein rechnerischen Vergrößerung von ca. 8  $\mu\text{m}$ . Allerdings ist die rein rechnerische Übertragung der Expansionswerte auf reale Kieffermodelle problematisch (84, 92). Da es in einigen einzeitigen Serien auch zu geringfügigen Verkleinerungen der Werte kam, kann man davon ausgehen, daß sich die Abbindekontraktion der Abformmaterialien auch direkt auf die Lumina der Stümpfe ausgewirkt hat, obwohl durch Verwendung eines Adhäsives das Abformmaterial fest an der Löffelwand haftete und es somit auf die Löffelwände zuschrumpfen konnte. Dies würde in der Regel zu vergrößerten Abformlumina bzw. Pfeilerdurchmessern führen (99).

Die materialbedingten Abformungenauigkeiten der Pfeilerdurchmesser sind, genau wie bei den Ungenauigkeiten der Pfeilerabstände, aufgrund der hohen Güte der verwendeten Materialien, vergleichsweise gering. Wie bereits im Vorangegangenen ausgeführt, sind vor allem endogene Spannungen und Verdrängungseffekte, also verfahrensbedingte Fehler, für die verändert reproduzierten Pfeilerdurchmesser verantwortlich.

### **5.9.3 Folgerungen**

Die aktuell verfügbaren A-Silikone sind in ihrem Dimensionsverhalten generell als günstig zu bezeichnen. Es hat sich nicht gezeigt, daß ein maschinelles Dosieren und Anmischen, wie es in dieser Untersuchung mit Hilfe des PENTAMIX-Gerätes erfolgte, gegenüber einem manuellen Verarbeiten von Vorteil ist. Im Gegenteil, die manuell verarbeiteten A-Silikone wiesen sogar bessere Ergebnisse auf. Voraussetzung ist selbstverständlich das genaue Einhalten der Dosier- und Anmischvorschriften. Diese Fehlerquelle wird durch das PENTAMIX-Gerät nahezu vollständig ausgeschlossen, so daß dem Behandler stets ein standardisiertes, immer gleich verar-

beitetes Material zur Verfügung steht, unabhängig von individuellen Einflüssen durch das Hilfspersonal. Weitere Vorteile liegen in der einfachen Handhabung des Gerätes, die es sogar ermöglicht, Abformmaterial ohne Hilfspersonal zu verarbeiten. Das Abformmaterial kann mit geringeren Materialverlusten als bisher genutzt werden, da in der Mischdüse nur etwa die Hälfte der Materialmenge verbleibt, die sonst beim manuellen Anmischen zurückbleibt. Durch die Mehrfachverwendung der Kartuschen, die in die Folienschlauchbeutel eingelegt werden, wird die Abfallmenge, gegenüber den in Tuben oder Dosen abgefüllten Materialien, auf ein ökologisch wünschenswertes Maß reduziert. Da es mit dem PENTAMIX-Gerät realisierbar ist, ein A-Silikon anzurühren, ohne direkt mit diesem in Berührung zu kommen, ist es möglich, auch während des Anmischvorganges, herkömmliche Latexhandschuhe zu tragen, ohne daß es zu einer Beeinträchtigung des Vernetzungsvorganges kommt.

Insgesamt ist für die Praxis festzustellen,

- ⇒ daß sich durch die Anwendung des PENTAMIX-Gerätes die Materialeigenschaften und die Dimensionsgenauigkeit im Falle des verwendeten Materials DIMENSION gegenüber manuell angemischtem Material nicht verbessern läßt.
- ⇒ daß die Verwendung eines anderen Abformverfahrens bei dem gleichen Material zu keinen signifikanten Unterschieden führt.
- ⇒ daß durch die Verwendung von SCHREINEMAKERS-Löffeln günstigere Ergebnisse erzielbar sind als mit ANATOMIC-Löffeln.

- ⇒ daß es zwischen dem Sandwichverfahren, dem Korrekturverfahren und der Einphasenabformung untereinander keine klinisch relevanten Unterschiede hinsichtlich der transversalen Dimension gibt.
- ⇒ daß es durch die Herstellung des Sägemodells nicht zu größeren Abweichungen kommt als durch den Vorgang des Abformens.
- ⇒ daß die materialbedingten Ungenauigkeiten gegenüber den Ungenauigkeiten, die durch verfahrensbedingte Fehler auftreten, vergleichsweise gering sind.

## **6 Zusammenfassung**

Es wurde ein Urmodell, in Form eines Oberkiefers, in dem vier Metallpfeiler fest eingeschraubt waren, mehrfach abgeformt. Dazu wurden maschinell mit dem PENTAMIX-Gerät anmischbares DIMENSION sowie manuell anmischbares DIMENSION, PRESIDENT, PANASIL, MONOPREN und 3M EXPRESS verwendet. Bei allen Materialien handelte es sich um A-Silikone. Außer dem Material MONOPREN, das einphasig verarbeitet wurde, wurde jeweils

die Sandwich- und die Korrektur-Technik angewandt. Es wurden von jeder Serie zehn Abformungen gewonnen und Modelle aus Spezialhartgips angefertigt. Die Pfeilerabstände und Pfeilerdurchmesser der Modelle wurden ermittelt. Die gemessenen Differenzen der Werte zum Urmodell wurden graphisch dargestellt und untereinander statistisch verglichen.

Die Pfeilerabstände wurden im Vergleich zum Urmodell vergrößert abgebildet. Die Pfeilerdurchmesser der Serien, die mit der Korrekturtechnik hergestellt wurden, waren gegenüber dem Urmodell verkleinert, die Pfeilerdurchmesser der übrigen Serien waren in geringem Maße verkleinert und vergrößert reproduziert. Maschinell mit dem PENTAMIX-Gerät angemischtes DIMENSION ist ungenauer als das gleiche manuell angerührte Material und die übrigen manuell angemischten Materialien. Der Sandwichtechnik ist bezüglich der Dimensionstreue gegenüber der Korrekturtechnik nicht der Vorzug zu geben. Diese Entscheidung sollte von der Notwendigkeit eines höheren Stempeldruckes abhängig gemacht werden. Die Dimensionsänderungen gegenüber dem Urmodell, die durch die Sägemodellherstellung unter Verwendung des Doppelpin-Systemes entstehen, sind geringer, als diejenigen, die durch das Abformen entstehen. Die Dimensionsänderungen, die bei Verwendung des MODEL-TRAY-Systemes entstehen, sind größer als die der Abformung.

Neben den materialbedingten Fehlerquellen, wie der Abbindeexpansion des Gipses und der Abbindekontraktion der Abformmaterialien, dürften endogene Spannungen für die Vergrößerung der Pfeilerabstände und elastische Deformationen für die verkleinerten Pfeilerdurchmesser verantwortlich sein.

## **7            Literaturverzeichnis**

- 1            Abformung und Abdruck.  
*Zahnärztl Welt 93, 364 - 368 (1984)*
- 2            Anusavice, K. J.,  
Phillips' Science of Dental Materials  
*W.B. Saunders, 10. Edition, Philadelphia (1996)*

- 3 Bader, F., Setz, J.  
Benetzbarkeit und Wiedergabegenauigkeit von Abformmassen.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 46, 346 - 348 (1991)
- 4 Berger, H.J., Marxkors, R., Meiners, H  
Abformgenauigkeit bei ringlosen Abdrücken.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 28, 1051 - 1054 (1973)
- 5 Bernau, R., Meyer, B., Moritz, T.  
Experimentelle Untersuchungen an verschiedenen Modellmaterialien:  
Vergleichende Untersuchungen zum linearen Dimensionsverhalten.  
*Z Stomatol DDR* 29, 384 - 391 (1979)
- 6 Biffar, R., Bittner, B.  
Der Einfluß verschiedener Löffelformen auf das Abformergebnis.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 44, 624 - 627 (1989)
- 7 Biffar, R., Pfaller, I.  
Dimensionsgetreue Wiedergabe eines Restzahnbestandes in Abhängigkeit  
vom verwendeten Abformmaterial.  
*Quintessenz* 40, 1047 - 1054 (1990)
- 8 Bollmann, F., Meiners, H.  
Ringlose Abformung mit den Elastomeren.  
*Zahnärztl Welt* 82, 443 - 444 (1973)
- 9 Bomberg, T.J., Goldfogel, M.H., Hoffmann, W., Bomberg, S.E.  
Considerations for adhesion of impression materials to impression trays.  
*J Prosthet Dent* 60, 681 - 684 (1988)
- 10 Bomberg, T.J., Hatch, R.A., Hoffmann, W. Jr.  
Impression material thickness in stock and custom trays.  
*J Prosthet Dent* 54, 170 - 173 (1985)
- 11 Bößmann, K., Heinenberg, B.-J.  
Zahnärztliche Hygiene Pflicht aus Gesetz und Verantwortung.  
*Quintessenz Berlin* (1984)
- 12 Böttger, H.  
Erfahrungen mit Silikon-Abformmaterialien.  
*Zahnärztl Welt* 74, 616 - 618 (1965)
- 13 Böttger, H.  
Über die Abformung beschliffener Zahnstümpfe für Kronenarbeiten  
mit dem Doppelmischabdruckverfahren.  
*Dtsch Zahnärztebl* 19, 63 - 66 (1965)
- 14 Braden, M., Elliott, J.C.

- Characterization of the Setting Process of Silicone Dental Rubbers.  
*J Dent Res* 45, 1016 - 1023 (1966)
- 15 Britz, B.  
Der Einfluß des maschinellen Anmischens auf das Abbindeverhalten elastischer Abformmassen.  
*Med Diss, Homburg-Saar* (1982)
- 16 Burkhardt, J.  
Chemie und Technologie der Polysiloxane. In: Silicone - Chemie und Technologie.  
*Vulkan Essen* (1989)
- 17 Burton, J.F., Hood, A.A., Plunkett, D.J., Johnson, S.S.  
The effects of disposable and custom made impression trays on the accuracy of impressions.  
*J Dent* 17, 121 - 123 (1989)
- 18 Caesar, H. -H.  
Abformmethode im Hinblick auf die labortechnischen Arbeitsgänge.  
*Zahnärztl Welt* 87, 722 - 725 (1978)
- 19 Caesar, H.-H.  
Das Präzisions-Sägemodell. Vorbereitung der Stumpfmodelle - Teil 2.  
*Dent Labor* 35, 901 - 916 (1987)
- 20 Chai, J.Y., Jameson, L.M., Moser, J.B., Hesby, R.A.  
Adhesive properties of several impression material systems: Part II.  
*J Prosth Dent* 66, 287 - 292 (1991)
- 21 Christen, H.R.  
Grundlagen der organischen Chemie.  
*SauerländerAarau* (1975)
- 22 Combe, E.C.  
Zahnärztliche Werkstoffe. Zusammensetzung - Verarbeitung -Anwendung.  
*Hanser München - Wien* (1984)
- 23 Council of Dental Materials, Instruments and Equipment  
Vinyl polysiloxane impression materials: a status report.  
*J Am Dent Assoc* 120, 595 - 600 (1990)
- 24 Craig, R.G.  
Evaluation of an automatic mixing system for an addition silicone impression material.  
*J Am Dent Assoc* 110, 213 - 215 (1985)
- 25 Craig, R.G.  
Dental restorative materials

*Mosby, St. Louis-Baltimore-Toronto (1989)*

- 26 Craig, R.G., Urquiola, N.J., Liu, C.C.  
Comparison of commercial elastomeric impression materials.  
*Oper Dent 15, 94 - 104 (1990)*
- 27 Dahl, B.L.  
Tissue hypersensitivity to dental materials.  
*J Oral Rehab 3, 117 - 120 (1978)*
- 28 Dental Vademecum 1990/91.  
*Deutscher Ärzte Verlag Köln. (1990)*
- 29 Deutscher Normenausschuß  
DIN 13911 Zahnärztliche Werkstoffe: Gips;  
*Beuth Verlag, Berlin/Köln (1976)*
- 30 Dreve, V.  
Additionsvernetzende Silikone.  
*Dental Magazin (Heft 4), 28 - 30 (1989)*
- 31 Dumfahrt, H., Schäffer, H.  
Zum Dimensionsverhalten bei verschiedenen Abformverfahren  
mit gummielastischen Massen in der Inlay-, Kronen- und Brückentechnik.  
*Z Stomatol 84, 231 - 239 (1987)*
- 32 Dumfahrt, H., Schäffer, H., Roider, K.  
Transversales Dimensionsverhalten von Ganzkiefermodellen aus  
verschiedenen Modellmaterialien.  
*Z Stomatol 86, 445 - 450 (1989)*
- 33 Eames, W.B., Sieweke, J.C., Wallace, S.W., Rogers, L.B.  
Elastomeric impression materials: Effect of bulk on accuracy.  
*J Prosthet Dent 41, 304 - 307 (1979)*
- 34 Eichner, K.  
Abdruck oder Abformung von präparierten Zähnen.  
*Dtsch Zahnärztl Z 27, 589 - 592 (1972)*
- 35 Eichner, K., Kappert, H. F.  
Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung  
*Hüthig Heidelberg, 6. Auflage (1996)*
- 36 ESPE Dental-Magazin  
Das Penta System auf einen Blick.  
*Produktinformation der Firma ESPE Seefeld, (1995)*
- 37 Finger, W., Komatsu, M.  
Elastic and plastic properties of elastic dental impression materials.  
*Dent Mater 1, 129 - 134 (1985)*

- 38 Franz, G.  
Möglichkeiten und Grenzen elastischer Abformmaterialien.  
*Zahnärztl Mitt* 65, 64 - 68 (1975)
- 39 Franz, G.  
Möglichkeiten und Grenzen elastischer Abformmaterialien.  
*Zahnärztl Mitt* 65, 24 - 29 (1975)
- 40 Franz, G.  
Über den günstigsten Zeitpunkt zur Weiterverarbeitung auf einem Hartgipsmodell.  
*Dent Labor* 28, 217 - 219 (1980)
- 41 Franz, G.  
Hartgipsverarbeitung zur Erzielung präziser Modelle.  
*Dent Labor* 29, 65 - 70 (1981)
- 42 Franz, G.  
Irreversibel elastische Abformmaterialien I.  
*Quintessenz J* 6, 45 - 50 (1976)
- 43 Franz, G.  
Das Prüfen der Konsistenz bei elastomeren Abformmaterialien.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 27, 665 - 673 (1972)
- 44 Franz, G., Ritze, H.  
Prüfung der Verarbeitungs- und Abbindezeit bei elastischen Abformmassen.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 27, 189 - 196 (1972)
- 45 Freesemeyer, W.B., Eisenmann, D., Birk, A., Lindemann, W.;  
Orientierende Untersuchung über die Brauchbarkeit eines  
vergleichsmakroskopischen Verfahrens zur Bestimmung  
der Formgenauigkeit von Abformmaterialien.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 38, 621-625 (1983)
- 46 Fuchs, P., Kobes, L.  
Untersuchungen zum Dimensionsverhalten silikonhaltiger  
elastischer Abformmassen.  
*Dtsch Zahnärztebl* 21, 218 - 223 (1967)
- 47 Gausch, K.  
Über schonende und sichere Abformung in der Inlay-,  
Kronen- und Brückentechnik.  
*Österr Z Stomatol* 65, 146 - 152 (1968)
- 48 Gunther, G., Welsh, S.L.  
Evaluation of a rubber-base impression material.  
*J Prosth Dent* 39, 95 -99 (1978)

- 49 Haker, G.  
Sägeschnitt-Modellherstellung mit höchstem Qualitätsstandard -  
exakt, einfach und kostensenkend.  
*DZW-ZahnTechnik 8, DZW 44, 25 -28 (1999)*
- 50 Hambrock, H. J.  
Einfluß des maschinellen Anmischens auf das  
Abbindeverhalten elastischer Abformmassen  
*Dtsch Zahnärztl Z 36, 805 - 810 (1981)*
- 51 Hansson, O., Eklund, J.  
Impressions for prosthodontic restorations reproducing narrow spaces  
and severe undercuts.  
*Acta Odontol Scand 46, 199 - 206 (1988)*
- 52 Harcourt, J.K.  
A review of modern impression materials.  
*Aus Dent J 23, 178 - 186 (1978)*
- 53 Harms, V.  
Statistik.  
*Harms Verlag, Kiel (1982)*
- 54 Hofmann, M.  
Der Korrekturabdruck (ein neues Abdruckverfahren für festsitzenden Zahner-  
satz).  
*Zahnärztl Welt 66, 160 - 164 (1965)*
- 55 Hofmann, M., Ludwig, P.  
Über das Dimensionsverhalten verschiedener Abdruckwerkstoffe im Hinblick  
auf ihre Eignung für das Korrekturabdruckverfahren (I. Teil).  
*Dtsch Zahnärztl Z 23, 6 - 19 (1968)*
- 56 Hofmann, M., Ludwig, P.  
Über das Dimensionsverhalten verschiedener Abdruckwerkstoffe im Hinblick  
auf Ihre Eignung für das Korrekturabdruckverfahren (2. Teil).  
*Dtsch Zahnärztl Z 23, 438 - 449 (1968)*
- 57 Höft, H.  
Werkstoffkunde-Atlas.  
*Quintessenz Zahntech 16, 77 - 90 (1990).*
- 58 Höing, Markus Lambertus  
Vergleichende Untersuchung manuell und maschinell angerührter und dosierter  
dentaler Abformmassen im Hinblick auf ihre Abformgenauigkeit  
*Med Diss, Münster, 31-35 (1997)*

- 59 Holtan, J.R., Olin, P.S., Rudney, J.D.  
Dimensional stability of a polyvinylsiloxane impression material following ethylene oxide and steam autoclave sterilization.  
*J Prosthet Dent* 65, 519 - 525 (1991)
- 60 Jamani, K.D., Harrington, E., Wilson, H.J.  
Consistency, working time and setting time of elastomeric impression materials.  
*J Oral Rehab* 16, 353 - 366 (1989)
- 61 Jamani, K.D., Harrington, E., Wilson, H.J.  
The determination of elastic recovery of impression materials at the setting time.  
*J Oral Rehab* 16, 89 -100 (1989)
- 62 Johnson, G.H., Craig, R.G.  
Accuracy of four types of rubber impression materials compared with time of pour and a repeat pour of models.  
*J Prosthet Dent* 53, 484 - 490 (1985)
- 63 Johnson, G.H., Craig, R.G.  
Accuracy of addition silicones as a function of technique.  
*J Prosthet Dent* 55, 197 - 203 (1986)
- 64 Kachel, C.  
Der Druckverformungsrest nach 30 % Stauchung von 10 elastomeren Abformmaterialien in Abhängigkeit von der Zeit und vom Mischungsverhältnis.  
*Zahnmed Diss, FU Berlin* (1981)
- 65 Kahn, R.L., Donovan, T.E.  
A pilot study of polymerization inhibition of polyvinyl siloxane materials by latex gloves.  
*Int J Prosthodont* 2, 128 - 130 (1989)
- 66 Keck, S.C.  
Automixing: A new concept in elastomeric impression material delivery systems.  
*J Prosthet Dent* 54, 479 - 483 (1985)
- 67 Kerschbaum, Th., Mentler - Koeser, M., Stender, E.  
Qualitätskontrolle mit der zahnärztlichen Sonde.  
*Zahnärztl Mitt* 80, 2200 - 2202 (1990)
- 68 Klooster, J., Logan, G.I., Tjan, A.H.L.  
Effects of strain rate on the behavior of elastomeric impression.  
*J Prosthet Dent* 66, 292 - 298 (1991)
- 69 Knoblauch, M.  
Erfahrungen mit der Doppelabdruckmethode (Korrekturabdruck).

- Dtsch Zahnärztl Z 21, 169 - 170 (1966)*
- 70 Koerner, G.  
Einführende Bemerkungen über die Besonderheiten der Silicone - Chemie.  
*In: Silicone - Chemie und Technologien, Vulkan Essen (1989)*
- 71 Körber, E.  
Zahnärztliche Prothetik. 3.Aufl.,  
*Thieme Stuttgart (1985)*
- 72 Körber, E., Lehmann, K.  
Vergleichende Untersuchungen bei Abdruckmaterialien für Kronen und Brücken.  
*Dtsch Zahnärztl Z 24, 791 - 796 (1969)*
- 73 Lacy, A.M., Fukui, H., Bellmann, T., Jendresen, M.D.  
Time-dependent accuracy of elastomer impression materials. Part II: Polyether, polysulfides and polyvinylsiloxane.  
*J Prosthet Dent 45, 329 - 333 (1981)*
- 74 Lehmann, K.M.  
Beitrag zur Verbesserung des Korrekturabdruckverfahrens.  
*Zahnärztl Prax 30,303 - 305 (1979)*
- 75 Lehmann, K.M.  
Methodik und Systematik der Abformung für festsitzenden Zahnersatz.  
*Zahnärztl Mitt 70, 486 - 491 (1980)*
- 76 Lehmann, K.M.  
Abformung.  
*In: Voß, R., Meiners, H. (Hrsg.), Fortschritte der Zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde, Bd. 2 Hanser München - Wien (1984)*
- 77 Lehmann, K.M.  
Einführung in die Zahnersatzkunde.  
*Urban & Schwarzenberg München - Wien (1988)*
- 78 Lehmann, K.M.  
Die Bewertung der verschiedenen Abformverfahren für festsitzenden Zahnersatz.  
*In: Referate Bd. 3, Prothetik heute, Hrsg.: Zahnärztekammer Westfalen - Lippe. Wessels Greven (1989)*
- 79 Lehmann, K.M.  
Abformung und Modell für festsitzenden Zahnersatz.  
*In: Voß, R., Meiners, H. (Hrsg.), Fortschritte der zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde, Bd. 4. Hanser München (1989)*
- 80 Lehmann, K.M., Behrend, G.

- Die Wiedergabe des Abstandes von Brückenpfeilern durch reversibles Hydrokolloid.  
*Dtsch Zahnärztl Z 39, 876 - 879 (1984)*
- 81      Lehmann, K.M., Burgdorf H.O.  
Untersuchungen zu einzeitigen Abformverfahren für Kronen und Brücken (Doppelmischabdruck).  
*Zahnärztl Welt 87, 434 - 435 (1978)*
- 82      Lehmann, K.M., Burgdorf, H.O.  
Untersuchungen zu zweizeitigen Abformverfahren für Kronen und Brücken (Korrekturabdruck).  
*Zahnärztl Welt 87, 430 - 433 (1978)*
- 83      Lehmann, K.M., Gobbers, R., Hoederath, C., Hoederath, J.K., Holper, G.  
Die Genauigkeit von Modellstümpfen für Kronen und Brücken.  
*Dent Labor 32, 415 - 417 (1984)*
- 84      Lehmann, K.M., Lindemann, J.  
Die Wiedergabe des Pfeilerabstandes bei der Abformung für festsitzenden Zahnersatz.  
*Dtsch Zahnärztl Z 35, 537 - 539 (1980)*
- 85      Lehmann, K.M., Withelm, H.  
Die Veränderung des Pfeilerabstandes bei Sägemodellen in Abhängigkeit von der Abbindeexpansion des Sockelgipses.  
*Dtsch Zahnärztl Z 34, 691 - 693 (1979)*
- 86      Lehmann, K.M., Zacke, W.  
Untersuchungen zur okklusalen Schichtdicke des Korrekturmateriales bei der Korrekturabformung.  
*Dtsch Zahnärztl Z 38, 220 - 222 (1983)*
- 87      Lehner, Ch.R., Schärer, P.  
Abformmaterialien in der Kronen-Brücken-Prothetik.  
*Schweiz Monatsschr Zahnmed 101, 629 - 635 (1991)*
- 88      Lenz, E.  
Elastomere Abformmassen.  
*In: Breustedt, A., Lenz, E. (Hrsg.): Stomatologische Werkstoffkunde. Johann Ambrosius Barth, Leipzig (1978)*
- 89      Linke, B.A., Nicholls, J.I., Faucher, R.R.  
Distortion analysis of stone casts made from impression materials.  
*J Prosthet Dent 54, 794 - 802 (1985)*

- 90 Luebke, R., Scandrett, F.R., Kerber, PE.  
The effect of delayed and second pours on elastomeric impression material accuracy.  
*J Prosthet Dent* 41, 517 - 521 (1979)
- 91 Marcianak, C.F., Draughn, R.A.  
Linear dimensional changes in addition curing silicone impression materials.  
*J Prosthet Dent* 47, 411 - 413 (1982)
- 92 Marx, H.  
Zur Relation zwischen Abbindeexpansion und realer Dimension von Gipsmodellen.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 31, 694 - 697 (1976)
- 93 Marxkors, R.  
Korrekturabdruck und Doppelmischverfahren (Methoden zur Abformung präparierter Zähne).  
*Quintessenz* 18, 51 - 59 (1967)
- 94 Marxkors, R.  
Abformung bezahnter Kiefer mit individuellen Löffeln.  
*Zahnärztl Welt* 87, 682 - 684 (1978)
- 95 Marxkors, R.  
*Propädeutik der zahnärztlichen Prothetik.*  
3. Aufl., Hüthig Heidelberg (1981)
- 96 Marxkors, R.  
Abformfehler und deren Vermeidung.  
*Zahnärztl Welt* 94, 466 - 473 (1985)
- 97 Marxkors, R.  
*Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik.*  
Hanser München - Wien (1991)
- 98 Marxkors, R., Danner, M.  
Experimentelle Untersuchungen zur Genauigkeit von Sägemodellen.  
*Dent Labor* 34, 1349 - 1352 (1986)
- 99 Marxkors, R., Meiners, H.  
*Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde.* 3. Aufl.  
Hanser München (1988)
- 100 Marxkors, R., Meiners, H., Mende, Th.  
Einfluß von Temperatur und Dosierung auf die Vernetzungsgeschwindigkeit elastomerer Abformmaterialien.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 29, 810 - 814 (1974)
- 101 McCabe, J.F., Stober, R.  
Elastomeric Impression Materials.

- Br Dent J* 149, 73 - 79 (1980)
- 102 McCabe, J.F., Wilson, H.J.  
Addition curing silicone rubber impression materials.  
*Br Dent J* 145, 17 - 20 (1978)
- 103 Meiners, H.  
Reaktionswärme elastomerer Abformmaterialien.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 30, 680 - 681 (1975)
- 104 Meiners, H.  
Zur Strömungssituation beim Korrekturabdruck.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 31, 685 - 687 (1976)
- 105 Meiners, H.  
*Abformgenauigkeit mit elastomeren Abformmaterialien.*  
*Hanser München - Wien* (1977)
- 106 Meiners, H.  
Vergleich der verschiedenen Elastomertypen.  
*Zahnärztl Welt* 87, 590 - 591 (1978)
- 107 Meiners, H.  
Eigenschaften und Genauigkeit von elastomeren Abformmaterialien  
(Polysulfide, Silikone, Polyäther).  
*Zahnärztl Welt* 87, 426 - 430 (1978)
- 108 Meiners, H.  
Der richtige Umgang mit elastomeren Abformmaterialien.  
*Zahnärztl Mitt* 70, 480 -485 (1980)
- 109 Meiners, H.  
Reaktionswärme elastomerer Abformmaterialien.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 30, 680 - 681 (1975)
- 110 Meiners, H., Dittmer,R.  
Wärmetönung und Reaktionswärme elastomerer Abformmaterialien.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 34, 678-680 (1979)
- 111 Meiners, H., Lehmann, K. M.  
Klinische Materialkunde für Zahnärzte  
*Carl Hanser Verlag, München - Wien* (1998)
- 112 Meiners, H., Marxkors, R., Wronska-Golda, M.  
Ungeauigkeiten bei der Abformung kantiger Gegenstände.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 35, 917 - 919 (1980)
- 113 Mutschelknauß, R.  
Parodontologische Aspekte bei feststitzendem Zahnersatz.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 41, 927 - 938 (1986)

- 114 Nally, F.F., Storrs, J.  
Hypersensitivity to a dental impression material.  
*Br Dent J* 134, 244 - 246 (1973)
- 115 Neissen, L.C., Strassler, H., Levinson, P.D., Wood, G., Greenbaum, J.  
Effect of latex gloves on setting time of polyvinylsiloxane putty impression material.  
*J Prosthet Dent* 55, 128 - 129 (1986)
- 116 Netti, C.A., Yard, R.A.  
Control of polymerization in the dispensing cartridge of automixing impression systems.  
*J Prosthet Dent* 64, 16 - 17 (1990)
- 117 Noonan, J.E., Goldfogel, M.H., Lambert, R.L.  
Inhibited set of the surface of addition silicones in contact with rubber dam.  
*Oper Dent* 10, 46 - 48 (1985)
- 118 Pospiech, P.  
Zur Abformung mit Polyätherabformmassen - Erste Erfahrungen mit dem Pentamix-Gerät.  
*Sonderdruck Quintessenz* 45, 1-10 (1994)
- 119 Rasche, K.R.  
Der Sandwichabdruck.  
*Zahnärztl Welt* 87, 481 - 483 (1978)
- 120 Rehberg, H.J.  
*Die Quintessenz der zahnärztlichen Abformhilfsmittel*. 2. Aufl.,  
*Quintessenz Pockets*, Berlin (1978)
- 121 Rehberg, H.J.  
Zusammenhänge zwischen Eigenschaften und klinischer Anwendung elastomerer Abformmassen.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 23, 62 - 67 (1969)
- 122 Rehberg, H.J.  
The impression tray - an important factor in impression precision.  
*Int Dent J* 27, 146 - 153 (1977)
- 123 Rehberg, H.J.  
*Die Quintessenz der zahnärztlichen Abformhilfsmittel*. 2. Aufl.,  
*Quintessenz Berlin* (1978)
- 124 Rehberg, H.J.  
Der Abformlöffel - ein wichtiger Faktor für die Abformgenauigkeit.  
*Dent Labor* 26, 44 - 48 (1978)

- 125 Reitz, C.D., Clark, N.P.  
The setting of vinyl polysiloxane and condensation silicone putties when mixed with gloved hands.  
*J Am Dent Assoc* 116, 371 - 375 (1988)
- 126 Rosen, M., Touyz, L.Z.G., Becker, P.J.  
The effect of latex gloves on setting time of vinyl polysiloxane putty impression material.  
*Br Dent J* 166, 374 - 375 (1989)
- 127 Sandrik, J.L., Vacco, J.L.  
Tensile and bond strength of putty-wash elastomeric impression materials.  
*J Prosthet Dent* 50, 358 - 361 (1983)
- 128 Schulz, H.H.  
Persönliche Mitteilung  
*Bayer AG. Dormagen* (1991)
- 129 Schulz, H.H., Schwickerath, H.  
Die Abformung in der Zahnheilkunde.  
*Deutscher Ärzte Verlag Köln* (1989)
- 130 Schwickerath, H.  
Über die Abbindezeit von Alginatabformmaterialien.  
*Zahnärztl Welt* 79, 512 - 516 (1970)
- 131 Schwickerath, H.  
Grundsätzliches zur Abformung und zu den Abformmaterialien.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 27, 91 - 95 (1972)
- 132 Schwickerath, H.  
Werkstoffe in der Zahnheilkunde.  
*Quintessenz Berlin* (1977)
- 133 Schwickerath, H.  
Stabilität der Abformlöffel.  
*Zahnärztl Welt* 87, 596 - 598 (1978)
- 134 Schwickerath, H.  
Die Quintessenz der Abformung mit Elastomeren.  
*Quintessenz Berlin* (1981)
- 135 Schwickerath, H.  
Zur Definition der Begriffe Verarbeitungszeit und Abbindezeit.  
*Zahnärztl Welt* 81, 105 - 109 (1972)
- 136 Schwickerath, H.  
*Die Quintessenz der Abformung mit Elastomeren.*

- Quintessenz Pockets, Berlin (1981)*
- 137 Schwickerath, H.  
Konfektionierte und individuelle Löffel.  
*Zahnärztl Mitt 70, 466 - 470 (1980)*
- 138 Schwickerath, H.  
Der Abformlöffel.  
*Quintessenz 3, 117 - 122 (1977)*
- 139 Schwindling, R.  
Indirekte Bestimmung des Dimensionsverhaltens von Silikon-Abformmassen
- 140 Schwindling, R.  
Maßnahmen zur Vermeidung der Abbindekontraktion  
des Abformwerkstoffes Impregum.  
*Dtsch. Zahnärztl. Z 25, 899 - 902 (1970)*
- 141 Scrapeck, J.G., Eames, W.B., Hicks, M.J.  
Spatulation methods and porosities in investments and impression material.  
*J Prosthet Dent 55, 332 - 334 (1986)*
- 142 Sprang, H.  
Erfahrungen beim Abformen von Kronenstümpfen  
mit gummielastischen Massen.  
*Zahnärztl Welt 79, 517 - 523 (1970)*
- 143 Stachniss, V., Kolbow, G.  
Fehler bei der Korrekturabformung und ihre Vermeidung.  
*Dtsch Zahnärztl Z 32,*  
*934 - 936 (1977)*
- 144 Stackhouse, J.A.  
Relationship of syringe-tip diameter to voids in elastomer ünpressions.  
*J Prosthet Dent 53, 812 - 815 (1985)*
- 145 Stackhouse, J.A.  
Voids in a mixed elastomeric impression material.  
*J Prosthet Dent 50, 762 - 766 (1983)*
- 146 Stackhouse, J.A., Harris, W.T., Mansour, R.M., Von Hagen, S.  
A study of bubbles in a rubber elastomer manipulated under clinical conditions.  
*J Prosthet Dent 57, 591 - 596 (1987)*
- 147 Stahl, E.  
Präzise Abdrücke nach dem Doppelabdruckverfahren speziell  
für stufenlose, Präparationen und Herstellung exakter Modelle  
für indirekte Kronen-, Brücken- und Inlayarbeiten.  
*Dtsch Zahnärztebl 10, 46 - 52 (1956)*

- 148 Stannard, J.G., Craig, R.G.  
Modifying the Setting Rate of an Addition-Type Silicone Impression Material.  
*J Dent Res* 58, 1377 - 1382 (1979)
- 149 Stannard, J.G., Sadighi-Nouri, M.  
Retarders for polyvinylsiloxane impression materials: Evaluation and recommendations.  
*J Prosthet Dent* 55, 7 - 10 (1986)
- 150 Strub, J.R., Türp, J.C., Witkowski, S., Hürzeler, M.B., Kern, M.  
Curriculum Prothetik II  
*Quintessenz*, 675-688 (1994)
- 151 Sy, J.T., Munoz, C.A., Schnell, R.J., Keith Moore, B., Goodacre, C.J.  
Some effects of cooling and chemical retardes on five elastomeric impression materials.  
*Int J Prosthodont* 1, 252 - 258 (1988)
- 152 Tarn, L.E., Brown, J.W.  
The tear resistance of various impression materials with and without modifiers.  
*J Prosthet Dent* 63, 282 - 285 (1990)
- 153 Verfahrensanweisung zur Modellherstellung mit dem model-tray - und model-split-System  
*model-tray GmbH, Hamburg, 1-18 (1998)*
- 154 Viohl, J.  
Verarbeitungszeit und Abbindezeit elastomerer Abformwerkstoffe.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 27, 598 - 603 (1972)
- 155 Viohl, J.  
Abformwerkstoffe. In Eichner, K (Hrsg.):  
*Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung.*  
*Hüthig Heidelberg (1981)*
- 156 Vrijhoef, M.M.A., Battistuzzi, P.G.F.C.M.  
Tear energy of impression materials.  
*J Dent* 14, 175 - 177 (1986)
- 157 Welker, D.  
Experimentelle Untersuchungen über die Auswirkungen unterschiedlicher Dosierung und Verarbeitungstemperatur auf Fließverhalten und elastische Eigenschaften normalfließender Silikonabformmasse.  
*Stomatol DDR* 26, 569 - 580 (1976)
- 158 Welker, D., Mehner, M.  
Additionsvernetzte Silikone-Abformwerkstoffe.  
*Stomatol DDR* 29, 391 - 400 (1979)
- 159 Wewers, D.

- Reaktive Silicone. In: Silicone - Chemie und Technologie.  
*Vulkan Essen (1989)*
- 160 Wichmann, M., Borchers, L.  
Bestimmung der Abformgenauigkeit verschiedener Elastomere mit Hilfe einer 3D Koordinatenmeßmaschine (Teil 1).  
*Dtsch Zahnärztl Z 45, 499-5 02 (1990)*
- 161 Wichmann, M., Borchers, L.  
Bestimmung der Abformgenauigkeit verschiedener Elastomere mit Hilfe einer 3D Koordinatenmeßmaschine (Teil 2).  
*Dtsch Zahnärztl Z 47, 88-91 (1992)*
- 162 Williams, J.R., Craig, R.G.  
Physical properties of addition silicones as a function of composition.  
*J Oral Rehab 15, 639 - 650 (1988)*
- 163 Williams, P.T., Jackson, D.G., Bergmann, W.  
An evaluation of the time-dependent dimensional stability of eleven elastomeric impression materials.  
*J Prosthet Dent 52, 120 - 125 (1984)*
- 164 Wimmer, G.:  
Beeinflussung des Druckverformungsrestes von sieben zahnärztlichen elastomeren Abformmaterialien in Abhängigkeit von Dosier - und Mischhilfen.  
*Zahnmed Diss, FU Berlin (1992)*
- 165 Wirtz, J., Schmidli, F.  
Elastische Rückstellung bei Abformstoffen.  
*Quintessenz 8, 1383 - 1390 (1987)*
- 166 Wirz, J.  
Materialien für individuelle Abformlöffel.  
*Dtsch Zahnärztl Z 92, 207 - 211 (1982)*
- 167 Wirz, J., Schmidli, F.  
Moderne Elastomere - Wichtige physikalische Eigenschaften, Teil I: Material und Methoden, Rheogramme.  
*Quintessenz 40, 959 - 967 (1989)*
- 168 Wirz, J., Schmidli, F.  
Moderne Elastomere - Wichtige physikalische Eigenschaften, Teil II: Elastische Rückstellung und Volumenverhalten.  
*Quintessenz 40, 1151 - 1156 (1989)*
- 169 Wirz, J., Schmidli, F.  
Haftverbund zwischen Elastomeren und Abformlöffeln.

*Quintessenz 40, 131 - 133 (1989)*

- 170 Wirz, J., Wöstmann, B.  
Die Präzisionsabformung - Ein Leitfaden für Theorie und Praxis  
*Produktinformation der Firma ESPE Seefeld (1999)*
- 171 Wöstmann, B.  
Zum derzeitigen Stand der Abformung in der Zahnheilkunde.  
*Habilitationsschrift, Münster (1992)*
- 172 Wöstmann, B.  
Abformmaterialien auf Silikonbasis.  
*ZMK 6, 3 - 7 (1993)*
- 173 Wöstmann, B.  
Accuracy of impression obtained with the PENTAMIX automixing system  
*J Dent Res, 76 - 139 (1997)*
- 174 Wöstmann, Ch.  
Zur Frage der Meßbarkeit des Kronenrandspaltes.  
*Med Diss, Münster (1991)*
- 175 Yeh, C.L., Powers, J.M., Craig, R.G.  
Properties of addition-type silicone impression materials.  
*J Am Dent Assoc 101, 482 - 484 (1980)*

## 8 Danksagung

Besonders danken möchte ich Prof. Dr. B. Wöstmann für das Überlassen des Themas dieser Arbeit und seiner freundlichen Unterstützung bei der Durchführung des Versuchsaufbaus.

Ebenso bedanke ich mich bei Prof. Dr. Feger für das Bereitstellen der erforderlichen Geräte und Räumlichkeiten in der Abt. Zahnärztliche Prothetik.

Meinem Kollegen Ulrich Lammert gilt ein Extradank für das Anfertigen und Bearbeiten der Fotos, wofür er mehrere Abende opferte.

Meiner Freundin Yvonne Langer danke ich für das Korrekturlesen des Textes und für ihre Hilfe beim Formatieren der Arbeit.

Ebenso möchte ich mich bei Hr. Belzer und Hr. Kattenborn für die Hilfe bei Computerproblemen bedanken, sowie bei Hr. Schüler für das Recherchieren von Produktinformationen und bei Hr. Bethge für das kurzfristige Anfertigen der Dias.

Nicht ungenannt lassen möchte ich die Abt. Oralchirurgie und Kieferorthopädie, deren Mitarbeiter so freundlich waren, mir jeweils Drucker und Laufwerke zur Verfügung zustellen.

Zum Schluß noch ein Dank an meine Eltern, die mir mein Studium und somit auch diese Arbeit ermöglichten.

<b>Name:</b>		Eric Stamm
<b>Geburtsdatum:</b>		24.06.1969
<b>Geburtsort:</b>		Marburg/Lahn
<b>Schulausbildung:</b>	<i>1975-1980</i>	Grundschule Kirchhain
	<i>1980-1989</i>	Stiftsschule St. Johann in Amöneburg
⇒ <b>Abschluß:</b>	<i>Juni 1989</i>	Abitur
<b>Berufsausbildung:</b>	<i>01. Juli 1989- 30. September 1991</i>	Sanitätssoldat auf Zeit in Marburg/Lahn
	<i>01. Oktober 1991- 31. März 1992</i>	Zahntechnikerlehre bei Labor Warnke in Marburg/Lahn
	<i>SS 1992-WS 1998</i>	Studium der Zahnheilkunde in Gießen
⇒ <b>Abschlüsse:</b>	<i>19 August 1994</i>	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
	<i>12. Juni 1995</i>	Zahnärztliche Vorprüfung
	<i>13. Juli 1998</i>	Zahnärztliche Prüfung
	<i>14. Juli 1998</i>	Approbation als Zahnarzt
	<i>seit 01. Okt.1998</i>	Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abt. Propädeutische Prothetik an der Zahnklinik Gießen