

Universitätsklinikum Ulm  
Klinik für Zahnärztliche Prothetik  
Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. dent. Ralph G. Luthardt

# Klinische Abformgenauigkeit unter Praxisbedingungen- eine quantitative und qualitative Modellanalyse

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin  
der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm

vorgelegt von:  
Brigitte Reichardt  
Zwickau

2013

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Thomas Wirth  
1. Berichterstatter: Prof. Dr. Ralph G. Luthardt  
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. Bernd Lapatki

Tag der Promotion: 23.10.2014

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methode</b>	<b>3</b>
2.1	Patientenauswahl und Befundaufnahme	3
2.2	Dokumentation der Anamnese und der Untersuchungsbefunde	3
2.3	Präparation und Abformung	5
2.4	Subjektive Beurteilung der Abformqualität	8
2.5	Modellherstellung	9
2.6	Auswertung der Modelle	10
2.7	Statistische Auswertungen	10
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>12</b>
3.1	Subjektive Beurteilung der Abformungen in Abhängigkeit von der Art der Abformung	12
3.2	Subjektive Beurteilung der Abformungen unter Berücksichtigung der Reihenfolge	13
3.3	Objektive Analyse der Qualität der Abformungen anhand der Darstellung der Präparationsgrenze im Modell	14
3.4	Übereinstimmung von subjektiver und objektiver Beurteilung	15
3.5	Einfluss der Lage der Präparationsgrenze auf die Erfassung derselben	17
3.6	Einfluss klinischer Parameter auf die Qualität der Abformung	19
3.7	Qualität und Quantität aufgetretener Fehler	25
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>30</b>
4.1	Studiendesign	30
4.2	Abformmaterialien	31
4.3	Abformtechniken	35
4.4	Modellherstellung	38
4.5	Subjektive Beurteilung und objektive Analyse der Abformqualität verschiedener Abformverfahren	38
4.6	Einflüsse klinischer Parameter auf die Abformqualität	41
4.7	Fehlerentstehung – Ursachen und Vermeidung	42

<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>48</b>
<b>6 Summary</b>	<b>50</b>
<b>7 Literaturverzeichnis</b>	<b>52</b>
<b>8 Danksagung</b>	<b>59</b>
<b>9 Lebenslauf</b>	<b>60</b>
<b>10 Publikationen</b>	<b>61</b>

## **Abkürzungsverzeichnis**

ADA	American Dental Association
A-Silikon	Additionsvernetztes Silikon
BOP	Blutung bei Sondieren, Bleeding on probing
CAD/CAM	Computer-aided design/ Computer-aided manufacturing
DIN	Deutsches Institut für Normung- festgelegte Normungen
K-Silikon	Kondensationsvernetztes Silikon
GI	Gingival-Index nach Silness und Loe
p	Signifikanz, Wahrscheinlichkeitswert
PI	Plaque-Index nach Silness und Loe
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
$\Sigma$	Summe

# **1 Einleitung**

In den letzten Jahren wurde durch die Einführung von CAD/CAM-Verfahren in der Zahnmedizin die Möglichkeit geschaffen, während einer Behandlungssitzung, ohne den Zwischenschritt der Abformung und Modellherstellung, prothetische Einzelzahnversorgungen anzufertigen. Trotzdem ist für komplizierte und die meisten mehrspannigen Konstruktionen immer noch die Modellherstellung zur optischen Vermessung im Labor von Bedeutung [26, 43, 56, 77] und die konventionelle Abformung wird sicher auch in naher Zukunft weiterhin für die meisten herkömmlichen festsitzenden Restaurationen den klinischen Alltag der Zahnmedizin beherrschen. Abformungen stehen am Beginn der zahntechnischen Fertigung und größtmögliche Genauigkeit bei diesem Arbeitsschritt ermöglicht die Herstellung detail- und dimensionsgetreuer Modelle, womit sie die Grundlage für ein klinisch hochwertiges Endergebnis bilden [3, 17, 18, 64, 79]. Die Wiedergabegenauigkeit der Modelle wird vom Dimensionsverhalten der Abformmaterialien und der Abformmethode, den Modellmaterialien und den Modellsystemen bestimmt [1, 3, 17, 18, 20, 31, 37, 39, 64, 65, 79].

Bemühungen, die Abformgenauigkeit zu optimieren, gehen vor allem in zwei Richtungen: Zum Einen werden die Materialeigenschaften von Abformmassen, Hilfsmitteln und Abformverfahren auf einander abgestimmt und verbessert [2, 4, 10, 11, 44, 52, 79, 82], zum Anderen resultiert aus diesen materialkundlichen Erkenntnissen ein vom Behandler genau einzuhaltendes Abformprozedere und teamorientiertes Abformmanagement, dessen Beachtung von entscheidender Bedeutung für das Erreichen eines hohen Qualitätsniveaus ist [60]. Nicht ohne Grund wird in der Fachliteratur immer wieder zu mehr Kritik bei der Beurteilung von Abformungen aufgerufen und die Fähigkeit des Behandlers gefordert, inakkurate Abformungen zu erkennen, sowie ein Verständnis für die Vermeidung von Fehlern bei dem Abformprozess zu entwickeln [64].

Zwar gibt es zahlreiche universitäre in-vitro- und klinische Studien zum Vergleich der Abformtechniken, jedoch gibt es kaum Untersuchungen, die den Erfolg der Abformung unter Praxisbedingungen dokumentieren und die Fehlerart und Fehler-

menge während der Abformung und Modellherstellung auswerten. Ebenso fehlen Studien, welche die Zusammenhänge zwischen Abformtechnik und klinischen Faktoren, sowie den Einfluss letzterer auf die Wiedergabegenauigkeit der abzuformenden Zähne untersuchen [40]. So bleiben Einflussfaktoren wie zum Beispiel der Zeitdruck des Behandlers, die Trockenlegung des abzuformenden Stumpfes von Blut- oder Speichelfluss oder die Bewegungen des Patienten während der Abbindezeit meist unberücksichtigt. Auch werden in den wenigsten Studien sämtliche, die Abformgenauigkeit beeinflussenden Parameter wie der Parodontalzustand, die Lage der Präparationsgrenze, ein zielorientiertes Gewebemanagement, die Auswahl des Abformmaterials in Bezug auf die Abformmethode, die Auswahl des Löffels und des Löffeladhäsivs, die Einhaltung der Abbindezeiten im Mund bis hin zur Desinfektion kombiniert betrachtet. Jeder einzelne dieser Faktoren könnte einer qualitätsgerechten Umsetzung des hohen vorhandenen werkstoffkundlichen Standards der Abformmaterialien entgegenwirken [45, 69] - vor allem unter den vielschichtigen Bedingungen, wie sie bei einer Abformung in der niedergelassenen Praxis vorliegen.

Das Ziel dieser Arbeit war die Beurteilung der Abformqualität verschiedener Abformverfahren unter den Bedingungen des klinischen Alltags und unter Berücksichtigung der subjektiven Einschätzung des Behandlers, sowie deren objektive Kontrolle über die quantitative und qualitative Ermittlung von sich anschließend im Modell darstellenden Fehlern. Es sollten die folgenden Fragen im Rahmen der Untersuchung geklärt werden:

1. Beeinflussen klinische Faktoren, Abformmethode oder das Abformmaterial die subjektive Qualitätsbewertung einer Abformung?
2. Besteht eine Korrelation zwischen den gegebenen klinischen Faktoren, den aufgetretenen Fehlertypen, den benutzten Abformmaterialien und den drei angewandten Abformmethoden?
3. Stimmt die subjektive Einschätzung der Abformqualität mit der durch objektive Parameter bestimmten Abformqualität überein?

## **2 Material und Methode**

Im Folgenden werden Planung und Ablauf der Studie, die einzelnen Arbeitsabläufe und dafür verwandte Materialien, sowie die Gewinnung und Auswertung statistischer Daten beschrieben.

### **2.1 Patientenauswahl und Befundaufnahme**

Die Untersuchung wurde im Zeitraum vom 08.12.2000 bis 02.12.2002 nach Genehmigung durch die Ethikkommission in einer allgemein Zahnärztlichen Praxis, eingebunden in den normalen Praxisablauf durchgeführt. In die Studie wurden 60 Patienten im Alter von 19 - 74 Jahren einbezogen, welche im Zuge einer prothetischen Therapie mit Einzelkronen versorgt werden mussten. Von der Untersuchung ausgeschlossen wurden minderjährige und nicht geschäftsfähige Patienten, Schwangere, drogen- oder alkoholabhängige Patienten, sowie solche, die unter schweren Allgemeinerkrankungen litten.

Die im Rahmen der Studie präparierten Zähne werden im Folgenden als Studienzähne bezeichnet. Als solche wurden ausschließlich Zähne ausgewählt, die mesial und distal von einem natürlichen, unpräparierten oder vollständig restaurierten Nachbarzahn begrenzt waren, an keiner Stelle Sondierungstiefen größer als 4 mm aufwiesen und deren Lockerungsgrad gleich oder kleiner II sein musste. Es wurde immer nur ein Studienzahn pro Patient für die Untersuchung zugelassen.

### **2.2 Dokumentation der Anamnese und der Untersuchungsbefunde**

Alle Patientendaten wurden über eine einheitliche Befunddokumentation erfasst. Nach Erhebung der allgemeinen Anamnese und des Zahnstatus wurden an den ausgewählten Studienzähnen und deren mesialem und distalem Nachbarzahn an jeweils sechs Messpunkten (mesiobukkal, bukkal, distobukkal, mesiolingual/mesiopalatinal, lingual/palatinal, distolingual/distopalatinal) folgende Befunde aufgenommen.



1. *Plaque-Index (PI) nach Silness und Loe* [35], wobei visuell mit einer von okklusal nach marginal geführten Sonde die supragingivale Belausdehnung bestimmt wurde. (**Grad 0**: plaquefrei; **Grad 1**: Plaquefilm, der nur durch Sondieren hervortritt; **Grad 2**: ohne Hilfsmittel sichtbare Plaque am Sulkuseingang; **Grad 3**: massive Plaque am Sulkuseingang).
2. *Gingival-Index (GI) nach Silness und Loe* [66], worüber der Entzündungsgrad der Gingiva der zu präparierenden Zähne und deren Nachbarzähne festgestellt wurde (**Grad 0**: normale Gingiva; **Grad 1**: leichte Entzündung mit leichter Farbänderung, leichtes Ödem, keine Blutung; **Grad 2**: mäßige Entzündung mit Rötung, Ödem und Blutung; **Grad 3**: schwere Entzündung, ausgeprägte Rötung und Ödembildung, Ulzeration, Spontanblutung).
3. *Sondierungstiefe am Gingivalsaum*. Diese Messung erfolgte mit Hilfe einer Parodontalsonde (Hu Friedy; PCP 12, 3/6/9/12 mm).
4. *Bleeding on probing (BOP)*. Es wurde die Blutung nach Messung der Sulkustiefe innerhalb von 30-40 Sekunden registriert. Trat eine Blutung auf, wurde dies als positives Messergebnis gewertet.
5. *Lage der Präparationsgrenze*. Es wurde nach Abschluss der Präparation die Lage der Präparationsgrenze (supra-, äqui-, und subgingival) mit der Parodontalsonde von Hu Friedy (PCP 12) bestimmt.

Folgende anamnestische und befundbezogene Daten wurden auf speziell für diese Studie entworfenen Evaluationsbögen dokumentiert:

- Patientenummer
- Datum der Untersuchung und behandelnder Zahnarzt
- Bemerkungen
- Abformverfahren der ersten, zweiten und dritten Abformung
- präparierter Zahn und dessen Nachbarzähne
- allgemeine Anamnese des Patienten
- Befund Oberkiefer und Unterkiefer (fehlende Zähne, Füllungen, Karies)
- PI (Plaqueindex nach Silness und Loe)
- GI (Gingival-Index nach Silness und Loe)
- BOP (bleeding on probing )
- Sondierungstiefe der Zahnfleischfurche

### 2.3 Präparation und Abformung

Für alle notwendigen Lokalanästhesien wurde der Wirkstoff Articain mit Adrenalin-zusatz 1:200.000 (Ultracain® DS, Fa. Sanofi-Aventis, Frankfurt a. M.) verwendet. Entsprechend der Indikation des jeweiligen Patientenfalles erfolgte die Präparation der Studienzähne für eine Vollmetallkrone oder eine Metallkeramikkrone im Sinne einer ausgeprägten Hohlkehlpriparation oder für eine Vollkeramikkrone im Sinne einer Stufenpräparation. Nach Beurteilung der gingivalen Verhältnisse im Bereich der künftigen Präparationsgrenze wurden gegebenenfalls elektrochirurgische Verfahren zur Darstellung letzterer notwendig. Zur Retraktion der Gingiva und Sulkuserweiterung vor Abdrucknahme kam in dieser Studie generell die Doppelfadentechnik unter Verwendung geflochtener Retraktionsfäden (Ultrapak®, Fa. Ultradent Products, Inc SLC, UT, USA) der Größen 0 oder 00 entsprechend Abbildung 1 zur Anwendung. Dabei wurde der erste untere Faden mit einem Adstringens (Orbat®, Fa. Igea Artis Pharma GmbH, Dettenhausen) getränkt in den Sulkus eingebracht. Danach wurde ein zweiter, ungetränkter Retraktionsfaden locker auf den ersten Faden gelegt und vor der Abformung wieder entfernt.



**Abbildung 1** Retraktionsfäden in situ; Zahn 44 mit unterem, Zahn 45 mit unterem und oberem gelegten Retraktionsfaden als Retraktionsmaßnahme zur optimalen Darstellung der Präparationsgrenze vor Abformung

Bei der Korrekturabformung erfolgte die Entfernung dieses Fadens stets vor der Primärabformung. Im Falle des Auftretens einer Blutung bei der Entfernung des oberen Retraktionsfadens wurde die Abformung erst durchgeführt, wenn die Blutung gestillt werden konnte. Es wurde vor jeder Abformung die Position des unteren Retraktionsfadens genau geprüft. Bei einer Dislokation musste der Faden neu gelegt werden.

Die Abformung wurde stets mit stabilen Metall-Löffeln (Rim-Lock) ausgeführt. Im Falle einer Monophasenabformung wurde der Abformlöffel an seinen distalen Enden mit Hilfe von Optosil©, einem knetbaren K-Silikon (Fa. Heraeus Kulzer, Hanau), individualisiert, um ein Abfließen der Abformmasse zu vermeiden und den nötigen Staudruck während der Abformung aufbauen zu können. Schließlich wurden die Abformlöffel für eine Polyetherabformung mit Polyether-Adhäsive (Fa. 3M ESPE AG, Seefeld) und für eine A-Silikonabformung mit Polyvinyl-Siloxane-Adhäsive (Fa. 3M ESPE AG, Seefeld) vorbereitet.

Jeder Studienzahn wurde mit allen drei Abformtechniken in ein- und derselben Sitzung abgeformt. Nach Übermittlung der Patientendaten per Fax an die Studienleitung mit Sitz an der Technischen Universität Dresden wurde hier die Reihenfolge der Anwendung der verschiedenen Techniken randomisiert festgelegt und ebenso per Fax an unsere Praxis zurück übermittelt.

### **2.3.1 Monophasenabformung**

Die Monophasenabformung ist eine einzeitige einphasige Abformtechnik unter Verwendung eines hochviskösen und spritzbaren Abformmaterials.

Als Material für die Monophasenabformung wurde ein Polyethermaterial (Impregum Penta, Fa. 3M ESPE AG, Seefeld) benutzt. Es wurde ein standardisier-

tes Abformprocedere eingehalten. Behandler und Assistenz sorgten zu Beginn der Abformnahme für die relative Trockenlegung des abzuformenden Kiefers. Während eine zweite Assistenz den Abformlöffel mit dem Abformmaterial beschickte, wurden durch den Behandler der präparierte Zahn und die angrenzenden Nachbarzähne mit demselben Material zügig umspritzt. Anschließend wurde der Abformlöffel in den Mund eingebracht. Die Abformung verblieb genau acht Minuten im Mund. Die Zeitnahme begann mit dem Zeitpunkt des Anmischens.

### **2.3.2 Doppelmischabformung**

Bei der Doppelmischabformung handelt es sich um ein einzeitiges zweiphasiges Abformverfahren. Ein hoch- und ein niedrigvisköses Material wird gleichzeitig angemischt und appliziert. Es wurde für diese Abformung ein A-Silikon (Dimension Penta H und Dimension Garant L, Fa. 3M ESPE Dental AG, Seefeld) verwendet. Auch bei dieser Abformtechnik wurde nach dem oben beschriebenen Abformprocedere verfahren. Während des Befüllens des Abformlöffels mit dem hochviskösem Material wurden zeitgleich der präparierte Zahn und die Nachbarzähne in einem Zuge mit dem niedrigviskösem Material umspritzt. Gemessen ab Anmischbeginn verblieb der Abformlöffel ebenfalls acht Minuten im Mund.

### **2.3.3 Korrekturabformung**

Die Korrekturabformung zählt zu den zweizeitig zweiphasigen Abformverfahren. Dabei wird eine Vorabformung mit einem zähfließenden Abformmaterial im zweiten Arbeitsgang mit einem dünnfließenden Material gleicher chemischer Herkunft korrigiert. Bei dieser Art der Abformung wurde in der Studie ein schnellhärtendes A-Silikon (Dimension Penta H Quick und Dimension Garant L Quick, Fa. 3M ESPE Dental AG, Seefeld), verwandt. Die Primärabformung erfolgte mit dem hochviskösen Material (Dimension Penta H Quick), welche acht Minuten, gemessen ab Anmischbeginn, im Mund verblieb. Nach der Entnahme aus dem Mund wurde die Primärabformung von Unterschnitten und Interdentalsepten befreit, sowie mit Abflusssrillen für die dünnfließende zweite Phase versehen. Bei Oberkieferabformungen wurden außerdem die Gaumenanteile entfernt. Anschließend wurde geprüft, ob sich die Abformung einwandfrei im Mund reponieren lässt und gegebenenfalls

Störstellen entfernt. Schließlich wurde die Abformung mit Alkohol gereinigt und getrocknet. Für die Sekundärabformung wurden der präparierte Zahn und die Nachbarzähne in einem Zug mit dem niedrigviskösem Material (Dimension Garant L Quick) umspritzt und der Abformlöffel mit der Primärabformung in den Mund zurückgesetzt, wobei gemessen ab Anmischbeginn der dünnfließenden Phase die Abbindezeit von sechs Minuten eingehalten wurde.

#### **2.4 Subjektive Beurteilung der Abformqualität**

Nach Entnahme der Abformungen aus dem Mund erfolgte die subjektive Einschätzung der Abformqualität nach den Bewertungskriterien

- **Romeo** : Abformung sehr gut, optisch keine Fehler feststellbar,
- **Sierra** : kleine Fehler sichtbar, aber keine lokale Beziehung zur Präparationsgrenze, Abformung weiter verwendbar und
- **Victor** : Abformung weist gravierende Fehler auf und ist nicht weiter verwendbar.

Das Erfassen der Abformqualität und folgender weiterer Fragestellungen erfolgte über einen standardisierten Dokumentationsbogen:

- Wann erfolgte die Abformung (in der Präparationssitzung oder zu einem späteren Zeitpunkt)
- Anästhesie (ja oder nein)
- Anwendung von elektrochirurgischen Methoden zur Darstellung der Präparationsgrenze (ja oder nein)
- Lage und Tiefe der Präparationsgrenze
- Retraktionsfäden (welche Fäden, wann entfernt)
- Blutung (nach Entfernen eines Fadens und wo)
- Blutung (beim Umspritzen des Stumpfes und wo)

- Feuchtigkeit (Kontamination des Stumpfes unmittelbar im Zusammenhang mit der Abformung)
- Zeitregime während jeder Abformung
- Ruhige Position der Abformung (ja oder nein)
- Blut an der Abformung (ja oder nein)
- Endbeurteilung der Abformung nach der subjektiven Einschätzung (Romeo = fehlerfrei, Sierra = kleinere Fehler, aber Abformung verwendbar, Victor = grobe Fehler, Abformung nicht weiter verwendbar).

## 2.5 Modellherstellung

Bei der Modellherstellung wurde großer Wert auf die Einhaltung des Zeitpunktes, die Wahl des Modellmaterials und das Abbindeverhalten der Abformmasse gelegt. Die Abformungen wurden nach vier Stunden durch jeweils denselben Zahntechniker im Eigenlabor der niedergelassenen Praxis mit einem Spezialsuperhartgips nach DIN EN 26873 Typ IV (esthetic-rock 285 apricot, Fa. dentona AG, Wipperfürth) ausgegossen und zu Sägeschnittmodellen nach dem Zeiser-Verfahren (Amann Girrbach AG, Pforzheim) weiterverarbeitet (s. Abbildung 2 und 3).



**Abbildung 2** Zeiserplatte mit ungetrimmten Präparationsstümpfen



**Abbildung 3** Sägeschnittmodell mit getrimmten Präparationsstümpfen

## **2.6 Auswertung der Modelle**

Die Modellauswertung wurde sofort nach Herstellung des Sägeschnittmodells am ungetrimmten Modellstudienzahn unter Bewertung der Präparationsgrenze (überfasst / erfasst / nicht erfasst) durchgeführt. Anschließend wurde nach Freilegung der Präparationsgrenze mit Lupenbrille die Fehlerhäufigkeit bzw. Fehlerart (horizontale Falte, Perle, vertikale Falte, polymorphes Gebilde und andere Fehler) an den sechs Messstellen des Stumpfes (mesiovestibulär, vestibulär, disto-vestibulär, mesiolingual/oral, lingual/oral, distolingual/oral) und für das gesamte Restmodell erfasst.

Im standardisierten Dokumentationsbogen wurden folgende Daten festgehalten:

- Erfassung der Präparationsgrenze des Studienzahnes  
(nicht erfasst, erfasst, überfasst)
- Fehlerart und Fehlerhäufigkeit am Modellstumpf des Studienzahnes und der angrenzenden Nachbarzähne (Perle, horizontale Falte, vertikale Falte, polymorphes Gebilde, andere Fehler)
- Fehlerart und Fehlerhäufigkeit an den Zähnen des Restmodells

## **2.7 Statistische Auswertungen**

Die vorliegende Studie wurde prospektiv und randomisiert kontrolliert angelegt. Die statistische Analyse aller erfasster Daten erfolgte mit dem Softwareprogramm SPSS Version 11 (SPSS Inc. Headquarters, 233 S. Wacker Drive, 11th floor, Chicago, Illinois).

Die gewonnenen Daten wurden einem Wirksamkeitstest (Signifikanztest) unterzogen. Als Signifikanzniveau (die Grenze für die Irrtumswahrscheinlichkeit) wurde die zweifache Standardabweichung vom Erwartungswert definiert. Die Annahme der Alternativhypothese, bzw. die Ablehnung der Nullhypothese erfolgte also bei einem p-Wert von kleiner oder gleich 5%. Des Weiteren wurde der Kontingenzkoeffizient der erhobenen Daten ermittelt. Dabei wird die Stärke des statistischen Zusammenhangs zweier oder mehrerer Größen wiedergegeben. In dieser Studie

wurden die tatsächlich ermittelten Häufigkeiten zweier klinischer Merkmale mit den Häufigkeiten verglichen, die man erwartet hätte, wenn diese Merkmale unabhängig voneinander aufgetreten wären.

Klinische Parameter und aufgetretene Fehler wurden sowohl in relativen als auch absoluten Häufigkeiten angegeben. Dabei stellt die relative Häufigkeit eine anteilmäßige Häufigkeit dar, die anhand der zugrundeliegenden Menge der untersuchten Merkmale ermittelt wird. Die absolute Häufigkeit ist eine Zählung von Merkmalen oder Ereignissen, bei der eine tatsächlich ermittelte Anzahl wiedergegeben wird.



### 3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die erhobenen Daten vorgestellt, die aus der qualitativen Beurteilung der Abformungen und der quantitativen Analyse der aus den Abformungen resultierenden Modelle ermittelt und in Bezug zu dem jeweils verwendeten Abformverfahren gesetzt wurden.

#### 3.1 Subjektive Beurteilung der Abformungen in Abhängigkeit von der Art der Abformung

Die Monophasen-, Doppelmisch- und Korrekturabformungen wurden unmittelbar nach Entnahme aus dem Mund unter Berücksichtigung klinischer Parameter subjektiv vom Behandler bewertet. Dabei wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Ergebnisse erfasst.

**Tabelle 1** Subjektive Einschätzung (Romeo, Sierra, Victor) der Abformqualität der drei verschiedenen Abformungsarten unmittelbar nach Entnahme aus dem Mund. Aufgeführt ist die Anzahl der jeweiligen Abformungen mit ihren zugehörigen relativen Häufigkeiten anteilig an allen erfolgten Monophase-, Doppelmisch- und Korrekturabformungen

	Monophase		Doppelmisch		Korrektur	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %	Anzahl	in %
<b>Romeo</b>	18	30,0	24	40,0	40	66,7
<b>Sierra</b>	28	46,7	30	50,0	20	33,3
<b>Victor</b>	14	23,3	6	10,0	0	0,0
<b>Σ</b>	60	100	60	100	60	100

Mit einem Anteil von 66,7% aller genommenen Korrekturabformungen wies diese Art der Abformung die häufigste Anzahl an Romeo-Bewertungen auf, gefolgt von der Doppelmischabformung mit 40,0%. Die Monophasenabformung erhielt mit nur 30,0% Romeo-Bewertungen deutlich seltener eine subjektiv gute Einschätzung der Abformqualität als die anderen beiden Abformverfahren. Statistisch zeigte damit die Korrekturabformung signifikant häufiger Romeo-Bewertungen als die anderen beiden Abformtechniken ( $p = 0,000$ ; Kontingenzkoeffizient = 0,358). Zugleich verhalten sich die Ergebnisse für Victor-Bewertungen genau gegenläufig zur An-

zahl der Romeo-Ergebnisse - mit 0,0% bei der Korrekturabformung, nur 10,0% beim Doppelmischverfahren, aber 23,3% bei der Monophasenabformung.

### **3.2 Subjektive Beurteilung der Abformungen unter Berücksichtigung der Reihenfolge**

In Tabelle 2 sind die Häufigkeiten der Romeo-/ Sierra-/ und Victor-Bewertungen unter Berücksichtigung der Reihenfolge der Abformung (1./ 2./ 3.) des jeweiligen Studienzahnes dargestellt.

**Tabelle 2** Subjektive Einschätzung der Abformqualität (Romeo, Sierra, Victor) im Zusammenhang mit der Reihenfolge der Abdrucknahme (1., 2., 3. Abformung eines Patienten). Aufgeführt ist die absolute Anzahl der jeweils subjektiv mit Romeo, Sierra und Victor bewerteten Abformungen mit deren zugehörigen relativen Häufigkeiten anteilig an den erfolgten Messreihen der 1., 2. und 3. Abformung eines Patienten

	1. Abformung		2. Abformung		3. Abformung	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %	Anzahl	in %
<b>Romeo</b>	19	31,7	28	46,7	35	58,3
<b>Sierra</b>	33	55,0	25	41,7	20	33,3
<b>Victor</b>	8	13,3	7	11,7	5	8,3
<b>Σ</b>	60	100	60	100	60	100

Betrachtet man die Abformfolgen, so ergab sich in der subjektiven Bewertung der Abformqualität jeweils zwischen den ersten und zweiten, sowie zwischen den zweiten und dritten Abformungen kein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit von Romeo-Bewertungen. Vergleicht man jedoch die subjektiven Bewertungen der ersten Abformfolge mit denen der dritten Abformfolge, so wurde bei den dritten Abformungen einer Abformfolge signifikant häufiger eine Romeo-Bewertung als bei den Erstabformungen vergeben ( $p = 0,013$ ; Kontingenzkoeffizient = 0,259).

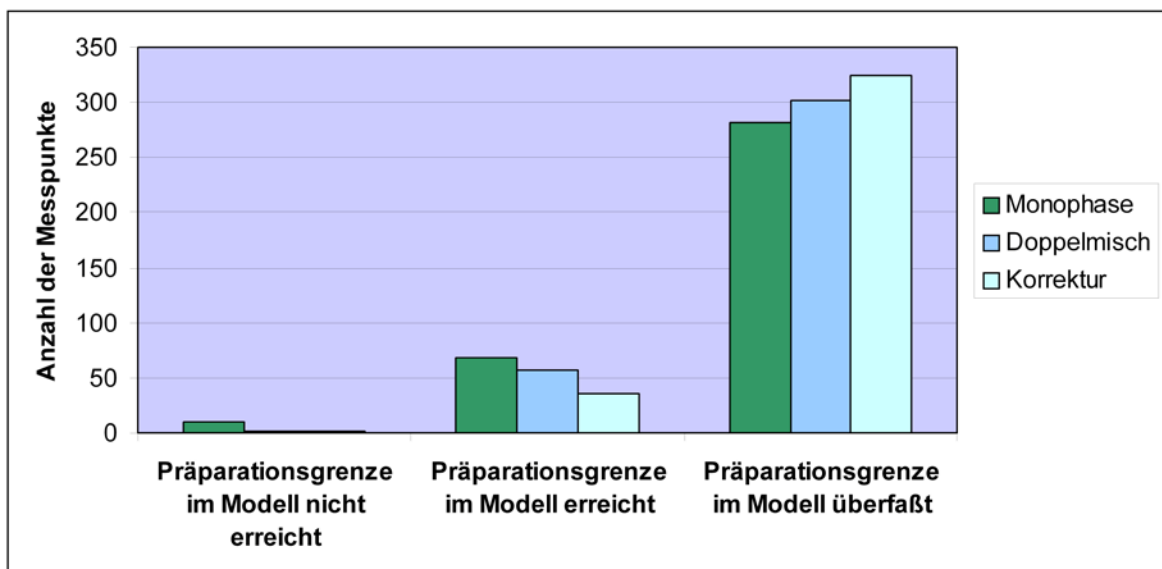
Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, ergaben sich keine signifikanten Veränderungen in der subjektiven Bewertung der Abformqualität mit zunehmender Zahl der Patientenfälle, bzw. mit aufsteigender Reihenfolge der Patientenfälle. Es wurden im Mittel bei Patient 1 - 20, 21 - 40 und 41 - 60 prozentual gleich viele Romeo-, Sierra- oder Victor-Bewertungen vergeben.

**Tabelle 3:** Subjektive Bewertung der Abformqualität in Abhängigkeit von der Fallzahlnummer. Darstellung der Anzahl der subjektiven Urteile (Romeo, Sierra, Victor) mit ihren relativen Häufigkeiten unterschieden nach den jeweiligen Fallzahlgruppen der Patienten 1-20, 21-40 und 41-60

	Patient 1 - 20		Patient 21 - 40		Patient 41 - 60	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %	Anzahl	in %
<b>Romeo</b>	30	50,0	24	40,0	28	46,7
<b>Sierra</b>	21	35,0	32	53,3	25	41,7
<b>Victor</b>	9	15,0	4	6,7	7	11,7
<b>Σ</b>	60	100	60	100	60	100

### 3.3 Objektive Analyse der Qualität der Abformungen anhand der Darstellung der Präparationsgrenze im Modell

Nach der subjektiven Beurteilung der Abformungen erfolgte die objektive Analyse der Qualität der Abformungen anhand der Beurteilung der Darstellung der Präparationsgrenze in den resultierenden Modellen. Die Abbildung 4 zeigt die zugehörigen Daten.



**Abbildung 4** Darstellung der Präparationsgrenze bei den drei verschiedenen Abformarten. Es wurden 1080 Messstellen an insgesamt 180 Modellen beurteilt und mit ihren absoluten Häufigkeiten abgebildet

Die Korrekturabformung zeigte mit 324 Messpunkten die höchste Anzahl an Messstellen, an denen die Präparationsgrenze überfasst wurde. Die Doppelmischabformung zeigte an 301 Messpunkten eine überfasste Präparationsgrenze, die Monophasenabformung an 281 Stellen. Deutlicher wird der Qualitätsunterschied der Abformungsarten, wenn man die nicht erfassten Messpunkte betrachtet. Hier liegt die Monophasenabformung mit 10 nicht erfassten Stellen deutlich hinter dem Korrektur- und Doppelmischverfahren, mit jeweils 1 und 2 nicht erfassten Stellen.

Betrachtet man die Darstellung der Präparationsgrenze nicht für die einzelnen Messpunkte, sondern je Studienzahn, dann ergibt die statistische Auswertung signifikant ( $p = 0,015$ ; Kontingenzkoeffizient = 0,211) mehr nicht erfasste Präparationsgrenzen an den Studienzähnen, die mit Monophase abgeformt wurden, als bei Doppelmisch- oder Korrekturabformung. Wobei letztere bei den Abformarten mit jeweils nur einem Studienzahn, an dem die Präparationsgrenze nicht erfasst wurde, gleichauf liegen. „Präparationsgrenze nicht erfasst“ gilt dann für den gesamten Studienzahn, wenn einer der sechs Messpunkte sich nicht erfasst darstellt.

### **3.4 Übereinstimmung von subjektiver und objektiver Beurteilung**

Bei der Überprüfung, inwiefern die subjektive Beurteilung mit dem objektiven Abformergebnis übereinstimmte (s. Tabelle 4), zeigte sich, dass vor allem die Monophasenabformung subjektiv schlechter beurteilt wurde, als sie ihrer Qualität tatsächlich entsprach. So wurden immerhin gut 11% dieser Abformungen mit einer Victor-Bewertung versehen, obwohl deren Präparationsgrenze über- oder erfasst war. Damit schnitt die Monophasenabformung in der objektiven Analyse ihrer Qualität besser ab, als in der subjektiven Beurteilung. Auch 8% der Doppelmischabformungen wurden in ihrer Qualität unterschätzt und mit einer Victor-Bewertung beurteilt. Bei den Korrekturabformungen trat lediglich eine Fehleinschätzung auf, die allerdings eine Abformung, in der sich die Präparationsgrenze nicht vollständig erfasst darstellte, mit einer Sierra-Bewertung beurteilte und damit deren Qualität überschätzte.

**Tabelle 4** Vergleich der Ergebnisse der subjektiven Bewertung (Romeo= R, Sierra= S, Viktor= V) der Abformungen und der objektiven Modellanalyse hinsichtlich der Darstellung der Präparationsgrenze (PG) am Studienzahn mit absoluter und zugehöriger relativer Häufigkeit. Besonders auffällige Abweichungen bei der subjektiven Bewertung der Abformungen im Vergleich mit der objektiven Erfassung der Präparationsgrenze sind rot markiert.

Abformart	subj. Bewertung	PG überfasst		PG erfasst		PG nicht erfasst	
		Anzahl	in %	Anzahl	in %	Anzahl	in %
Mono	R	13	21,7	6	10,0	0	0,0
	S	6	10,0	20	33,3	1	1,7
	V	3	5,0	4	6,7	7	11,7
Doppel- misch	R	16	26,7	7	11,7	0	0,0
	S	14	23,3	17	28,3	0	0,0
	V	0	0,0	5	8,3	1	1,7
Korrektur	R	34	56,7	6	10,0	0	0,0
	S	9	15,0	10	16,7	1	1,7
	V	0	0,0	0	0,0	0	0,0

### 3.5 Einfluss der Lage der Präparationsgrenze auf die Erfassung derselben

Wie aus Tabelle 5 hervorgeht, hatte die Lage der Präparationsgrenze am Studien-  
zahn keinen signifikanten Einfluss auf das Nichterfassen derselben bei den ver-  
schiedenen Abformarten. Allerdings zeigte sich bei der Monophasenabformung  
häufiger eine nicht erfasste Präparationsgrenze, wenn die Präparationsgrenze  
äqui- oder subgingival lag, als bei der Korrektur- oder Doppelmischabformung.

**Tabelle 5** Darstellung der Präparationsgrenze bei den verschiedenen Abformarten in Abhängig-  
keit von der Lage der Präparationsgrenze mit absoluten und relativen Häufigkeiten

Abform- art	Darstellung Präparations- grenze	Lage der Präparationsgrenze					
		supragingival		äquingival		subgingival	
		Anzahl	in %	Anzahl	in %	Anzahl	in %
Mono	überfasst	1	1,7	5	8,3	15	25,0
	erfasst	0	0,0	13	21,7	18	30,0
	nicht erfasst	0	0,0	3	5,0	5	8,3
Doppel- misch	überfasst	1	1,7	13	21,7	16	26,7
	erfasst	0	0,0	7	11,7	22	36,7
	nicht erfasst	0	0,0	1	1,7	0	0,0
Korre- tur	überfasst	1	1,7	15	25,0	29	48,3
	erfasst	0	0,0	6	10,0	8	13,3
	nicht erfasst	0	0,0	0	0,0	1	1,7

**Tabelle 6** Darstellung der einzelnen Messpunkte der Präparationsgrenze (PG) des Studienzahnes (mesio-vestibulär= mv, vestibulär= v, disto-vestibulär= dv, mesio-oral= mo, oral= o und disto-oral= do) in Abhängigkeit von der Abformart. Besondere gemeinsame Auffälligkeiten bei der distal-oralen Erfassung der Präparationsgrenze sind rot markiert. Angegeben sind jeweils die absoluten Häufigkeiten mit den zugehörigen relativen Häufigkeiten bezogen auf alle Abformungen einer Art je Messstelle

Abformart	Lokalisation	PG überfasst		PG erfasst		PG nicht erfasst	
		Anzahl der Messpunkte	in % der Messpunkte	Anzahl der Messpunkte	in % der Messpunkte	Anzahl der Messpunkte	in % der Messpunkte
Mono	mv	44	73,3	15	25,0	1	1,7
	v	53	88,3	7	11,7	0	0,0
	dv	44	73,3	13	21,7	3	5,0
	mo	48	80,0	10	16,7	2	3,3
	o	52	86,0	8	13,3	0	0,0
	do	41	68,3	15	25,0	4	6,7
Doppelmisch	mv	48	80,0	12	20,0	0	0,0
	v	56	93,3	4	6,7	0	0,0
	dv	54	90,0	5	8,3	1	1,7
	mo	49	81,7	10	16,7	1	1,7
	o	52	86,0	8	13,3	0	0,0
	do	42	70,0	18	30,0	0	0,0
Korrektur	mv	54	90,0	6	10,0	0	0,0
	v	58	96,7	2	3,3	0	0,0
	dv	55	91,7	5	8,3	0	0,0
	mo	54	90,0	6	10,0	0	0,0
	o	53	88,3	6	10,0	1	1,7
	do	50	83,3	10	16,7	0	0,0

Betrachtet man die Ergebnisse für die einzelnen Messpunkte (Tab. 6), weisen die disto-oralen Bereiche unabhängig von der Art der Abformung die schlechtesten Ergebnisse auf. So sind deutlich weniger überfasste Stellen und gleichermaßen erheblich mehr „nur“ erfasste Stellen disto-oral dokumentiert worden, als an anderen Messstellen.

Bei der Monophasenabformung sind im disto-oralen Bereich die meisten nicht erfassten Stellen dokumentiert worden. Hier fällt außerdem auf, dass die disto-vestibulären Bereiche ähnlich schlechte Abformungsergebnisse erreichen. Das

lässt sich für die Doppelmisch- und Korrekturabformung nicht feststellen. Bei beiden Abformarten ist eine Tendenz für schlechtere Ergebnisse am ehesten bei den oralen Messstellen zu erkennen.

### **3.6 Einfluss klinischer Parameter auf die Qualität der Abformung**

Über die subjektive Beurteilung der Abformung und die Darstellung der Präparationsgrenze hinaus wurden die klinischen Parameter Blutung nach Entfernung des Retraktionsfadens, Blutung bei Umspritzen des Stumpfes und die suffiziente Trockenlegung des Stumpfes bzw. eine Speichelkontamination des Stumpfes bei unzureichender Trockenlegung während der Abformung betrachtet.

#### **3.6.1 Abformqualität unter Berücksichtigung einer Blutung nach Entfernung des zweiten Retraktionsfadens vor Abformung**

Es wurde erfasst, wenn eine Blutung während der Abdrucknahme bei Entfernung des oberen Retraktionsfadens auftrat. Tabelle 7 zeigt die ermittelten Ergebnisse. War keine Blutung nach Entfernung des ersten Retraktionsfadens vorhanden, dann trat bei der Monophasenabformung und dem Doppelmischverfahren seltener eine nicht erfasste Präparationsgrenze auf als bei Vorhandensein einer Blutung. Bei der Monophasenabformung betrug der prozentuale Unterschied nicht erfasster Präparationsgrenzen 19,1% bei Blutung zu 7,7% ohne Blutung und bei der Doppelmischabformung 4,4% bei Blutung zu 0% ohne Blutung. Eine einzige Korrekturabformung zeigte unter nicht vorhandener Blutung eine nicht erfasste Präparationsgrenze.



**Tabelle 7** Darstellung der Präparationsgrenze in Abhängigkeit der Art der Abformung und des Vorhandenseins einer Blutung nach Entfernung des Retraktionsfadens. Die überfasste und erfasste Darstellung der Präparationsgrenzen wurde zu einem Merkmal zusammengefasst und mit nicht erfassten Präparationsgrenzen verglichen. Es sind absolute mit zugehörigen relativen Häufigkeiten dargestellt

Klinischer Parameter		Darstellung Präp.-grenze	Monophase		Doppelmisch		Korrektur	
			Anzahl	in %	Anzahl	in %	Anzahl	in %
nach Faden-entfernung	vorhandene Blutung	überfasst/erfasst	17	81,0	22	95,7	18	100,0
		nicht erfasst	4	19,1	1	4,4	0	0,0
	keine Blutung	überfasst/erfasst	36	92,3	37	100,0	41	97,6
		nicht erfasst	3	7,7	0	0,0	1	2,4

### **3.6.2 Abformqualität unter Berücksichtigung einer Blutung bei Umspritzen des Stumpfes während der Abformung**

Es wurde auch erfasst, wenn während der Abformung bei Umspritzen des Stumpfes eine Blutung auftrat. Dabei konnten die Ergebnisse nach Tabelle 8 dokumentiert werden.

**Tabelle 8** Darstellung der Präparationsgrenze in Abhängigkeit von der Art der Abformung und des Vorhandenseins einer Blutung bei Umspritzen des Präparationsstumpfes. Es sind die absoluten und relativen Häufigkeiten der betroffenen Präparationsstümpfe jeweils für das Merkmal vorhandene und nicht vorhandene Blutung aufgeführt

Klinischer Parameter		Darstellung Präp.-grenze	Monophase		Doppelmisch		Korrektur	
			Anzahl	in %	Anzahl	in %	Anzahl	in %
bei Umspritzen	vorhandene Blutung	überfasst/erfasst	4	80,0	7	87,5	3	100,0
		nicht erfasst	1	20,0	1	12,5	0	0,0
	keine Blutung	überfasst/erfasst	49	89,1	52	100,0	56	98,2
		nicht erfasst	6	10,9	0	0,0	1	1,8

Es fällt auf, dass bei vorhandener Blutung während des Umspritzens bei Monophasen- und Doppelmischabformung häufiger die Präparationsgrenze nicht erfasst wird. Bei der Monophasenabformung stehen bei vorhandener Blutung die nicht erfassten Präparationsgrenzen mit 20,0% denen bei keiner Blutung mit 10,9% gegenüber, insgesamt eine Differenz von 9,1%. Bei der Doppelmischabformung ergibt sich eine Differenz von 12,5% zwischen den zwei Vergleichsgruppen bei nicht erfasster Präparationsgrenze und dem Vorhandensein einer Blutung bei Umspritzen.

### **3.6.3 Abformqualität unter Berücksichtigung von Speichel am Stumpf bei der Abformung**

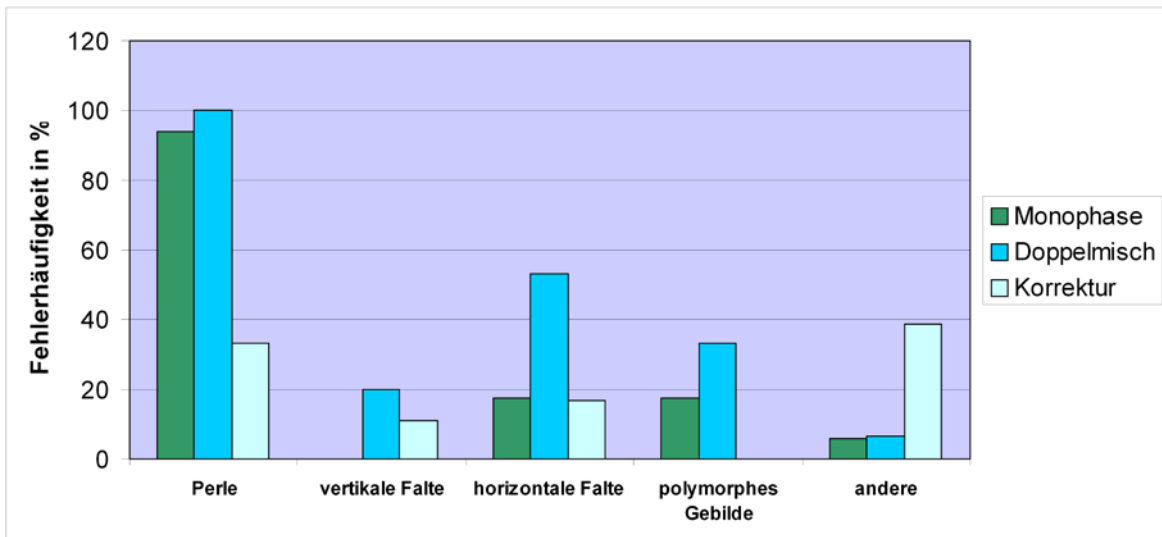
Betrachtet man die Ergebnisse für den klinischen Parameter „speichelkontaminierter Stumpf bei Abformung“ nach Tabelle 9, ergeben sich für alle drei Abformarten nur eine bis drei Abformungen von 60, die für diesen Parameter untersucht werden konnten und damit keinen aussagekräftigen Vergleich zulassen.

**Tabelle 9** Darstellung der Präparationsgrenze in Abhängigkeit der Art der Abformung unter nassem oder trockenen Bedingungen während der Abformung des Präparationsstumpfes. Es sind die absoluten und relativen Häufigkeiten der betroffenen Präparationsstümpfe jeweils für das Merkmal Abformung bei nassem/ trockenem Stumpf aufgeführt

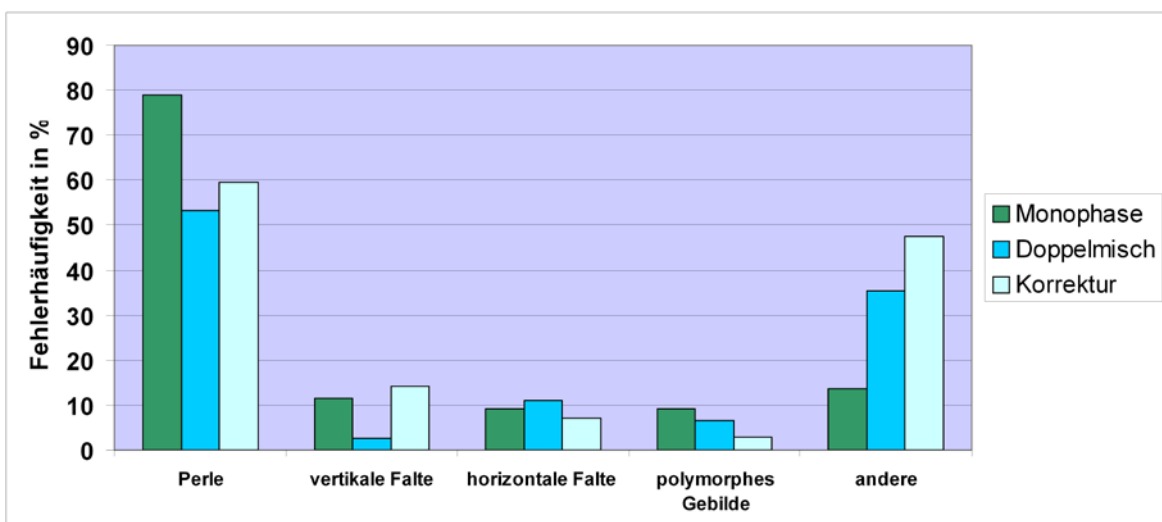
Klinischer Parameter		Darstellung Pröp.-grenze	Monophase		Doppelmisch		Korrektur	
			Anzahl	in %	Anzahl	in %	Anzahl	in %
bei Abformung	Stumpf nass	überfasst/erfasst	1	50,0	3	100,0	1	100,0
		nicht erfasst	1	50,0	0	0,0	0	0,0
	Stumpf trocken	überfasst/erfasst	51	87,9	56	98,3	58	98,3
		nicht erfasst	7	12,1	1	1,8	1	1,7

### 3.6.4 Fehlerhäufigkeit in Abhängigkeit klinischer Parameter

Unter Berücksichtigung der klinischen Parameter „Blutung nach Entfernung des oberen Retraktionsfadens“ und „Blutung bei Umspritzen des Präparationsstumpfes“ wurden die am Präparationsstumpf aufgetretenen Fehlerarten und -häufigkeiten anhand des Modells erfasst und in den Abbildungen 5 dargestellt.

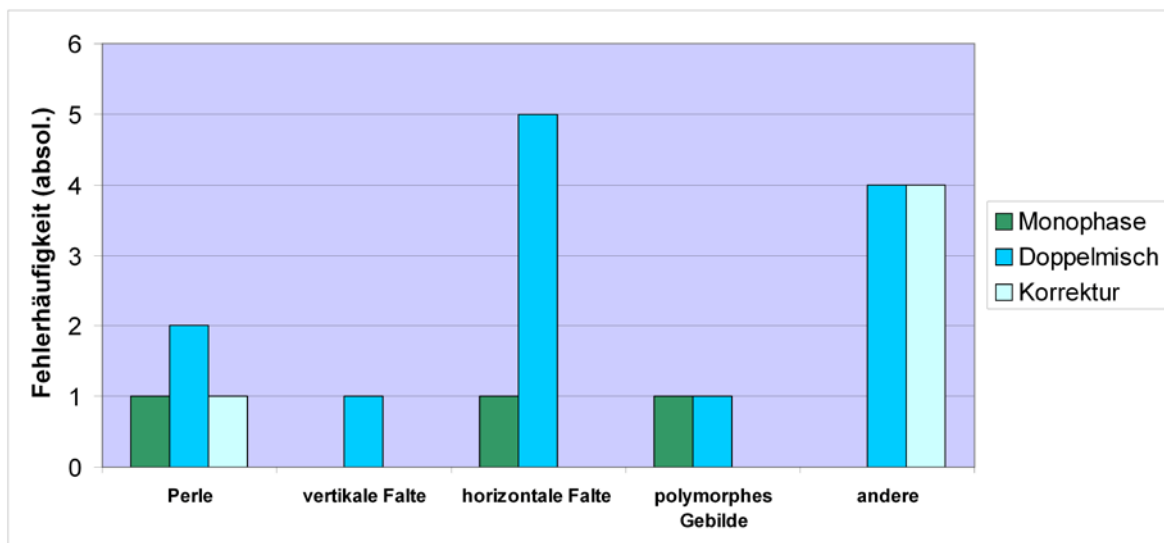


**Abbildung 5** Darstellung der verschiedenen Fehlerarten in relativen Fehlerhäufigkeiten bezogen auf die Anzahl der Studienzähne bei *vorhandener Blutung* nach Entfernung des oberen Retraktionsfadens



**Abbildung 6** Darstellung der verschiedenen Fehlerarten in relativen Fehlerhäufigkeiten bezogen auf die Anzahl der Studienzähne bei *nicht vorhandener Blutung* nach Entfernung des oberen Retraktionsfadens

Es fällt auf, dass vor allem das Auftreten horizontaler Falten bei vorhandener Blutung bei der Doppelmischabformung auffällig vermehrt vorkommt: bei 53,3% der Abformungen mit Blutung im Vergleich zu 11,1% der Abformungen ohne Blutung. Perlen traten bei allen drei Abformmethoden relativ häufig auf; jedoch war der Anteil an Monophase- und Doppelmischabformungen, die bei vorhandener Blutung Perlen aufwiesen deutlich höher als der Anteil ohne Blutung (bei Monophasenabformungen um 15%, bei Doppelmischabformungen sogar um 47,6% höher). Interessanterweise verhielten sich die Zahlen für die Korrekturabformung invers. 59,5% der Abformungen ohne Blutung, aber nur 33,3% der Abformungen mit Blutung wiesen Perlen auf. Die Monophasenabformung und die Doppelmischabformung zeigten bei vorhandener Blutung die doppelte bzw. fünffache Wahrscheinlichkeit für das Entstehen polymorpher Gebilde. Das Vorhandensein „anderer Fehler“ hingegen zeigte bei keiner Abformart einen direkten Zusammenhang zum untersuchten Parameter und kam sogar häufiger bei Abformungen vor, bei denen keine Blutung vorhanden war.

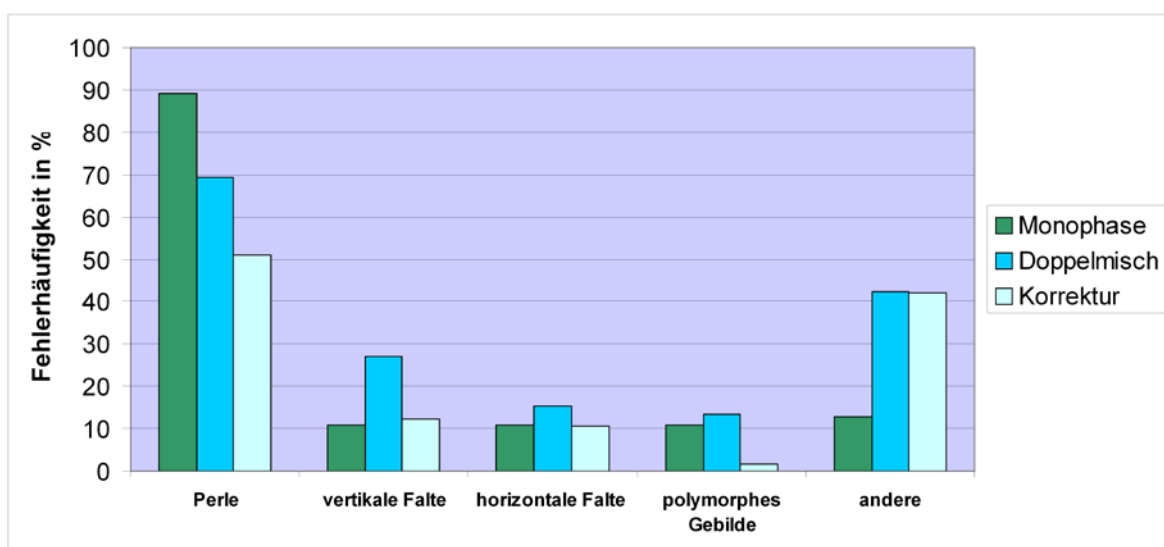


**Abbildung 7** Darstellung der verschiedenen Fehlerarten in absoluten Fehlerhäufigkeiten bezogen auf die Anzahl der Studienzähne bei *vorhandener Blutung* beim Umspritzen des Präparationsstumpfes

Die in Abbildung 7 dargestellten Werte entsprechen aufgrund der geringen Stichprobengröße von jeweils nur fünf Monophasen-, acht Doppel- und drei Korrekturabformungen den absoluten Fehlerhäufigkeiten nach Tabelle 8. Die Darstellung der prozentualen Häufigkeit erschien in diesem Zusammenhang nicht sinnvoll und

für den Leser ergebnisverzerrend. Trotz zweifelhafter Aussagekraft sticht eine Prominenz für das Vorkommen von horizontalen Falten bei fünf von acht genommenen Abformungen hervor.

Anhand von Abbildung 8 sieht man die erhöhte Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Perlen im Allgemeinen, aber auch im Speziellen für die Monophasenabformung, die um ca. 20%, bzw. 40% häufiger diese Fehlerart aufwies als Doppel- oder Korrekturabformung. Die einzeitige A-Silikonabformung dagegen zeigte eine leichte Dominanz für die Fehlerart horizontale und vertikale Falte. Andere Fehlerarten traten generell bei A-Silikonen häufiger als bei Polyetherabformungen auf.

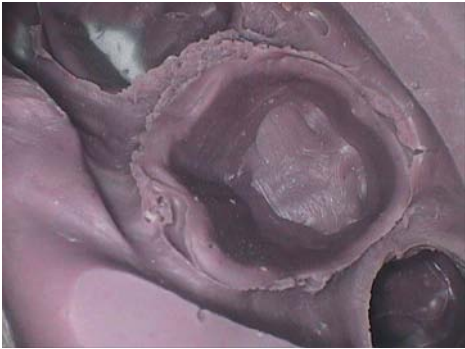


**Abbildung 8** Darstellung der verschiedenen Fehlerarten in relativen Fehlerhäufigkeiten bezogen auf die Anzahl der Studienzähne bei *nicht vorhandener Blutung* beim Umspritzen des Präparationsstumpfes

### 3.7 Qualität und Quantität aufgetretener Fehler

Die Modellfehler wurden qualitativ in fünf verschiedene Gruppen eingeteilt, quantifiziert und in den Abbildungen 9 bis 16 zusammengestellt.

#### 1. Perle



**Abbildung 9** Fehlerart Perle in einer Monophasenabformung



**Abbildung 10** Fehlerart Perle am Gipsstumpf

#### 2. horizontale Falte

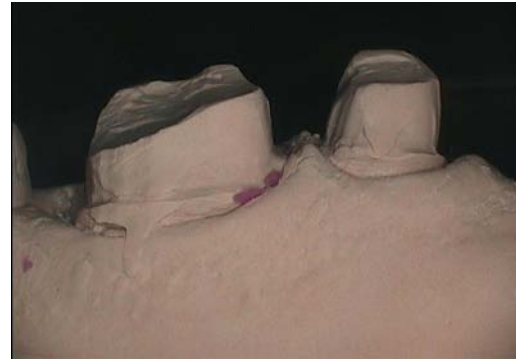


**Abbildung 11** Fehlerart horizontale Falte im Gipsmodell einer Doppelmischabformung

### 3. vertikale Falte



**Abbildung 12** Fehlerart vertikale Falte in einer Doppelmischabformung

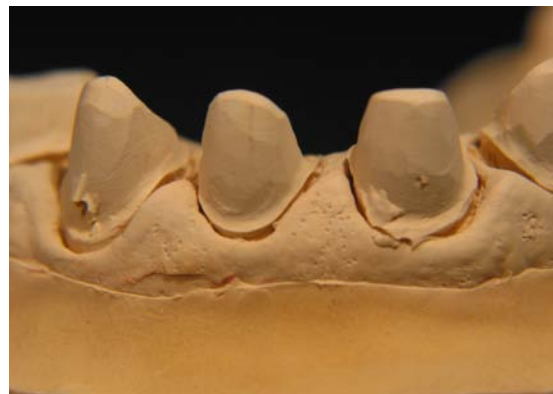


**Abbildung 13** Fehlerart vertikale Falte im Gipsstumpf – Modell einer Doppelmischabformung

### 4. polymorphes Gebilde



**Abbildung 14** Fehlerart polymorphes Gebilde in einer Doppelmischabformung



**Abbildung 15** Fehlerart polymorphes Gebilde am Gipsstumpf - Modell einer Doppelmischabformung

### 5. andere Fehler

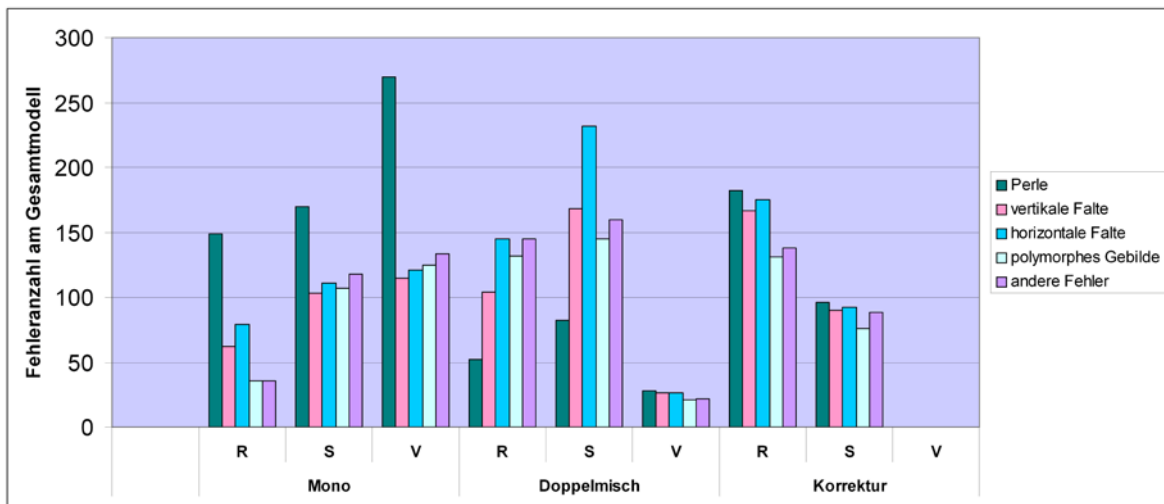


**Abbildung 16** Fehlerart andere Fehler am Gipsstumpf - Modell einer Doppelmischabformung

### 3.7.1 Qualität und Quantität aufgetretener Fehler in Abhängigkeit der verschiedenen Abformarten und der subjektiven Bewertung am Gesamtmodell

Die Auswertung der Modelle beinhaltete die genaue Ermittlung von Quantität und Qualität aller aufgetretenen Fehler am Gesamtmodell und die anschließende statistische Auswertung unter Berücksichtigung der Art der Abformung und der subjektiven Beurteilung der Abformungen. Abbildung 17 zeigt die Ergebnisse.

Es fällt auf, dass bei der Monophasenabformung die Fehlerart Perle mit Abstand am häufigsten auftritt. Hier steht eine Fehlerhäufigkeit von insgesamt 589 Perlen bei Monophasenabformungen einer Häufigkeit von 162 Perlen bei Doppelmischabformungen und 278 bei Korrekturabformungen gegenüber.



**Abbildung 17** Darstellung der Fehlerart in absoluten Fehleranzahlen am Gesamtmodell in Abhängigkeit von der subjektiven Bewertung und unter Berücksichtigung des Abformverfahrens

Ähnlich verhält es sich bei der Doppelmischabformung mit der Fehlerart horizontale Falte, wenn auch nicht ganz so eindeutig wie bei letzterem genannten Aspekt (403 horizontale Falten bei Doppelmischabformungen und nur 311 bei Monophasenabformungen bzw. 267 bei Korrekturabformungen).

Die übrigen Fehlerarten weisen eine relativ gleichmäßige Verteilung über die verschiedenen Abformarten auf.



### 3.7.2 Qualität und Quantität aufgetretener Fehler in Abhängigkeit der verschiedenen Abformarten und der subjektiven Bewertung an der Präparationsstumpfoberfläche

Es wurde das Auftreten jeder einzelnen Fehlerart je Präparationsstumpf erfasst (s. Tabelle 10). Das Auftreten mehrerer Fehler der gleichen Art wurde nicht mehrfach erfasst, d.h. beim Vorhandensein von drei Perlen wurde nur ein „positiv für Perle“ gezählt und nicht drei Perlen in die Zählung aufgenommen. In der statistischen Auswertung wurde weiterhin die subjektive Einschätzung der Abformung in Verbindung mit der Fehlerhäufigkeit berücksichtigt.

Es fällt auf, dass die Perle bei allen drei Abformarten anteilmäßig die häufigste Fehlerart darstellt. Außerdem tritt die vertikale Falte bei der Doppelmischabformung mit 23,3% signifikant häufiger ( $p = 0,024$ ) im Vergleich zu 8,3% bei Monophasenabformungen oder 11,6% bei Korrekturabformungen auf. Hierbei sind interessanterweise sowohl bei der Monophasenabformung als auch bei Korrekturabformung zu einem hohen Prozentsatz die mit Romeo bewerteten Abformungen betroffen.

**Tabelle 10** Darstellung von Fehleranzahl und -art am Präparationsstumpf in Abhängigkeit des Abformverfahrens und unter Berücksichtigung der subjektiven Bewertung (Romeo= R, Sierra= S, Viktor= V). Es sind absolute und relative Häufigkeiten für die Präparationsstümpfe jeweils einer Abformart aufgeführt

Abformart	Anzahl	subj. Bewert.	Perle		vertikale Falte		horizontale Falte		polymorphes Gebilde		Andere Fehler	
			Anzahl	in %	Anzahl	in %	Anzahl	in %	Anzahl	in %	Anzahl	in %
Mono	18	R	8	44,4	3	16,7	1	15,6	1	5,6	3	16,7
	28	S	18	64,3	1	3,6	2	7,1	3	10,7	2	7,1
	14	V	10	71,4	1	7,1	3	21,4	3	21,4	1	7,1
Doppelmisch	23	R	9	39,1	6	26,1	3	13,0	0	0,0	7	30,4
	31	S	16	51,6	5	16,1	5	16,1	6	19,4	11	35,5
	6	V	5	83,3	3	50,0	2	33,3	0	0,0	3	50,0
Korrektur	40	R	14	35,0	6	15,0	2	5,0	0	0,0	13	32,5
	20	S	10	50,0	1	5,0	3	15,0	1	5,0	7	35,0
	0	V	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Die Korrekturabformung weist mit nur 1,7% aller Abformungen signifikant seltener ( $p = 0,028$ ) ein polymorphes Gebilde auf, als Mono- und Doppelmischabformung mit jeweils ungefähr 10%.

Schließlich sei noch darauf verwiesen, dass Doppelmisch- und Korrekturabformung signifikant häufiger ( $p = 0,002$ ; Kontingenzkoeffizient = 0,258) die Fehlerart „andere Fehler“ mit jeweils ca. 34% aufwiesen, als die Monophasenabformung mit nur 10% aller Abformungen.

## **4 Diskussion**

In diesem Kapitel werden die ermittelten Ergebnisse zusammenfassend diskutiert und interpretiert.

### **4.1 Studiendesign**

In dieser Studie wurden 60 Patienten in die statistische Auswertung einbezogen. Mit dieser Fallzahl wurde eine ausreichend große Datenmenge aufgestellt, um zuverlässige statistische Aussagen treffen und zufällige Ergebnisse weitgehend ausschließen zu können [40].

Die zuvor randomisiert festgelegte Reihenfolge der Art der Abformung diente dazu, eine Verzerrung der Ergebnisse durch eventuelle persönliche Präferenzen des Behandlers ausschließen. Eine Verblindung der Studie wäre wünschenswert gewesen, ließ sich anhand der offensichtlich unterschiedlichen Erscheinungsformen und Verarbeitung der Materialien jedoch nicht realisieren.

Eine dieser Untersuchung vorangestellte Testserie, in der exakt nach dem beschriebenen Studienschema vorgegangen wurde, gestattete dem behandelnden Zahnarzt und Zahntechniker ein Einüben der Arbeitsabläufe und schließt damit Verzerrungen der Ergebnisse durch anfängliche Handlingprobleme und Übungseffekte aus [37, 39].

Die Abformung und Modellherstellung erfolgte nach den festgelegten standardisierten Abläufen unter strikter Einhaltung der Vorgaben. Um Fehler in der Verfahrenskette der Modellherstellung auszuschließen, wurden die Modelle nach vorgegebener zeitlicher Maßgabe von ein und demselben Zahntechniker im praxiseigenen Labor hergestellt. Die Erstellung und Beurteilung der Abformungen erfolgte während der normalen Behandlungsroutine, also die zeitlichen und technischen Umstände betreffend unter möglichst authentischen Bedingungen einer durchschnittlichen deutschen Zahnarztpraxis.

Nur vereinzelt waren Häufigkeiten bestimmter Merkmale verhältnismäßig klein und stellten damit die Aussagekraft der Ergebnisse in Frage. Beispiele hierfür sind die supragingivale Lage der Präparationsgrenze (siehe Tabelle 5), eine vorhandene Blutung beim Umspritzen der Präparationsstümpfe (siehe Tabelle 8) oder unzureichende Trockenlegung bei Abformung des Präparationsstumpfs (siehe Tabelle 9).

## **4.2 Abformmaterialien**

Die Hauptanliegen bei der Anfertigung von Abformungen sind zum einen, eine Abformung mit möglichst hoher Dimensionsstabilität zu erhalten und zum zweiten eine möglichst fehlerfreie Abformung zu produzieren. Die modernen Abformmaterialien sind heute benutzerfreundlich und liefern bei korrekter Einhaltung der Herstellerangaben, sowie bei selbstkritischer Handhabung verbunden mit dem Wissen über das Entstehen von Fehlern, gute Ergebnisse [54, 69,78]. Im Umkehrschluss entstehen Verfälschungen des Abformergebnisses durch die Abformtechnik und behndlerspezifische Effekte und nur zu einem geringen Anteil durch die Materialeigenschaften der Abformmasse [2, 17, 37, 73]. Die Umsetzung des technisch Möglichen wird also vor allem durch die klinischen Gegebenheiten bei der Abdrucknahme beeinflusst, wie u.a. Blößer und Wöstmann in ihren Veröffentlichungen feststellen [5, 81, 83].

Vor diesem Hintergrund wurde die vorliegende Studie durchgeführt - es sollte die Qualität unterschiedlicher Abformmaterialien und Abformtechniken bei Anwendung unter praxisnahen Bedingungen subjektiv beurteilt und objektiv analysiert werden. Dabei waren auch Übereinstimmung und Abweichung zwischen subjektiver und objektiver Einschätzung wichtig, denn im Praxisalltag entscheidet letztlich das Urteil des Behandlers über Verwendung oder Wiederholung der Abformung. Studien von Samet et al. [64] und Winstanley et al. [76] zeigten, dass auch bei offensichtlichen Mängeln der Abformung (z.B. durch falsche Löffelauswahl, das Übersehen von Abformfehlern, die ungenügende Darstellung von Präparationsgrenzen, und nicht sachgemäßer Transport von Abformungen) zahntechnische Labors häufig gezwungen sind, auf diesen zu arbeiten. Ein Qualitätsverlust des Zahnersatzes ist vorprogrammiert. Die korrekte Einschätzung des Behandlers die Qualität seiner Abformung betreffend ist also entscheidend für den späteren Erfolg einer protheti-

schen Arbeit. Die vorliegende Studie zeigt, dass bei Einhaltung konkreter Verfahrensrichtlinien eine hohe Abformqualität unabhängig von der Abformart und des Abformmaterials auch unter klinisch alltäglichen Bedingungen zu erzielen ist.

#### **4.2.1 Polyetherabformmassen**

Die Basismasse dieser Abformmassen besteht aus einem langkettigen Polyethermakromonomer mit Ringgruppen. Die Katalysatorpaste enthält einen kationischen Starter. Beim Abbinden des Polyethers erfolgt die Polymerisation der Makromonomere durch Öffnung ihrer Ringgruppen [54]. Dadurch zeigt Polyether inhärent hydrophile Eigenschaften, das heißt, dass das Polyethermaterial während der gesamten Verarbeitungsphase eine konstant hohe initiale Hydrophilie aufweist und an feuchte Oberflächen gut anfließen kann [63].

Polyether zeigen im Gegensatz zur initialen Hydrophilierung der A-Silikone konstante hydrophile Kontaktwinkel sowohl unmittelbar zu Mischbeginn als auch noch 120 Sekunden danach [61]. Damit garantieren Polyetherabformmassen auch unter feuchten Abformbedingungen ein gutes Anfließverhalten an die abzuformenden Oberflächen, wie Untersuchungen von Johnson et al. zeigten [25]. Zudem verbessern niedrigere Kontaktwinkel die Modellherstellung, da wiederum auch der Gips besser an die Oberfläche des Abformmaterials anfließen kann [2, 16].

Polyether zeigen eine hohe Reißfestigkeit, was von Vorteil bei geringen Materialstärken in der Abformung ist. Allerdings sind Polyethermaterialien damit auch schwerer beschneidbar und eignen sich daher nicht für das Korrekturabformverfahren [77] sondern kommen vorzugsweise in einzeitigen Abformverfahren zum Einsatz [17, 78].

Zwar treten bei der Vernetzungsreaktion der Polyethermakromere keine flüchtigen Nebenprodukte auf und die Dimensionsänderung der abgebundenen Abformmasse ist dadurch sehr gering [28]. Allerdings neigen Polyetherabformungen nach ihrem Abbinden zur Wasserabsorption und damit zur Quellung, weshalb sie innerhalb einer Stunde nach Entfernung aus dem Mund ausgegossen werden sollten [14]. Aufgrund dieser Eigenschaften sind sie zeitlich nicht uneingeschränkt

desinfizierbar [77]. Eine Studie von Stoll et al. [70] bestätigt jedoch keine negativen Einflüsse durch Desinfektionsmittel auf die Dimensionsgenauigkeit von Polyether- und auch A-Silikonabformungen, wenn die Desinfektionszeiten korrekt eingehalten werden. Jagger et al. [24] empfehlen Desinfektionsmittel und Abformwerkstoff aufeinander abzustimmen, um die beste Dimensionsstabilität zu gewährleisten. Die Lagerung und der Transport in die Technik sollten dann in trockenem Zustand erfolgen.

Für Polyethermaterialien wird eine mögliche Empfindlichkeit gegenüber Metallsalzen und Schwefelverbindungen (Latexhandschuhe) beschrieben, was zur Beeinflussung der Polymerisationsreaktion führen kann [78] und daher bei der Verarbeitung berücksichtigt werden muss.

#### **4.2.2 Additionsvernetzte Silikone (A-Silikone, Polyvinylsiloxane)**

Polyvinylsiloxane binden über Additionsvernetzung ab. Die Additionsreaktion von Hydrogen-Siloxan (-O-Si-H) an Vinyl-Siloxan(CH<sub>2</sub>=CH-Si-O-) zum Polyvinylsiloxan erfolgt an einem Platinkatalysator. Der Platinkatalysator wird durch Berührung mit Schwefel oder schwefelhaltigen Verbindungen wie Dithiocarbamat (Latexhandschuhe) inhibiert [8, 14, 51, 54]. Das hat zur Folge, dass die Abbindereaktion des Abformmaterials teilweise oder ganz durch diese Substanzen unterbunden wird. Ebenso wird vermutet, dass Metallsalze (Eisen- oder Aluminiumchlorid) die Abbindereaktion inhibieren [78]. Untersuchungen von Donovan und Chee konnten Letzteres jedoch nicht bestätigen [14]. Schließlich wird auch die Prüfung der Verträglichkeit zwischen dem verwendeten Adstringens und dem Abformwerkstoff in der Literatur empfohlen [78], um mögliche ungewünschte Interaktionen auszuschließen.

A-Silikone gelten derzeit als die Abformmaterialien mit der höchsten Detailwiedergabe. Die in der ISO 4823 festgelegte Wiedergabegenauigkeit elastomerer Abformmaterialien in Form von einer 0,02 mm breiten Linie wird abgesehen von den sehr hochviskösen Puttymaterialien von allen A-Silikonem erreicht. Niedrigvisköse Materialien können sogar Linien von nur 1µm bis 2µm Breite wiedergeben [7, 22, 41].

Bei den A-Silikonem werden keine Nebenprodukte während des Polymerisationsvorganges freigesetzt, weshalb diese Materialgruppe äußerst dimensionsstabil ist und die geringsten Schrumpfungswerte aufweist [14, 41, 78]. Sie gelten derzeit als die lagerstabilsten Abformmaterialien, wie u.a. Lehmann et al. in einer in-vitro-Studie belegen konnten [32]. Bei elastomeren Massen sollte frühestens 30 Minuten nach Entnahme aus dem Mund eine Modellherstellung erfolgen, da erst nach dieser Zeit die elastische Rückstellung der Materialien abgeschlossen ist [32]. Einige Autoren beschreiben eine Blasenentstehung durch Wasserstoffgas auf der Oberfläche von Gipsstümpfen bei sofortigem Ausgießen ohne Einhalten der entsprechenden Wartezeit [8, 22, 75]. Das kann durch eine Nebenreaktion des Basismaterials bei Anwesenheit von Feuchtigkeit oder rückständigen Silanolgruppen geschehen. Mittlerweile haben die Hersteller diese Fehlerquelle durch Erhöhung des Reinheitsgrades und akkurate Portionierung des Materials, sowie durch einen Zusatz an Palladium als Absorber, weitestgehend eliminiert [12, 41].

Bei Entnahme der Abformung aus dem Mund wird die Abformung in unterschneittigen Bereichen zwangsläufig deformiert. An dieser Stelle spielt die Rückstellkraft elastischer Abformmaterialien eine große Rolle und wurde in der ISO-Richtlinie 4823 auf eine Rückstellung größer 96,5% festgesetzt [23]. Lu et al. belegten in einer in-vitro-Untersuchung, dass A-Silikon im Vergleich zu Polyethermaterial das bessere Rückstellvermögen aufweisen, wenn auch kein klinisch signifikanter Unterschied vorlag [36].

Polyvinylsiloxane sind von ihrer chemischen Natur her hydrophob. Als dieser entscheidende Nachteil erkannt wurde [9, 16, 69, 82], begann man, den A-Silikonem Hydrophilierungsmittel zuzusetzen und ihnen dadurch hydrophile Eigenschaften zu verleihen. Dabei kommen amphiphile Moleküle zum Einsatz, die ein polares und ein apolares Ende besitzen. Diese Zusätze erleichtern das Anfließen des A-Silikonem an der feuchten Zahnhartsubstanz, klinisch nachweisbar an einem reduzierten Kontaktwinkel [4, 16, 34, 41, 48].

### **4.3 Abformtechniken**

Die bereits genannten Ziele bei der Anfertigung von Abformungen sind eine annähernd fehlerfreie Abformung zu produzieren und anschließend eine möglichst dimensionsgetreue Abbildung des präparierten Stumpfes zu erhalten. Es gibt durchaus Publikationen [14, 37, 78], die sich für die eine oder andere Abformtechnik aussprechen und die Überlegenheit eines Verfahrens konstatieren. Meist berufen sich diese Untersuchungen auf in-vitro-Studien [15, 18, 21, 38], die die klinischen Aspekte unberücksichtigt lassen. Über die Interaktion materialwissenschaftlicher Kenndaten und verarbeitungstechnischer Einflüsse unter klinischen Bedingungen gibt es hingegen kaum Untersuchungen und daher auch wenige aussagekräftige Daten über das Abschneiden von Abformmaterialien und -techniken im Praxisalltag. Diese Studie versuchte auf genau dieses Problem einzugehen um anschließend praxisrelevante Empfehlungen zur Anwendung der verschiedenen Abformmaterialien und -techniken machen zu können.

Im Folgenden soll ein Überblick über die Abformverfahren gegeben werden und deren Vor- und Nachteile im nächsten Diskussionspunkt anhand der Ergebnisse dieser Studie erläutert werden.

#### **4.3.1 Monophasenabformung**

Die Monophasenabformung ist eine einzeitige einphasige Abformtechnik unter Verwendung eines hochviskösen und spritzbaren Abformmaterials. Probleme wie sie bei Abformungen unter Verwendung zweier Materialien unterschiedlicher Viskosität auftreten, spielen hier keine Rolle [69]. Endogene Spannungen, Schumpfung- und Verdrängungseffekte sind hier kaum von Bedeutung [78].

Mit der Einphasentechnik sind Abformungen mit einer hohen Wiedergabegenauigkeit realisierbar [25, 38]. Das zeigen Analysen der 3D-Genauigkeit von Polyether-Einphasenabformmaterialien [38], wobei einzeitige Abformverfahren die präparierten Zahnstümpfe tendenziell vergrößert wiedergeben [40, 49,73]. Im supragingivalen Abformbereich wird aus werkstoffkundlicher Sicht die Verwendung von monophasischen Abformmaterialien empfohlen [17]. Fehler im



subgingivalen Bereich können durch den fehlenden Stempeldruck bedingt sein, weshalb die Verwendung von individuellen Löffeln [80] oder das Individualisieren konfektionierter Metalllöffel empfohlen wird [34].

#### **4.3.2 Doppelmischabformung**

Bei der Doppelmischabformung handelt es sich um ein einzeitiges zweiphasiges Abformverfahren. Ein hoch- und ein niedrigvisköses Material wird gleichzeitig angemischt und appliziert. Verdrängungseffekte treten durch dieses Vorgehen nicht auf, was Wöstmann wiederum veranlasst, die Doppelmischabformung nicht als Routinetechnik zur Darstellung von Kronenpräparationen zu empfehlen [78]. Laut Untersuchungen von ihm gelingt es aufgrund des geringeren Staudruckes bei Doppelmischabformungen selten, das Material in den Sulkus zu pressen, weshalb subgingival schlechtere Abformergebnisse als bei der Korrekturabformung zu erwarten sind [78]. Im Gegensatz dazu beschreibt Luthardt [37] in seinen Untersuchungen, dass einzeitige Abformverfahren der Korrekturabformung bei Anwendung individualisierter Abformlöffel und dem Legen zweier Retraktionsfäden im Sinne der Doppelfadentechnik überlegen sind. Auch Perakis et al. [51] beschreiben die Doppelmischabformung mit A-Silikonem unter Verwendung der Doppelfadentechnik als einfach und zuverlässig. Zeitersparnis und eine größere Dimensionsstabilität gegenüber der Korrekturabformung zählen für mehrere Autoren zu den Vorteilen der Doppelmischabformung [18, 21, 38].

Dumfahrt und Schäffer [15] fanden in ihren Untersuchungen, ebenso wie Lehmann und Burgdorf [33], nahezu originalgetreu wiedergegebene Stümpfe bei der Doppelmischabformung. Das wird in dreidimensionalen Untersuchungen von Luthardt [37] mit der quantitativen Analyse der Abformgenauigkeit von verschiedenen Abformverfahren an CAD-Modellen bestätigt, wobei die Präparationsstümpfe, die mit Doppelmischabformung erstellt wurden, die geringste durchschnittliche und maximale Abweichung zwischen Prüfstumpf und CAD-Modell aufwiesen.

### **4.3.3 Korrekturabformung**

Die Korrekturabformung zählt zu den zweizeitig zweiphasigen Abformverfahren. Dabei wird eine Vorabformung mit einem zähfließenden Abformmaterial im zweiten Arbeitsgang mit einem dünnfließenden Material gleicher chemischer Herkunft korrigiert. Nach Angaben von Marxkors [42] muss die Erstabformung sorgfältig von Unterschnitten und Interdentalsepten befreit, sowie mit Abflusrrillen versehen werden. Der Erfolg des Korrekturverfahrens hängt entscheidend von diesem Beschneiden der Erstabformung ab. Nur so lassen sich die Verdrängungseffekte der Erstabformmasse, welche durch den Staudruck der Korrekturabformmasse auftreten können, auf ein Minimum reduzieren [74, 78]. Da Polyether schwer beschneidbar sind, eignen sie sich nicht für das Korrekturabformverfahren [77].

Beim Einbringen des Korrekturabdruckes darf dieser nur ca. 10 Sekunden unter Druck gehalten werden, damit das Korrekturmateriale in genügendem Maße einfließen kann. Beim anschließenden Abbindevorgang jedoch muss die Abformung ohne Druck gehalten werden, um Deformationen zu vermeiden [42].

Die Korrekturabformung wird für die Abformung infragingivaler Bereiche als besonders geeignet angesehen, da der entstehende Staudruck oder Stempeldruck beim Einbringen der Erstabformung das Korrekturmateriale besser in die sonst schwer erreichbaren infragingivalen Bereiche transportieren soll [58, 78]. Als das klinische Hauptproblem wird die Stauchung der Erstabformung (elastische Deformation) durch erschwertes Abfließen des Korrekturmateriale oder durch die ungenaue Reposition der Erstabformung angesehen. Dumfahrt und Schäffer [15] kamen zu dem Ergebnis, dass bei der Korrekturabformung deutlich verkleinerte und deformierte Stümpfe das Ergebnis sind, wobei durch Freischneiden der Präparationsgrenzen eine geringfügige Verbesserung möglich ist. Durch die Rückstellung des Materials der Erstabformung nach Entnahme aus dem Mund kommt es zu kleineren Kronenlumina und verkleinerten Modellstümpfen [3]. Nach Untersuchungen von Fenske et. al. [18, 19] und Luthardt [37] sind die Dimensionsabweichungen bei der Korrekturabformung bei kleinen Präparationswinkeln am stärksten. Lehmann [32] gibt in diesem Zusammenhang als Wartezeit bis zur Modellherstellung drei bis zwölf Stunden an, damit die einsetzende, auf den Abformlöffel gerich-

tete Materialschrumpfung den Abformfehler, welcher in primär zu kleinen Stümpfen resultiert, verringert. Das im Rahmen dieser Studie vorgesehene Procedere gab eine Wartezeit nach Entformung bis zur Modellherstellung von vier Stunden vor, um die maximale Rückstellung des jeweiligen Abformmaterials zu gewährleisten.

#### **4.4 Modellherstellung**

Die Kombination der Abformmethode mit dem Modellmaterial ist entscheidend für die Erstellung von präzisen Modellen und letztendlich für die Passgenauigkeit des Zahnersatzes [39, 73]. Luthardt et al. [39] bestätigten in Untersuchungen zur Fehleranalyse bei Modellherstellung das deutlich bessere Dimensionsverhalten der Gipse vom Typ IV gegenüber den Modellmaterialien aus Epoxydharzen.

Das in dieser Studie angewandte Zeisersystem wird im Vergleich mit anderen Systemen von mehreren Autoren als genau, zeitsparend und leicht handzuhabendes Modellsystem empfohlen [1, 20, 31, 65].

#### **4.5 Subjektive Beurteilung und objektive Analyse der Abformqualität verschiedener Abformverfahren**

Die Ergebnisse für die subjektive Einschätzung der Abformqualität zeigen, dass die Korrekturabformung mit Abstand die besten Beurteilungen des Behandlers erhalten hat, gefolgt von Doppelmisch- und Monophasenabformung (siehe Tabelle 1). Im Vergleich dieser Daten mit den objektiven Ergebnissen für die Darstellung der Präparationsgrenze (siehe Tabelle 4) fällt auf, dass Doppelmischabformungen am häufigsten vom Behandler „unterschätzt“ wurden, also nur mit Sierra oder Victor bewertet wurden, obwohl die Präparationsgrenze über- oder erfasst war. Bei der Monophasenabformung wurden die häufigsten Victor-Urteile für Abformungen vergeben, in denen die Präparationsgrenze eigentlich über- oder erfasst war. Diese Fehleinschätzung durch den Behandler lässt sich damit erklären, dass bei der Korrekturabformung durch den wesentlich höheren Stempeldruck eine längere und daher deutlich besser sichtbare „Fahne“ beim Überfassen der Präparationsgrenze entsteht, als bei den beiden anderen Verfahren [54, 58, 78]. Für die späte-

re Darstellung der Präparationsgrenze im Gipsmodell spielt das jedoch keine Rolle und bringt damit keine Verbesserung der Ergebnisqualität. Betrachtet man alle einzelnen 1080 Messstellen, die bei jeweils 60 Präparationsstümpfen für alle drei Verfahren bewertet wurden, dann sieht man nur geringe, nicht signifikante Abweichungen in Qualität der Darstellung der Präparationsgrenze unter den drei Abformarten (siehe Abbildung 4), wobei nichts desto trotz eine absteigende Rangfolge von Korrektur- zu Doppelmisch- und Monophasenabformung besteht.

Anhand der Daten dieser Untersuchung kann die Aussage getroffen werden, dass Doppelmisch- und Korrekturabformung bei Einhaltung bereits genannter Verfahrensweisen gleich gute Ergebnisse unter klinischen Bedingungen erzielen. Die Monophasenabformung liegt um ca. 10% unter den Ergebnissen der beiden anderen Abformmethoden. Das mag daran liegen, dass die Kombination aus niedrigviskösem Material (z.B. Dimension Penta H) und hochviskösem Material (z.B. Dimension Garant L) bei der Doppelmischabformung zwar keine der Korrekturabformung vergleichbare Stempelwirkung bewirkt, aber immerhin einen höheren „Presseffekt“ aufweist als die Monophasenabformung mit einem Material von mittlerer Viskosität (z.B. Impregum Penta). Letztere sind wichtige Aussagen für den praktisch tätigen Zahnarzt, bedenkt man die widersprüchlichen Angaben der nationalen und internationalen Literatur zu dieser Fragestellung [2, 3, 14, 21, 33, 42, 69, 78]. Diese Untersuchung zeigt, dass die Bemühungen, ein der Korrekturabformung gleichwertiges Abformverfahren, jedoch mit geringerer Dimensionsänderung zu entwickeln, erfolgreich waren [18]. Abschließend kann bestätigt werden, dass nicht die Abformmethode, sondern das Berücksichtigen von Verfahrens- und Verarbeitungshinweisen entscheidend für ein gutes Abformergebnis ist, wie Trost und Wöstmann bereits feststellten [71, 81].

Panmeijer und Westermann [50] gehen davon aus, dass subgingival gelegene Präparationsgrenzen präparationstechnisch schwerer zu gestalten, nicht kontrollierbar zu definieren und nicht exakt im Abdruck und somit auf dem Arbeitsmodell darzustellen sind. Eine Aussage zum Vergleich der Abformergebnisse bei subgingivaler oder supragingivaler Lage der Präparationsgrenze lässt sich anhand der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit aufgrund zu geringer Fallzahlen für supragingivale Präparation nicht ableiten (s. Tab. 5). Betrachtet man die Abform-

ergebnisse für äqui- und subgingival gelegene Präparationsgrenzen, ist für Doppelmisch- und Korrekturabformungen kein lageabhängiger Unterschied in der Darstellung festzustellen. Lediglich die Monophasenabformung schnitt um ca. 10% schlechter ab, wenn die Präparationsgrenze subgingival gelegen war. Hinsichtlich der Doppelmischabformung widersprechen diese Ergebnisse der Auffassung verschiedener Autoren wie Fuhr und Reiber, Stewardson oder Wöstmann, die einzeitige Abformverfahren für infragingival gelegene Präparationsgrenzen als ungeeigneter ansehen als zweizeitige [20, 69, 78]. Auch Bader und Setz [2] beschreiben, dass subgingivale Präparationsbereiche bei zweizeitigen Abformverfahren besser dargestellt werden. Theoretisch ist diese Aussage gut über den größeren Stempeldruck bei zweizeitigen Verfahren erklärbar. Anscheinend hat dieser Faktor unter praktischen Bedingungen aber weniger Einfluss auf das Abformergebnis als die korrekte Anwendung von Retraktionsfäden und ein strenges Management der Trockenlegung der Präparationsstümpfe (siehe dazu Kapitel 4.6.). Diese Vermutung wird in einer Arbeit von Luthardt unterstützt [37].

Betrachtet man die Bewertungen der Abformfolgen eines Patienten, dann sind die jeweils ersten Abformungen deutlich häufiger mit Victor und seltener mit Romeo bewertet, als die zuletzt genommenen (siehe Tabelle 2). Das lässt sich durchaus mit einem „Übungseffekt“ erklären - bei der dritten Abformung kennt der Behandler bereits die Problemstellen des abzuformenden Bereiches und kann diese besser berücksichtigen. Zudem kann man annehmen, dass durch das mehrmalige Legen der Retraktionsfäden der Sulkus bei der letzten Abformung bereits deutlich geweitet ist und durch die Konditionierung des Weichgewebes seltener ungünstige Einflüsse wie Blutungen am Präparationsstumpf auftreten. Man beachte, dass diese Ergebnisse unabhängig von der verwendeten Abformmethode sind.

Schließlich fällt auf, dass ebenfalls unabhängig von der Art der Abformung an der disto-oralen Messstelle am seltensten eine überfasste Präparationsgrenze dokumentiert wurde (siehe Tabelle 6). Die übrigen Messpunkte zeigen leichte Abweichungen bei der Darstellung der Präparationsgrenze, die aber keineswegs so deutlich ausfallen, wie disto-oral. Diese Beobachtung lässt sich u.a. durch die Neigung der Zähne nach oral und damit häufiger unterschneidenden Bereichen auf der oralen Seite erklären. Zudem ist es nicht immer möglich, den Abformlöffel genau

von okklusal gleichmäßig einzubringen sondern häufig muss man durch eingeschränkte Platzverhältnisse den Löffel in fronto-dorsaler Richtung einkippen. Damit baut sich in den distalen Bereichen ein geringerer Anpressdruck auf als mesial und erhöht somit die Wahrscheinlichkeit für eine Fehlerentstehung [27].

#### **4.6 Einflüsse klinischer Parameter auf die Abformqualität**

Abformungen und infolgedessen Modelle mit guter Detailreproduktion zu erhalten, hängt von mehreren Faktoren ab. Wesentliche klinische Variablen sind die Löffel- auswahl, der Anmischvorgang des Abformmaterials, die korrekte Umsetzung der Abformtechnik, die Art der Präparationsform und des Präparationswinkels, Lage der Präparationsgrenze, Sulkusweite, das Gewebemanagement, der Parodontalzustand und die Mundhygienesituation, der Speichelfluss, auftretende Blutungen und Trockenlegung beim Abformen, die Organisation der Assistenz und das Zeitmanagement bei Abformung und Modellherstellung. In dieser Arbeit wurde der Einfluss des Auftretens einer Blutung und einer nicht optimalen Trockenlegung unter größtmöglicher Konstanz aller anderen zuvor genannten klinischen Faktoren untersucht.

Das Auftreten von Blutungen im Zuge der Stumpfpräparation ist aufgrund der meist unvermeidbaren Manipulation des periodontalen Weichgewebes ein häufiger, die Abformung komplizierender Umstand. Um die Blutungsgefahr zu minimieren, wird u.a. empfohlen zwischen Präparation und Abformung einen Zeitraum von etwa einer Woche vergehen zu lassen [3, 77]. Das ist im Praxisalltag aufgrund begrenzter Zeitressourcen von Patient und Behandler häufig nicht umsetzbar. Gut einsetzbar sind hingegen mit Adstringentien getränkte Retraktionsfäden, die über Eiweißfällung auf Wunden abdichtend wirken, wobei die Sekretion des Sulkusfluid und leichte Blutungen minimiert werden [13]. Wöstmann [78] zieht es vor, den Retraktionsfaden mit einem Vasokonstringens zu benetzen, da dieses nicht mit dem Faden über die Bildung eines Blutkoagulums verkleben kann und bei Entfernung des Fadens keine Blutung provoziert wird [66]. Die Daten dieser Arbeit lassen keine sichere Aussage bezüglich der Abformqualität bei vorhandener Blutung zu, da nur bei ca. 1% bis 2% der Abformungen eine Blutung auftrat (siehe Tabelle 8) und somit für eine statistische Auswertung die Häufigkeit zu gering ist. Allerdings lässt

sich eine Tendenz erkennen und die Ergebnisse sprechen für einen negativen Effekt einer auftretenden Blutung auf die Abformqualität vor allem bei Monophase- und Doppelmischabformungen. Wichtig zu unterscheiden ist an dieser Stelle das Auftreten einer Blutung beim Umspritzen des Stumpfes und bei Entfernung des zweiten Retraktionsfadens (siehe Tabelle 7 und 8). Ersteres bedeutet, dass unmittelbar beim Abformvorgang eine Blutung auftrat. Blutete es jedoch bei der Entfernung des Retraktionsfadens, führte das zum Abbruch des Abformvorgangs, zur Blutstillung und zur erneuten Trockenlegung und zur Wiederholung der Prozedur. Damit lassen die Daten für das Auftreten einer Blutung bei Entfernung des Retraktionsfadens keine direkten Rückschlüsse auf die Abformqualität bei Abformung unter Blutung zu (siehe Tabelle 7). Allerdings geben sie nach Ansicht der Autorin einen Hinweis auf die Verkomplizierung des Abformvorgangs und einen dadurch möglichen Qualitätsverlust. Auch sind bei dieser klinischen Variable die beiden Vergleichsgruppen zahlenmäßig ausgeglichener und statistisch durchaus repräsentativ. Die Ergebnisse zeigen, dass unter Blutungsbedingungen bei der Monophasenabformung immerhin 10% und bei der Doppelmischabformung 5% weniger Präparationsgrenzen erfasst oder überfasst wurden als ohne Blutung.

Eine sorgfältige Feuchtigkeitskontrolle und Trockenlegung der abzuformenden Präparationen ist unentbehrlich für akkurate Abformergebnisse mit Silikonabformmassen [6, 25]. Es werden am feuchten Stumpf prinzipiell schlechtere Ergebnisse erreicht [69, 82]. Petrie et al. [53] bestätigten, dass bei hydrophilisierten A-Silikonen die beste Oberflächengenauigkeit bei trockenen Abformbedingungen erzielt wird. Da insgesamt nur 5 der 180 Abformungen unter feuchten Bedingungen genommen wurden, lässt sich auch an dieser Stelle keine zuverlässige Aussage zur Abformqualität machen (siehe Tabelle 9).

#### **4.7 Fehlerentstehung - Ursachen und Vermeidung**

In dieser Studie wurden sowohl Quantität als auch Qualität der aufgetretenen Fehler erfasst. Es muss im klinischen Kontext nach Ursachen der Fehlerentstehung und Möglichkeiten zur Vermeidung der Fehlerentstehung gesucht werden. Studien über das Entstehen von Fehlern konzentrieren sich hauptsächlich auf die Fehlerentstehung beim Anmischen des Abformmaterials [8, 10, 34, 68] oder die Fehler-

entstehung aufgrund von Fließeigenschaft und Benetzbarkeit des Abformmaterials [2, 38, 45, 62, 67, 78], wie im Folgenden dargestellt.

#### **4.7.1 Perle**

Die Fehlerart „Perle“ zählt zu den positiven Fehlerarten, das heißt, dass später im Gipsmodell überschüssige, im Original nicht vorhandene Substanz abgebildet ist. (siehe Abbildung 9 und 10).

Bei negativen Fehlern hingegen findet man Substanzdefizite im Modell. Für das Entstehen von Perlen macht man Lufteinschlüsse in der Abformmasse, Lufteinschlüsse beim Umspritzen des Stumpfes sowie Präparationsfehler (Unterschnitte) und dadurch bedingte Lufteinschlüsse verantwortlich [29, 34, 67, 68]. Des Weiteren kommen Misch- und Dosierfehler beim Anmischen des Abformmaterials oder ein Verwackeln beim Einbringen der Abformung in den Mund als Fehlerursache infrage [34, 72]. Auch Flüssigkeitsansammlungen am Gingivasaum (z.B. bei Gingivitis), Blutungen aus dem Sulkus oder Restfeuchte des Stumpfes bei schlechter Trockenlegung können zur Perlenbildung beitragen [29, 41]. Die hydrophilen bzw. hydrophoben Eigenschaften und die Viskosität des verwendeten Abformmaterials spielen ebenfalls eine große Rolle [4, 6, 10, 55, 57, 64, 72, 79]. Chong [9, 10] fand eine strenge Korrelation zwischen Kontaktwinkel und Blasenbildung an Präparationsgrenzen und Stumpfkanten. Die hydrophoben Eigenschaften der A-Silikone tragen zur Entstehung dieses Fehlertyps bei [34, 38]. Aus diesem Grund wurden die hydrophilisierten elastomeren Abformstoffe entwickelt, denn eine gute Benetzbarkeit des Abformmaterials führt laut vieler Autoren zu weniger Blasenbildung in der Abformung [9, 27, 34, 36, 37, 69]. Obwohl eine Hydrophilisierung zur Vermeidung der Perlenbildung beiträgt, spielen außerdem noch die Viskosität des Materials und die damit verbundenen Abscherkräfte eine entscheidende Rolle beim Auftreten dieses Fehlers [6, 55]. Das erklärt vielleicht die auf den ersten Blick widersprüchlichen Ergebnisse von Nissan et al. [47] oder Millar et. al. [45] zu zuvor erwähnten Literaturstellen. Beide Autoren fanden bei der Monophasenabformung eher die Tendenz zur Entstehung von Perlen als bei Korrekturabformungen mit A-Silikonem.



Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass die Perle der am häufigsten auftretende Abformfehler ist, der gleichzeitig bei allen drei Abformarten die anteilmäßig häufigste Fehlerart darstellt (siehe Abbildung 17, Tabelle 10). Wir können die Beobachtung unterstützen, dass Perlen deutlich häufiger bei Monophasenabformungen als bei Doppelmisch- oder Korrekturabformungen auftreten. Als Hinweis auf die Fehlerentstehung zeigen die vorliegenden Daten, dass die Wahrscheinlichkeit einer Perlenentstehung bei vorhandener Blutung erhöht ist (siehe Abbildung 5 und 7). Zum Einfluss feuchter Abformbedingungen kann aufgrund der geringen Häufigkeit in dieser Arbeit keine Aussage getroffen werden.

Zur Vermeidung der Perlenbildung wird ein konsequentes Management in der Trockenlegung des abzuformenden Bereiches gefordert [4, 6, 8, 25, 29, 42, 53, 69, 78, 82]. Das Erreichen homogener, blasenfreier Mischungsverhältnisse durch Automischgeräte [46, 54] und ein exaktes Umspritzen der Präparation ohne Absetzen der Mischkanüle zur Verhinderung von Lufteinschlüssen ist anzustreben [4, 10, 29, 34, 68].

#### **4.7.2 Vertikale und horizontale Falte**

Die vertikale und horizontale Falte wird von mehreren Autoren als typische Fehlerart bei der Doppelmischabformung genannt. Sie wird als „Saugnase“ beschrieben, die durch Verdrängung und Faltung des Abformmaterials beim Einbringen des Abformlöffels und unzureichendes Anfließen an Unterschnitten in Einschubrichtung des Abformlöffels entsteht [78]. Balkenhol et al. [3] und Kurtzmann et. al. [29] begründen ein vermehrtes Auftreten von Saugnasen und Fließfalten mit den unterschiedlichen Viskositäten und Oberflächenspannungen der Abformmaterialien bei Doppelmischabformungen. Dadurch komme es zu einer schlechten Verbindung beider Materialien und konsekutiv zu Schiebeeffecten. Rehmann et. al. [58] führt ebenso wie Stewardson [69] und Wöstmann [78] die Ausbildung von Fließfalten bei Doppelmischabformungen auf die Verwendung von Puttymassen als Löffelmaterial und dessen schlechte Fließeigenschaften zurück. Durch einen zu geringen Staudruck werde die Adaptation der dünnfließenden Phase in unterschnittige Bereiche behindert. Des Weiteren wird die Temperaturempfindlichkeit der A-Silikone bei Polymerisation als Ursache für die Entstehung von

Verziehungen und Faltungen genannt. Die Stumpfwärme, welche beim Umspritzen des Stumpfes eine vorzeitige Polymerisation der dünnfließenden Phase in Gang setzt, begünstigt Schiebeeefekte, wenn anschließend der Abformlöffel mit dem Putty-Material darüber gesetzt wird. Es kommt zur Zusammenfaltung der dünnen hautartigen Strukturen [69].

Auch die Ergebnisse dieser Arbeit sprechen für ein gehäuftes Auftreten von vorzugsweise vertikalen, aber auch horizontalen Falten bei der Doppelmischabformung im Vergleich zur Monophasen- oder Korrekturabformung (siehe Tabelle 10). Auffälligerweise sind bei der Monophasen- und Korrekturabformung meist die mit Romeo bewerteten Abformungen von einer Faltenbildung betroffen. Das lässt sich damit erklären, dass vertikale Falten selten direkt im Bereich der Präparationsgrenze auftreten und dadurch nicht im Zusammenhang mit der Romeo/ Sierra/ Victor-Bewertung standen.

Empfehlungen zur Vermeidung von Fließfahnen oder Falten belaufen sich auf die dorsale und palatinale Abdämmung des konfektionierten Abformlöffels [49] oder die Verwendung eines individuellen Löffels [77], um einen höheren Anfließdruck zu erreichen. Richards et. al. [59] empfehlen, dass das Mischen des Putty-Materials durch die Assistenz erst erfolgt, wenn bereits mit dem Umspritzen begonnen wurde. Außerdem sollte der Abformlöffel dann innerhalb von 60 Sekunden ab Anmischbeginn platziert sein, um Verschiebeeefekte durch einen bereits begonnenen Abbindevorgang zu vermeiden. Stewardson spricht sich zusätzlich noch für ein Kühlen des Abformmaterials aus [69].

#### **4.7.3 Polymorphes Gebilde**

Ein polymorphes Gebilde stellt eine Kombination verschiedener Fehlertypen wie z.B. von Perlen und Fließfalten dar [27]. Als Ursachen kommen dementsprechend die unter 4.7.1. und 4.7.2. genannten Umstände infrage.

Dass die Korrekturabformung in dieser Untersuchung signifikant seltener polymorphe Gebilde aufwies als Mono- und Doppelmischabformung (s. Tab. 10), lässt sich leicht mit dem Entstehungsmodus dieses Fehlers erklären. Hierbei treffen Umstände aufeinander, die normalerweise Perlen in Monophasenabformungen und

Falten in Doppelmischabformungen begünstigen und generell seltener bei Korrekturabformungen vorkommen.

Zur Reduktion des Auftretens polymorpher Gebilde gelten im Allgemeinen die Empfehlungen zur Vermeidung der zuvor genannten Fehlertypen unter 4.7.1. und 4.7.2. Darunter fällt der Einsatz von Automixsystemen [10, 34, 64] genauso wie ein vollständiges Umspritzen des Stumpfes, besonders bei monophasischen Abformungen [29, 45, 72]. Eine exakte Trockenlegung, die Verwendung von Doppelfadentechnik und individualisierten Metalllöffeln hilft auch an dieser Stelle, entsprechende Abformfehler zu vermeiden [6, 30, 33, 37, 55, 69, 72].

#### **4.7.4 Andere Fehler**

Andere Fehler sind negative Fehler und werden als Luftporen im Gipsmodell beschrieben. Ihr Auftreten wird in der Literatur damit erklärt, dass bei der Polymerisation der A-Silikone gebildeter Wasserstoff in das Modell freigesetzt wird, wenn die Zeitspanne zwischen Entnahme der Abformung aus dem Mund und Ausgießen laut Herstellerangabe nicht beachtet wird [8, 10, 29, 34, 41, 67].

Des Weiteren sind hydrophobe Eigenschaften der A-Silikone verantwortlich für ein schlechteres Anfließen des Gipses an die Oberfläche der Abformung und eine damit verbundene Häufung von Blasenbildung durch Luftporen [31, 34, 38, 55]. Polyether neigen auf Grund ihrer hydrophileren Eigenschaften und einer fehlenden Wasserstoffabspaltung beim Abbindevorgang zu einer geringeren Zahl an anderen Fehlern. Die bessere Benetzbarkeit und der kleinere Kontaktwinkel führen bei Polyethern zu einem erleichterten Anfließen des Gipses an die Oberfläche des Abformmaterials während der Modellherstellung und geringerer Blasenbildung [9, 34, 49, 67].

Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen, dass bei der Verwendung von Polyethermaterialien signifikant weniger andere Fehler aufweisen als bei A-Silikonematerialien. Diese Fehlerart ist unabhängig von der Abformmethode, da sie erst nach der Abformung beim Abbinden und der Modellherstellung entsteht.

Werden zur Abformung A-Silikone verwendet, sollte aufgrund der Wasserstoffbildung beim Abbindevorgang zur Vermeidung anderer Fehler die vom Hersteller geforderte Wartezeit bis zur Modellherstellung genau eingehalten werden [8, 10, 34]. Die Verwendung von lokalen oberflächlichen Netzmitteln bei der Modellherstellung verbessert ebenfalls die Benetzbarkeit des Abformmaterials und senkt somit die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Blasen im Gipsmodell [27, 31, 44, 49].

## **5 Zusammenfassung**

Die intraorale Abformung stellt eines der wichtigsten Maßnahmen in der prothetischen Rehabilitation des stomatognathen Systems dar. Die Genauigkeit der Abformung bestimmt entscheidend den langfristigen Erfolg des anzufertigenden Zahnersatzes. Ziel dieser Arbeit war es, die klinische Abformgenauigkeit unter Praxisbedingungen anhand einer quantitativen und qualitativen Modelanalyse hinsichtlich Fehlerhäufigkeiten und -arten zu beurteilen.

Dazu wurden die Verfahren Doppelmisch-, Korrektur- und Monophasenabformung in vivo bei 60 Probanden angewendet. Der behandelnde Zahnarzt führte zuerst eine qualitative Beurteilung der Abformungen und anschließend eine quantitative und qualitative Analyse der resultierenden Modelle durch.

Es zeigte sich, dass die Darstellung der Präparationsgrenze in der Korrekturabformung durch den Behandler signifikant besser eingeschätzt wurde, als bei den anderen beiden Verfahren. In der objektiven Modellanalyse konnte jedoch bewiesen werden, dass keine signifikanten Unterschiede in der Qualität von Doppelmisch- und Korrekturabformung bestehen. Lediglich die Monophasenabformung zeigte eine der subjektiven schlechteren Einschätzung entsprechende signifikant schlechtere Darstellung der Präparationsgrenze. Als Ursache für die subjektiv bessere Einschätzung der Korrekturabformung vermutet der Autor den höheren Stempeldruck und die dadurch entstehenden, deutlich sichtbareren Pressfahnen bei der Er- oder Überfassung der Präparationsgrenze während dieses Verfahrens.

Hinsichtlich der Untersuchung auftretender Fehlerarten konnte festgestellt werden, dass die Perle bei allen drei Abformarten anteilmäßig die häufigste Fehlerart darstellt. Vertikale Falten wurden bei der Doppelmischabformung signifikant häufiger als bei den anderen beiden Verfahren gefunden. Das Auftreten der verschiedenen Fehlerarten ist größtenteils auf die Materialeigenschaften der verwendeten Abformmasse zurückzuführen.

Im Ergebnis dieser Untersuchung ergibt sich eine gleichwertige Abformqualität von Korrektur- und Doppelmischverfahren unter klinischen Bedingungen. Das Einhalten klinischer Kautelen wie Blut- und Speichelfreiheit des abzuformenden Stumpfes sowie das Wissen des behandelnden Zahnarztes um chemische und physikalische Eigenschaften der verwendeten Materialien und nicht zuletzt die korrekte Einschätzung des Abformergebnisses stellen die größten Einflussfaktoren für die Qualität einer Abformung dar.

## **6 Summary**

One of the most important tasks in prosthodontic oral rehabilitation is intraoral impressioning. The precision of the impression is decisive for the long-term success of restorations. Aim of this study was to quantitatively and qualitatively determine the clinical impression precision and to assess the kind and number of errors in a gypsum model.

For this purpose, the impression techniques one-stage two-phase (double mix), two-stage two phase (putty-and-wash) and one-stage one-phase (Monophase) were applied in vivo at 60 patients. The treating dentist first did a quality check on the impressions and then performed the quantitative and qualitative gypsum model analysis.

As a result, the subjective rating of the representation of the preparation line in the impression was evaluated significantly better using the putty-and-wash technique compared to the other two impression techniques. However, the objective model analysis showed that there were no significant differences between putty-and-wash and double mix impressions. Only the Monophase impressions showed a worse subjective rating concerning the representation of the preparation line, which correlated with the objective analysis. The author assumes that the reason for the better subjective rating is the clearly visible thin layer of impression material exceeding the preparation line due to the necessary compression in putty-and-wash impressions.

Among the identified kinds of errors occurring in gypsum models the pearls were the most frequent errors for all three impression techniques. Vertical folds appeared significantly more often in double mix impressions. The different kinds of occurring errors are due to the properties of the impression materials.

Under clinical conditions, putty-and-wash as well as double mix impression technique showed equal impression quality. The most important clinical parameters for

impression quality were absence of blood and moisture, dentists' knowledge about chemical and physical material properties and, not least, the correct assessment of the impression results.



## 7 Literaturverzeichnis

1. Aramouni P, Millstein P: Comparison of accuracy of two removable die systems with intact working casts. *Int J Prosth* 6: 533-539 (1993)
2. Bader F, Setz J: Benetzbarkeit und Wiedergabegenauigkeit von Abformmassen. *Dtsch Zahnärztl Z* 46: 346-348 (1991)
3. Balkenhol M, Rehmann P, Siemer A, Ferger P, Wöstmann B: Die Präzisionsabformung. Materialimmanente und verfahrenstechnische Einflussfaktoren. Teil 1- Die Dimensionstreue. *ZWR- Das Deutsche Zahnärzteblatt* 114: 243-247 (2005)
4. Balkenhol M, Rehmann P, Eichhorn M, Noack T, Ferger P, Wöstmann B: Die Präzisionsabformung: Materialimmanente und verfahrenstechnische Einflussfaktoren. Teil 3: Hydrophilie. *ZWR- Das Deutsche Zahnärzteblatt* 114: 162-170 (2005)
5. Blößer T: Die unterschiedliche Gestaltung der Präparationsgrenze und deren Einfluss auf Randschlussgenauigkeit von hochgoldhaltigen Vollgussrestorationen. *Med Dissertation, Universität Gießen* (2000)
6. Boenig KW, Walter MH, Schuette U: Clinical significance of surface activation of silicone impression materials. *J Dent* 26: 447-452 (1998)
7. Chee WWL, Donovan TE: Fine detail reproduction of very high viscosity poly(vinyl siloxane) impression materials. *Int J Prosthodont* 2: 368-370 (1989)
8. Chee WWL, Donovan TE: Polyvinyl siloxane impression materials: A review of properties and techniques. *J Prosthet Dent* 68: 728-732 (1992)
9. Chong YH, Soh G, Setchell DJ, Wickens JL: The relationship between contact angles of die stone on elastomeric impression materials and voids in stone casts. *Dent Mater* 6: 162-166 (1990)
10. Chong YH: The effect of mixing method on void formation in elastomeric impression. *Int J Prosth* 2: 323-326 (1989)
11. Corso M, Abanomy A, Canzio JD, Zurakowski D, Morgano StM: The effect of temperature changes on the dimensional stability of polyvinyl siloxane and polyether impression materials. *J Prosthet Dent* 79: 626-631 (1998)
12. Craig RG, O'Brien WJ, Powers JM: *Dental materials. Properties and manipulation.* Mosby, St Louis, S.169-173 (1996)

13. Deutrich U, Jepp R: Hilfsmittel zur Gingivaretraktion. Zahn Prax 5: 528-235 (2002)
14. Donovan TE, Chee WWL: A review of contemporary impression materials and techniques. Dent Clin North Am 48: 445-470 (2004)
15. Dumfahrt H, Schäffer H: Zum Dimensionsverhalten bei verschiedenen Abformverfahren mit gummielastischen Massen in der Inlay-, Kronen- und Brückentechnik. Z Stomatol 84: 231-239 (1987)
16. Eichhorn M: Die Hydrophilie experimenteller A-Silikone während der Abbindephase unter Berücksichtigung der Verarbeitungszeit. Med Dissertation, Universität Gießen (2007)
17. Fenske C, Saddat-Khonsari MR, Dade E, Jüde HD, Gütschow F: Der Einfluss verschiedener Monophasenabformmaterialien auf die Dimensionstreuung von Modellstümpfen. ZWR- Das Deutsche Zahnärzteblatt 107: 749-752 (1998)
18. Fenske C, Sadat-Khonsari MR, Stroink M, Jüde HD: Der Einfluss des Präparationswinkels auf die Dimensionstreuung von Modellstümpfen unter Berücksichtigung der Abformtechnik. ZWR- Das Deutsche Zahnärzteblatt 109: 381-386 (2000)
19. Fenske C, Sadat-Khonsari MR, Jüde HD: Der Einfluss verschiedener Abformtechniken auf die Dimensionstreuung von Modellstümpfen. Dtsch Zahnärztl Z 56: 35-38 (2001)
20. Fuhr K, Reiber T: Kronenprothetik. Urban und Schwarzenberg, München Wien Baltimore, S. 80-83 (1996)
21. Hung SH, Purk JH, Tira DE, Eick JD: Accuracy of one-step versus two-step putty wash addition silicone impression technique. J Prosthet Dent 67: 583-589 (1992)
22. International Standards Organization. Dental elastomeric impression material ISO 4823-1992. Section 5.11 Detail reproduction. Stand alone document. Chicago, American Association Department of Standards Administration (1992)
23. ISO 4823: 2000 Dentistry-elastomeric impression materials. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland (2000)

24. Jagger DC: The effect of range of disinfectants on the dimensional accuracy. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 12: 154-160 (2004)
25. Johnson GH, Lepe X, Chee At: The effect of surface moisture on detail reproduction of elastomeric impressions. *J Prosthet Dent* 10: 354-364 (2003)
26. Kern M: Aktueller Stand der CAD/CAM-Technologie für Zahnrestaurationen. *ZWR- Das Deutsche Zahnärzteblatt* 111: 621-624 (2002)
27. Kirchhübel C: Fehleranalyse der Abformung nach dem Doppelmischverfahren in Abhängigkeit von Präparationsform und Abformmaterial. *Med Dissertation, Universität Dresden* (1999)
28. Koniaris A: Vergleich von derzeit gebräuchlichen Abformmaterialien und Abformtechniken mit Hilfe eines Sulkus-Fluid-Modells. *Med Dissertation, Universität Gießen* (1999)
29. Kurtzmann GM, Strassler HE: Identification and correction of common impression concerns: Protocol and considerations. *Pract Proced Aesthet Dent* 16: 377-382 (2004)
30. Lamy M, Mainiot A: Les empreintes globales en prothese fixee. *Rev Belge Med Dent* 3: 168-180 (2001)
31. Lehmann KM: Abformmaterialien, Abformmethoden und Modellherstellung für Kronen und Brücken. *ZWR- Das Deutsche Zahnärzteblatt* 96: 914-917 (1987)
32. Lehmann GM, Gobbers R, Hoederath JK, Holper G: Die Genauigkeit von Modellstümpfen für Kronen und Brücken. *Dental Labor* 4: 415-417 (1984)
33. Lehmann KM, Burgdorf HD: Untersuchungen zu einzeitigen Abformverfahren für Kronen und Brücken (Doppelmischabdruck). *ZWR- Das Deutsche Zahnärzteblatt* 87: 434-436 (1978)
34. Lehner CR, Schärer P: Abformmaterial in der Kronen- und Brückenprothetik. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 101: 629-639 (1991)
35. Loe H, Silness J: Periodontal disease in pregnancy. I. Prevalence and severity. *Acta Odontol Scand* 21: 533-551 (1963)
36. Lu H, Nguyen B, Powers JM: Mechanical properties of 3 hydrophilic addition silicone and polyether elastomeric impression materials. *J Prosthet Dent* 92: 151-154 (2004)

37. Luthardt R: Eine quantitative und qualitative Analyse der 3-D-Genauigkeit zahnärztlicher Abformungen. Med Habilitationsschrift, Universität Dresden (2002)
38. Luthardt R, Holzhüter M: Untersuchungen zur 3-D-Genauigkeit von Polyether-Einphasen-Abformungen. ZWR- Das Deutsche Zahnärzteblatt 5: 224-230 (2002)
39. Luthardt R, Sandkuhl O, Brakhage P, Kümstedt P, Lazarek K: Analyse einzelner Fehlerquellen innerhalb der Verfahrenskette Abformung, Modellherstellung, Digitalisierung. Dtsch Zahnärztl Z 54: 627-630 (1999)
40. Luthardt R, Koch R, Rudolph H, Walther M: Qualitative computer aided evaluation of dental impressions in vivo. Dent Mater 22: 69-76 (2006)
41. Mandikos MN: Polyvinylsiloxane impression materials: An update on clinical use. Aust Dent J 43: 428-434 (1998)
42. Marxkors R: Korrekturabdruck und Doppelmischverfahren. Proth Zahnheilkunde 9: 51-59 (1967)
43. Mehl A: CAD/CAM- Fertigungsverfahren- neue Ansätze und Wege. ZWP- Zahnarzt Wirtschaft Praxis 7: 16-19 (2003)
44. Millar BJ, Dunne SM, Robinson PB: An in vitro study of a clinical surfactant used with poly(vinylsiloxane) impression materials. Quintessence Int 27: 707-709 (1996)
45. Millar BJ, Dunne StM, Robinson PB: In vitro study of the number of surface defects in monophasic and two-phase addition silicone impressions. J Prosthet Dent 80: 32-35 (1998)
46. Morgano StM, Malone WFP, Gregoire SE, Goldenberg BS: Tissue management with dental impression materials. Am J Dent 2: 279-284 (1989)
47. Nissan J, Laufer BZ, Brosh T, Assif D: Accuracy of three polyvinyl siloxane putty wash impression techniques. J Prosthet Dent 83: 161-165 (2000)
48. Noack T, Balkenhol M, Ferger P, Wöstmann B: Klinisch erreichbare Abformgenauigkeit von A-Silikon. ZWP- Zahnarzt Wirtschaft Praxis Spezial 2: 16-19 (2006)
49. Panichuttra R, Jones MR, Goodacre CH, Munoz CA, Moore BK: Hydrophilic poly(vinylsiloxane) impression materials: Dimensional accuracy, wettability and effect on gypsum hardness. Int J Prosth 4: 240-248 (1991)

50. Panmeijer JHN, Westermann W: Von der erreichbaren Genauigkeit festsitzender Restaurationen. ZWR- Das Deutsche Zahnärzteblatt 91: 46-49 (1982)
51. Perakis N, Belser UC, Magne P: Final impression: A review of material properties and description of a current technique. Int J Periodontics Restorative Dent 24: 109-117 (2004)
52. Peroz I, Börsch CH: Dimensionsgenauigkeit festsitzender Restaurationen. Dtsch Zahnärztl Z 53: 740-744 (1998)
53. Petrie CS, Walker MP, O`Mahony AO, Spencer P: Dimension accuracy and surface detail reproduction of two hydrophilic vinyl polysiloxane impression materials tested und dry, moist and wet conditions. J Prosthet Dent 90: 365-372 (2003)
54. Piwowarzyk A, Paffrath MCH: Die Abformung - was ist zu bedenken? ZMK- Zahnheilkunde Management Kultur 10: 654-669 (2008)
55. Pratten DH, Novetsky M: Detailreproduction of soft tissue: A comparison of impression materials. J Prosthet Dent 65: 188-191 (1991)
56. Quaas S, Weber A, Luthardt R: Die Anwendung dentaler CAD/CAM- Verfahren in der Praxis. ZWR- Das Deutsche Zahnärzteblatt 115: 504-512 (2006)
57. Rehmann P, Noack T, Balkenhol M, Ferger P, Wöstmann B: Die Heavy-Body- Wash- Technik als Abformverfahren in der Implantatprothetik. ZWR- Das Deutsche Zahnärzteblatt 115: 504-512 (2006)
58. Rehmann P, Wöstmann B: Präzise abgeformt. Dental Magazin 5: 34-38 (2008)
59. Richards MW, Zeiaei S, Bagby MD, Okubo S, Soltani J: Working times and dimensional accuracy of the one-step putty/wash impression technique. J Prosthodont 7: 250-255 (1998)
60. Rudolph H, Quaas S, Koch M, Preißler J, Koch R, Luthardt R: Randomisierte, kontrollierte klinische Blindstudie: Zeitregime versus 3D-Genauigkeit von Abformungen. Dtsch Zahnärztl Z 60: 695-701 (2005)
61. Rupp F: Bedeutung der relativen Luftfeuchtigkeit für die Hydrophilie nicht abgebundener elastomerer Abformmaterialien. ZMK- Zahnheilkunde Management Kultur 7/8: 498-502 (2008)

62. Rupp F, Axmann D, Jacobi A, Groten M, Geis-Gersdorfer J: Hydrophilicity of elastomeric non-aqueous impression materials during setting. *Dent Mater* 21: 94-102 (2005)
63. Rupp F, Lee HR, Axmann D, Groten M, Geis-Gersdorfer J: Quantifizierung der Benetzungseigenschaften von hydrophilierten A- Silikonen und Polyethern während der Applikationsphase. *Dtsch Zahnärztl Z* 60: 587-592 (2005)
64. Samet N, Shohat M, Livny A, Weiss E: A clinical evaluation of fixed partial denture impression. *J Prosthet Dent* 94: 112-117 (2005)
65. Schmidt M, Küpper H, Schilling H: Modellsysteme auf dem Prüfstand. *ZMK-Zahnheilkunde Management Kultur* 18: 58-64 (2002)
66. Silness J, Loe H: Periodontal disease in pregnancy. II. Correlation between oral hygiene and periodontal condition. *Acta Odontol Scand* 22: 121-135 (1964)
67. Soh G, Chong YH: The relationship between critical convergence angle and surface defects in stone casts. *Quintessence Int* 21: 675-679 (1990)
68. Steackhouse JA, Harris WT, Mansour RM, von Hagen ST: A study of bubbles in a rubber elastomer manipulated under clinical conditions. *J Prosthet Dent* 57: 591-596 (1987)
69. Stewardson DA: Trends in indirect dentistry: 5 impression materials and techniques. *Dent Update* 32: 374-393 (2005)
70. Stoll R, Segschneider F, Stachniss V, Jürgenson R: Zur Formhaltigkeit hydrophiler Abformmaterialien nach Behandlung mit einem Desinfektionsmittel. *Dtsch Zahnärztl Z* 46: 718-721 (1991)
71. Trost D: Korrekturabformung versus Doppelmischabformung in Abhängigkeit der Präparationsform und der Eröffnung des Sulcus mittels Gingivektomie und Retraktionsfäden zur besseren Darstellung der Präparationsgrenze bei festsitzenden prothetischen Rekonstruktionen-eine in vitro Untersuchung. *Med Dissertation, Universität Gießen* (2001)
72. Vakay RT, Kois JC: Universal paradigms for predictable final impressions. *Compendium* 26: 199-206 (2005)
73. Wichmann W, Borchers L, Limmroth E: Bestimmung der Abformgenauigkeit verschiedener Elastomere mit Hilfe einer 3D- Koordinatenmeßmaschine. *Dtsch Zahnärztl Z* 45: 499-502 (1990)

74. Wichmann M, Borchers L: Bestimmung der Abformgenauigkeit verschiedener Elastomere. Teil 2. Dtsch Zahnärztl Z 47: 88-91 (1992)
75. Williams JR, Craig RG: Physical properties of addition silicones as a function of composition. J Oral Rehabil 15: 639-50 (1988)
76. Winstanley RB, Carotte PV, Johnson A: The quality of impression for crowns and bridges received at commercial dental laboratories. Br Dent J 183: 209-213 (1997)
77. Wöstmann B: Die Abformung als Grundlage für eine langfristige prothetische Versorgung. ZM- Zahnärztliche Mitteilungen 21: 32-39 (2005)
78. Wöstmann B: Die Abformung präparierter Zahnhartsubstanz. ZM- Zahnärztliche Mitteilungen 10: 40-49 (1999)
79. Wöstmann B: Vergleich von hand- und maschinengemischten Abformmassen (Pentamix System). ZWR- Zahnarzt Wirtschaft Praxis 5: 227-232 (2000)
80. Wöstmann B: Klinische Bestimmungsvariablen bei der Abformung präparierter Zähne. Stomatologie 93: 51-57 (1996)
81. Wöstmann B: Wie genau lassen sich präparierte Zähne am Patient abformen? ZWR- Das Deutsche Zahnärzteblatt 105: 247-250 (1996)
82. Wöstmann B, Koniaris A, Ferger B: Der Einfluss von Feuchtigkeit auf die Abformgenauigkeit in einem Sulcus- Fluid-Flow- Modell. Dtsch Zahnärztl Z 54: 631-633 (1999)
83. Wöstmann B: Die Abformung: Tipps zur Standardisierung. Dtsch Zahnärztl Z 64: 142-146 (2009)

## **8 Danksagung**

Ich möchte mich herzlich bei Herrn Professor Dr. Ralph G. Luthardt für die Überlassung des interessanten Themas sowie für die während des gesamten Zeitraumes der Entstehung dieser Arbeit hervorragende Betreuung und Unterstützung bedanken, ohne die diese Arbeit nicht hätte umgesetzt werden können.

Mein ganz besonderer Dank gilt auch Frau Dr. Heike Rudolph für die statistische Auswertung der ermittelten Daten, vor allem aber für ihren kompetenten Rat in allen fachlichen Fragen, ihre Motivation und unendliche verständnisvolle Geduld vom Anfang bis zur Fertigstellung dieser Arbeit.

Großer Dank gilt meinem Mann Siegfried für die Ausführung der zahntechnischen Modellarbeiten und meiner Tochter Franziska, die mir mit konstruktiven Diskussionen in allen fachlichen und förmlichen Fragen ebenfalls geduldig zur Seite stand. Ohne die Motivation und liebevolle Unterstützung meiner Familie in allen Lebenslagen wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.



## **9 Lebenslauf**

### **Persönliche Daten**

Name: Helga Brigitte Reichardt (geborene Schmutzler)  
Geburtsdatum: 25.03.1956  
Geburtsort: Zwickau  
wohnhaft in: Bergstraße 5, 08132 Mülsen

### **Schulbesuch**

1962 - 1970 Grundschule Mülsen St. Micheln  
1970 – 1972 Polytechnische Oberschule Mülsen St. Jacob  
1972 – 1974 Käthe-Kollwitz-Gymnasium Zwickau  
Juni 1974 Allgemeine Hochschulreife am Käthe-Kollwitz-Gymnasium  
Zwickau

### **Studium**

1974 – 1979 Studium der Zahnmedizin an der Universität Leipzig  
31.08.1979 Abschluss des zahnmedizinischen Studiums mit staatlicher  
Hauptprüfung an der Universität Leipzig  
31.08.1979 Erlangung des akademischen Grades „Diplom-Stomatologe“ an  
der Universität Leipzig  
27.07.1979 Approbation als Zahnärztin

### **Beruf**

September 1979 -  
April 1991 Tätigkeit als Zahnärztin im „Landambulatorium Thurm“  
12.04.1985 Fachzahnärztin für Allgemeine Stomatologie  
seit 01.05.1991 Tätigkeit in eigener allgemeinzahnärztlicher Niederlassung

Mülsen, den

---

Dipl.-Stom. Brigitte Reichardt

## 10 Publikationen

Luthardt RG, Reichardt B, Schneider S, Quaas S, Rudolph H

Precision of master-casts made from one- and two-stage-impressions: a RCT.

IADR/AADR/CADR 89th General Session and Exhibition in San Diego, March 16-19th, 2011, Oral Presentation No. 146042

J Dent Res 2011; 90 (Special Issue A): Abstract No. 146042

Luthardt R, Reichardt B, Schneider S, Quaas S, Rudolph H

Accuracy of one- and two stage impression techniques – A randomized controlled trial.

44th meeting of the CED, NOF and ID in Munich, September 9-12th 2009, Munich, #0038

J Dent Res 2009; 88 (Special Issue B): Abstract No. 0038 (CED, NOF and ID, URL:<http://www.dentalresearch.org>)

Luthardt R, Reichardt B, Schneider S, Quaas S, Rudolph H

Abformgenauigkeit unter Praxisbedingungen – eine randomisierte, kontrollierte, klinische Studie

Deutscher Zahnärztetag 2009, 133. Jahrestagung der DGZMK (Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde) zusammen mit DGZPW Jahrestagung, 6.-9.11.2009, München, Abformung #1

Dtsch Zahnärztl Z 2009; 64 (11): D49