Untersuchungen zur Dimensionswiedergabe von Korrekturabformungen in Abhängigkeit von der Shore-A-Härte des Vorabformmaterials und der Fließfähigkeit des Korrekturmaterials

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde

des Fachbereichs Medizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von: Hegemann, Heidi

aus Papenburg

Gießen (2010)

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

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

Des Universitätsklinikums Gießen und Marburg GmbH

Standort Gießen

Direktor: Prof. Dr. B. Wöstmann

Gutachter: Prof. Dr. B. Wöstmann Gutachter: Prof. Dr. U. Lotzmann

Tag der Disputation: 27. September 2010

Widmung

Meinen lieben Eltern, Hans und Agnes Hegemann, in Dankbarkeit für ihre liebevolle Begleitung und großzügige Unterstützung meines bisherigen Berufs- und Lebensweges.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG
2	LITERATURÜBERSICHT
	2.1. Geschichte der Korrekturabformung5
	2.2. Silikon als Abformwerkstoff
	2.3. Endogene Spannungen und elastisches Verhalten9
	2.4. Ansätze und Untersuchungen zur Verbesserung der Dimensionstreue bei Korrekturabdrücken
	2.5. Literaturübersicht zur Modellherstellung16
	2.6. Literaturübersicht zur Modellvermessung17
	2.7. Die Shore-Härte19
	2.8. Rundheit
3	ZIEL DER ARBEIT
3 4	ZIEL DER ARBEIT
3 4	ZIEL DER ARBEIT
3	ZIEL DER ARBEIT21MATERIAL UND METHODE224.1. Verwendete Materialien224.2. Versuchsplanung24
3	ZIEL DER ARBEIT21MATERIAL UND METHODE.224.1. Verwendete Materialien224.2. Versuchsplanung244.3. Urmodell26
3	ZIEL DER ARBEIT21MATERIAL UND METHODE.224.1. Verwendete Materialien224.2. Versuchsplanung244.3. Urmodell264.4. Durchführung der Abformungen28
3	ZIEL DER ARBEIT.21MATERIAL UND METHODE.224.1. Verwendete Materialien.224.2. Versuchsplanung.244.3. Urmodell.264.4. Durchführung der Abformungen.284.5. Modellherstellung.29
3	ZIEL DER ARBEIT21MATERIAL UND METHODE224.1. Verwendete Materialien224.2. Versuchsplanung244.3. Urmodell264.4. Durchführung der Abformungen284.5. Modellherstellung294.6. Modellvermessung30
3	ZIEL DER ARBEIT21MATERIAL UND METHODE224.1. Verwendete Materialien224.2. Versuchsplanung244.3. Urmodell264.4. Durchführung der Abformungen284.5. Modellherstellung294.6. Modellvermessung304.7. Statistische Auswertung der Messwerte32
3 4 5	ZIEL DER ARBEIT21MATERIAL UND METHODE224.1. Verwendete Materialien224.2. Versuchsplanung244.3. Urmodell264.4. Durchführung der Abformungen284.5. Modellherstellung294.6. Modellvermessung304.7. Statistische Auswertung der Messwerte32ERGEBNISSE34

	5.2. Einfluss der untersuchten Parameter auf die
	Durchmesserabweichung35
	5.3. Einfluss der untersuchten Parameter auf die Rundheitsabweichung 49
	5.4. Einfluss der untersuchten Parameter auf die
	Stumpfhöhenabweichung62
	5.5. Unterschiede in der Durchmesserabweichung und der
	Rundheitsabweichung zwischen den fünf Messkreisen 75
6	DISKUSSION
7	ZUSAMMENFASSUNG
8	LITERATURVERZEICHNIS
9	ANHANG105
1() ERKLÄRUNG
11	DANKSAGUNG

1 Einleitung

Obwohl heute bereits intraorale Scan-Verfahren zur optischen Abformung entwickelt werden, ist es in der Regel immer noch so, dass Zahnersatz nach Abformung und Modellherstellung auf einem Gipsmodell hergestellt wird. Abformung und Modellherstellung nehmen dabei einen zentralen Schritt für die Passgenauigkeit des angefertigten Zahnersatzes ein.

Stimmt die Modellsituation exakt mit der Situation im Mund des Patienten überein, ist es für den Zahntechniker möglich, Kronen mit einem sehr guten Randschluss herzustellen. Die möglichst genaue Passung einer Krone an der Präparationsgrenze ist eine Vorraussetzung für die Langlebigkeit der eingesetzten Krone und des überkronten Zahnes im Mund [56, 57]. Dabei ist ein Zementspalt von im Mittel 50µm zahntechnisch problemlos erreichbar [12, 43].

Zudem wird durch das Eingliedern eines solchen optimal passenden Zahnersatzes das Parodontium möglichst wenig geschädigt [18, 20].

Für die exakte Wiedergabe der Mundsituation auf dem Modell sind zwei Punkte von besonderer Bedeutung: Zum einen die Detailgenauigkeit der Abformung, besonders im Bereich der Präparationsgrenzen, zum anderen die dimensionsgetreue dreidimensionale Wiedergabe der abgeformten Stümpfe und der Spannen zwischen ihnen.

Ersteres ist für die genaue Modellation der Kronenränder unabdingbar, bei letzterem würde eine im Ganzen zu kleine oder zu große Krone hergestellt, die sich im Mund entweder nicht bis zur Präparationsgrenze einsetzen ließe oder die einen zu großen Randspalt aufwiese, obwohl sie am Modellstumpf genau passte. Bei einem zu großen Randspalt dringen Speichel und Bakterien unter die Krone, wodurch der Zahnstumpf schnell kariös zerstört wird. Bei der Anfertigung einer Brücke muss zusätzlich die Brückenspanne auf dem Modell sehr genau wiedergegeben sein, weil sich die hergestellte Brücke im Mund sonst nicht einsetzen ließe. Dasselbe gilt für Modellgussprothesen und für kombiniert festsitzend-herausnehmbaren Zahnersatz.

Schon in der Mitte des 18. Jahrhunderts wurde damit begonnen, die Situation im Patientenmund zu kopieren und wiederzugeben, um außerhalb des Mundes unter besseren Bedingungen prothetische Arbeiten herzustellen. Seitdem wurde ständig weiter untersucht und geforscht, welche Bedeutung ein möglichst genaues Modell hat und wie man dieses herstellen kann.

Neben verschiedenen Materialgruppen für die Abformung und Modellherstellung wurden auch innerhalb der Materialgruppen unterschiedliche Abformtechniken erprobt und weiter verändert, um zu besseren Ergebnissen zu kommen.

Die heute gängigsten Materialien für die Präzisionsabformung sind A-Silikone und Polyether und die gebräuchlichen Abformtechniken sind die Einphasenabformung, die Doppelmischabformung und das Korrekturabdruckverfahren.

Innerhalb dieser bewährten Methoden gibt es auch weiterhin die Möglichkeit und die Notwendigkeit, die Präzision von Abformung und Modellherstellung zu verbessern, um die Qualität des Zahnersatzes zu optimieren.

Wie sich in vielen Studien zum Thema Abformung und Modellherstellung gezeigt hat, haften jeder der oben genannten Techniken und jedem Material verfahrensbedingte und materialbedingte Unzulänglichkeiten an [1, 39, 50, 54, 82, 84, 39, 50].

Bei der Doppelmischtechnik ergeben sich zum Beispiel in vitro sehr gute Abformergebnisse, aber in vivo zeigt sich, dass sich bei dieser Technik, wahrscheinlich durch Speichel und Blut im Sulkus und ungenügenden Staudruck des dünnfließenden Materials, oft Ungenauigkeiten oder fehlende Stellen im Bereich der Präparationsgrenzen ergeben [3, 82, 83, 90].

Die Korrekturabformung, auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll, führt in vielen Fällen zu einer zu klein dimensionierten Wiedergabe der abgeformten Stümpfe. Dieses Problem ergibt sich durch die elastische Rückstellung des Vorabformmaterials, nachdem es in der Korrekturphase vom fließfähigen Material durch den Abformdruck gestaucht wurde [13, 54, 62].

In dieser Studie soll untersucht werden, ob und in welcher Art die Shore-A-Härte des Erstabformmaterials und die Fließeigenschaft des Korrekturmaterials die Dimensionstreue der Korrekturabformung beeinflussen und ob sich diese verbessern lässt, wenn man beide Materialeigenschaften aufeinander abstimmt.

2 Literaturübersicht

Da die Abformung einen so zentralen Schritt in der zahnärztlichen prothetischen Versorgung einnimmt, wurden sehr viele Studien durchgeführt, die sich mit diesem Thema befassen. Eine Verbesserung der Abformgenauigkeit hat viele positive Folgen: Sie führt zu langlebigen prothetischen Arbeiten, was dem Patienten Kosten und Zeit erspart, und beugt Folgeschäden für das Kauorgan vor, wie sie durch ungenügend passenden Zahnersatz ausgelöst werden können. Der Zahnarzt erspart sich dadurch mühsames Einschleifen der Okklusion und Approximalkontakte am Patientenstuhl oder sogar die Wiederholung einer nicht passenden Arbeit.

2.1. Geschichte der Korrekturabformung

Das Verfahren der Korrekturabformung mit Silikonen wurde erstmals 1956 von Stahl unter der Bezeichnung "Doppelabdruckverfahren" beschrieben [76]. Als Erstabdruckmaterial verwendete Stahl eine thermoplastische Kompositionsmasse und als Zweitmaterial ein fließfähiges Silikon. Dabei ergab sich als Schwierigkeit die schlechte Haftung der zweiten Phase aus Silikon am Vorabdruck. Wenn sich diese löste, war der Abdruck nicht mehr zu gebrauchen. Trotzdem stellte das neue Abformungsverfahren eine große Arbeitserleichterung dar, da vorher Präzisionsabformungen zur Kronen- und Brückenherstellung mit Kupferringen und Kerrmasse genommen wurden.

Von Hofmann wurde 1965 das Doppelabdruckverfahren weiterentwickelt und publiziert [29]. Hofmann verwendete an Stelle der thermoplastischen Masse als Vorabdruckmaterial ein zähplastisches Silikon, an dem das Korrekturmaterial sehr gut haftete. Das Doppelabdruckverfahren wurde von Hofmann als Korrekturabdruck bezeichnet, weil in seiner Modifikation des Verfahrens der Vorabdruck nicht, wie bei Stahl, durch Bewegungen während des Erstabdrucks geweitet wurde, sondern bereits ziemlich genau sein sollte und die zweite Phase der Abformung nur zur Feinkorrektur diente. Auch der Nachteil der Verwendung von zähplastischem Silikon als Erstabdruckmaterial anstelle der thermoplastischen Kompositionsmasse, nämlich die elastische Rückstellung des Silikons und die daraus resultierende Schwierigkeit der zu kleinen Stumpfwiedergabe, wurde schon in der Beschreibung von Hofmann von 1965 angesprochen. Das Problem der nicht absolut dimensionsgetreuen Wiedergabe der abgeformten Stümpfe begleitet also die Korrekturabformung von Anfang an. Die dann erfolgten zahlreichen Studien zu diesem Thema haben zu vielen, heute selbstverständlichen, Verbesserungen geführt, die die Dimensionsgenauigkeit dieses Abformverfahrens erhöht haben.

2.2. Silikon als Abformwerkstoff

Silikone gehören zur Gruppe der Elastomere und damit zu den irreversibel elastischen Abformwerkstoffen. Man unterscheidet zwischen additionsvernetzenden Silikonen (diese werden meisten einfach als A-Silikone bezeichnet) und kondensationsvernetzenden Silikonen (C- oder K-Silikone). Seit Anfang der 50er Jahre werden Abformmaterialien auf Silikonbasis in Deutschland verwendet. Dabei handelte es sich zunächst um C-Silikone, seit Ende der 70er Jahre kamen A-Silikone dazu, die wegen ihrer geringeren Schrumpfung für die Präzisionsabformung das bevorzugte Material sind. Silikone bestehen aus Makromolekülen, deren kleine Einheiten Siloxane sind. Diese sind folgendermaßen aufgebaut:

O-R |R-O-Si-O-R R= -CH₃ oder R= -C₂H₅ |O-R

Abb.1: Siloxane

[54]

Nach dem Mischen der Basis und der Härter-Komponente vernetzen die Siloxane irreversibel zu langkettigen Makromolekülen. Dieser Vorgang unterscheidet sich bei den kondensationsvernetzenden und den additionsvernetzenden Silikonen.

Bei den kondensationsvernetzenden Silikonen besteht die Basispaste aus Polysilanolen, das sind Polysiloxane, an deren Kettenenden sich OH-Gruppen befinden. Die Härter-Komponente enthält 3- und 4-fach funktionelle Alkoxysilane als Vernetzer und als Katalysator eine organische Zinnverbindung. Beim Mischen der beiden Komponenten reagieren die endständigen OH-Gruppen der Polysilanole mit den Alkoxysilanen in einer Kondensationsvernetzung.



Abb.2: Ausschnitt aus einem Silikon-Makromolekül

[54]

Dabei entsteht als Kondensationsprodukt Alkohol. Die gebildeten Silikon-Makromoleküle besitzen sehr lange Ketten, die untereinander weiter verzweigt und vernetzt sind. Die abgebundene Silikonmasse ist deshalb nicht mehr plastisch, wie die Ausgangskomponenten, sondern gummi-elastisch. Die Abspaltung des Alkohols, der dann verdunstet, führt zu einer Schrumpfung des Silikons von ca. 0,2% linear während des Vernetzungsvorganges und vor allem danach. Da diese Schrumpfung zu materialbedingten Ungenauigkeiten beim Abformen führte, wenn die Abformung nicht nach spätestens einer Stunde ausgegossen werden konnte, wurde ein Silikon entwickelt, dessen Vernetzung ohne Kondensationsreaktion abläuft. Das sind die additionsvernetzenden Silikone [54, 61].

Bei den A-Silikonen besteht die Basiskomponente aus Polysiloxanen, an deren Kettenenden sich Vinylgruppen befinden. Die Härter-Komponente besitzt seitliche SiH-Gruppen. Diese Moleküle verbinden sich in einer Additionsreaktion, ohne dass ein Nebenprodukt entsteht. Als Katalysator für die Reaktion fungieren organische Platinverbindungen. Die Kontraktion der A-Silikone liegt unter 0,1% linear, weshalb die Abformungen auch längere Zeit ohne größere Genauigkeitseinbußen bis zur Modellherstellung gelagert werden können [19, 54, 61].

R	0		R	0
I		(H2PtCl6)	Ι	
-O-Si-CH=CH ₂	+ H-Si-R	\rightarrow	-O-Si-CH ₂ -0	CH ₂ -Si-R
I	I		I	I
R	Ο		R	0
	I			I
	R-Si-R			R-Si-R

Abb.3: Vernetzungsreaktion: Additionsvernetzung

[54]

Neben den oben aufgeführten wesentlichen Bestandteilen von Basis- und Härterkomponente enthalten die Abformmassen auf Silikonbasis weitere Stoffe, die ihre Konsistenz und Verarbeitbarkeit bestimmen.

Die starke Hydrophobie der Silikon-Abformwerkstoffe stellte früher ein größeres Problem dar, weil es das Einfließen des Materials in den durch Sulkusflüssigkeit, Blut und Speichel feuchten Sulkus sowie die Verteilung des Gipses in der Abformung behinderte. In den letzten Jahren hat man jedoch erreicht, die wasserabweisenden Eigenschaften der Silikone durch den Zusatz oberflächenaktiver Tenside sehr abzumildern [46].

Silikone sind in mehreren Konsistenzen erhältlich, die für die verschiedenen Abformtechniken benötigt und kombiniert werden. Man unterscheidet knetbare, schwer fließende, mittel fließende, leicht und sehr leicht fließende Massen. Diese verschiedenen Konsistenzen kommen durch die zugefügte Menge an Füllstoffen zustande. Daneben enthalten Silikonabformmaterialien Paraffinöl als Weichmacher sowie Farb- und Geschmacksstoffe [19, 54].

Das Anmischen der knetbaren Masse sollte mit latexfreien Einweghandschuhen, zum Beispiel Vinylhandschuhen, erfolgen. In den meisten Latexhandschuhen ist freier Schwefel enthalten, der den Katalysator des Silikons inhibiert. Dies führt zu einer unvollständig polymerisierten Oberfläche des Abdrucks und dadurch zu einer unbrauchbaren Gipsoberfläche bei der Modellherstellung [10].

2.3. Endogene Spannungen und elastisches Verhalten

Durch Kettenverlängerung und Vernetzung geht das plastische Material während der Abformung in einen gummi-elastischen Zustand über. Diese Polymerisationsreaktion setzt sofort ein, wenn die beiden Komponenten miteinander vermischt werden. Durch Kühlung der Materialien kann der Vorgang verlangsamt werden. Dies ist günstig, weil das Abformmaterial beim Einbringen der Abformung in den Patientenmund möglichst gering vernetzt sein soll. Ebenfalls ist es deshalb sehr wichtig, die von den Herstellern angegebenen Verarbeitungszeiten einzuhalten, besser noch, das Anmischen etwas schneller vorzunehmen. Denn, wenn die Abformmasse bei Beginn der Abformung einen gewissen unvermeidbaren Grad der Vernetzung überschreitet, werden die schon gebildeten langkettigen Silikonmoleküle durch die abzuformenden Stümpfe zur Seite gedrängt und stehen unter Spannungen. Diesen Effekt nennt man elastische Deformation und die dabei auftretenden Spannungen endogene Spannungen. Nach der Entformung, wenn das Material vollständig abgebunden ist, kommt es zur elastischen Rückstellung der unter Spannung stehenden Bereiche, wodurch die abgeformten Stümpfe in der Abformung zu klein wiedergegeben werden. Die elastische Deformation tritt materialbedingt bei jeder Abformung mit elastischen Materialien auf, muss aber durch die oben genannten Maßnahmen so klein wie möglich gehalten werden, damit die hergestellten Modelle die größtmögliche Dimensionstreue aufweisen [5, 54]. Außerdem ist darauf zu achten, dass die Entnahme der Abformung aus dem Mund nicht zu früh sondern erst nach der vollständigen Polymerisation des Silikons erfolgt. Man sollte dabei mindestens die vom Hersteller empfohlene Zeit einhalten, da sich die Rückstellungstendenzen im nicht vollständig abgebundenen Silikon sehr viel stärker negativ auswirken können [80].

2.4. Ansätze und Untersuchungen zur Verbesserung der Dimensionstreue bei Korrekturabdrücken

In der weiteren praktischen Anwendung der Korrekturabformung wurden nach dem ersten Beschreiben der Korrekturabformtechnik zahlreiche Verbesserungen vorgeschlagen, die teilweise heute noch ihre Gültigkeit besitzen, teilweise aber auch wieder verworfen wurden. So empfahlen zum Beispiel Hofmann und Knoblauch 1963 eine Stufenpräparation mit gingivaler Anschrägung der Stufe, damit das Abformmaterial besser an der Präparationsgrenze vorbei in den Sulkus einfließen könne [30]. Die heute übliche Präparationsform für Metallrestaurationen ist jedoch keine Stufenpräparation, sondern das Anlegen einer Hohlkehle als Präparationsgrenze, weil so weniger Zahnhartsubstanz abgetragen werden muss.

Da zu Beginn der Abformungen nach der Korrekturmethode die verwendeten Silikone noch sehr hydrophob waren, war es schwierig, die durch Sulkusflüssigkeit und Blut feuchten Bereiche unterhalb des Gingivasaumes abzuformen. Deshalb empfahl Knoblauch 1966, den Sulkus vor der Abformung zu säubern und mit dem Luftpüster zu trocknen und ihn nötigenfalls mit einem Retraktionsfaden etwas aufzuweiten [38]. Dies gehört auch heute zu den obligaten Vorbereitungen vor einer Präzisionsabformung [24], obwohl die modernen Silikone durch verschiedene hydrophilisierende Zusätze sehr viel weniger wasserabweisend sind [46, 65].

In der Beschreibung des Korrekturabformverfahrens von Hofmann wurde die Erstabformung noch nicht ausgeschnitten, sondern es wurde nur darauf hingewiesen, dass nur eine sehr kleine Menge Korrekturmaterial eingebracht werden sollte, damit die Schichten des dünnfließenden Materials nicht zu dick und die Stumpflumina dadurch zu klein würden [29]. Erst Knoblauch riet 1966 dazu, die Vorabdrücke an unter-sich-gehenden Stellen auszuschneiden, um die Zweitabformung zu erleichtern [38]. Auch er betonte das Problem der Verdrängung und elastischen Rückstellung des Vorabdruckmaterials und der daraus resultierenden zu kleinen Stümpfe, wenn zu viel Korrekturmaterial aufgetragen werde.

Hofmann und Ludwig führten 1968 eine Studie durch, in der sie verschiedene C-Silikone sowie Stents-Masse als Vorabdruckmaterialien kombiniert mit unterschiedlich fließfähigen Korrekturmaterialien hinsichtlich der Dimensionstreue der im Korrekturverfahren hergestellten Abformungen verglichen. Die Modellherstellung erfolgte nach 6 Stunden, 48 Stunden und nach 144 Stunden, wobei die Dimensionsabweichungen der Modelle jeweils um fast 50% zunahmen, begründet durch die Schrumpfung der C-Silikone. In dieser Studie prüften sie auch die Genauigkeit der Korrekturabformung mit und ohne Anbringen von Abflussrillen. Dabei kamen sie zu dem Ergebnis, dass die Verkleinerung der Stumpflumina umso geringer ausfiel, je besser die Härte des Vorabdruckmaterials und die Viskosität des Korrekturmaterials aufeinander abgestimmt waren. Sie wiesen darauf hin, dass elastische Deformationen in geringerem Ausmaß auftraten, je härter das Erstabdruckmaterial war, da ein härteres Material auf den nötigen Staudruck in der Korrekturphase mit weniger Stauchung reagiere als ein weiches. Das Anbringen der Abflussrillen wirkte sich nach Hofmann und Ludwig günstig auf die Dimensionswiedergabe aus, da es Verdrängungseffekten entgegenwirkte, obwohl es durch die ungleiche Schrumpfung des Materials an den Abflussrillen zu ellipsenförmigen Verzerrungen der Stümpfe führte [31].

Über das Ausschneiden der Erstabformung, das heute bei der Korrekturabformung Standard ist, wurden weitere Studien durchgeführt. So prüften Lehmann und Burgdorf 1978 das Korrekturabdruckverfahren mit und ohne Anbringen von Abflussrillen für das Korrekturmaterial. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass sich bei den Abformungen, bei denen im Erstmaterial vor der Korrekturphase keilförmige Rillen ausgeschnitten wurden, die dimensionsgetreue Wiedergabe der Modellstümpfe stark verbesserte [42].

Borchers, Filitz und Meyer führten 1984 Korrekturabformungen mit A-Silikonen und im Vergleich dazu mit C-Silikonen durch, wobei sich zeigte, dass die A-Silikone den C-Silikonen als Vorabdruckmaterial überlegen waren, da sie ein höheres Elastizitätsmodul aufwiesen und deshalb eine bessere Stempelwirkung hatten. Bei den Korrekturmaterialien stellte sich ein niedriges Speichermodul und Verlustmodul als besonders günstig heraus, hierbei schnitten ebenfalls die A-Silikone besser ab [7].

Eine Zusammenfassung der häufigsten Fehler bei der Korrekturabformung und ihre Vermeidung stellten 1977 Stachniss und Kolbow zusammen. Sie teilten die möglicherweise auftretenden Fehler in materialbedingte und verfahrensbedingte ein. Zu den materialbedingten Schwierigkeiten bei der Korrekturabformung zählen nach Stachniss und Kolbow die eingeschränkte Fließfähigkeit des zähplastischen Vorabdruckmaterials, die das Material eventuell nicht an alle abzuformenden Stellen gelangen lässt, zum anderen die polymerisationsbedingte Schrumpfung, die jedoch bei den A-Silikonen eine kleinere Rolle spielt, als bei den C-Silikonen. Diese materialimmanenten Fehler könnten vom Behandler nicht verändert werden. Im Gegensatz dazu könnten zusätzliche verfahrensbedingte Fehler durch Einhaltung einiger Maßnahmen sehr klein gehalten werden. Zu diesen Maßnahmen gehören nach Meinung der Autoren die Verwendung verwindungsstabiler Löffel, das Auftragen eines geeigneten Haftlackes auf den Löffel, um eine Ablösung der Abformung zu verhindern und das richtige Mischungsverhältnis der Komponenten beim Anmischen. Zudem sollten die Materialien vor der Abformung kühl gelagert werden. Durch korrektes Dosieren und Kühlung der Materialien könne der Vernetzungsprozess im Silikon verzögert werden, so dass sich die Verarbeitungszeit verlängere. Dadurch könne sichergestellt werden, dass die Polymerisation zum Zeitpunkt des Einbringens des Materials in den Patientenmund noch nicht so weit fortgeschritten sei, dass es zu inneren Spannungen im Silikon und zur elastischen Rückstellung nach der Entnahme des Abdruckes komme. Beim Einbringen des Korrekturmaterials sollte darauf geachtet werden, nur eine kleine Menge einzubringen. Stachniss und Kolbow gingen dabei noch von der Korrekturabformung ohne Abflussrillen für das Zweitmaterial aus, bei dem eine zu große Menge Korrekturmaterial das Erstabdruckmaterial durch Stauchung verdrängt und zu verkleinerten Modellstümpfen führt, wenn sich das Erstmaterial nach der Entformung elastisch zurückstellt. Weiterhin empfahlen die Autoren, auch den Erstabdruck vor der Korrekturphase im Eiswasser zu kühlen, um durch die dadurch bedingte Erhöhung der Fließfähigkeit des Korrekturmaterials die gerade beschriebene Verdrängung des Erstmaterials zu vermeiden [75].

1978 veröffentlichten Dumfahrt und Schäffer eine Studie, bei der die Abformgenauigkeit von Doppelmischtechnik und Korrekturtechnik mit und ohne Ausschneiden der Präparationsgrenzen miteinander verglichen wurden. Dabei kamen sie zu dem Ergebnis, dass die Dimensionstreue der mit der Doppelmischtechnik hergestellten Abformungen wesentlich besser war als die der nach dem Korrekturverfahren hergestellten Abformungen. Wobei bei letzteren Abformungen die weit überlegen waren, bei denen die Präparationsgrenzen vor Einbringen des Korrekturmaterials frei geschnitten worden waren, wo also eine Abflussmöglichkeit für das Zweitmaterial geschaffen worden war. Den Grund hierfür sahen Dumfahrt und Schäffer in der elastischen Deformation, die bei der Korrekturabformung methodisch bedingt auftrete. Das Zweitmaterial könne aus dem engen Spalt zwischen Zahnstümpfen und Vorabformung nicht schnell genug abfließen und stauche das Erstmaterial. Durch die Elastizität des Erstmaterials komme es somit an der Stelle der größten Materialschichtstärke, also in der Mitte der Stümpfe, zu bauchigen Deformationen. Nach der Modellherstellung träten dadurch sanduhrförmige Verzerrungen der Modellstümpfe auf [13].

Wichmann, Borchers und Limmroth untersuchten 1990 die drei gängigsten Abformmethoden, Korrektur-, Doppelmisch- und Einphasentechnik, mit verschiedenen Materialien und verglichen die Dimensionswiedergabe miteinander. Die Vermessung der hergestellten Modelle und der Vergleich zum Urmodell aus Edelstahl wurden dabei mit einer computergesteuerten 3D-Koordinatenmessmaschine vorgenommen. Mit einer solchen Messmaschine ist es möglich, neben der Messung der Höhen, der Durchmesser und der

Abstände der Stümpfe zueinander auch Durchmesserabweichungen in verschiedenen Ebenen sowie Achsenneigungen zu errechnen. Die Autoren kamen dabei zu dem Ergebnis, dass sämtliche nach dem Korrekturverfahren mit A-Silikonen hergestellten Modellstümpfe mit mittleren Abweichungen vom Original von etwa -25µm zu klein waren. Gleichzeitig war die Stumpfform konkav verzerrt. Den Grund für diese Stumpfverformung sahen sie in der schon vorher beschriebenen elastischen Deformation [78]. Nach Wichmann und Borchers ist diese bei Vorabformmaterialien mit niedrigerem Elastizitätsmodul, die weniger Füllstoffe enthalten, ausgeprägter, weil sich die elastischen Materialanteile hier stärker auswirken können. Auch die Viskosität des Korrekturmaterials spiele bei der elastischen Deformation eine große Rolle, und zwar trotz des Anbringens von Abflussrillen. Bei allen Abformungen kam es unabhängig von der Technik zu einer geringen Achsenabweichung nach außen und einer leichten elliptischen Verzerrung der Stümpfe im Vergleich zum Original. Die elliptische Verzerrung kam nach Meinung der Autoren dadurch zustande, dass die Stauchungen und die Rückstellung des Erstmaterials nicht gleichmäßig sondern an verschiedenen Stellen der Stümpfe unterschiedlich waren. In Bereichen größerer Materialschichtstärke waren sie am stärksten [79].

Wöstmann, Höing und Ferger stellten in einer 1998 veröffentlichten Studie zum Vergleich von hand- und maschinengemischten Abformmaterialien fest, dass eines der untersuchten A-Silikone bei der Anwendung der Doppelmischtechnik sehr gute Ergebnisse lieferte, aber bei Anwendung der Korrekturtechnik zu wesentlich zu klein wiedergegebenen Stümpfen führte. Dies brachten Wöstmann, Höing und Ferger mit der niedrigen Shore A-Härte dieses Materials von 58 in Verbindung, die es für die Korrekturtechnik ungeeignet mache, weil Verdrängungseffekte dadurch begünstigt würden [88].

Sadat-Khonsari, Fenske, Jüde und Gütschow untersuchten 1999 den Einfluss der Konizität der abzuformenden Stümpfe auf die Dimensionstreue bei der Korrekturabformung [69]. Dazu verwendeten sie ein Modell, auf dem drei Edelstahlstümpfe mit einem Präparationswinkel von 3°, 7° und 11° nebeneinander aufgestellt waren. Ebenfalls wurde in der Studie geprüft, wie sich die Menge des Korrekturmaterials, die Kraftanwendung beim Abformen mit dem Zweitmaterial von 50 bzw. 100N sowie die Länge der Krafteinwirkung in der Korrekturphase von 3s oder 6s auf die Dimensionsgenauigkeit auswirken. Die Vermessung der hergestellten Modelle erfolgte in dieser Studie mit einer 3D-Koordinatenmessmaschine. Mit dieser Maschine wurden nach Abtastung der Stümpfe die Stumpfhöhen sowie die Durchmesser 1mm, 3mm und 5mm unterhalb der Okklusalfläche gemessen. Dabei kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass bei der mittleren Konizität von 7° die geringsten Dimensionsabweichungen auftraten. Ebenso sei es günstiger, eine größere Menge Korrekturmaterial einzubringen. Der Druck von nur 50N für 3s in der Korrekturphase führte zu genaueren Abformungen als die anderen Versuchsalternativen. Bei einem Präparationswinkel von 7° konnte das Zweitmaterial gut abfließen, wogegen es bei dem Stumpf mit der Konizität von 3° zu Stauchungen des Erstmaterials kam. Bei dem Winkel von 11° ergaben sich vergrößerte Stumpflumina in der Abformung. Anders als in der Untersuchung von Stachniss und Kolbow führte eine kleinere Menge Zweitmaterial in dieser Studie nicht zu einer größeren Dimensionsgenauigkeit. Sadat-Khonsari, Fenske, Jüde und Gütschow führten dies darauf zurück, dass bei Einbringen einer großen Menge Korrekturmaterials dieses besser in der Abformung verteilt sei und durch die großflächigere Verteilung des Korrekturmaterials über dem Erstmaterial punktuell weniger Druck und damit weniger Stauchung auftrete. Das in dieser Untersuchungsreihe verwendete A-Silikon, Dimension Penta H, wurde in einer kurz vorher veröffentlichten Studie von Wöstmann aufgrund der geringen Shore A-Härte von 58 als weniger geeignet für die Korrekturtechnik beurteilt [88].

In einer ergänzenden Untersuchung wurden 2001 von Fenske, Sadat-Khonsari und Jüde zusätzlich weitere Abformtechniken, aber auch nochmals die Korrekturabformtechnik, sowie die Korrekturabformung mit Ausschneiden mit einem Material mit der Shore A-Härte 68 durchgeführt. Auch bei dem Material mit der höheren Shore A-Härte führte die Korrekturabformung besonders bei dem Stumpf mit 3° Konizität zu verkleinerten Modellstümpfen. Durch das Anbringen von Abflussrillen ergab sich dabei keine entscheidende Verbesserung der Dimensionstreue, bis auf das Fehlen von sanduhrförmigen Verzerrungen, die sich bei der Korrekturabformung ohne Ausschneiden beim 3°- und beim 7°-Stumpf fanden. Als Fazit rieten Fenske et al. dazu, bei kleinen Präparationswinkeln entweder eine einzeitige Abformtechnik anzuwenden, oder, bei damit schwierig darstellbaren Präparationsgrenzen, nach der Korrekturabformung das Meistermodell hohl zu legen, um die verkleinerte Stumpfwiedergabe zu kompensieren [21].

2002 veröffentlichten Nissan, Gross, Shifman und Assif eine Studie, in der ebenfalls der Einfluss der Menge des Korrekturmaterials auf die Dimensionstreue untersucht wurde [58]. Dies wurde über das Anbringen von Platzhalterkäppchen in drei unterschiedlichen Dicken (1mm, 2mm und 3mm) während der Erstabformung geprüft. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Abformungen mit einer 1mm oder 2mm dicken Korrekturschicht weniger große Abweichungen vom Urmodell zeigten, als die Abformungen mit einer 3mm dicken Schicht. Den Grund hierfür sahen sie in der stärkeren und ungleichmäßigeren Schrumpfung des Zweitmaterials, die bei einer größeren Schichtstärke umso ausgeprägter sei. In einer weiteren Studie zeigten Nissan, Laufer, Brosh und Assif (2000), dass die Korrekturabformtechnik mit einer kontrollierten Schicht des Korrekturmaterials von 2mm zu geringeren Stumpfabweichungen vom Urmodell führte als Doppelmischtechnik und Korrekturtechnik ohne Platzhalterkäppchen, woraus die Autoren schlussfolgerten, dass die kontrollierte Schichtdicke des Korrekturmaterials den wesentlichen Faktor für die Dimensionsgenauigkeit bei Korrektur-und Doppelmischabformungen darstelle [59].

In einer Untersuchung über den Einfluss der Viskosität des Korrekturmaterials auf die Genauigkeit der Dimensionswiedergabe von Korrekturabfomungen kamen Balkenhol, Ferger und Wöstmann (2007) zu dem Ergebnis, dass die Dimensionsgenauigkeit der Abformungen umso höher war, je fließfähiger das verwendete Korrekturmaterial war [2]. Haim et al. dagegen stellten in ihrer Studie (2009) keine Verbesserung der Dimensionsgenauigkeit von Korrekturabdrücken durch die Verwendung sehr fließfähiger (ultralight) Korrekturmaterialien fest [28].

Zur Fließfähigkeit von sowohl Putty als auch Korrekturmaterial kamen Berg et al. 2003 zu dem Schluss, dass unter klinischen Abformbedingungen, durch die Mundtemperatur von etwa 33°C, die Vernetzung der Silikone mehr als doppelt so schnell stattfinde wie unter Laborbedingungen mit 25°C. Dies lege nahe, dass die Fließfähigkeit im Mund anders sein könnte, als sie sich in Prüfungen zur Rheologie von Materialien zeige [4].

Über die Auswirkung des Anteils an Füllstoffen im Silikon schrieben Chen, Liang und Chen 2004, dass ein niedriger Anteil von Füllstoffen durch eine größere Schrumpfung des Materials zu stärkeren Dimensionsabweichungen der Abformungen führe. Würde der Füllstoffanteil jedoch sehr groß, komme es zum Verlust an Elastizität im Silikon, was sich auf die Genauigkeit wiederum negativ auswirke. Der Einfluss der Füllpartikelmenge sei dabei abhängig von der angewandten Abformtechnik. Die Bedeutung der Füllpartikelmenge sollte deshalb für jede Abformtechnik einzeln untersucht werden, um das jeweilige Optimum zu ermitteln [11].

Balkenhol et al. überprüften 2007 neben der Viskosität der Korrekturmasse auch den Einfluss des Löffelmaterials auf die Dimensionstreue von Korrekturabformungen und kamen zu dem Ergebnis, dass bei Verwendung von gleichgeformten Serienlöffeln aus Metall oder Kunststoff die Kunststofflöffel zu signifikant höheren Dimensionsabweichungen vom Urmodell führten [2]. Auch in anderen Abformstudien wird ganz eindeutig auf die Wichtigkeit der Verwendung stabiler, verwindungsfreier Abformlöffel für die Genauigkeit der Dimensionswiedergabe hingewiesen [9, 75].

2.5. Literaturübersicht zur Modellherstellung

Bei der Herstellung eines möglichst dimensionsgenauen Modells für die Anfertigung von festsitzendem Zahnersatz ist die Abformung nur der erste wichtige Schritt, bei dem sich keine größeren Veränderungen der Mundsituation ergeben dürfen. Genauso entscheidend ist danach das Ausgießen der Abformung. Bei diesem Arbeitsschritt gibt es wie bei der Abformung etliche Punkte zu beachten, die sich direkt auf die Genauigkeit des resultierenden Modells auswirken. Zum Thema Modellherstellung wurde sehr viel publiziert, was hier im Wesentlichen kurz zusammengefasst werden soll. Grundsätzlich kommen für das Ausgießen einer Präzisionsabformung die Modellwerkstoffe Gips, Kunststoff oder galvanisch aufgebrachte Metallschichten in Frage [19]. Am Häufigsten findet dafür extraharter Gips, der auch Superhartgips oder Spezialhartgips genannt wird, Verwendung. Beim Abbinden erfährt der Gips eine Abbinde-Expansion, weil sich durch die Wasseraufnahme beim Anmischen aus Hemihydrat Dihydratkristalle bilden, die während des Abbindevorgangs wachsen und sich dabei gegenseitig verdrängen. Das Gesamtvolumen des Gipsbreis ist also nach dem Abbinden größer als beim angerührten Gipsbrei. Da die Abbindexpansion zu einer bei der Modellherstellung unerwünschten Volumenveränderung führt, werden Präzisionsmodelle für die Herstellung von festsitzendem Zahnersatz mit dem Gips ausgegossen, der die niedrigste Expansion aufweist. Aufgrund verschiedener Eigenschaften teilt man Gips in vier Klassen ein: Typ 1 ist Abformgips, Typ 2 ist Alabastergips, Typ 3 ist Hartgips und Typ 4 Superhartgips. Die Expansion von Superhartgips ist neben der von Abformgips am geringsten und beträgt gemäß ISO 6873 unter 0,15% linear und variiert etwas von Produkt zu Produkt. Da es bei der Korrekturabformung, wie weiter oben beschrieben, verfahrensbedingt zu einer Verkleinerung der abgeformten Stümpfe kommt, könnte man denken, dass eine Expansion des Gipses bei der Modellherstellung diesem Fehler entgegenwirkt und zu einem insgesamt dimensionsgenaueren Modell führt. Jedoch weist Wöstmann 2005 ausdrücklich darauf hin, dass nicht ein Fehler mit einem anderen kompensiert werden kann, weil das zu einer großen Streuung der Ergebnisse führen würde, sondern dass jeder Arbeitsschritt bei der Abformung und Modellherstellung für sich genommen mit der höchstmöglichen Präzision durchgeführt werden sollte [86].

Die Abbinde-Expansion stellt also, wenn sie auch beim Superhartgips klein ist, eine materialbedingte, unvermeidbare Einbuße an Dimensionsgenauigkeit bei der Gipsmodellherstellung dar. Zu vermeiden sind allerdings zusätzliche verfahrensbedingte Fehler. Wichtig ist dabei der Zeitpunkt, zu dem die Abformung ausgegossen wird. Nach Eichner benötigen Elastomerabformungen zur elastischen Rückstellung von Verzerrungen, die während der Entformung auftreten, 30-60min. Erst danach sei die Abformung so zurückgestellt, dass sie ausgegossen werden könne [19]. Des Weiteren sind das richtige Mengenverhältnis von Spezialhartgips und destilliertem Wasser, das Anmischen unter Vakuum und das Einhalten der Anmischzeit und der Verarbeitungszeit von Bedeutung. Dabei sollte man sich genau an die Herstellerangaben halten. Nach dem sorgfältigen Ausgießen sollte das Modell mit den Stümpfen nach unten gelagert werden, um in den wichtigen Bereichen durch Sedimentation eine größere Gipshärte zu erzielen und nach frühestens einer halben Stunde entformt werden. Danach ist eine Lagerung von einigen Tagen, in der das restliche überflüssige Wasser vollständig verdunsten kann, vorteilhaft für die Dimensionsgenauigkeit des Modells. Es sollte nach dem Anmischen nicht mehr mit Wasser in Berührung kommen [27].

2.6. Literaturübersicht zur Modellvermessung

Um die Dimensionsveränderungen zu erfassen, die durch das Abformen zwischen Urmodell und Abformung entstehen, können verschiedene Methoden angewandt werden. Dabei kann man die im Folgenden beschriebenen Verfahren grundsätzlich an der Abformung direkt vornehmen oder nach Ausgießen der Abformung an einem Modell. Der Vorteil der direkten Vermessung der Abformung liegt darin, dass nur die Dimensionsveränderung gemessen wird, die durch den Arbeitsschritt Abformung entstanden ist. Der Nachteil an diesem Vorgehen ist, dass das Vermessen an der Abformung direkt und der Vergleich der Messergebnisse mit den Werten des Urmodells schwieriger ist als an einem Gipsmodell. Wenn die Arbeitsabläufe bei der Modellherstellung standardisiert sind, erhöht sich die Dimensionsabweichung, die schon durch das Abformen entstanden ist, zwar nochmals, aber bei allen Materialien um den gleichen Betrag, so dass dieser wiederum für die Feststellung der Unterschiede in der Dimensionsveränderung zwischen den verschiedenen Materialien nicht relevant ist. In der vorliegenden Studie wurden deshalb Gipsmodelle hergestellt und ausgewertet.

Als Messverfahren wurden in vorangegangenen Studien zur Dimensionsstabiltät von Abformungen folgende beschrieben: Die Vermessung mit einem Messmikroskop ist eine oft angewandte Methode zur Auswertung von Dimensionsveränderungen. Zum Beispiel verwandten Hofmann und Ludwig (1968) dieses lichtmikroskopische Verfahren mit einer 20-fachen Vergrößerung und gaben als Messgenauigkeit 1µm an. Sie maßen bei einem Brückenmodell mit zwei Edelstahlstümpfen den Abstand der beiden Stümpfe sowie die Durchmesser der einzelnen Stümpfe in zwei Höhen [31]. Lehmann und Burgdorf (1978) vermaßen einen Modellstumpf, indem sie den Durchmesser an 7 Stumpfhöhen im Abstand von jeweils 2mm mit dem Messmikroskop bestimmten [42]. Hung et al. untersuchten 1992 bei einem Modell mit drei Stümpfen, die mit einem Kreuz auf der Okklusalfläche als Messmarkierung versehen waren, die Abstandsänderungen zwischen den Stümpfen mit einem Messmikroskop [36].

Neben dem Messmikroskop können auch Mikrometerschraube oder Schieblehre als mechanische Vermessungsmethoden verwendet werden. Eine Schieblehre verwendeten zum Beispiel Marcinak und Draughan (1982) bei ihren Untersuchungen und gaben dabei eine Messgenauigkeit von 2,5µm an [51].

Modernere computergestützte Messverfahren sind das Scannen von Abformungen oder Gipsmodellen oder die Vermessung mit einer Koordinatenmessmaschine. Beim Scannen handelt es sich um ein berührungsloses optisches Abtasten eines Objektes.

Luthardt verwandte 2001 einen Scanner zum Dimensionsvergleich von nach verschiedenen Abformtechniken hergestellten Modellen. Nach dem Scannen wurden 3dimensionale CAD-Modelle generiert, die von der Computersoftware überlagert und in jedem Punkt miteinander verglichen werden konnten [48]. Genauso benutzten Siemer et al. 2004 einen Scanner und CAD-Modelle zur Untersuchung der Dimensionsabweichung hergestellter Modellstümpfe gegenüber den ebenfalls eingescannten original Rinderstümpfen bei verschiedenen Abformtechniken [73].

Die Vermessung mit einem mechanischen Koordinatenmessgerät erfolgt durch die Antastung des zu untersuchenden Objektes mit einem Messtaster mit sehr geringem Antastdruck- und Geschwindigkeit. Der ertastete Punkt wird in seinen X-, Y- und Z-Koordinaten in der integrierten Software aufgezeichnet. Wurde der zu vermessende Gegenstand einmal manuell an einigen Punkten ertastet und seine geometrische Form von der Software erkannt, kann er anschließend automatisch nochmals mit sehr vielen Punkten hochpräzise erfasst werden.

1987 untersuchten Dumfahrt und Schäffer die Dimensionsgenauigkeit abgeformter Edelstahlstümpfe mit einer Koordinatenmessmaschine. Diese verglich die Durchmesser der Stümpfe in fünf Stumpfhöhen und ertastete die Durchmesser jeweils mit sechs Messpunkten. Die Genauigkeit der Messmethode gaben sie mit 1µm an [13]. Auch Wichmann, Borchers und Limmroth (1990) benutzten eine mechanische Koordinatenmessmaschine zur Bestimmung der Dimensionsunterschiede zwischen den Edelstahlstümpfen des Urmodells und den mit verschiedenen Materialien und Verfahren abgeformten Modellstümpfen anhand von Höhen- und Durchmesserabweichungen [78]. 1992 untersuchten Wichmann und Borchers mit demselben Versuchsaufbau zusätzlich Formabweichungen von den Originalstümpfen, wie Verzerrungen der Durchmesserkreise und Kippungen, Ausbauchungen oder Eindellungen in der Höhenachse [79]. Ihre Untersuchungen zum Einfluss von Anpressdruck und -zeit sowie der Stumpfkonizität bei Korrekturabformungen führten auch Sadat-Khonsari et al. (1999) mit Hilfe einer Koordinatenmessmaschine durch und verglichen die Stumpfdurchmesser in drei verschiedenen Höhen miteinander [69]. Dasselbe Vermessungsverfahren wandten Fenske et al. 2001 in ihrer Abformstudie an [21].

2.7. Die Shore-Härte

Die Shore-Härte-Prüfung, die nach Albert Shore benannt ist, ist ein Verfahren zur Härte-Prüfung von Elastomeren und Kunststoffen. Die Prüfung als solche ist genormt (DIN 53505 und ISO 7619). Bei der Prüfung wird die Eindringtiefe eines federbelasteten Stiftes aus gehärtetem Stahl gemessen. Je geringer die Eindringtiefe des Stiftes, desto höher ist der Shore-Härte-Wert des getesteten Materials auf einer Skala von 0-100. Für verschiedene Materialien gibt es unterschiedliche Shore-Härte-Skalen und unterschiedliche Prüfverfahren, die mit einer zusätzlichen Bezeichnung immer mit angegeben werden. Neben der Shore-A-Härte gibt es zur Prüfung festerer Materialien die Shore-D-Härte. Dabei werden eine andere Prufspitze und ein höheres Auflagegewicht verwandt. Im oberen Bereich der Shore-A-Härte-Skala und im unteren Bereich der Shore-D-Härte-Skala überlagern sich beide Skalen. Bei weicheren Elastomeren werden Shore-A-HärteMessgeräte verwendet. Dabei wird die Eindringtiefe eines Kegelstumpfes mit einem Durchmesser von 0,79mm und einem Öffnungswinkel von 35° gemessen. Das Auflagegewicht beträgt 1kg und die Haltezeit 15s [35].

Die Shore-A-Härte gehört zu den Materialeigenschaften von Silikonabformwerkstoffen und wird von den Herstellern unter der Überschrift: "Technische Daten" mit angegeben. 1988 untersuchte Finger den Zusammenhang zwischen der Füllstoffmenge von Silikon-Abformwerkstoffen und deren Shore-A-Härte. Dabei kommt er zu dem Ergebnis, dass die Shore-A-Härte fast linear zum Füllstoffgehalt ansteigt und dass ebenfalls die relative Steifheit des Silikons mit der Füllpartikelmenge hoch signifikant korreliert [23].

2.8. Rundheit

Rundheit oder Rundheitstoleranz ist eine Formtoleranz und bezieht sich auf Kreise oder Kreisquerschnitte. Die Umfangslinien aller Kreise oder Kreisquerschnitte eines Zylinders oder Kegels, dessen Rundheit mit dem Wert t toleriert ist, müssen vollständig in einer Zone liegen, die durch zwei konzentrische Kreise gebildet wird, deren Radien sich um den Wert t unterscheiden. Die Bestimmung der Form- und Lagetoleranzen erfolgt nach der Norm ISO 1101. Die Einheit ist mm [33]. In dieser Studie werden die Rundheitsabweichungen der hergestellten Gipsstümpfe vom Urmodell-Stumpf aus Stahl gemessen. Diese Abweichungen sind als ein Maß für die Verzerrung der Stumpfform der Meistermodelle gegenüber dem Originalstumpf anzusehen.

3 Ziel der Arbeit

In der vorangegangenen Literaturübersicht wird deutlich, dass die Schwachstelle der Korrekturabformung ihre Dimensionstreue ist. Die Vermutung liegt nahe, dass die beschriebenen Verdrängungseffekte, die zwar grundsätzlich ein verfahrensbedingtes Problem darstellen, durch bestimmte Materialeigenschaften verstärkt oder verringert werden können.

In dieser Studie soll untersucht werden, ob und in welcher Art die Shore-A-Härte des Erstabformmaterials und die Fließeigenschaft des Korrekturmaterials bei den modernen A-Silikonen die Dimensionstreue der Korrekturabformung beeinflussen. Dazu sollen

-die Durchmesserabweichung

-die Rundheitsabweichung

-und die Stumpfhöhenabweichung

der mit dem Korrekturverfahren abgeformten Stümpfe in Abhängigkeit von der Shore-A-Härte des Erstabformmaterials und von der Fließfähigkeit des Korrekturmaterials geprüft werden.

Ziel ist es, eine gute Kombination dieser beiden Eigenschaften zu finden, die zu einem optimalen Abformergebnis in Bezug auf die Dimensionswiedergabe führt.

Zudem wird untersucht, ob der Einfluss der Materialeigenschaften Shore-A-Härte des Erstabformmaterials und Fließfähigkeit des Korrekturmaterials von der Stumpfkonizität abhängig ist, indem die Korrekturabformungen mit den verschiedenen Materialkombinationen an zwei unterschiedlich konischen Stümpfen durchgeführt werden.

4 Material und Methode

4.1. Verwendete Materialien

Bei allen Materialien handelt es sich um A-Silikone. Die Abformungen mit diesen Materialkombinationen wurden an einem Stumpf mit einem Präparationswinkel von 6° vorgenommen.

Mit folgenden Vorabformmaterialien sind in Kombination mit folgenden Korrekturmaterialien Korrekturabformungen durchgeführt worden:

Vorabformmaterialien		Korrekturmaterialien		
Name	Hersteller	Name	Hersteller	
President Putty	Coltene	Panasil Initial Con- tact x-light	Kettenbach	
		Panasil Initial Con- tact light	Kettenbach	
		President Plus Jet	Coltene	
Panasil Putty	Kettenbach Panasil Initial Co tact x-light		Kettenbach	
		Panasil Initial Con- tact light	Kettenbach	
		President Plus Jet	Coltene	
Panasil Tray Fast Kettenbach		Panasil Initial Con- tact x-light	Kettenbach	
		Panasil Initial Con- tact light	Kettenbach	
		President Plus Jet	Coltene	

Panasil Tray Soft	Kettenbach	Panasil Initial Con- tact x-light	Kettenbach
		Panasil Initial Con- tact light	Kettenbach
		President Plus Jet	Coltene
Status Blue	DMG	Panasil Initial Con- tact x-light	Kettenbach
		Panasil Initial Con- tact light	Kettenbach
		President Plus Jet	Coltene

Tab. 1: Übersicht über die bei den Abformungen am 6°-Stumpf-Modell untersuchten Materialkombinationen

Um den Einfluss der Stumpf-Konizität auf die Dimensionsgenauigkeit zu überprüfen, wurden selektiv mit folgenden, schon vorher beim 6°-Stumpf verwendeten Materialkombinationen, zusätzlich an einem Stumpf mit einem Präparationswinkel von 10° Korrekturabformungen durchgeführt:

Vorabdruckmaterialien		Korrekturmaterialien		
Name	Hersteller	Name	Hersteller	
President Putty	Coltene	Panasil Initial Con- tact x-light	Kettenbach	
		President Plus Jet	Coltene	
Panasil Tray Fast	Kettenbach	Panasil Initial Con- tact x-light	Kettenbach	
		President Plus Jet	Coltene	
Status Blue	DMG	Panasil Initial Con- tact x-light	Kettenbach	
		President Plus Jet	Coltene	

Tab. 2: Übersicht über die bei den Abformungen am 10°-Stumpf-Modell untersuchten Materialkombinationen

4.2. Versuchsplanung

Die Vorabformmaterialien wurden so ausgewählt, dass sich eine Abstufung der Shore-A-Härte-Werte ergibt, damit bei sonst gleichen Versuchsbedingungen eine Aussage über deren Einfluss auf die Dimensionsgenauigkeit getroffen werden kann.

Die fünf untersuchten Erstabdruckmaterialien wurden zunächst separat auf ihre Shore-A-Härte untersucht. Dabei wurden die A-Silikone angemischt und es wurde ein runder Prüfkörper gleichmäßiger Dicke hergestellt, wie es in der Versuchsanordnung zur Messung der Shore-A-Härte gemäß DIN 53505 / ISO 4823 vorgeschrieben ist.

Nach 15min wurde die Shore-A-Härte wie in der Versuchsanleitung beschrieben mit der Messuhr dreimal gemessen und aus den Messwerten der Mittelwert gebildet. Eine zweite Shore-A-Härte Messung wurde an denselben Prüfkörpern nach 24 Stunden vorgenommen, da die Korrekturphase der Abformungen jeweils 24 Stunden nach der Vorabformung durchgeführt wurde. Dabei ergaben sich folgende Messwerte:

Material	Shore-A-Härte	Shore-A-Härte	Shore-A-Härte
	nach Herstelleran-	nach 15min ge-	nach 24h gemessen
	gaben	messen	
President Putty von	75	72,3 +/-0,6	74,2 +/-0,3
Coltene			
Panasil Putty von	70	66,7 +/-0,6	66,7 +/-0,6
Kettenbach			
Panasil Tray Fast	65	63,3 +/-0,6	65 +/-0,5
von Kettenbach			
Panasil Tray Soft	58	58,8 +/-0,3	59 +/-1,0
von Kettenbach			
Status Blue von	45	42,2 +/-0,3	42,5 +/-0,5
DMG			

Tab. 3: Shore-A-Härten laut Herstellerangaben und gemessene Shore-A-Härten der Vorabdruckmaterialien und Standardabweichungen

Alle Versuche wurden im klimatisierten Versuchslabor bei einer Temperatur von 23°C (+/- 2°C) und einer Luftfeuchtigkeit von 50% (+/- 10%) durchgeführt, wo auch alle Materialien, Prüfkörper und hergestellten Modelle gelagert wurden.

In Vorversuchen wurde geprüft, wie sich die Shore-A-Härte im Laufe der ersten 24 Stunden nach Herstellung des Prüfkörpers verändert. Damit über den Einfluss des Shore-A-Härte-Wertes eine Aussage getroffen werden kann, muss dieser Wert zum Zeitpunkt der Korrektur-Phase der Abformung für ein Material immer gleich sein. Die Messungen ergaben, dass die Shore-A-Härte in den ersten Stunden noch etwas anstieg und schwankte. Die nach 24 Stunden gemessenen Werte waren dann stabil und lagen um bis zu 2 Härtegrade höher als die nach 15min gemessenen, wie auch in Tabelle 3 zu sehen ist. Daraus ergab sich für die Versuchsanordnung, dass die zweite Phase der Korrekturabformung immer 24 Stunden nach der Vorabformung durchgeführt werden sollte.

Das Material Status Blue von DMG, das aufgrund seiner für ein A-Silikon sehr niedrigen Shore-A-Härte ausgewählt wurde, um größere Unterschiede der Shore-A-Härten in der Versuchsreihe zu erhalten, wird vom Hersteller eigentlich nicht für Präzisionsabformungen, sondern für Situationsabformungen empfohlen. Deshalb wurde bei diesem Material vor der Entscheidung, es in die Versuchsreihe aufzunehmen, die lineare Maßänderung gemäß ISO 4823: 2000 überprüft. Dabei wurde eine lineare Maßänderung nach 24 Stunden von 0,193% gemessen, was den Anforderungen an ein Präzisionsabformmaterial, eine lineare Maßänderung nach 24 Stunden von unter 1,5% aufzuweisen, absolut entspricht und das Material wurde für die Korrekturabform-Versuche verwendet.

Als Korrekturmaterialien wurden 3 Materialien mit möglichst unterschiedlicher Fließfähigkeit ausgewählt, die als Zweitmaterial für die Korrekturtechnik verwendet werden können. Gemäß der ISO-Norm 4823 werden elastomere Abformmassen nach ihrer Konsistenz in 4 verschiedene Typen unterteilt: Type 0 = putty, Type 1 = heavy bodied, Type 2 = medium bodied, Type 3 = light bodied. Das Prüfverfahren in dieser ISO-Norm sowie die ADA-Specification No.19 sehen dabei vor, dass 0,50ml des Abformmaterials durch ein Gewicht zwischen zwei Glasplatten gepresst werden. Nach 12min wird der Durchmesser der entstandenen Abformmaterial-Scheibe ermittelt und dient als Maß für die Fließfähigkeit. Das Material President Plus Jet regular body gehört zu den Typ 2-Silikonen und hat seinen Indikationsschwerpunkt eher in der Einphasentechnik oder als Unterfütterungsmaterial, als in der Korrekturtechnik. Es kann jedoch laut Hersteller auch als Korrekturmasse bei der Korrekturabformung verwendet werden. Dieses Material wurde für diese Untersuchung ausgewählt, um durch möglichst unterschiedliche Fließfähigkeiten der Korrekturmaterialien den Einfluss der Fließfähigkeit der Korrekturmasse auf die Dimensionswiedergabe der Abformungen zu prüfen.

Korrekturmaterial					
Hersteller	Produktname	Fließfähigkeit	Silikontyp gemäß ISO 4823	Konsistenz: Schei- bendurchmesser gemäß ADA- Specification No. 19 in mm (ca.) laut Herstelleranga- ben	
Kettenbach	Panasil Initial Contact x-light	extra dünnflie- ßend	Тур 3	44	
Kettenbach	Panasil Initial Contact light	dünnfließend	Тур 3	41	
Coltene- Whaledent	President Plus Jet regular body	mittelfließend	Typ 2	37	

Tab. 4: Fließfähigkeit der Korrekturmaterialien

4.3. Urmodell

Für die Bestimmung der Dimensionsabweichungen der einzelnen Korrekturabformungen im Vergleich zum Urmodell wurde ein Modell entwickelt, an dessen Formen sich Dimensionsänderungen mit der Koordinatenmessmaschine besonders gut messen lassen. Dieses Modell besteht aus einer rechteckigen Grundplatte von 10cm x 6cm, auf der ein abgeschnittener Kegel und daneben ein Quader stehen. Das ganze Modell wurde in Edelstahl angefertigt. Der abgeschnittene Kegel kommt in seiner Form einem präparierten Zahnstumpf sehr nahe und ist als geometrische Figur von der zur Vermessung benutzten Koordinatenmessmaschine gut abtastbar. Der Quader neben dem Edelstahlstumpf dient der Koordinatenmessmaschine zur Erfassung eines Werkstückkoordinatensystems, also zur Orientierung innerhalb des Modells vor der Vermessung des Kegelstumpfes.



Abb. 4: Urmodell aus Edelstahl

Würfel		10 mm Seitenlänge	
Konizität des Kegelstumpfes	6°		10°
Stumpfdurchmesser Kreis 1	6,42 mm		4,73 mm
Stumpfdurchmesser Kreis 2 6,68 mm			5,26 mm
Stumpfdurchmesser Kreis 3 6,95 mm			5,84 mm
Stumpfdurchmesser Kreis 4 7,21 mm			6,38 mm
Stumpfdurchmesser Kreis 5	7,47 mm		6,94 mm
Höhe 11,94 m			11,95 mm

Tab. 5: Maßangaben der abgeformten Stümpfe und des Quaders

Der Kegelstumpf ist aufgeschraubt und wurde in zwei Ausführungen, mit einem Konuswinkel von 6° und von 10° hergestellt. Diese beiden Konizitäten bilden klinisch in etwa den üblichen Rahmen zwischen einer eher parallelen und einer eher konischen Präparationsform. Zuerst wurden die Korrekturabformungen mit dem 6°-Stumpf durchgeführt. Nach Beendigung der ersten Versuchsreihe wurde der zweite Kegelstumpf mit dem 10°-Konuswinkel auf das Modell geschraubt und ein Teil der Materialkombinationen wurde zusätzlich mit diesem Stumpf untersucht, der einen stärker konisch präparierten Zahn darstellen soll.

Als Abformlöffel wurden rechteckige Stahlförmchen benutzt, die perforiert wurden. Zwischen Modell und Löffelwand waren an allen Stellen mindestens 5mm Abstand, so dass sich beim Abziehen des Löffels gestauchtes Material wieder ausreichend zurückstellen konnte. An der rechteckigen Platte des Urmodells waren vier Führungspins angebracht, in deren Mitte man den Abformlöffel genau platzieren und dann grade auf das Modell aufsetzen konnte.

4.4. Durchführung der Abformungen

Vor Beginn der Abformungen wurde das Stahl-Urmodell in einen Thermoschrank gelegt, wo es auf 37°C aufgewärmt wurde, um den Bedingungen im Mund möglichst nahe zu kommen, und es wurde erst unmittelbar vor der Abformung entnommen. In der Zwischenzeit erfolgte das Einpinseln der Löffel mit dem für das Material passenden Haftlack. Die Vorabdruckmaterialien President Putty und Panasil Putty wurden nach Abwiegen der beiden Pastenkomponenten von Hand angemischt. Vor dem Zusammengeben der Pastenkomponenten wurde eine Stoppuhr eingeschaltet. Dann erfolgte die zügige und gründliche Durchmischung der beiden Pasten, wobei Vinylhandschuhe getragen wurden. Das Anmischen, Löffelbeschicken und das Aufsetzen des Löffels auf das Urmodell erfolgten innerhalb von einer Minute, um die Verarbeitungszeiten laut Herstellerangaben, die bei 1min, 20s und bei 2min liegen, sicherheitshalber etwas zu unterschreiten. Dann wurde für 10s ein Gewicht von 7,5kg auf den Löffel gestellt, um einen immer gleichen Anpressdruck zu gewährleisten. Danach wurde das Urmodell mit der Abformung zum Abbinden in das auf 37°C temperierte Wasserbad gegeben. 10min nach Anmischbeginn wurde die Abformung aus dem Wasserbad genommen und das Modell entformt. Dadurch wurden die von den Herstellern angegebenen Polymerisationszeiten, das heißt Verarbeitungszeiten und Mundverweildauern, die zwischen 3min, 20s und 4min, 25s lagen, in jedem Fall mehr als verdoppelt, um sicherzugehen, dass die Materialien bei der Entformung genügend abgebunden sind. Die Entnahme aus dem Wasserbad, Entformen und Trocknen des Urmodells als Vorbereitung für die nächste

Abformung erfolgten innerhalb einer Minute, um Ablauf und Zeiten der Abformung so weit wie möglich zu standardisieren.

Die Vorabformmaterialien Panasil Tray Fast, Panasil Tray Soft und Status Blue wurden mit dem Pentamix-Gerät angemischt, aber ansonsten genauso behandelt, wie die handangemischten Materialien. Die Abformungen wurden fortlaufend nummeriert und der Zeitpunkt zu Beginn der ersten Abformung an jedem Arbeitstag notiert, so dass genau 24 Stunden später die Korrekturabformungen durchgeführt werden konnten.

Zur Vorbereitung auf die Korrekturphase der Abformungen wurden wieder das Urmodell im Thermoschrank auf 37°C erwärmt und das Wasserbad auf 37°C temperiert. Dann wurden jeweils 24 h nach der Vorabformung die Korrekturabformungen durchgeführt, entsprechend der Nummerierung der Vorabformungen. Alle Korrekturmaterialien wurden aus Kartuschen mit Dispensern in die Vorabformung appliziert. Das Hineingeben des Materials erfolgte auf der Waage, um eine immer gleiche Menge an Korrekturmaterial (3,0g) zu gewährleisten. Vor dem Applizieren wurde die Stoppuhr eingeschaltet. Dann wurde innerhalb von 30s die Abformung mit Korrekturmaterial auf das Urmodell reponiert und für 5s wurde das Gewicht von 7,5kg auf die Abformung aufgesetzt. Danach wurde das Urmodell mit der Abformung zum Abbinden in das Wasserbad gestellt. Nach 10min wurde die Abformung innerhalb von 1min herausgenommen, das Modell entformt und getrocknet für die nächste Korrekturabformung. An jedem Arbeitstag wurde 10 Mal vorabgeformt und 10 Mal korrekturabgeformt, wenn am Tag vorher dafür die Vorabformungen hergestellt worden waren. Die Korrekturabformungen wurden mit 3 verschieden fließfähigen Materialien durchgeführt, die in Tabelle 4 aufgelistet sind.

4.5. Modellherstellung

Eine Stunde nach der letzten Korrekturabformung wurde mit der Modellherstellung begonnen. Mit dem Superhartgips Fuji-Rock, CG, Tokio, der gemäß der Herstellerangaben mit destilliertem Wasser angerührt und im Vakuum-Anmischgerät 40s unter Vakuum angemischt wurde, wurden die Abformungen ausgegossen. Als Sockelformer diente das Giroform-Sockel-System, bei dem sich das Gipsmodell durch einen Magneten und ein vorgefertigtes Splitcast-System auf einen Kunststoff-Sockel genau reponieren lässt. Die Modelle wurden bis zum vollständigen Abbinden des Gipses auf der Abformung gelagert, nach ca. einer Stunde entformt, nummeriert und vor dem Vermessen 3 Wochen lang im klimatisierten Laborraum gelagert.

4.6. Modellvermessung

Die Vermessung der Modellstümpfe erfolgte mit der Koordinatenmessmaschine vom Typ 3-D-Messmaschine Rapid der Firma Thome-Präzision, Messel (Maschinennummer: P 654203, Baujahr 04 / 2007). Die Messgenauigkeit der Maschine wird vom Hersteller mit +/- 2,5µm angegeben, in den Vorversuchen lag sie bei 1µm. Das Koordinatenmessgerät tastet mit einem Rubin-Taster von 2mm Durchmesser den zu vermessenden Stumpf nahezu kontinuierlich ab und übermittelt bei der Berührung mit dem Stumpf die X-, Y- und Z-Koordinaten des angetasteten Punktes an den integrierten Computer. Das Software-Programm (Metrolog), mit dem bei dieser Studie gearbeitet wurde, verarbeitet die ertasteten Punktkoordinaten und verbindet sie zu einem geometrischen Element. Nach der Ausrichtung der Maschine vom Maschinenkoordinatensystem auf das Werkstückkoordinatensystem anhand von drei Ebenen des mit abgeformten Quaders, erfolgte zunächst die Einstellung in den CNC-Modus. In diesem Modus wurde der Kegelstumpf automatisch mit 60 Messpunkten in verschiedenen Höhen angetastet und seine Form wurde von der Computersoftware als geometrisches Element Kegel erkannt. Dann wurden in dem von uns entwickelten Messprogramm 5 einzelne Kreise des Kegelstumpfes jeweils mit 24 Messpunkten vermessen. Die Schnittebenen des Kegels, an denen die Kreise gemessen wurden, lagen in 5 Ebenen im Abstand von jeweils 2mm, beginnend vom oberen Kegelrand (Kreis 1), (siehe Abbildung 5).

Danach wurde die Höhe des Kegels ermittelt, indem die Ebene, auf der der Kegelstumpf steht, und die Ebene auf dem Stumpf angetastet wurden und der Abstand zwischen beiden berechnet wurde. Der Durchmesser der 5 Kreise und die Höhe wurden im Messprogramm automatisch mit den Werten des als Sollwert eingemessenen Urmodells aus Edelstahl verglichen. Dadurch konnten diese Werte gleich als Durchmesser- bzw. Höhenabweichungen in die Rohdatentabellen aufgenommen werden. Ebenfalls berechnet und mit dem Urmodell verglichen wurden die Rundheitsabweichungen der 5 Modellkreise.

30



Abb. 5: Lage der 5 Messkreise



Abb. 6: 3-D-Koordinatenmessmaschine

4.7. Statistische Auswertung der Messwerte

Alle erhobenen Messdaten wurden direkt von dem mit der Koordinatenmessmaschine verbundenen Computer erfasst. Die für die Versuchsauswertung relevanten Werte wurden mit dem Statistik-Programm SPSS 12.0 (Fa SPSS, Inc., Columbus, USA) bearbeitet.

Es wurden mit jeder Materialkombination und Stumpf-Konizität 10 Korrekturabformungen durchgeführt. Die Messung der Durchmesser- und Rundheitsabweichungen erfolgte an fünf Messkreisen in verschiedenen Höhen für jeden Stumpf. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und Auswertbarkeit der Ergebnisse wurde jedoch für jeden Modellstumpf der Durchschnittswert aus den fünf Messkreisen gebildet und für die weitere Auswertung verwendet.

Für die 10 Korrekturabformungen wurden jeweils der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet. Zunächst wurden die Messergebnisse mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung überprüft. Dann wurde der Levene-Test auf Homogenität der Varianzen durchgeführt.

Daraus ergab sich, dass die Variablen Durchmesserabweichung, Rundheitsabweichung und Stumpfhöhenabweichung normal verteilt waren, aber zum Teil ungleiche Varianzen aufwiesen. Deshalb wurden in der Varianzanalyse statt des F-Tests der Welch-Test sowie der Brown-Forsythe-Test benutzt. Die paarweisen Untergruppenvergleiche zwischen den Materialkombinationen wurden mit dem Games-Howell-Test durchgeführt.

Als Hypothesen-Test auf statistisch signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Materialgruppen wurde der modifizierte t-Test nach Welch für unabhängige Stichproben verwendet [16].

Die Kontrolle der angewandten Methoden und der statistischen Auswertung erfolgte durch den Statistiker Herrn Dr. Jürgen Riehl, Wieseck.

Zur grafischen Darstellung und Verdeutlichung der Ergebnisse wurden Streubalken-Diagramme erstellt.
5 Ergebnisse

5.1. Mittelung der Durchmesserabweichungen und Gliederung der Ergebnisdarstellung

Bei der Betrachtung der Ergebnisse wurde zunächst untersucht, ob die fünf Messkreise als Schnitte des Kegelstumpfes in den unterschiedlichen Höhen bei einer Materialkombination ihre Dimension in einem ähnlichen Ausmaß änderten, ob es also legitim war, aus den fünf Messkreisen einen Mittelwert zu bilden. Die dazu durchgeführte Pearson-Korrelation zeigte, dass die Messungen an den Kreisen 2 bis 4 recht gut durch den Mittelwert repräsentiert werden konnten.

Die Messwerte des ersten Messkreises (Umfang des Kegelstumpfes am oberen Kegelrand) und die des fünften Messkreises (Umfang des Kegelstumpfes an seiner Schnittebene 8mm unterhalb des oberen Kegelrandes) wichen jedoch von dem Mittelwert stärker ab. Hier fielen die Durchmesserabweichungen geringer aus als bei den drei mittleren Messkreisen [vergleiche Ergebniskapitel 5.5.].

Die Unterschiede in den Durchmesserabweichungen zwischen den verschiedenen Materialkombinationen und bei den zwei unterschiedlichen Stumpf-Konizitäten von 6° und 10° wurden deshalb zunächst für jeden Messkreis einzeln berechnet. Zur Vereinfachung und Veranschaulichung der Ergebnis-Darstellung wurden die Werte der 5 Messkreise pro Stumpf jedoch wieder zu einem Mittelwert zusammengefasst. Alle nachfolgenden Graphiken beziehen sich auf diesen Mittelwert.

Der Einfluss der untersuchten Faktoren (Shore-A-Härte des Erstabformmaterials, Fließfähigkeit des Korrekturmaterials und Stumpfkonizität) auf die Durchmesserabweichung der Gipsstümpfe gegenüber dem Stahl-Urmodell [vgl. 5.2], auf die Rundheitsabweichung der Gipsstümpfe gegenüber dem Urmodell [vgl.5.3] sowie auf die Stumpfhöhenabweichung gegenüber dem Urmodell [vgl.5.4], als Messgrößen, die zeigen, wie dimensionsgenau die Wiedergabe der abgeformten Stümpfe ist, wird im Folgenden dargestellt.



5.2. Einfluss von Shore-A-Härte des Vorabformungsmaterials, Fließfähigkeit des Korrekturmaterials und Stumpfkonizität auf die Durchmesserabweichung

Abb. 7: Durchmesserabweichungen am 6°-Stumpf-Modell

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V4 = Vorab formung smaterial 4: Kettenbach Panasil Tray Soft
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue
- K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (blau markiert)
- K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light (grün markiert)
- K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (schwarz markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

In Abbildung 7 sind die Durchmesserabweichungen bei dem Stumpfmodell mit 6°-Konizität bei den verschiedenen Abformmaterialkombinationen dargestellt. Das Diagramm zeigt, wie stark der Stumpfdurchmesser, als Mittelwert der fünf in den unterschiedlichen Höhen gemessenen Durchmesserabweichungen, vom Durchmesser des Edelstahl-Urmodells abweicht und wie stark die Messwerte innerhalb der zehn Abformungen streuen.

Um den Einfluss des Vorabformmaterials auf die Durchmesserabweichungen zu veranschaulichen, erscheinen alle Materialkombinationen mit demselben Korrekturmaterial in einer Farbe. Bei den Materialkombinationen mit dem Korrekturmaterial Panasil Initial Contact x-light sind die Balken blau markiert, bei den Materialkombinationen mit dem Korrekturmaterial Panasil Initial Contact light grün und bei den Materialkombinationen mit dem Korrekturmaterial President Plus Jet schwarz. Wenn das gleiche Korrekturmaterial verwendet wurde, kommen die Unterschiede in den Durchmesserabweichungen durch das jeweils benutzte Vorabformmaterial zustande. Diese Unterschiede werden in nachfolgenden Diagrammen direkt miteinander verglichen.

Die geringste Durchmesserabweichung zeigte mit -59µm die Materialkombination aus President Putty und Panasil Initial Contact x-light, die zweitgeringste Abweichung von -61µm fand sich bei der Kombination aus President Putty und Panasil Initial Contact light. Dann folgte die Materialkombination aus Panasil Putty und Panasil Initial Contact x-light mit einer Durchmesserabweichung von -75µm. Die nächst höhere Abweichung wurde mit -89µm bei der Kombination von Panasil Tray Fast und Panasil Initial Contact light gemessen. Dann folgte Panasil Tray Fast und Panasil Initial Contact x-light mit einer Abweichung von -90µm. Eine etwas höhere Durchmesserabweichung von -97µm zeigte sich bei der Materialkombination von Panasil Tray Soft und Panasil Initial Contact x-light. Die Kombination aus Panasil Putty und Initial Contact light ergab eine Durchmesserabweichung von -99µm. Die nächst höhere Abweichung fand sich bei der Materialkombination Panasil Tray Soft und Panasil Initial Contact light mit -118µm. Danach folgte die Kombination von President Putty und President Plus Jet mit einer Durchmessrabweichung von -122µm und danach die Materialkombination von Panasil Putty und President Plus Jet mit -126µm Abweichung. Bei der Materialkombination von Status Blue und Panasil Initial Contact x-light ergab sich eine Durchmesserabweichung von -150µm und bei der Kombination von Panasil Tray Fast und President Plus Jet eine Abweichung von -155µm. Die nächst höhere Durchmesserabweichung fand sich mit -157µm zweimal und zwar bei der Materialkombination von Panasil Tray Soft und President Plus Jet und bei der Kombination von Status Blue und Initial Contact light. Die

höchste Durchmesserabweichung von -208µm zeigte sich bei der Materialkombination von Status Blue und President Plus Jet.



Abb. 8: Durchmesserabweichungen am 10°-Stumpf-Modell

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue
- K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (rot markiert)

K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (gelb markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

Im Diagramm in Abbildung 8 sind die Durchmesserabweichungen und deren Streuung bei den 6 verschiedenen Materialkombinationen zu sehen, mit denen der Modellstumpf mit 10°-Konizität abgeformt wurde. Die Balken mit den Materialkombinationen, bei denen das Korrekturmaterial Panasil Initial Contact x-light verwendet wurde, sind dabei rot markiert und die Balken mit den Materialkombinationen, bei denen das Korrekturmaterial President Plus Jet benutzt wurde, sind gelb markiert. Die mittleren Durchmesserabweichungen betrugen bei President Putty und Panasil Initial Contact x-light -92µm, bei President Putty und President Plus Jet -101µm, bei Panasil Tray Fast und Panasil Initial Contact x-light -72µm, bei Panasil Tray Fast und President Plus Jet -106µm, bei Status Blue und Panasil Initial Contact x-light -103µm und bei Status Blue und President Plus Jet -106µm. Signifikante Unterschiede lagen vor zwischen President Putty und President Plus Jet. Die Kombination von Panasil Tray Fast und Initial Contact x-light unterschied sich signifikant von der Kombination Panasil Tray Fast und President Plus Jet und hoch signifikant von Status Blue und President Plus Jet. Status Blue mit Panasil Initial Contact x-light kombiniert unterschied sich signifikant von Status Blue mit President Plus Jet kombiniert.



Abb. 9: Einfluss des Erstabdruckmaterials auf die Durchmesserabweichungen beim 6°-Stumpf-Modell

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue
- K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (blau markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

Abbildung 9 zeigt die Untergruppe aus der Abbildung 7 mit dem Korrekturmaterial Panasil Initial Contact x-light (sehr dünn fließendes Korrekturmaterial). Die geringsten Durchmesserabweichungen fanden sich bei der Kombination mit dem Erstabformmaterial President Putty (Shore-A-Härte = 74), die mittlere Durchmesserabweichung betrug -59µm. Mit dem Erstabformungsmaterial Panasil Putty (Shore-A-Härte = 68) wurde in dieser Studie eine mittlere Durchmesserabweichung von -75µm gemessen. Bei dem Erstabformungsmaterial Panasil Tray Fast (Shore-A-Härte = 65) betrug die mittlere Durchmesserabweichung -90µm, bei Panasil Tray Soft (Shore-A-Härte = 59) -97µm und bei Status Blue (Shore-A-Härte = 43) -150µm. President Putty unterschied sich dabei signifikant (p<0,05) von Panasil Tray Fast und Panasil Tray Soft und hoch signifikant (p<0,001) von Status Blue. Panasil Tray Fast unterschied sich signifikant von Panasil Tray Soft und hoch signifikant von Status Blue. Panasil Tray Soft unterschied sich hoch signifikant von Status Blue.



Abb. 10: Einfluss des Erstabdruckmaterials auf die Durchmesserabweichungen beim 6°-Stumpf-Modell

Abkürzungen:

V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty

V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty

V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast

V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft

V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue

K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light (grün markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

In Abbildung 10 sind die Materialkombinationen aus Abbildung 7 aufgeführt, bei denen das Korrekturmaterial Panasil Initial Contact light (dünn fließendes Korrekturmaterial) verwendet wurde. Bei der Kombination mit Panasil Initial Contact light ergab sich mit President Putty als Erstabformungsmaterial die geringste mittlere Durchmesserabweichung von -60µm, mit Panasil Putty war die mittlere Durchmesserabweichung höher und betrug -99µm, mit Panasil Tray Fast war sie wieder etwas geringer und betrug -89µm, bei Panasil Tray Soft lag die mittlere Durchmesserabweichung bei -118µm und bei Status Blue bei -157µm. President Putty unterschied sich hoch signifikant von Panasil Putty unterschied sich hoch signifikant von Panasil Tray Fast unterschied sich signifikant von Panasil Tray Soft und Status Blue und signifikant von Status Blue, Panasil Tray Soft unterschied sich signifikant von Status Blue, Panasil Tray Soft unterschied sich signifikant von Status Blue.





Abkürzungen:

V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty

V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty

- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue

K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (schwarz markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

In Abbildung 11 sind die Materialkombinationen aus Abbildung 7 dargestellt, bei denen das Korrekturmaterial President Plus Jet (mittelfließendes Korrekturmaterial) verwendet wurde. Die mittlere Durchmesserabweichung, die sich mit diesem Korrekturmaterial bei der Kombination mit President Putty als Erstabformungsmaterial ergab, betrug -122µm, bei Panasil Putty lag die mittlere Durchmesserabweichung bei -126µm, bei Panasil Tray Fast bei -155µm, bei Panasil Tray Soft bei -157µm und bei Status Blue bei -208µm. President Putty unterschied sich signifikant von Panasil Tray Fast und von Panasil Tray Soft und hoch signifikant von Status Blue. Panasil Putty unterschied sich signifikant von Status Blue, Panasil Tray Fast unterschied sich hoch signifikant von Status Blue und Panasil Tray Soft unterschied sich signifikant von Status Blue.



Abb. 12: Einfluss des Korrekturmaterials auf die Durchmesserabweichung, bei Verwendung desselben Erstabformungsmaterials, hier Coltene President Putty, beim 6°-Stumpf-Modell

Abkürzungen:

V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty

K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (blau markiert)

K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light (grün markiert)

K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (schwarz markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

In Abbildung 12 sind die Materialkombinationen aus der Abbildung 7 gesondert dargestellt, bei denen als Vorabformmaterial President Putty verwendet wurde. Die Unterschiede in den Durchmesserabweichungen kommen bei der Verwendung des gleichen Vorabdruckmaterials und sonst gleichen Bedingungen durch den Einfluss des Korrekturmaterials zustande. Dabei ergab sich bei der Kombination dieses Vorabformmaterials mit dem Korrekturmaterial Panasil Initial Contact x-light (sehr hohe Fließfähigkeit) eine mittlere Durchmesserabweichung von -59µm. Bei dem Korrekturmaterial Panasil Initial Contact light (hohe Fließfähigkeit) betrug die mittlere Durchmesserabweichung -60µm und bei President Plus Jet (mittlere Fließfähigkeit) -122µm. Panasil Initial Contact xlight und Panasil Initial Contact light unterschieden sich beide signifikant von President Plus Jet.



Abb. 13: Einfluss des Korrekturmaterials auf die Durchmesserabweichung, bei Verwendung desselben Erstabformungsmaterials, hier Panasil Tray Fast, beim 6°-Stumpf-Modell

Abkürzungen:

- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (blau markiert)
- K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light (grün markiert)
- K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (schwarz markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

Abbildung 13 zeigt die Materialkombinationen aus der Abbildung 7, bei denen als Vorabformungsmaterial Panasil Tray Fast verwendet wurde. In der Kombination mit diesem Vorabformmaterial ergab sich für die mittlere Durchmesserabweichung bei dem Korrekturmaterial Panasil Initial Contact x-light ein Wert von -90µm. Für Panasil Initial Contact light betrug die mittlere Durchmesserabweichung -89µm, auch hier zeigte sich also, dass sich die Ergebnisse für diese beiden Korrekturmaterialien nur gering unterschieden. Bei dem Korrekturmaterial President Plus Jet lag die mittlere Durchmesserabweichung bei -155µm. Panasil Initial Contact x-light und Panasil Initial Contact light unterschieden sich hoch signifikant von President Plus Jet.



Abb. 14: Einfluss der Stumpfkonizität auf die Durchmesserabweichungen, bei den gleichen Materialkombinationen am 6°-Stumpf und 10°-Stumpf nebeneinander verglichen

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue
- K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light
- K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

Abbildung 14 zeigt die Durchmesserabweichungen der gleichen Materialkombinationen, am 6°-Stumpf-Modell und am 10°-Stumpf-Modell abgeformt, nebeneinander, um die Unterschiede in den Durchmesserabweichungen zwischen 6°-Konizität und 10°-Konizität schneller zu überblicken. Es fällt auf, dass mit Ausnahme der ersten Materialkombination von President Putty und Panasil Initial Contact x-light bei den übrigen Materialkombinationen die mittlere Durchmesserabweichung für die Abformungen am 10°-Stumpf-Modell geringer ausfiel als für die Abformungen am 6°-Stumpf-Modell. Bei den Materialkombinationen Panasil Tray Fast und Initial Contact x-light, Panasil Tray Fast und President Plus Jet, Status Blue und Initial Contact x-light und Status Blue und President Plus Jet waren die Unterschiede zwischen 6°-Konizität und 10°-Konizität signifikant. Der geringste Wert für die mittlere Durchmesserabweichung mit -59µm, und damit die beste Dimensionswiedergabe, fand sich dabei jedoch bei der Abformung am 6°-Stumpf-Modell bei der Materialkombination mit der höchsten Shore-A-Härte und der höchsten Fließfähigkeit. Die höchste mittlere Durchmesserabweichung mit -208µm fand sich ebenfalls bei der Abformung am 6°-Stumpf bei der Materialkombination mit der niedrigsten Shore-A-Härte und der geringsten Fließfähigkeit.

V1 K1	V1 K2	V1 K3	V2 K1	V2 K2	V2 K3	V3 K1	V3 K2	V3 K3	V4 K1	V4 K2	V4 K3	V5 K1	V5 K2	V5 K3	
	n.s.	**	n.s.	**	**	**	*	***	**	***	***	***	***	***	V1 K1
		**	n.s.	***	**	***	**	***	**	***	***	***	***	***	V1 K2
			**	n.s.	n.s.	*	**	*	*	n.s.	*	*	*	***	V1 K3
				*	*	n.s.	*	***	**	***	***	***	***	***	V2 K1
					n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.	***	**	***	***	V2 K2
						*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s	n.s.	n.s.	**	V2 K3
							n.s.	***	n.s.	**	***	***	***	***	V3 K1
								***	n.s.	**	***	***	***	***	V3 K2
									***	***	n.s	n.s.	n.s.	***	V3 K3
										**	***	***	***	***	V4 K1
											*	**	**	***	V4 K2
												n.s.	n.s.	**	V4 K3
													n.s.	***	V5 K1
														***	V5 K2
															V5 K3

Tab. 6: Signifikanztabelle der Durchmesserabweichungen beim 6°-Stumpf-Modell

Erläuterungen: n.s. = nicht signifikant * = p < 0,05 ** = p < 0,01 *** = p < 0,001

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft

V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue

K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light

K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light

K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet

Pres Putty u. Init, C.x- light	Pres Putty u. Pres. Plus Jet	Panasil Tray Fast u. Init. C.x-light	Panasil Tray Fast u.Pres Plus Jet	Status Blue u. Init, C.x- light	Status Blue u. Pres Plus Jet	
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	Pres Putty u.Init. C.x- light
		n.s.	n.s.	n.s.	**	Pres Putty u. Pres Plus Jet
			**	n.s.	***	Panasil Tray Fast u. Init. C.x-light
	c c			n.s.	***	Panasil Tray Fast u. Pres Plus Jet
					**	Status Blue u. Init. C.x- light
						Status Blue u. Pres Plus Jet

Tab.7: Signifikanztabelle der Durchmesserabweichungen beim 10°-Stumpf-Modell

Erläuterungen:

n.s. = nicht signifikant * = p < 0,05 ** = p < 0,01 *** = p < 0,001

Pres.Putty u. Init.Cx- light 6°- Stumpf	Pres Putty u. Pres Plus Jet 6°- Stumpf	Panasil Tray Fast u. Init. C.x- light 6°- Stumpf	Panassil Tray Fast u. Pres plus Jet 6º stumpf	Status Blue u. Init. C.x- light 6°- Stumpf	Status Blue u. Pres Plus Jet 6°- Stumpf	
n.s.						Pres Putty u. Init. C.x- light 10 ^{°-} Stumpf
	n.s.					Pres Putty u. Pres Plus Jet 10º-Stumpf
		*				Panasil Tray Fast u. Init. C.x- light 10 ^{°-} Stumpf
			**			Panasil Tray Fast u. Pres Plus Jet 10º-Stumpf
				*		Status Blue u.Init.C. x- light 10 ^{°-} Stumpf
					**	Status Blue u. Pres Plus Jet 10º-Stumpf

Tab. 8: Signifikanztabelle der Unterschiede in den Durchmesserabweichungen zwischen 6°-Stumpf- und 10°-Stumpf-Modell

Erläuterungen:

	-
n.s.	= nicht signifikant
*	= p < 0,05
**	= p < 0,01
***	= p < 0,00

5.3 Einfluss der Shore-A-Härte des Erstabformungesmaterials, der Fließfähigkeit des Korrekturmaterials und der Stumpfkonizität auf die Rundheitsabweichung



Abb. 15: Rundheitsabweichungen bei den verschiedenen Materialkombinationen beim 6°-Stumpf-Modell

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue
- K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (blau markiert)
- K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light (grün markiert)
- K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (schwarz markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

In Abbildung 15 sind die Rundheitsabweichungen vom Urmodell beim 6°-Stumpf aufgeführt. Materialkombinationen, die jeweils das gleiche Korrekturmaterial enthalten, sind dabei in einer Farbe dargestellt, um die Unterschiede in den Rundheitsabweichungen, die sich durch die Verwendung der verschiedenen Erstabformungsmaterialien ergeben, zu veranschaulichen. Beim Korrekturmaterial Panasil Initial Contact x-light sind die Fehlerbalken blau, beim Korrekturmaterial Panasil Initial Contact light grün und beim Korrekturmaterial President Plus Jet schwarz dargestellt.

Die geringste Rundheitsabweichung beim 6°-Stumpf-Modell fand sich mit 14µm bei der Materialkombination Coltene President Putty und Panasil Initial Contact x-light. Dann folgte die Materialkombination President Putty und Panasil Initial Contact light mit 15µm. Die nächst höhere Rundheitsabweichung betrug 20µm und zeigte sich bei der Materialkombination Panasil Tray Fast und Panasil Initial Contact light und ebenfalls bei der Materialkombination Panasil Tray Fast und Panasil Initial Contact x-light. Dann folgte mit einer Abweichung von 22µm die Materialkombination Panasil Tray Fast und President Plus Jet. Die nächst höhere Rundheitsabweichung zeigte sich bei drei Materialkombinationen: President Putty und President Plus Jet, Panasil Putty und Panasil Initial Contact x-light sowie bei Panasil Tray Soft und Panasil Initial Contact x-light und sie betrug 23µm. Die Materialkombination aus Panasil Tray Soft und Panasil Initial Contact light wies eine Rundheitsabweichung von 24µm auf. Danach folgte die Kombination aus Panasil Putty und Panasil Initial Contact light mit einer Abweichung von 25µm. Die nächst höhere Rundheitsabweichung zeigte sich bei der Materialkombination Status Blue mit Panasil Initial Contact light und betrug 32µm. Eine Rundheitsabweichung von 33µm fand sich bei den beiden folgenden Materialkombinationen: Panasil Tray Soft und President Plus Jet sowie bei Status Blue und Panasil Initial Contact xlight. Eine Rundheitsabweichung von 38µm fand sich bei der Materialkombination Panasil Putty und President Plus Jet. Die höchste Rundheitsabweichung betrug 48µm und wurde für die Materialkombination Status Blue und President Plus Jet gemessen.



Abb. 16: Rundheitsabweichungen beim 10°-Stumpf-Modell

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue
- K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (rot markiert)
- K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (gelb markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

In Abbildung 16 sind die Rundheitsabweichungen und deren Streuung beim 10°-Stumpf-Modell dargestellt. Zur Veranschaulichung der Unterschiede zwischen den Vorabdruckmaterialien sind die Materialgruppen, bei denen das gleiche Korrekturmaterial verwendet wurde, einheitlich farbig markiert: Bei Panasil Initial Contact x-light in rot und bei President Plus Jet in gelb. Bei der Kombination von President Putty als Erstabformmaterial und Panasil Initial Contact x-light als Korrekturmaterial lag die mittlere Rundheitsabweichung bei 60µm, bei President Putty und President Plus Jet betrug sie 42µm, bei Panasil Tray Fast und Panasil Initial Contact x-light 16µm, bei Panasil Tray Fast und President Plus Jet 22µm, bei Status Blue und Panasil Initial Contact x-light 30µm und bei Status Blue und President Plus Jet 49µm. In der Kombination mit Panasil Initial Contact x-light waren die Unterschiede zwischen President Putty, Panasil Tray Fast und Status Blue signifikant, wobei Panasil Tray Fast und Panasil Initial Contact xlight die geringste Rundheitsabweichung und Streuung der Messwerte aufwiesen.



Abb. 17: Einfluss der Shore-A-Härte des Vorabformungsmaterials auf die Rundheitsabweichung, bei gleichem Korrekturmaterial, hier Panasil Initial Contact xlight, am 6°-Stumpf

Abkürzungen:

```
V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
```

- V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue

K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (blau markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung

In Abbildung 17 sind die Balken aus Abbildung 15, die die Rundheitsabweichungen zeigen, die sich aus den Abformungen mit Materialkombinationen ergeben haben, bei denen als Korrekturmaterial Panasil Initial Contact x-light verwendet wurde, gesondert dargestellt und blau markiert. Die geringste mittlere Rundheitsabweichung zeigte sich bei der Kombination mit President Putty als Vorabformmaterial mit 14µm. Die mittlere

Rundheitsabweichung betrug bei Panasil Putty als Vorabformmaterial 23µm, bei Panasil Tray Fast 20µm, bei Panasil Tray Soft 23µm und bei Status Blue 33µm. President Putty unterschied sich signifikant von Panasil Putty, von Panasil Tray Fast, Panasil Tray Soft und Status Blue. Panasil Putty unterschied sich signifikant von Status Blue, Panasil Tray Fast unterschied sich signifikant von Status Blue, und Panasil Tray Soft unterschied sich signifikant von Status Blue.



Abb. 18: Einfluss der Shore-A-Härte des Vorabformungsmaterials auf die Rundheitsabweichung, bei gleichem Korrekturmaterial, hier Panasil Initial Contact light, am 6°-Stumpf

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue
- K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light (grün markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

In Abbildung 18 sind die Materialgruppen aus der Abbildung 15 alleine aufgeführt, bei denen als Korrekturmaterial Panasil Initial Contact light benutzt wurde. Dadurch werden die Unterschiede sichtbar, die sich durch die Verwendung der verschiedenen Erstabformmaterialien mit unterschiedlichen Shore-A-Härten ergaben. Die geringste mittlere Rundheitsabweichung zeigte sich in der Kombination mit President Putty als Vorabformungsmaterial und betrug 15µm. Bei Panasil Putty als Vorabformungsmaterial lag die mittlere Rundheitsabweichung bei 25µm, bei Panasil Tray Fast betrug sie 20µm, bei Panasil Tray Soft 24µm und bei Status Blue 32µm. President Putty unterschied sich hoch signifikant von Panasil Putty und von Status Blue und signifikant von Panasil Tray Soft. Panasil Putty unterschied sich signifikant von Status Blue. Panasil Tray Fast unterschied sich signifikant von Status Blue. Panasil Tray Soft unterschied sich signifikant von Status Blue.



Abb. 19: Einfluss der Shore-A-Härte des Vorabformungsmaterials auf die Rundheitsabweichung, bei gleichem Korrekturmaterial, hier Coltene President Plus Jet, am 6°-Stumpf

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue
- K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (schwarz markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

Abbildung 19 zeigt die Materialgruppen aus Abbildung 15 gesondert, bei denen als Korrekturmaterial President Plus Jet verwendet wurde. In der Kombination mit President Putty als Erstabformungsmaterial lag die mittlere Rundheitsabweichung bei 23µm. Bei Panasil Putty betrug sie 38µm, bei Panasil Tray Fast 22µm, bei Panasil Tray Soft 33µm und bei Status Blue 50µm. President Putty unterschied sich signifikant von Panasil Putty und von Panasil Tray Soft und hoch signifikant von Status Blue. Panasil Putty unterschied sich signifikant von Panasil Tray Fast und Panasil Tray Fast unterschied sich signifikant von Panasil Tray Soft und hoch signifikant von Status Blue. Panasil Tray Soft unterschied sich signifikant von Status Blue. Panasil



Abb. 20: Einfluss der Fließfähigkeit des Korrekturmaterials auf die Rundheitsabweichung, bei gleichem Vorabformungsmaterial, hier Panasil Putty, am 6°-Stumpf

Abkürzungen:

- V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty
- K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (blau markiert)
- K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light (grün markiert)
- K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (schwarz markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

In Abbildung 20 sind die Rundheitsabweichungen der Materialkombinationen aus Abbildung 15 alleine zu sehen, bei denen das gleiche Vorabformmaterial, nämlich Panasil Putty, benutzt wurde. In Kombination mit Panasil Initial Contact x-light betrug die mittlere Rundheitsabweichung 23µm, bei Panasil Initial Contact light betrug sie 25µm und bei President Plus Jet 38µm. Panasil Initial Contact x-light und Panasil Initial Contact light unterschieden sich signifikant von President Plus Jet.



Abb. 21: Einfluss der Fließfähigkeit des Korrekturmaterials auf die Rundheitsabweichung, bei gleichem Vorabformungsmaterial, hier Panasil Tray Soft, am 6°-Stumpf

Abkürzungen:

- V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft
- K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (blau markiert)
- K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light (grün markiert)
- K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (schwarz markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

Abbildung 21 zeigt die Materialkombinationen aus der Abbildung 15 gesondert, in denen dasselbe Vorabdruckmaterial, hier Panasil Tray Soft, verwendet wurde, wodurch die Unterschiede in den Rundheitsabweichungen, die sich durch die Verwendung der drei unterschiedlich fließfähigen Korrekturmaterialien ergeben, deutlicher sichtbar werden. Die mittlere Rundheitsabweichung betrug bei dem Korrekturmaterial Panasil Initial Contact x-light 23µm, bei Panasil Initial Contact light 24µm und bei President Plus Jet 33µm. Panasil Initial Contact x-light und Panasil Initial Contact light unterschieden sich jeweils signifikant von President Plus Jet.



Abb. 22: Einfluss der Stumpfkonizität auf die Rundheitsabweichung, gleiche Materialkombinationen am 6°-Stumpf-Modell und 10°-Stumpf-Modell miteinander verglichen

Abkürzungen:

V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty

V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast

V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue

K1 = Korrekturmaterial 1: Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (beim 6°-Stumpf blau und beim 10°-Stumpf rot markiert)

K3 = Korrekturmaterial 3: Coltene President Plus Jet (beim 6°-Stumpf schwarz und beim 10°-Stumpf gelb markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

Im Diagramm in der Abbildung 22 sind die Rundheitsabweichungen am 6°-Stumpf-Modell und am 10°-Stumpf-Modell aus den Diagrammen 15 und 16 bei der Verwendung der gleichen Materialkombination jeweils nebeneinander dargestellt, um den Vergleich zu vereinfachen. Die Rundheitsabweichungen bei den Abformungen am 6°-Stumpf sind blau und schwarz markiert, die Rundheitsabweichungen am 10°-Stumpf-Modell sind rot und gelb dargestellt. Bei den Materialkombinationen President Putty und Panasil Initial Contact x-light und President Putty und President Plus Jet waren die mittleren Rundheitsabweichungen bei den Abformungen am 6°-Stumpf kleiner als am 10°-Stumpf. Bei President Putty und Panasil Initial Contact x-light war dieser Unterschied signifikant. Für die Abformungen mit dieser Kombination zeigte sich am 6°-Stumpf mit 14µm die geringste mittlere Rundheitsabweichung von allen Abformungen. Bei den Materialkombinationen Panasil Tray Fast und Panasil Initial Contact x-light, Status Blue und Panasil Initial Contact x-light sowie Status Blue und President Plus Jet waren die mittleren Rundheitsabweichungen bei den Abformungen am 10°-Stumpf geringfügig kleiner als am 6°-Stumpf. Bei Panasil Tray Fast und President Plus Jet waren sie gleich. Nur bei der Materialkombination Panasil Tray Fast und Panasil Initial Contact x-light war der Unterschied signifikant. Bei den Materialkombinationen President Putty und Panasil Initial Contact x-light und President Putty und President Plus Jet waren bei den Abformungen am 10°-Stumpf-Modell die großen Streuungen der Messwerte auffällig.

V1 K1	V1 K2	V1 K3	V2 K1	V2 K2	V2 K3	V3 K1	V3 K2	V3 K3	V4 K1	V4 K2	V4 K3	V5 K1	V5 K2	V5 K3	
	n.s.	*	*	***	***	**	*	*	**	**	***	***	***	***	V1 K1
		*	*	***	**	**	n.s.	*	**	**	***	***	***	***	V1K2
			n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	*	***	V1 K3
				n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	*	***	V2 K1
					*	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	**	***	V2 K2
						**	**	*	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	V2 K3
							n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***	**	***	***	V3 K1
								n.s.	n.s.	n.s.	**	**	**	***	V3 K2
									n.s.	n.s.	**	*	**	***	V3 K3
										n.s.	*	*	*	***	V4 K1
											*	n.s.	*	***	V4 K2
												n.s.	n.s.	**	V4 K3
													n.s.	**	V5 K1
														***	V5 K2
															V5 КЗ

Tab. 9: Signifikanztabelle der Rundheitsabweichungen beim 6°-Stumpf-Modell

Erläuterungen: n.s. = nicht signifikant * = p < 0,05 = p < 0,01 = p < 0,001 ** ***

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft

V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue

- K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light
- K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light
- K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet

		Panasil	Panasil			
	Pres Putty	Tray Fast	Tray Fast	Status Blue	Status Blue	
Pres Putty u.	u. Pres.	u. Init. C.x-	u.Pres Plus	u. Init. C.x-	u. Pres	
Init. C.x-light	Plus Jet	light	Jet	light	Plus Jet	
						Pres Putty
						u.Init. C.x-
	n.s.	**	*	*	n.s.	light
						Pres Puttv
						u. Pres
		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	Plus Jet
						Panasil
						Tray Fast
						u. Init. C.x-
			*	***	***	light
						Panasil
						Tray Fast
					***	u. Pres
				*	***	Plus Jet
						Status Blue
						u. Init. C.x-
					**	light
						Status Blue
						u. Pres
						Plus Jet

 Tab.10: Signifikanztabelle der Rundheitsabweichungen beim 10°-Stumpf Modell

Erläuterungen:

- n.s. = nicht signifikant
- * = p < 0,05
- ** = p < 0,01
- *** = p < 0,001

Pres.Putty u. Init.Cx- light 6°- Stumpf	Pres Putty u. Pres Plus Jet 6º- Stumpf	Panasil Tray Fast u. Init. C.x- light 6°- Stumpf	Panassil Tray Fast u. Pres plus Jet 6º- stumpf	Status Blue u. Init. C.x- light 6°- Stumpf	Status Blue u. Pres Plus Jet 6º- Stumpf	
**						Pres Putty u. Init. C.x- light 10 ^{°-} Stumpf
	n.s.					Pres Putty u. Pres Plus Jet 10º-Stumpf
		*				Panasil Tray Fast u. Init. C.x- light 10 [°] Stumpf
			n.s.			Panasil Tray Fast u. Pres Plus Jet 10º-Stumpf
				n.s.		Status Blue u.Init.C. x- light 10 ^{°-} Stumpf
					n.s.	Status Blue u. Pres Plus Jet 10º-Stumpf

Tab. 11: Signifikanztabelle der Unterschiede in den Rundheitsabweichungen zwischen 6°-Stumpf-Modell und 10°-Stumpf-Modell

Erläuterungen: n.s. = nicht signifikant

* = p < 0,05 **

= p < 0,01 = p < 0,001 ***

5.4 Einfluss der Shore-A-Härte des Erstabformungsmaterials, der Fließfähigkeit des Korrekturmaterials und der Stumpfkonizität auf die Abweichung der Stumpfhöhe vom Urmodell



Abb. 23: Abweichungen der Stumpfhöhe vom Urmodell beim 6°-Stumpf-Modell

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue
- K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (blau markiert)
- K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light (grün markiert
- K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (schwarz markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

In Abbildung 23 sind die Abweichungen der Stumpfhöhe vom Urmodell bei den verschiedenen Materialgruppen am 6°-Stumpf-Modell dargestellt. Zur verbesserten Übersicht über die Unterschiede zwischen den Erstabformmaterialien sind die Materialgruppen, bei denen das gleiche Korrekturmaterial benutzt wurde, in einer Farbe markiert, bei dem Korrekturmaterial Panasil Initial Contact x-light blau: Bei Panasil Initial Contact light grün und bei President Plus Jet schwarz. Diese Untergruppen werden in nachfolgenden Abbildungen gesondert aufgeführt.

Bei der Materialkombination Panasil Tray Fast und Panasil Initial Contact x-light zeigte sich mit -57µm die geringste Stumpfhöhenabweichung. Etwas größer war mit -66µm die Stumpfhöhenabweichung bei der Kombination von Panasil Putty und Panasil Initial Contact x-light. Eine Stumpfhöhenabweichung von -67µm fand sich bei drei Materialkombinationen: President Putty und Panasil Initial Contact x-light, President Putty und Panasil Initial Contact light sowie Panasil Tray Fast und Panasil Initial Contact light. Die nächst höhere Abweichung von der Stumpfhöhe wurde für die Materialkombination Panasil Tray Soft und Panasil Initial Contact x-light gemessen und betrug -75µm. Dann folgte die Kombination President Putty und President Plus Jet mit -78µm. Bei der Materialkombination von Panasil Tray Soft und Panasil Initial Contact light fand sich eine Abweichung von -85µm. Für die Kombination Panasil Tray Fast und President Plus Jet ergaben die Messungen eine durchschnittliche Stumpfhöhenabweichung von -98µm. Nur geringfügig höher war die Stumpfhöhenabweichung mit -99µm bei der Materialkombination Panasil Putty und Panasil Initial Contact light. Die nächst höhere Stumpfhöhenabweichung fand sich mit -110µm bei der Materialkombination Status Blue und Panasil Initial Contact x-light. Bei der Materialkombination Panasil Tray Soft und President Plus Jet zeigte sich eine Stumpfhöhenabweichung von -115µm. Eine Abweichung von -119µm wurde bei der Materialkombination von Panasil Putty und President Plus Jet gemessen. Sehr viel höher lag mit -176µm die Stumpfhöhenabweichung bei der Materialkombination Status Blue und Panasil Initial Contact light und es zeigte sich hier eine große Streuung der Messwerte. Die höchste Stumpfhöhenabweichung vom Urmodell wurde mit -208µm bei der Materialkombination Status Blue und President Plus Jet gemessen.



Abb. 24: Abweichungen der Stumpfhöhe vom Urmodell am 10°-Stumpf-Modell

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue
- K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (rot markiert)
- K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (gelb markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

Die Abbildung 24 zeigt die Abweichung der Stumpfhöhe vom Urmodell bei den verschiedenen Materialkombinationen beim 10°-Stumpf-Modell. Die Materialkombinationen mit dem gleichen Korrekturmaterial sind dabei in der gleichen Farbe dargestellt, bei dem Korrekturmaterial Panasil Initial Contact x-light in rot und bei President Plus Jet in gelb. Die mittlere Stumpfhöhenabweichung betrug bei der Materialkombination aus President Putty und Panasil Initial Contact x-light -78µm, bei President Putty und President Plus Jet -80µm, bei Panasil Tray Fast und Panasil Initial Contact x-light -87µm, bei Panasil Tray Fast und President Plus Jet -91µm, sowie bei Status Blue und Panasil Initial Contact x-light -150µm. Die Materialkombination Status Blue und President Plus Jet zeigte mit -274µm mit Abstand die größte Stumpfhöhenabweichung und eine sehr große Streubreite der Messwerte über 200µm.



Abb. 25: Einfluss des Vorabformungsmaterials auf die Abweichungen der Stumpfhöhe vom Urmodell, bei dem gleichen Korrekturmaterial, hier Panasil Initial Contact x-light, beim 6°-Stumpf

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue

K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (blau markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

In Abbildung 25 sind die Materialkombinationen aus Abbildung 23 dargestellt, bei denen als Korrekturmaterial Panasil Initial Contact x-light verwendet wurde. In der Kombination mit Panasil Initial Contact x-light als Korrekturmaterial wies Panasil Tray Fast die geringste mittlere Stumpfhöhenabweichung von -57µm auf. Bei President Putty betrug die mittlere Stumpfhöhenabweichung -67µm, bei Panasil Putty ebenfalls -67µm, bei Panasil Tray Soft -75µm und bei Status Blue -110µm. President Putty unterschied sich signifikant von Status Blue, Panasil Putty unterschied sich signifikant von Status Blue, Panasil Tray Fast unterschied sich signifikant von Panasil Tray Soft und hoch signifikant von Status Blue.



Abb. 26: Einfluss des Vorabformungsmaterials auf die Abweichungen der Stumpfhöhe vom Urmodell, bei dem gleichen Korrekturmaterial, hier Panasil Initial Contact light, beim 6°-Stumpf

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue

K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light (grün markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

In Abbildung 26 sind die Materialgruppen aus der Abbildung 23 gesondert aufgeführt, bei denen als Korrekturmaterial Panasil Initial Contact light verwendet wurde. In Kombination mit diesem Korrekturmaterial zeigte sich beim Vorabformungsmaterial President Putty und ebenso bei Panasil Tray Fast die geringste mittlere Stumpfhöhenabweichung von -67µm. Bei Panasil Putty betrug die mittlere Stumpfhöhenabweichung -99µm, bei Panasil Tray Soft -85µm und bei Status Blue -110µm. President Putty unterschied sich signifikant von Status Blue. Panasil Putty unterschied sich signifikant von Panasil Tray Fast. Panasil Tray Fast unterschied sich signifikant von Status Blue.



Abb. 27: Einfluss des Vorabformungsmaterials auf die Abweichungen der Stumpfhöhe vom Urmodell, bei dem gleichen Korrekturmaterial, hier President Plus Jet, beim 6°-Stumpf

Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft
- V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue
- K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (schwarz markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

Abbildung 27 zeigt die Materialkombinationen aus Abbildung 23, bei denen als Korrekturmaterial President Plus Jet verwendet wurde. In der Kombination mit diesem Korrekturmaterial zeigte sich die geringste mittlere Stumpfhöhenabweichung bei dem Vorabformmaterial President Putty, sie betrug -78µm. Bei Panasil Putty lag die mittlere Stumpfhöhenabweichung bei -119µm, bei Panasil Tray Fast lag sie bei -98µm, bei Panasil Tray Soft betrug sie -115µm und bei Status Blue -208µm. President Putty unterschied sich signifikant von Panasil Putty und hoch signifikant von Status Blue, Panasil Putty, Panasil Tray Fast und Panasil Tray Soft unterschieden sich signifikant von Status Blue.



Abb. 28: Einfluss der Fließfähigkeit des Korrekturmaterials auf die Abweichungen der Stumpfhöhe vom Urmodell, bei dem gleichen Vorabformungsmaterial, hier am Beispiel Coltene President Putty, beim 6°-Stumpf

Abkürzungen: V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (blau markiert) K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light (grün markiert) K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (schwarz markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

In Abbildung 28 sind die Materialkombinationen aus Abbildung 23 alleine dargestellt, bei denen als Vorabformmaterial President Putty verwendet wurde. Die mittlere Stumpfhöhenabweichung lag für alle drei Korrekturmaterialien sehr eng beieinander, nämlich bei -67µm für Panasil Initial Contact x-light, ebenfalls bei -67µm für Panasil Initial Contact light und bei -78µm für President Plus Jet. Es lagen hier keine signifikanten Unterschiede vor.



Abb. 29: Einfluss der Fließfähigkeit des Korrekturmaterials auf die Abweichungen der Stumpfhöhe vom Urmodell, bei dem gleichen Vorabformungsmaterial, hier am Beispiel Panasil Tray Fast, beim 6°-Stumpf

Abkürzungen:

V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast

K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (blau markiert)

K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light (grün markiert)

K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet (schwarz markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

Abbildung 29 zeigt gesondert die Materialkombinationen aus Abbildung 23, bei denen als Erstabdruckmaterial Panasil Tray Fast benutzt wurde. Für die Kombination mit dem Korrekturmaterial Panasil Initial Contact x-light lag die mittlere Stumpfhöhenabweichung bei -57µm, bei Panasil Initial Contact light betrug sie -67µm und für President Plus Jet -89µm. Bei President Plus Jet zeigte sich eine fast doppelt so große Streuung der Messwerte im Vergleich zu den beiden anderen Korrekturmaterialien, es lagen keine signifikanten Unterschiede vor.


Abb. 30: Einfluss der Stumpfkonizität auf die Abweichungen der Stumpfhöhe vom Urmodell, Vergleich derselben Materialkombinationen am 6°-Stumpf-Modell mit dem 10°-Stumpf-Modell

Abkürzungen:

V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty

V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast

V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue

K1 = Korrekturmaterial 1: Kettenbach Panasil Initial Contact x-light (beim 6°-Stumpf blau und beim 10°-Stumpf rot markiert)

K3 = Korrekturmaterial 3: Coltene President Plus Jet (beim 6°-Stumpf schwarz und beim 10°-Stumpf gelb markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

In Abbildung 30 sind die Abweichungen der Stumpfhöhe vom Urmodell am 6°-Stumpf und am 10°-Stumpf bei der gleichen Materialkombination jeweils nebeneinander dargestellt. Die Stumpfhöhenabweichungen am 6°-Stumpf sind zur Verdeutlichung blau und schwarz markiert, die Stumpfhöhenabweichungen am 10°-Stumpf rot und gelb. Bei den Materialkombinationen President Putty und Panasil Initial Contact x-light, President Putty und President Plus Jet, Panasil Tray Fast und Panasil Initial Contact x-light, Status Blue und Panasil Initial Contact x-light sowie Status Blue und President Plus Jet waren die Stumpfhöhenabweichungen am 6°-Stumpf-Modell etwas kleiner als am 10°-Stumpf-Modell. Nur bei Panasil Tray Fast und Panasil Initial Contact x-light und bei Status Blue und Panasil Initial Contact x-light waren die Unterschiede signifikant. Für die Materialkombination Panasil Tray Fast und President Plus Jet war die mittlere Stumpfhöhenabweichung bei den Abformungen am 6°-Stumpf etwas höher als am 10°-Stumpf. Bei den Abformungen am 10°-Stumpf-Modell mit der Kombination Status Blue und President Plus Jet zeigte sich eine große Streuung der Messwerte über einen Bereich von 220µm.

V1	V1	V1	V2	V2	V2	V3	V3	V3	V4	V4	V4	V5	V5	V5	
K1	K2	К3	K 1	K2	К3	K1	K2	К3	K 1	K2	К3	K1	K2	К3	
															V1
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	*	***	К1
															V1
		n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	*	***	K2
															V1
			n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	***	К3
															V2
				*	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	*	***	K1
															V2
					n.s.	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	K2
															V2
						**	**	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	К3
														data	V3
							n.s.	*	*	n.s.	**	***	**	***	К1
												4.4.	-	ية. بلد بلد بل	V3
								n.s.	n.s.	n.s.	••		^		K2
														**	V3
									n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		r.s
										n c	*	**	*	***	V4
										11.5.					KI
											ne	ne	ne	***	V4 K2
											11.3.	11.3.	11.3.		112
												ne	ne	**	V4 K3
													n.s	**	V5 K1
														ns	V5 K2
															V5 K3

Tab. 12: Signifikanztabelle der Abweichungen der Stumpfhöhe vom Urmodell beim 6°-Stumpf-Modell

Erläuterungen:

n.s. = nicht signifikant * = p < 0,05 ** = p < 0,01 *** = p < 0,001 Abkürzungen:

- V1 = Vorabformungsmaterial 1 : Coltene President Putty
- V2 = Vorabformungsmaterial 2 : Kettenbach Panasil Putty
- V3 = Vorabformungsmaterial 3 : Kettenbach Panasil Tray Fast
- V4 = Vorabformungsmaterial 4 : Kettenbach Panasil Tray Soft

V5 = Vorabformungsmaterial 5 : DMG Status Blue

- K1 = Korrekturmaterial 1 : Kettenbach Panasil Initial Contact x-light
- K2 = Korrekturmaterial 2 : Kettenbach Panasil Initial Contact light
- K3 = Korrekturmaterial 3 : Coltene President Plus Jet

Pres Putty u. Init. C.x- light	Pres Putty u. Pres. Plus Jet	Panasil Tray Fast u. Init. C.x- light	Panasil Tray Fast u.Pres Plus Jet	Status Blue u. Init. C.x- light	Status Blue u. Pres Plus Jet	
	n.s.	**	**	*	n.s	Pres Putty u.Init. C.x- light
		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	Pres Putty u. Pres Plus Jet
			*	***	***	Panasil Tray Fast u. Init. C.x- light
				*	***	Panasil Tray Fast u. Pres Plus Jet
					**	Status Blue u. Init. C.x- light
						Status Blue u. Pres Plus Jet

 Tab. 13: Signifikanztabelle der Abweichungen der Stumpfhöhe vom Urmodell

 beim 10°-Stumpf-Modell

Erläuterungen:

n.s. = nicht signifikant * = p < 0,05 ** = p < 0,01 *** = p < 0,001

Pres.Putty u. Init.Cx- light 6°- Stumpf	Pres Putty u. Pres Plus Jet 6º- Stumpf	Panasil Tray Fast u. Init. C.x- light 6°- Stumpf	Panassil Tray Fast u. Pres plus Jet 6º- stumpf	Status Blue u. Init. C.x- light 6°- Stumpf	Status Blue u. Pres Plus Jet 6º- Stumpf	
n.s.						Pres Putty u. Init. C.x- light 10 ^{°-} Stumpf
	n.s.					Pres Putty u. Pres Plus Jet 10º-Stumpf
		*				Panasil Tray Fast u. Init. C.x- light 10 ^{°-} Stumpf
			n.s.			Panasil Tray Fast u. Pres Plus Jet 10º-Stumpf
				**		Status Blue u.Init.C. x- light 10 ^{°-} Stumpf
					n.s.	Status Blue u. Pres Plus Jet 10º-Stumpf

Tab. 14: Signifikanztabelle der Unterschiede in den Stumpfhöhenabweichungen zwischen 6°-Stumpf-Modell und 10°-Stumpf-Modell

Erläuterungen: n.s. = nicht signifikant * = p < 0,05 ** = p < 0,01 *** = p < 0,001

5.5. Unterschiede in der Durchmesserabweichung und der Rundheitsabweichung zwischen den fünf Messkreisen in den verschiedenen Stumpfhöhen



Abb. 31: Unterschiede in den Durchmesserabweichungen zwischen den verschiedenen Messkreisen in unterschiedlichen Höhenebenen des Stumpfes, beim 6°-Stumpf-Modell

Abkürzungen:

D-Abw Kreis 1 = gemittelte Durchmesserabweichung an Kreis 1 (violett markiert)
D-Abw Kreis 2 = gemittelte Durchmesserabweichung an Kreis 2 (pink markiert)
D-Abw Kreis 3 = gemittelte Durchmesserabweichung an Kreis 3
(dunkelblau markiert)
D-Abw Kreis 4 = gemittelte Durchmesserabweichung an Kreis 4 (hellblau markiert)
D-Abw Kreis 5 = gemittelte Durchmesserabweichung an Kreis 5 (orange markiert)
Mittelwert D-Abw K 2-K 4 = gemittelte Durchmesserabweichung der Kreise 2, 3 und 4
(rot markiert)
Mittelwert D-Abw K 1-K 5 = gemittelte Durchmesserabweichung der Kreise 1, 2, 3, 4 und 5 (schwarz markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

Abbildung 31 zeigt die Durchmesserabweichungen der einzelnen fünf Messkreise in den verschiedenen Stumpfhöhen am 6°-Stumpf-Modell. Messkreis 1 lag auf der Schnittebene des Kegelstumpfes mit seiner Deckfläche, ist violett dargestellt und hatte eine mittlere Durchmesserabweichung von -58µm. Messkreis 2 befand sich auf der Schnittebene des Kegelstumpfes mit einer Ebene 2mm unterhalb des oberen Kegelrandes, ist rosa markiert und zeigte eine mittlere Durchmesserabweichung von -133µm. Messkreis 3 lag wiederum 2mm unterhalb von Kreis 2 und ist blau gefärbt. Die mittlere Durchmesserabweichung betrug -147µm. Messkreis 4 lag auf der Schnittebene des Kegelstumpfes mit einer Ebene 6mm unterhalb der Deckfläche, ist hellblau dargestellt und hatte eine mittlere Durchmesserabweichung von -134µm. Messkreis 5 lag auf der Schnittebene des Kegelstumpfes mit einer Ebene 8mm unterhalb seiner Deckfläche, ist hier orange dargestellt und seine mittlere Durchmesserabweichung lag bei -114µm. Es wurde ein Mittelwert aus den Durchmesserabweichungen der Messkreise 2 bis 4 gebildet, der hier rot dargestellt ist und dessen mittlere Durchmesserabweichung -139µm betrug, sowie ein Mittelwert der Durchmesserabweichungen aller fünf Messkreise, der schwarz dargestellt ist und dessen mittlere Durchmesserabweichung bei -118µm lag. Messkreis 1 zeigte dabei hoch signifikant eine viel geringere mittlere Durchmesserabweichung als die Kreise 2 bis 4. Auch Messkreis 5 zeigte hoch signifikant eine geringere mittlere Durchmesserabweichung als die Kreise 2 bis 4, jedoch war der Unterschied zwischen den mittleren Durchmesserabweichungen hier nicht ganz so hoch, wie bei Messkreis 1. Durch die Mittelung aller fünf Kreise wurde Messkreis 1 weniger gut repräsentiert als die übrigen 4 Messkreise.



Abb. 32: Unterschiede in den Rundheitsabweichungen zwischen den verschiedenen Messkreisen in unterschiedlichen Höhenebenen des Stumpfes, beim 6°-Stumpf-Modell

Abkürzungen:

R-Abw Kreis 1 = gemittelte Rundheitsabweichung an Kreis 1 (violett markiert)
R-Abw Kreis 2 = gemittelte Rundheitsabweichung an Kreis 2 (pink markiert)
R-Abw Kreis 3 = gemittelte Rundheitsabweichung an Kreis 3 (dunkelblau markiert)
R-Abw Kreis 4 = gemittelte Rundheitsabweichung an Kreis 4 (hellblau markiert)
R-Abw Kreis 5 = gemittelte Rundheitsabweichung an Kreis 5 (orange markiert)
Mittelwert R-Abw K 1-K 5 = gemittelte Rundheitsabweichung der Kreise 1, 2, 3, 4 und
5 (schwarz markiert)

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

Abbildung 32 zeigt die Rundheitsabweichungen der einzelnen fünf Messkreise. Messkreis 1 ist violett markiert und hatte eine mittlere Rundheitsabweichung von 16µm, Messkreis 2 ist rosa gefärbt und hatte eine mittlere Rundheitsabweichung von 19µm, Messkreis 3 ist dunkelblau dargestellt und seine mittlere Rundheitsabweichung betrug 26µm, Messkreis 4 erscheint im Diagramm hellblau und wies eine mittlere Rundheitsabweichung von 34µm auf, Messkreis 5 ist orange dargestellt und die mittlere Rundheitsabweichung lag bei 36µm. Der Fehlerbalken für den Mittelwert der Rundheitsabweichungen aller fünf Messkreise ist schwarz markiert und die mittlere Rundheitsabweichung betrug 26µm. Wie auch bei den Durchmesserabweichungen zeigte sich bei Messkreis 1 eine geringere mittlere Abweichung als bei den anderen Messkreisen und bei dem Gesamtmittelwert. Die Unterschiede fielen aber insgesamt geringer aus als bei den Durchmesserabweichungen. Bis auf Messkreis 1 und 2 unterschieden sich alle Messkreise und der Gesamtmittelwert in ihrer mittleren Rundheitsabweichung signifikant voneinander. Anders als bei den Durchmesserabweichungen war der Wert für Messkreis 5 hier nicht geringer als für die Kreise 2 bis 4, sondern Messkreis 5 wies die höchste mittlere Rundheitsabweichung auf.

Messkreis 1	Messkreis 2	Messkreis 3	Messkreis 4	Messkreis 5	
	***	***	***	***	Messkreis 1
		***	n.s.	***	Messkreis 2
			***	***	Messkreis 3
				***	Messkreis 4
					Messkreis 5

Tab. 15: Signifikanztabelle der Durchmesserabweichungen der einzelnen fünf Messkreise

Erläuterungen:

n.s. = nicht signifikant * = p < 0,05 ** = p < 0,01 *** = p < 0,001

Messkreis 1	Messkreis 2	Messkreis 3	Messkreis 4	Messkreis 5	
	n.s.	***	***	***	Messkreis 1
		***	***	***	Messkreis 2
			***	***	Messkreis 3
				**	Messkreis 4
					Messkreis 5

Tab. 16: Signifikanztabelle der Unterschiede in den Rundheitsabweichungen zwischen den fünf Messkreisen

- Erläuterungen: n.s. = nicht signifikant * = p < 0,05 ** = p < 0,01 *** = p < 0,001

6 Diskussion

Um die Passgenauigkeit von festsitzendem Zahnersatz zu optimieren, muss die Dimensionsveränderung bei jedem Schritt der Abformung und Meistermodellherstellung so klein wie möglich gehalten werden, da sich die Fehler zumeist addieren und sonst in ihrer Gesamtheit zu einem nicht mehr tolerablen Dimensionsunterschied zwischen Mundsituation und Modell führen würden [84].

Wie sich auch in vielen anderen Studien gezeigt hat, ergibt sich bei der Korrekturabformtechnik in den meisten Fällen eine Verkleinerung des Modellstumpfes im Vergleich zum präparierten Zahn im Mund des Patienten [3, 5, 6, 7, 13, 21, 22, 29, 31, 37, 40, 42, 51, 64, 75, 79].

Bei der Untersuchung der bei der Korrekturabformung möglicherweise auftretenden Dimensionsveränderungen wurden der Einfluss der dafür gewählten Materialkombination und dabei insbesondere die Materialeigenschaften Shore-A-Härte des Erstabdruckmateriales und Fließfähigkeit des Korrekturmaterials geprüft.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen darauf schließen, dass die Shore-A-Härte des Vorabdruckmaterials und die Kombination mit einem mehr oder weniger stark fließfähigen Korrekturmaterial schon ohne Berücksichtigung verfahrensimmanenter Fehlerquellen eine Auswirkung auf die Genauigkeit der Dimensionswiedergabe der Abformung haben.

Im Ergebniskapitel 5.2 zeigte sich, dass bei sonst gleichen Abformbedingungen am Urmodell mit 6°-Stumpfkonizität und bei Verwendung desselben Korrekturmaterials die Dimensionsveränderungen der Modellstümpfe, gemessen an der Verkleinerung des Stumpfdurchmessers in fünf verschiedenen Stumpfhöhen, mit abnehmender Shore-A-Härte des Erstabformmaterials zunahmen.

Bei den Materialien mit relativ hoher Shore-A-Härte lagen, wenn sie mit dem Korrekturmaterial mit der höchsten Fließfähigkeit kombiniert wurden, die Durchmesserabweichungen in einem Bereich von -40µm bis -80µm.

Bei den Materialien mit geringer Shore-A-Härte vergrößerten sich dagegen die Durchmesserabweichungen auf Werte von -80µm bis -170µm, die zu einem nicht mehr akzeptablen Gesamtergebnis beim hergestellten Zahnersatz führen können, zumal wenn man berücksichtigt, dass im Verlauf der Gußstückherstellung weitere Dimensionsungenauigkeiten auftreten können.

Auch die Rundheitsabweichungen der Stümpfe waren umso geringer, je höher die Shore-A-Härte des Vorabdruckmaterials war. Sie lagen aber insgesamt niedriger, nämlich in Kombination mit dem Korrekturmaterial mit höchster Fließfähigkeit bei Werten zwischen 14µm und 20µm für die Materialien mit hoher Shore-A-Härte und zwischen 20µm und 33µm für die Materialien mit niedriger Shore-A-Härte.

Die Abweichungen der Stumpfhöhe der abgeformten Stümpfe vom Urmodell lagen bei den Materialien mit hoher und mittlerer Shore-A-Härte in einem Bereich von -60µm bis -100µm, nur bei dem Erstabdruckmaterial mit der niedrigsten Shore-A-Härte waren die Abweichungen höher, nämlich bei -110µm in der Kombination mit dem Korrekturmaterial mit der höchsten Fließfähigkeit.

Bei allen drei in dieser Studie für die Überprüfung der Dimensionswiedergabe herangezogenen Parametern, Durchmesserabweichung, Rundheitsabweichung und Stumpfhöhenabweichung, zeigte sich eine Korrelation zwischen Shore-A-Härte des Erstabformmaterials und Höhe der gemessenen Abweichungen. Bei den Durchmesserabweichungen und Rundheitsabweichungen fiel dieser Zusammenhang jedoch stärker aus als bei den Höhenabweichungen.

Diese Ergebnisse stimmen mit dem Schluss überein, den Wöstmann, Höing und Ferger aus einer Studie von 1998 ziehen, dass für die Korrekturtechnik ein relativ hoher Shore-A-Härte-Wert des Erstabdruckmaterials nötig ist, um eine gute Dimensionswiedergabe zu erzielen [88]. Auch in einigen anderen Studien wird darauf hingewiesen, dass eine hohe Shore-A-Härte wahrscheinlich die Abformgenauigkeit bei der Korrekturabformung verbessert [3, 32, 66].

Bei der Kombination von Erstabformmaterial mit Korrekturmaterialien von unterschiedlicher Fließfähigkeit zeigte die vorliegende Untersuchung, dass die Abweichungen, das heißt die Verkleinerungen der Stumpfdurchmesser vom Urmodell, umso stärker ausfielen, je geringer die Fließfähigkeit des Korrekturmaterials war.

Verglichen wurden dabei drei Materialien mit unterschiedlicher Viskosität. Bei sonst gleichen Abformbedingungen am Urmodellstumpf mit 6°-Konizität und bei dem gleichen Vorabdruckmaterial (mit hoher Shore-A-Härte) lagen die Durchmesserabweichungen bei dem sehr dünn fließenden Korrekturmaterial im Bereich zwischen -40µm und -70μm. Bei dem dünn fließenden Korrekturmaterial lagen die Werte bei gleichem Erstabformmaterial in demselben Bereich. Das am wenigsten fließfähige Korrekturmaterial führte bei dem gleichen Vorabformmaterial zu Durchmesserabweichungen von -90μm bis -150μm.

Zu den größten Dimensionsveränderungen zwischen Urmodell und abgeformtem Stumpf führte die Kombination von einem Vorabdruckmaterial mit niedriger Shore-A-Härte und einem Korrekturmaterial mit geringer Fließfähigkeit. Die sich hierbei ergebenden Durchmesserabweichungen von -140µm bis -220µm waren so groß, dass auf einem solchen Modellstumpf keine Restauration mit akzeptabler Passgenauigkeit hergestellt werden könnte.

In ihrer Studie von 1968 kommen Hofmann und Ludwig zu ähnlichen Ergebnissen über die Wichtigkeit der Kombination von hoher Shore-A-Härte des Vorabdruckmaterials und hoher Fließfähigkeit des Korrekturmaterials für die Dimensionstreue [32].

Auch bei den Rundheitsabweichungen zeigte sich, dass sich bei dem Korrekturmaterial mit hoher Fließfähigkeit die kleinsten Abweichungen ergaben, bei dem Material mit mittlerer Fließfähigkeit durchgehend etwas schlechtere und bei dem Material mit der niedrigsten Fließfähigkeit sehr viel schlechtere Werte.

Bei der Höhenabweichung der Stümpfe vom Urmodell zeigte sich kein deutlicher Einfluss der Fließfähigkeit des Korrekturmaterials auf die Stärke der Höhenabweichung. Bei der Untersuchung der drei unterschiedlich fließfähigen Korrekturmaterialien in Kombination mit einem Vorabformmaterial von hoher oder mittlerer Shore-A-Härte, ergaben sich nur geringe Unterschiede bezüglich der Stumpfhöhenabweichung zwischen den Materialien. In der Kombination mit einem Erstabformmaterial mit niedriger Shore-A-Härte führte dagegen das Korrekturmaterial mit der niedrigsten Fließfähigkeit zu den größten Stumpfhöhenabweichungen.

Ein weiterer in der Studie untersuchter Aspekt war die unterschiedliche Auswirkung der oben genannten Parameter Shore-A-Härte des Vorabdruckmaterials und Fließfähigkeit des Korrekturmaterials bei Stümpfen von unterschiedlicher Konizität. Die Abformversuche wurden deshalb mit einem Modellstumpf von 6°-Konizität, was in etwa einem üblicherweise angestrebten Präparationswinkel entspricht, um einen guten Friktionshalt der Krone auf dem Zahnstumpf zu erreichen, und mit einem stärker konischen Stumpf mit einem Anstellwinkel von 10° durchgeführt. Dabei ergaben sich bis auf die Materialkombination aus dem Vorabdruckmaterial mit der höchsten Shore-A-Härte und dem Korrekturmaterial mit der höchsten Fließfähigkeit für den Modellstumpf mit 10°-Konizität bei allen anderen Materialkombinationen geringere Durchmesserabweichungen als für den Modellstumpf mit 6°-Konizität. Die Unterschiede in der Durchmesserabweichung zwischen dem Modell mit 6°-Konizität und 10°-Konizität betrugen im Mittel 20µm bis 50µm, wobei sie mit abnehmender Shore-A-Härte des Vorabformmaterials und abnehmender Fließfähigkeit des Korrekturmaterials größer wurden [vgl. 5.2.].

Diese Unterschiede lassen sich durch die bessere Abfließmöglichkeit des Korrekturmaterials bei dem stärker konischen Stumpf erklären, wodurch es zu weniger Stauchung und elastischer Rückstellung des Vorabdruckmaterials kommt. Bei der sehr günstigen Materialkombination aus einem Erstmaterial mit großer Shore-A-Härte und einem sehr fließfähigen Korrekturmaterial ist der Unterschied zwischen 6°-Konizität und 10°-Konizität nicht so relevant, da in diesem Fall durch seine sehr hohe Fließfähigkeit das Korrekturmaterial auch bei dem 6° konischen Stumpf gut abfließt und das ziemlich steife Vorabdruckmaterial nur bei sehr hohem Druck elastische Deformationen zulässt.

Bei den Rundheitsabweichungen vom Urmodell zeigte sich nur ein geringer Einfluss der Stumpfkonizität, für den 6°-Stumpf und den 10°-Stumpf lagen bei allen Materialkombinationen ähnliche Abweichungswerte vor.

Bei den beiden Materialkombinationen mit sehr hoher Shore-A-Härte waren die Rundheitsabweichungen bei dem 10°-Stumpf im Durchschnitt sogar 45µm sowie 20µm höher als bei dem 6°-Stumpf.

Insgesamt waren die gemessenen Rundheitsabweichungen in dieser Studie relativ gering. Verzerrungen der abgeformten Stümpfe traten also nur in geringem Umfang auf.

Bei der Abweichung der Stumpfhöhe vom Urmodell ergaben sich für die Korrekturabformungen mit Erstmaterialien mit hoher und mittlerer Shore-A-Härte beim 6°-Stumpf und beim 10°-Stumpf ziemlich ähnliche Werte, die im Bereich von -60µm bis -100µm lagen. Die beiden Materialkombinationen mit sehr geringer Shore-A-Härte des Vorabdruckmaterials führten zu dem Ergebnis, dass die Höhenabweichungen bei dem 10°-Stumpf höher waren als bei dem 6°-Stumpf. Dieses unerwartete Ergebnis könnte dadurch zustande gekommen sein, dass immer die gleiche Kraft während der ersten Sekunden der Vorabformung und der Korrekturphase auf die Okklusalfläche ausgeübt wurde und es bei dem stärker konischen Stumpf dadurch zu größerem Druck kam, weil sich die Kraft auf eine kleinere Okklusalfläche verteilte. Dies könnte sich bei den Vorabdruckmaterialien mit niedriger Shore-A-Härte in starken elastischen Deformationen ausgewirkt haben, die dann durch die elastische Rückstellung zur Verkleinerung der Stumpfhöhe führten.

Der Einfluss der Stumpfkonizität auf die Durchmesserabweichungen bei mit der Korrekturtechnik abgeformten Stümpfen wird auch in einer Studie von Sadat-Khonsari, Fenske, Jüde und Gütschow von 1999 untersucht, die zu dem Ergebnis kamen, dass die Durchmesserabweichungen der abgeformten Stümpfe vom Urmodell bei kleineren Präparationswinkeln signifikant stärker ausfielen als bei größeren [70]. Auf die Höhenabweichungen zeigte sich jedoch in der genannten Studie sowie in der vorliegenden Untersuchung ein nur geringer Einfluss der Stumpfkonizität.

Dass die Unterschiede in den Durchmesserabweichungen zwischen 6°-Stumpf und 10°-Stumpf mit geringer werdender Shore-A-Härte des Erstabdruckmaterials und geringer werdender Fließfähigkeit des Korrekturmaterials zunahmen, ist dadurch zu erklären, dass es bei dieser ungünstigen Materialkombination noch mehr zum Tragen kam, dass das Zweitmaterial bei der stärker konischen Stumpfform genügend Platz zum Abfließen hatte, weil sonst durch die hohe Flexibilität des Vorabformungsmaterials die Erstabformung stark aufgedehnt worden wäre.

Da es sich bei den Durchmesser- und Rundheitsabweichungen, die im Ergebnisteil ausgewertet und miteinander verglichen werden, wie unter 5.1 beschrieben ist, um zusammengefasste Mittelwerte aus fünf einzelnen Messkreisen handelt, ist es interessant, sich die Abweichungswerte der einzelnen Messkreise genauer anzusehen. Beim 6°-Stumpf-Modell zeigte der oberste Messkreis mit großem Abstand die geringste Durchmesserabweichung und mit etwas weniger Abstand zum nächsten Messkreis die geringste Rundheitsabweichung. Dann folgte sowohl bei der Durchmesserabweichung als auch bei der Rundheitsabweichung Messkreis 2. Kreis 3 zeigte die größte Durchmesserabweichung, die bis zu Messkreis 5 wieder abnahm. Die Rundheitsabweichung nahm bis zum Messkreis 5 stetig zu.

Dass die mittleren Messkreise das Maximum der Durchmesserabweichungen bilden, lässt sich dadurch erklären, dass in der mittleren Stumpfhöhe die größte Stauchung des Erstabdruckmaterials durch das Korrekturmaterial stattfindet. Dieser Effekt wurde auch in anderen Studien beobachtet und wurde zum Beispiel schon von Meiners 1977 als: "hohlkehlartige Verjüngung etwa in der Mitte der Stumpfhöhe" beschrieben [54].

Die Tendenz zur Verzerrung des abgeformten Kegelstumpfes in dieser Form zeigte sich bei allen Materialkombinationen, war aber bei den Materialkombinationen mit einem Vorabdruckmaterial mit hoher Shore-A-Härte und einem Korrekturmaterial mit hoher Fließfähigkeit weniger stark ausgeprägt, da hier die Durchmesserabweichungen insgesamt sehr viel niedriger ausfielen.

Die Rundheitsabweichung der einzelnen Messkreise hatte, anders als die Durchmesserabweichung vom Urmodell, ihr Maximum nicht in der mittleren Stumpfhöhe, sondern sie nahm vom obersten Messkreis des Kegelstumpfes nach unten kontinuierlich bei jedem Messkreis zu. Der Grund hierfür könnte sein, dass sich durch die Kegelform des Stumpfes die Messkreise im Durchmesser von oben nach unten vergrößern und dass eine Form-Abweichung vom Kreis des Urmodells umso wahrscheinlicher auftritt, je größer der Durchmesser der verglichenen Kreise ist. Ein anderer möglicher Grund ist, dass durch den größeren Abstand zur Wand des Abformlöffels und die größere Masse an Silikon im unteren Bereich des Stumpfes beim Abformen eine Verzerrung der Kegelform durch Schrumpfung und elastische Deformation des Abformmaterials stärker ausfällt als im oberen Bereich des Kegelstumpfes.

Auch andere Untersucher fanden bei den Ergebnissen ihrer Korrekturabformversuche die stärksten Durchmesserverkleinerungen bei den mittleren Messkreisen am Modellstumpf [13, 70].

Wenn man bedenkt, dass schon geringe Durchmesserveränderungen der Modellstümpfe gegenüber dem Originalstumpf zu großen Randschlussungenauigkeiten von darauf angefertigten Gußstücken führen können [63], erscheinen die in dieser Studie gefundenen Ergebnisse für die Durchmesserabweichungen der Modellstümpfe selbst bei den günstigen Materialkombinationen mit großer Shore-A-Härte des Erst- und guter Fließfähigkeit des Zweitmaterials ziemlich hoch. Die gemessenen Werte sind aber durchaus vergleichbar mit den gefundenen Durchmesser -und Höhenabweichungen anderer Untersuchungen [7, 13, 36, 70]. In dieser Studie wurde aus Gründen der besseren Standardisierbarkeit der Abformungen auf ein Ausschneiden der Erstabformung verzichtet. Unter klinischen Bedingungen würde man bei einer Korrekturabformung die Erstabformung ausschneiden und dadurch würden die elastische Deformation und die Verkleinerung der Stumpfwiedergabe etwas geringer ausfallen [13, 21].

Dass in dieser Untersuchung die Erstabformungen nicht ausgeschnitten wurden, könnte aber auf der anderen Seite die Ursache dafür sein, dass nur geringe Rundheitsabweichungen gefunden wurden. Denn durch das Ausschneiden der Vorabdrücke ergeben sich in der vollständigen Abformung Bereiche mit einer großen Schichtdicke des Korrekturmaterials. Da dieses stärker schrumpft als das Putty-Material, kommt es an diesen Stellen zu Verzerrungen [31].

Die beschriebenen Ungenauigkeiten, die bei der Korrekturabformung auftreten können, können zu der Frage führen, ob man nicht durch die Anwendung einer anderen Abformtechnik ein besseres Abformergebnis erzielen kann. Dazu haben verschiedene Studien folgendes gezeigt:

Mit Doppelmisch- und Einphasen-Abdrücken lassen sich in vitro dimensionsgenauere Abformungen herstellen [3, 13]. Doch obwohl Finger et al. 2008 auch bei subgingivalen Präparationsgrenzen mit der Doppelmisch-und der Einphasenmethode mit individuellem Löffel zu sehr guten Abformergebnissen kamen, unter der Bedingung, dass der Sulkus durch Retraktionsmaßnahmen auf mindestens 150µm erweitert werden konnte [24], und Luthardt et al. die Präparationsgrenze mit der Doppelmischtechnik genauer darstellen konnten als mit der Korrekturabformtechnik [50], schnitt bei den meisten anderen Untersuchungen die Korrekturabformung in vivo nach subgingivaler Präparation besser ab [3, 60].

In einer klinischen Studie zum Vergleich von mit Korrektur-, Doppelmisch- und Einphasentechnik hergestellten Kronen kamen zum Beispiel Wöstmann et al. zu dem Ergebnis, dass in der klinischen Anwendung, besonders bei Auftreten einer Sulkusblutung, das Korrekturverfahren den beiden anderen Abformtechniken in der Erzielung möglichst geringer Randschlussungenauigkeiten überlegen war [87]. Die gemessenen Randspalten der angefertigten Gußstücke lagen aber dennoch im Mittel bei Werten zwischen 100µm und 160µm und ließen die Autoren zu dem Schluss kommen, dass eine Randungenauigkeit von bis zu 50µm, wie von Dreyer-Jørgensen als akzeptabel betrachtet [12], klinisch nur schwer realisierbar sei. Grundsätzlich stellt sich bei in vitro-Versuchen, in denen meist nur wenige Aspekte eines komplexen Vorganges genau untersucht werden, die Frage nach der Übertragbarkeit auf die klinische Situation und damit die Bedeutung sowohl der im Versuch geprüften als auch der ausgeklammerten Faktoren für das Gesamtergebnis.

Im Versuchsaufbau der vorliegenden Studie wurden zum Beispiel die Probleme, die eine Abformung von subgingivalen Präparationsgrenzen mit sich bringt, nicht berücksichtigt. Dazu zählen die Verdrängung des Abformmaterials aus dem Sulkus durch starke Blutung und Sulkusflüssigkeit, die Hydrophobie des Silikons sowie die Möglichkeit von Lufteinschlüssen beim Umspritzen der Präparationsgrenzen mit dem Korrekturmaterial durch den sich zurück stellenden Gingivasaum nach Entfernung der Retraktionsfäden [82]. Das Korrekturabformverfahren stellt aber gerade dann die Methode der Wahl dar, wenn im subgingivalen Bereich präpariert werden musste, da diese Bereiche nur durch die bei der Korrekturabformung erzeugte Stempelwirkung des Erstabdrucks vom Korrekturmaterial erreicht werden können [60,82].

Auch die Strömungs- und Fließeigenschaften am Edelstahl-Kegelstumpf sind durch die unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit nicht mit denen am präparierten Zahnstumpf identisch und könnten zu falschen Rückschlüssen auf die Abformsituation in vivo führen [21].

Der Vorteil einer klinischen Studie zur Dimensionswiedergabe von Abformungen ist, dass diese Verhältnisse und Probleme naturgemäß gegeben sind und Einfluss auf das Abformergebnis und die Bewertung der untersuchten Parameter haben. Der Nachteil einer klinischen Studie ist die Schwierigkeit, den hergestellten Gipsstumpf mit einem Zahn im Patientenmund in seinen Maßen zu vergleichen. Eine denkbare Möglichkeit wäre das Scannen der nach Abformung hergestellten Gipsstümfe sowie der präparierten Zähne, dies wurde von Siemer et al. 2004 [73], allerdings nicht am Patienten und intraoral sondern an frisch exartikulierten Rinderunterkiefern, durchgeführt. Luthardt befasste sich 2001 mit der Schwierigkeit, Untersuchungen zur Abformung unter klinischen Bedingungen durchzuführen, auf der anderen Seite aber genaue und verlässliche Messergebnisse zu erhalten [48]. Er stellte fest, dass das intraorale Scannen von präparierten Stümpfen noch zu ungenau und deshalb nicht für eine vergleichende Abformstudie geeignet sei, und erfasste deshalb nach verschiedenen Abformmethoden hergestellte Modelle digital und verglich sie miteinander. Häufig wird in Untersuchungen mit Patienten als Kriterium für die Genauigkeit von Abformmaterialien und Methoden der Randschluss von angefertigten Kronen herangezogen [20]. Bei der Beurteilung des Kronenrandschlusses in vivo gibt es dabei die Möglichkeit der Messung des Randschlusses mit einer fein skalierten Messsonde oder die Überprüfung der Randschlüsse nach Abformung der Kronen und Herstellung von Replika, die dann geschnitten und unter dem Mikroskop ausgewertet werden. Beide Methoden sind, insbesondere bei schlecht erkennbarer Topographie des Kronenrandes und bei überextendierten Kronen nicht ausreichend genau und unterschätzen meist die wirkliche Diskrepanz zwischen Kronenrand und Präparationsgrenze [89].

Sehr umfangreiche Untersuchungen zur Passung von Kronenrändern wurden 1986 von Spiekermann [74] und 1994 von Müller und Pröschel [57] durchgeführt. In beiden Studien wurde Sektionsgut untersucht. Dabei kamen die Autoren einheitlich zu dem Ergebnis, dass die gemessenen Randspaltbreiten mit einem mittleren horizontalen Abstand des Kronenrandes von der Präparationsgrenze von etwa 382µm - 446µm das klinisch und technisch realisierbare Maß an Randschlussgenauigkeit stark unterschritten.

Bei einer Abformstudie, in der der Einfluss bestimmter Materialeigenschaften auf einen Parameter der Abformqualität, wie im Fall dieser Untersuchung auf die Dimensionswiedergabe der Abformung, geprüft werden soll, eignen sich die beschriebenen Methoden jedoch weniger gut, weshalb in diesem Fall einer in vitro-Studie der Vorzug gegeben wurde. Der Vorteil dabei ist, dass andere Einflussfaktoren außer den zu untersuchenden durch eine hohe Standardisierung, wie sie klinisch nicht realisierbar wäre, ausgeschlossen werden können. Zum Beispiel konnten in dieser Studie das Stahl-Urmodell und die hergestellten Gipsstümpfe mit einem sehr genauen, dreidimensionalen Messverfahren vermessen werden können, das klinisch nicht anwendbar wäre.

Eine weitere Frage ist, inwieweit die Dimensionsveränderung des mit dem Korrekturverfahren abgeformten Stumpfes Auswirkungen auf die Qualität der eingesetzten Krone im Patientenmund hat. Die relevanten Bedingungen für das Eingliedern einer Krone sind zunächst, dass keine okklusalen Störungen durch die Restauration verursacht werden. Sollte das in geringem Ausmaß der Fall sein, müssen sie vom Zahnarzt vor dem Eingliedern durch Einschleifen beseitigt werden. Das gleiche gilt für die Approximalkontakte, die weder zu stark sein dürfen, weil sie sonst das vollständige Erreichen der Sollposition der Krone verhindern, noch zu schwach, weil sie ansonsten eine Nische für Essensreste und Plaque darstellen. Diese wichtigen Bereiche unterliegen in der Regel einer guten Sichtkontrolle durch den Behandler und auch der Patient merkt, ob sich eine Restauration gut in seine Okklusion einfügt oder noch stört.

Der schwierigste Faktor beim Beurteilen der Einsetzbarkeit einer Krone ist der zervikale Randschluss, der, wenn er subgingival verläuft, für den Zahnarzt nicht direkt sichtbar und wie oben beschrieben auch nur unzureichend tastbar ist und von dem auch der Patient eventuell erst später durch einen chronischen Entzündungsreiz spürt, dass er nicht optimal gestaltet ist. Der ungünstige Einfluss von horizontal zu weit abstehenden Kronenrändern ist in vielen Studien hinreichend belegt worden [18, 20, 57].

Bei den untersuchten Folgen für das umgebende parodontale Gewebe fanden zum Beispiel Müller und Pröschel einen signifikanten Zusammenhang zwischen zu umfangreichen Kronen im Zervikalbereich und chronischen Entzündungen und Retraktionen des marginalen Parodonts [57]. Saumepitheldegenerationen fanden sie nur in Verbindung mit Konkrementbildung, diese waren aber häufiger an den überkronten als an den Kontrollzähnen zu sehen. Spiekermann stellte einen signifikanten Zusammenhang zwischen horizontal zu weit abstehenden und vertikal zu langen Kronenrändern und Konkrementablagerungen unterhalb des Kronenrandes fest [74].

Felton et al. beschrieben ein Eindringen von Bakterien und deren Stoffwechselprodukten bei größeren Diskrepanzen zwischen Präparationsgrenze und Restaurationsrändern, während sich der Befestigungszement auflöste, was zu einer Gefährdung der Pulpa führen könne, sowie das Auftreten von Entzündungen des marginalen Parodonts bei überextendierten Kronenrändern [20]. Ein unterextendierter Kronenrand könne aber ebenfalls durch seine unnatürliche V-förmige Einziehung und durch das Freiliegen einer beschliffenen und damit rauen Zahnoberfläche subgingivale Plaqueakkumulation begünstigen, in einem Bereich, der schwer zu reinigen sei. Eichner wies darauf hin, dass eine Dehnung des marginalen Saumepithels schnell zu Retraktionen der Gingiva und zum Freiliegen von Kronenrändern führe [18]. Dies deckt sich mit den Untersuchungsergebnissen anderer Autoren [56].

Laut einer Stellungnahme der deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde sollte deshalb der Randspalt von Kronen so gering wie möglich gehalten werden und einen Wert von 100µm nicht überschreiten [34].

Die Dimensionstreue der abgeformten Stümpfe ist insofern von Bedeutung, dass eine Krone, die auf einem zu kleinen Gipsstumpf angefertigt wurde, sich entweder, wenn es sich um große Abweichungen handelt, gar nicht auf den präparierten Zahn bis unten aufsetzen lässt, oder beim Einsetzen, zumal mit dem Einsetzzement, nachdem sie bei der Anprobe sogar noch gepasst haben kann, nicht vollständig in ihre Sollposition gelangt. Diese Veränderung kann so minimal sein, dass sie vom Zahnarzt nicht bemerkt wird, weil keine okklusalen Interferenzen auftreten, oder diese durch okklusales Einschleifen entfernt wurden. Trotzdem bildet sich bei dem dann unterextendierten Kronenrand eine Stufe mit den oben beschriebenen Folgen für das umliegende Gewebe.

Auch schon geringe Durchmesserverkleinerungen führen dazu, dass sich die angefertigte Krone nicht vollständig auf den präparierten Zahn aufsetzen lässt und es zu einer relativ großen Höhendifferenz kommt. Dies berechnet sich:

$\Delta \mathbf{h} = \mathbf{x} \mathbf{h} / \mathbf{D} \cdot \mathbf{d}$						
mit Δ h = Höhendifferenz	D = zervikaler Durchmesser des Stumpfes					
h = Höhe des Stumpfes	d = okklusaler Durchmesser des Kegelstump-					
fes						
x = Durchmesserabweichung des Oberkegeldurchmessers						

Abb.33: Zusammenhang zwischen Durchmesserabweichung und Höhendifferenz bei Kronen [32]

Da das Problem der zu kleinen Dimensionswiedergabe der Korrekturabformung bekannt ist, wird im zahntechnischen Labor oft darauf reagiert, indem man auf die Meistermodellstümpfe einen Lack als Platzhalter für die Zementschicht aufträgt, um so die zu kleine Wiedergabe der Stümpfe auszugleichen. Dieser sehr sinnvolle Schritt der Korrektur eines vorher genau kalkulierten Fehlers wird im Herstellungsprozess von zahntechnischen Restaurationen oft unternommen, zum Beispiel beim Ausgleich der Expansion von Einbettmasse. Wenn mit dem Zahntechniker so standardisiert zusammengearbeitet wird, dass die verkleinerte Wiedergabe der Stümpfe immer im selben geringen Bereich liegt, kann eine Schichtdicke von Spacer-Lack gefunden werden, die die vorherige Verkleinerung bestmöglich kompensiert und zu genau passenden Restaurationen führt. In diesem Fall stellt die verkleinerte Dimensionswiedergabe durch die Korrekturabformung keinen zu großen Nachteil dar und der Vorteil der besseren Wiedergabe von subgingivalen Präparationsgrenzen überwiegt bei infragingivaler Präparation gegenüber den einzeitigen Abformmethoden mit höherer Dimensionstreue [85]. Größere Nachteile für die Passung der angefertigten Restauration entstehen jedoch, wenn die Dimensionsveränderungen bei der Korrekturabformung durch eine ungünstige Auswahl von Vorabdruck- und Korrekturmaterial sehr groß werden und wenn sie für den Zahntechniker nicht kalkulierbar sind, weil nicht standardisiert in vergleichbaren klinischen Situationen mit demselben Abformverfahren und den gleichen Materialien gearbeitet wird.

Dann wird in vielen Fällen versucht, um eine Reklamation wegen Nichteinsetzbarkeit des Zahnersatzes zu umgehen, die Lumina der Kronen durch Auftragen stärkerer Spacer-Schichten so groß herzustellen, dass sie auf jeden Fall über die präparierten Stümpfe passen. Ein exakter Randschluss kann so nicht gestaltet werden, sondern dieser wird wahrscheinlich horizontal zu weit sein.

In dieser Studie zeigte sich, dass die vertikalen Abweichungen vom Urmodell-Stumpf nahezu unabhängig von Shore-A-Härte des Erstabdruckmaterials und der Fließfähigkeit des Korrekturmaterials ein größeres Problem darstellten, da sie in Größenordnungen von 50µm bis 200µm auftraten, was recht hohe Abweichungen bedeutet, und auch eine größere Streuung aufwiesen als die Durchmesserabweichungen. Wenn dies der klinischen Realität bei der Korrekturabformung entspräche, wären die Höhenabweichungen ein größeres Problem für die Herstellung exakt passender Restaurationen als die Durchmesserabweichungen, da sie schwerer vorhersagbar sind.

Die hier vorliegenden Ergebnisse könnten jedoch auch mit dem Versuchsaufbau zusammenhängen. Dies ist wahrscheinlicher, da andere Autoren geringere Höhenabweichungen gefunden haben, zum Beispiel Fenske et al. 2001 zwischen 72µm und 62µm im Mittel [22]. Bei der vorliegenden Untersuchung wurde in der Korrekturphase für 5s ein Gewicht von 7,5kg auf die Abformung gestellt. Als Zeitspanne für die Druckausübung empfahl Meiners [54] 5s bis 10s. In einer Untersuchung über die Auswirkung unterschiedlicher Anpressdrücke während der Korrekturphase führten Fenske et al. Versuche mit 50N und 100N Anpressdruck für jeweils 6s durch und kamen zu dem Schluss, dass der geringere Krafteinsatz weniger große Durchmesser- und Höhenabweichungen bewirkte [21]. Auch Eichner warnte vor zu großer Druckanwendung bei der Korrekturabformung [17]. Lehmann und Zacke fanden dagegen bei Korrekturabformungen an Patienten Kräfte von 100N bis 300N und verwendeten deshalb für ihre Untersuchung eine Kraft von 200N [44]. In dieser Studie war die Kraft von 7,5kg möglicherweise zu hoch, weil jeweils nur ein einzelner Stumpf abgeformt wurde, wass bedeutet, dass diese Kraft auf eine sehr kleine Fläche wirkte. Dadurch entstand auf der Okklusalfläche möglicherweise ein zu hoher Druck, der elastische Deformationen begünstigte, die nach ihrer Rückstellung zu Stumpfverkleinerungen in der Vertikalen geführt haben.

Bezogen auf die Fragestellung, die in dieser Untersuchung geklärt werden soll, ergibt sich aus der Auswertung der Messwerte, dass die Shore-A-Härte des Erstabformmaterials und die Fließfähigkeit des Korrekturmaterials jeweils die Dimensionstreue des mit der Korrekturtechnik abgeformten Stumpfes beeinflussen. Dies zeigt sich für beide untersuchten Stumpfkonizitäten. Durch die in der Korrekturtechnik gegebene Kombination von Erst- und Zweitmaterial vergrößert sich der Einfluss dieser Materialeigenschaften. Es zeigte sich, dass eine Materialkombination mit hoher Shore-A-Härte des Erstabformmaterials und hoher Fließfähigkeit des Korrekturmaterials zu den signifikant geringsten Durchmesser- und Rundheitsabweichungen führte. Deshalb sollten bei Anwendung der Korrekturtechnik in der Patientenbehandlung ein Erstabformmaterial mit hoher Shore-A-Härte möglichst über 65 und ein Korrekturmaterial mit hoher Fließfähigkeit gewählt werden, um dimensionsgenaue Abformungen zu erreichen.

Über die Auswirkungen der geprüften Eigenschaften auf die Stumpfhöhe lassen sich aus der vorliegenden Untersuchung keine eindeutigen Schlüsse ziehen.

7 Zusammenfassung

Der Präzisionsabformung kommt als Übertragungsmedium der Mundsituation in das zahntechnische Labor eine Schlüsselposition für die erreichbare Qualität und damit Passung des Zahnersatzes im Mund zu. Für eine gelungene Abformung spielen besonders die detailgenaue Wiedergabe der Präparationsgrenzen und die Dimensionstreue eine wichtige Rolle.

Ziel dieser Arbeit war es, die Faktoren Shore-A-Härte des Erstabformmaterials sowie Fließfähigkeit des Korrekturmaterials auf ihren Einfluss auf die bei der Korrekturabformung oft beschriebene verkleinerte Wiedergabe der Stumpflumina hin zu untersuchen.

Dafür wurden jeweils 10 Korrekturabformungen mit jeder Materialkombination an zwei stilisierten Zahnstümpfen aus Edelstahl, einer mit 6°-Konizität und einer mit 10°-Konizität, durchgeführt. Der Stumpf mit 6°-Konizität wurde mit 15 Materialkombinationen aus 5 Vorabdruckmaterialien mit verschiedener Shore-A-Härte und 3 Korrekturmaterialien mit unterschiedlicher Fließfähigkeit abgeformt. Am Stumpf mit 10°-Konizität wurden Korrekturabformungen mit 6 Materialkombinationen durchgeführt, bestehend aus 3 Erstabdruckmaterialien mit verschiedener Shore-A-Härte und 2 Korrekturaterialien mit unterschiedlicher Fließfähigkeit. Anschließend erfolgten die Modellherstellung mit Superhartgips und 3 Wochen später die dreidimensionale, computergestützte Vermessung der Stümpfe mit der 3D-Koordinatenmessmaschine der Firma Thome-Präzision. Gemessen und direkt mit dem Stahlstumpf des Urmodells verglichen wurden dabei Durchmesser und Rundheit der Stümpfe in 5 Ebenen sowie die Stumpfhöhe.

Die signifikant geringsten Durchmesser- und Rundheitsabweichungen wurden bei den Materialkombinationen mit einem Vorabformmaterial mit möglichst hoher Shore-A-Härte und einem Korrekturmaterial von möglichst hoher Fließfähigkeit gemessen. Über den Einfluss auf die Stumpfhöhe lassen sich nach dieser Untersuchung keine eindeutigen Aussagen treffen. Aus den Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass sowohl die Shore-A-Härte des Erstmaterials als auch die Fließfähigkeit des Korrekturmaterials alleine bei beiden Stumpfkonizitäten einen erheblichen Einfluss auf die Dimensionstreue der mit dem Korrekturverfahren hergestellten Gipsstümpfe haben. Dieser Einfluss verstärkt sich durch die Kombination der Materialien.

Als Fazit für die Praxis ergibt sich daraus, dass schon bei der Auswahl der Abformmaterialien die Weichen dafür gestellt werden, ob mit der Korrekturabformung gute Ergebnisse zu erzielen sind, indem man diesen beiden Materialeigenschaften, Shore-A-Härte des Vorabdruckmaterials und Fließfähigkeit des Korrekturmaterials, die beide in den Herstellerangaben der Materialien aufgeführt sind, Beachtung schenkt. Die Shore-A-Härte sollte dabei möglichst über 65 liegen.

Summary

Because it is the transfer-medium of the situation in mouth to the dental technician, the impression has got a key role for the achievable quality and by that fit of the restorations in the patients' mouth. Of great importance for a successful impression are chiefly the exact reproduction of the preparation finishing line and the dimensional accuracy of the impression.

The aim of this study was to investigate the influence of the Shore A-rigidity of the putty material and of the flow-property of the wash-material on the reduced reproduction of the prepared teeth, which is an often described problem of the two- step putty/ wash impression technique. Therefore with different material combinations 10 putty/ wash impressions which each combination were made of two model steel cones, one with a convergence angle of 6° and the other with a convergence angle of 10° .

Impressions with 15 different material combinations out of 5 A-silicone putty materials with different Shore A-hardnesses and 3 wash materials with different consistencies were taken of the 6°-cone-model. Impressions with 6 material combinations out of 3 putty materials and 2 wash materials were made from the 10° -cone-model.

After that, gypsum casts were produced with stone type IV and three weeks later the cones were measured 3-dimensionally computer aided using a 3-dimensional measuring machine (of the company Thome-Präzision).

Diameter and roundness at five levels as well as the height of the gypsum cones were measured and directly compared with the model steel cone by the computer software.

The significant lowest diameter-and roundness-deviations in this survey were found for the material combination of the putty material with the highest Shore A-rigidity and the most flu-able wash material.

From the results we can conclude, that both each the Shore A-hardness of the putty and each the consistency of the wash material have considerable influence on the dimensional accuracy of the gypsum cones made with the two-step putty/wash technique. This is valid for both convergence angles.

The influence is increased by the combination of the investigated characteristics of putty and wash material.

According to this study no clear statement can be made about the influence of the investigated properties on the cone-height.

As a result for the dental practice follows from this, that already the choice of the used impression materials sets the course for the dimensional accuracy that can be achieved with the two-step putty/wash technique.

Therefore notice should be taken of the material properties Shore A-hardness of the putty material as well as consistency of the wash material, which are both listed in the manufacturers instructions. The Shore A-rigidity should not fall below 65.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Al-Bakri IA, Hussey D, Al-Omari WM. The dimensional accuracy of four impression techniques with the use of addition silicone impression materials. *J Clin Dent.* 2007;18(2):29-33.
- Balkenhol M, Ferger P, Wöstmann B.
 Dimensional accuracy of 2-stage putty-wash impressions: influence of impression trays and viscosity.
 Int J Prosthodont. 2007 Nov-Dec;20(6):573-5.
- Balkenhol, M., Rehmann, P., Siemer, A., Ferger, P., Wöstmann, B.
 Die Präzisionsabformung: materialimmanente und verfahrenstechnische Einfluss faktoren.
 ZWR 114.Jahrg.2005, Nr.1+2
- [4] Berg JC, Johnson GH, Lepe X, Adán-Plaza S. Temperature effects on the rheological properties of current polyether and polysiloxane impression materials during setting. *J Prosthet Dent. 2003 Aug;90(2):150-61.*
- [5] Berger, H.-J., Marxkors, R., Meiners, H. Abformgenauigkeit bei ringlosen Abdrücken. *Dtsch Zahnärztl Z 28, 1051-1054 (1973)*
- [6] Biffar, R., Sassen, H.
 Einfluß der Präparationsform auf die Abformgenauigkeit. Dtsch Zahnärztl Z 38, 158-162 (1983)
- [7] Borchers, L., Filitz, J., Meyer, W.
 Der Einfluß der Stumpfform und einiger Elastizitätskonstanten von Silikonmassen auf die Abformgenauigkeit. *Dtsch Zahnärztl Z 39*, 764-769 (1984)
- [8] Caputi, S., Varvara, G.
 Dimensional accuracy of resultant casts made by a monophase, one-step and twostep, and a novel two-step putty/light body impression technique. An in vitro study.
 J Prosthet Dent 99, 274-281 (2008)
- [9] Ceyhan JA, Johnson GH, Lepe X.
 The effect of tray selection, viscosity of impression material, and sequence of pour on the accuracy of dies made from dual-arch impressions.
 J Prosthet Dent. 2003 Aug;90(2):143-9. Erratum in: J Prosthet Dent. 2007 Jan;97(1):38.

- [10] Chee, W.W.L., Donovan, T.E.
 Polyvinyl siloxane impression materials: A review of properties and techniques. *J Prosthet Dent 68*, 728-732 (1992)
- [11] Chen, S.Y., Liang, W.M., Chen, F.N. Factors affecting the accuracy of elastomeric impression materials. *J Dent 32, 603-609 (2004)*
- [12] Dreyer Jørgensen, K.
 Prüfungsergebnisse zahnärztlicher Gußverfahren.
 Dtsch Zahnärztl Z 13, 461-469 (1958)
- [13] Dumfahrt, H., Schäffer, H.
 Zum Dimensionsverhalten bei verschiedenen Abformverfahren mit gummielastischen Massen in der Inlay-, Kronen- und Brückentechnik. Z Stomatol (1987) 84:231-239
- [14] Eames, W.B., Sieweke, J.C., Wallace, S.W., Rogers, L.B.
 Elastomeric impression materials: Effect of bulk on accuracy. *J Prosthet Dent 41, 304-307 (1979)*
- [15] Eames, W.B., Wallace, S.W., Suway, N.B., Rogers, L.B.
 Accuracy and dimensional stability of elastomeric impression materials. *J Prosthet Dent 42, 159-162 (1979)*
- [16] Eckstein, P.P.
 Repetitorium Statistik
 5. Auflage, Gabler-Verlag, Wiesbaden, 2003
- [18] Eichner, K.Kronenrand und ParodontiumDtsch Zahnärztl Z 44, 737-741 (1989) 10
- [19] Eichner, K., Kappert, H.F.Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung.Hüthig, Heidelberg, 6.Auflage, 1996
- [20] Felton, D.A., Kanoy, B.E., Bayne, S.C., Wirthman, G.P.
 Effect of in vivo crown margin discrepancies on periodontal health. *J Prosthet Dent 65, 357-364 (1991)*
- [21] Fenske, C., Sadat-Khonsari, M.R., Jüde, H.D.
 Der Einfluss verschiedener Abformtechniken auf die Dimensionstreue von Modellstümpfen.
 Dtsch Zahnärztl Z 56, 35-38 (2001)

- [22] Fenske, C., Sadat-Khonsari, M.R., Stroink, M., Jüde, H.D.
 Einfluß des Präparationswinkels auf die Dimensionstreue von Modellstümpfen unter Berücksichtigung der Abformtechnik. Korrektur- versus Doppelmischabformung. ZWR 109, 381-386 (2000)
- [23] Finger, W.J.
 Significance of filler content to properties of silicone impression materials. *Dent Mater 4, 33-37 (1988)*
- [24] Finger WJ, Kurokawa R, Takahashi H, Komatsu M.
 Sulcus reproduction with elastomeric impression materials: a new in vitro testing method.
 Dent Mater. 2008 Dec;24(12):1655-60. Epub 2008 May 21.
- [25] Finger, W., Lockowandt, P.
 Abform- und Modellmaterialien, eine funktionelle Einheit. Dtsch Zahnärztl Z 27, 620-624 (1972)
- [26] Franz, G.
 Das Prüfen der Konsistenz bei elastomeren Abformmaterialien.
 Dtsch Zahnärztl Z 27, 665-673 (1972)
- [27] Franz, G.Hartgipsverarbeitung zur Erzielung präziser Modelle.Dent Labor 29, 65-70 (1981)
- [28] Haim M, Luthardt RG, Rudolph H, Koch R, Walter MH, Quaas S. Randomized controlled clinical study on the accuracy of two-stage putty-andwash impression materials. *Int J Prosthodont. 2009 May-Jun;22(3):296-302.*
- [29] Hofmann, M.Der Korrekturabdruck (ein neues Abdruckverfahren für festsitzenden Zahnersatz).ZWR 66, 160-164 (1965)
- [30] Hofmann, M., Knoblauch, M.
 Über den derzeitigen Stand der Abdrucktechnik bei festsitzendem Zahnersatz. Dtsch Zahnärztebl 17, 551-557 (1963)
- [31] Hofmann, M., Ludwig, P.
 Über das Dimensionsverhalten verschiedener Abdruckwerkstoffe im Hinblick auf ihre Eignung für das Korrekturabdruckverfahren (1.Teil). Dtsch Zahnärztl Z 23, 6-19 (1968)
- [32] Hofmann, M., Ludwig, P.
 Über das Dimensionsverhalten verschiedener Abdruckwerkstoffe im Hinblick auf ihre Eignung für das Korrekturabdruckverfahren (2.Teil). Dtsch Zahnärztl Z 23, 438-449 (1968)

- [33] <u>http://www.cad-programme.com/tipps/rundheit</u>
- [34] http://www.dgzmk.de/stellung/kronenundbrücken.pdf
- [35] http://www.hpm-cornet.eu/mediawiki/index/Härteprüfung_nach_Shore
- [36] Hung, S.H., Purk, J.H., Tira, D.E., Eick, J.D.
 Accuracy of one-step versus two-step putty wash addition silicone impression technique.
 J Prosthet Dent 67, 583-589 (1992)
- [37] Idris, B., Houston, F., Claffey, N.
 Comparison of the dimensional accuracy of one-and two-step techniques with the use of putty / wash addition silicone impression materials. J Prosthet Dent 74, 535-541 (1995)
- [38] Knoblauch, M. Erfahrungen mit der Doppelabdruckmethode (Korrekturabdruck). Dtsch Zahnärztl Z 21, 169-170 (1966)
- [39] Lee EA.
 Predictable elastomeric impressions in advanced fixed prosthodontics: a comprehensive review.
 Pract Periodontics Aesthet Dent. 1999 May;11(4):497-504
- [40] Lehmann, K.M.Beitrag zur Verbesserung des Korrekturabdruckverfahrens. Zahnärztl Prax 30, 303-305 (1979)
- [41] Lehmann, K.M.Methodik und Systematik der Abformung für festsitzenden Zahnersatz.Zahnärztl Mitt 70, 486-491 (1980)
- [42] Lehmann, K.M., Burgdorf, H.O.
 Untersuchungen zu zweizeitigen Abformverfahren für Kronen und Brücken (Korrekturabdruck).
 ZWR 87, 430-433 (1978)
- [43] Lehmann, K.M., Krauth, G.
 Der Randschluß von Gußkronen-hergestellt im propädeutischen Unterricht Dtsch Zahnärztl Z 35, 750 (1984)
- [44] Lehmann, K.M., Zacke, W.
 Untersuchungen zur okklusalen Schichtdicke des Korrekturmaterials bei der Korrekturabformung.
 Dtsch Zahnärztl Z 38, 220-222 (1983)

- [45] Lehmann, K.M., Zettel, R., Gente, M.
 Die Paßgenauigkeit von Gußkörpern in Abhängigkeit von Abformung und Modell sowie gußtechnischen Parametern.
 Dtsch Zahnärztl Z 43, 473-476 (1988)
- [46] Leßmann, V.
 Abformgenauigkeit hydrophilisierter und konventioneller Elastomere im trockenen und feuchten Milieu.
 Med. Diss., Giessen (1999)
- [47] Lu, H., Nguyen, B., Powers, J.M.
 Mechanical properties of 3 hydrophilic addition silicone and polyether elastomeric impression materials.
 J Prosthet Dent 92, 151-154 (2004)
- [48] Luthardt, R.
 Randomisierte, kontrollierte klinische Studie zur dreidimensionalen Abformgenauigkeit.
 Dtsch Zahnärztl Z 56, 603-607 (2001)
- [49] Luthardt, R.
 Randomisierte, kontrollierte Studie zur 3D-Abformgenauigkeit –
 Reproduzierbarkeit der Wiedergabe der Relation präparierter Zahn / Nachbarzähne.
 Dtsch Zahnärztl Z 58, 337-342 (2003)
- [50] Luthardt RG, Walter MH, Weber A, Koch R, Rudolph H.
 Clinical parameters influencing the accuracy of 1- and 2-stage impressions: a randomized controlled trial.
 Int J Prosthodont. 2008 Jul-Aug;21(4):322-7.
- [51] Marcinak, K.F., Draughn, R.A.Linear dimensional changes in addition curing silicone impression materials. J Prosthet Dent 47, 411-413 (1982)
- [52] Marxkors, R.
 Korrekturabdruck und Doppelmischverfahren (Methoden zur Abformung präparierter Zähne).
 Quintessenz 18, 51-59 (1967)
- [53] Meiners, H. Strömungssituation beim Korrekturabdruck. Dtsch Zahnärztl Z 31, 685-687 (1976)
- [54] Meiners, H. Abformgenauigkeit mit elastomeren Abformmaterialien. *Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1977*

- [55] Meiners, H.Der richtige Umgang mit elastomeren Abformmaterialien.Zahnärztl Mitt 70, 480-485 (1980)
- [56] Morneburg, Th., Müller, N., Große-Jüttermann, D.
 Paßgenauigkeit im Studentenkurs gefertigter Kronen-eine Nachuntersuchung. Dtsch Zahnärztl Z 50, 756-759 (1995)
- [57] Müller, N., Pröschel, P. Kronenrand und parodontale Reaktion. Dtsch Zahnärztl Z 49, 30-36 (1994)
- [58] Nissan, J., Gross, M., Shifman, A., Assif, D.
 Effects of wash bulk on the accuracy of polyvinyl siloxane putty-wash impressions.
 J Oral Rehab 29, 357-361 (2002)
- [59] Nissan J, Laufer BZ, Brosh T, Assif D.Accuracy of three polyvinyl siloxane putty-wash impression techniques. *J Prosthet Dent. 2000 Feb;83(2):161-5.*
- [60] Noack, T., Balkenhol, M., Ferger, P., Wöstmann, B.
 Klinisch erreichbare Abformgenauigkeit von A-Silikonen. Dtsch Zahnärztl Z 59, 590-592 (2004)
- [61] O'Brien, W.J.Dental Materials and Their Selection.*Quintessenz Books, Chicago, 2. Auflage, 2002*
- [62] Omar R, Abdullah MA, Sherfudhin H.
 Influence on dimensional accuracy of volume of wash material introduced into pre-spaced putty/wash impressions.
 Eur J Prosthodont Restor Dent. 2003 Dec;11(4):149-55.
- [63] Pamenius, M., Ohlson, N.G.
 Influence of dimensional stability of impression materials on the probability of acceptance of a prosthetic restoration.
 Biomaterials 16, 1193-1197 (1995)
- [64] Plischka, G., Sorger, F.Über Fehlerquellen verschiedener Abdruckverfahren in der Praxis.Österr Z Stomatol 67, 207-214 (1970)
- [65] Raigrodski AJ, Dogan S, Mancl LA, Heindl H.
 A clinical comparison of two vinyl polysiloxane impression materials using the one-step technique.
 J Prosthet Dent. 2009 Sep;102(3):179-86.

- [66] Rehberg, H.J.
 Zusammenhänge zwischen Eigenschaften und klinischer Anwendung elastomerer Abformmassen.
 Dtsch Zahnärztebl 23, 61-67 (1969)
- [67] Rehmann, P., Noack, T., Balkenhol, M., Ferger, P., Wöstmann, B.
 Die Heavy-Body-Wash-Technik als Abformverfahren in der Implantatprothetik. ZWR 115, 325-328 (2006)
- [68] Reisblick, M.H., Matyas, J.The accuracy of highly filled elastomeric impression materials. *J Prosthet Dent 33*, 67-72 (1975)
- [69] Sadat-Khonsari, M.R., Fenske, C., Jüde, H.D., Gütschow, F. Untersuchungen zur Korrekturabformung. ZWR 108, 288-291 (1999)
- [70] Sadat-Khonsari, M.R., Fenske, C., Taghavi, M., Jüde, H.D.
 Der Einfluß der Abzugsrichtung des Abformlöffels auf die Abformung präparierter Stümpfe.
 Dtsch Zahnärztl Z 54, 658-660 (1999)
- [71] Schwindling, R.
 Das Messen von Dimensionsveränderungen an elastomeren Abformwerkstoffen (Beitrag zur Forderung einer einheitlichen Messung von zahnärztlichen Abformstoffen).
 Dtsch Zahnärztl Z 25, 710-716 (1970)
- [72] Schwindling, R.
 Lineare Dimensionsveränderungen elastomerer Silikonstoffe für das Doppelabdruckverfahren.
 ZWR 79, 771-776 (1970)
- [73] Siemer, A., Balkenhol, M., Trost, M., Ferger, P., Wöstmann, B.
 Abformgenauigkeit von Doppelmischabformungen vs. Korrekturabformungen eine 3D-Scan In-vitro-Studie.
 Dtsch Zahnärztl Z 59, 585-589 (2004)
- [74] Spiekermann, M. Zur marginale Passform von Kronen und Brücken. Dtsch Zahnärztl Z 41, 1009-1014 (1986)
- [75] Stachniss, V., Kolbow, G.
 Fehler bei der Korrekturabformung und ihre Vermeidung. Dtsch Zahnärztl Z 32, 934-936 (1977)

- [76] Stahl, E.
 Präzise Abdrücke nach dem Doppelabdruckverfahren speziell für stufenlose Präparationen und Herstellung exakter Modelle für indirekte Kronen-, Brücken- und Inlayarbeiten.
 Dtsch Zahnärztebl 10, 46-52 (1956)
- [77] Thongthammachat S, Moore BK, Barco MT 2nd, Hovijitra S, Brown DT, Andres CJ.
 Dimensional accuracy of dental casts: influence of tray material, impression material, and time.
 - J Prosthodont. 2002 Jun;11(2):98-108.
- [78] Wichmann, M., Borchers, L., Limmroth, E.
 Bestimmung der Abformgenauigkeit verschiedener Elastomere mit Hilfe einer 3D-Koordinatenmeßmaschine (1.Teil).
 Dtsch Zahnärztl Z 45, 499-502 (1990)
- [79] Wichmann, M., Borchers, L.
 Bestimmung der Abformgenauigkeit verschiedener Elastomere mit Hilfe einer 3D-Koordinatenmeßmaschine (2.Teil).
 Dtsch Zahnärztl Z 47, 88-91 (1992)
- [80] Wirz, J., Schmidli, F.
 Moderne Elastomere- Wichtige physikalische Eigenschaften Teil II: Elastische Rückstellung und Volumenverhalten. *Quintessenz 40, 1151-1156 (1998)*
- [82] Wöstmann, B.Zum derzeitigen Stand der Abformung in der Zahnheilkunde.*Quintessenz-Verlag, Berlin, Habilitationsschrift (1998)*
- [83] Wöstmann, B.Die Abformung präparierter Zahnhartsubstanz.Zahnärztl Mitt 89, 1216-1225 (1999)
- [84] Wöstmann, B.
 Die Abformung als Grundlage f
 ür eine langfristige prothetische Versorgung. Zahnärztl Mitt 95, Nr.21, 32-39 (2005)
- [85] Wöstmann, B.
 Die Abformung: Tipps zur Standardisierung.
 Dtsch Zahnärztl Z 64, 142-146 (2009)

- [86] Wöstmann, B.Abformung- Quo vadis?Dtsch Zahnärztl Z 64, 132-133 (2009)
- [87] Wöstmann, B., Dohle, A., Rettberg, S.
 Zur Frage der in vivo erreichbaren Abformgenauigkeit. Dtsch Zahnärztl Z 49, 679-682 (1994)
- [88] Wöstmann,B., Höing, M., Ferger, P.Vergleich von hand- und maschinengemischten Abformmassen. Deutsch Zahnärztl Z 53, 753-756
- [89] Wöstmann, B., Hufnagel, A.
 Vergleich verschiedener Methoden zur Bestimmung der Randschlußgenauigkeit von Kronen in vivo.
 Dtsch Zahnärztl Z 52, 272-274 (1997)
- [90] Wöstmann B, Rehmann P, Trost D, Balkenhol M.
 Effect of different retraction and impression techniques on the marginal fit of crowns.
 J Dent. 2008 Jul;36(7):508-12. Epub 2008 May 13.

9 Anhang
10 Erklärung

"Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die ich wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis wie sie in der "Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis" niedergelegt sind, eingehalten."

Heidi Hegemann

11 Danksagung

Sehr herzlich bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Wöstmann für die freundliche Überlassung des Promotionsthemas und für viele konstuktive Gespräche und die sehr gute Betreuung dieser Arbeit.

Ebenfalls bedanke ich mich sehr bei Herrn Ulrich Heun und Herrn Michael Köhl für ihre immer kompetente und freundliche Unterstützung bei technischen Fragen und Problemen im Versuchslabor sowie bei Herrn Dr. Jürgen Riehl für seine Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Vielen Dank an Margret Hegemann und Dr. Thilo Krüger für das Korrekturlesen der Arbeit.

Der Lebenslauf wurde aus der elektronischen Version der Arbeit entfernt.

The curriculum vitae was removed from the electronic version of the paper.