

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik  
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit  
der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. dent. Marc Schmitter

**Die Dimensionsstabilität dreier  
Abformmaterialien in Abhängigkeit von der Lagerzeit**

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Leandra Behr  
aus Tauberbischofsheim

Würzburg, Januar 2022



**Referent/Referentin: Prof. Dr. med. dent. Marc Schmitter**

**Korreferent/Korreferentin: Prof. Dr. med. dent. Gabriel Krastl**

**Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch**

**Tag der mündlichen Prüfung:**

**Die Promovendin ist Zahnärztin**

In Liebe und Dankbarkeit meiner Familie gewidmet.

„Wenn mein Kopf es sich ausdenken kann,  
wenn mein Herz daran glauben kann,  
dann kann ich es auch erreichen.“

Muhammad Ali

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	IX
Abkürzungsverzeichnis .....	XI
1 Einleitung.....	1
1.1 Die Abformung.....	3
1.1.1 Die Abformung im Herstellungsprozess von Zahnersatz.....	3
1.1.2 Historik der Abformmaterialien .....	4
1.1.3 Verwendete Abformmaterialien .....	5
1.1.3.1 Allgemeine Eigenschaften der Elastomere .....	7
1.1.3.2 Affinis .....	7
1.1.3.3 Impregum Penta H Duosoft.....	8
1.1.3.4 Identium .....	9
1.2 Die Dimensionsstabilität .....	10
1.3 Die Lagerzeit vor der Modellherstellung .....	12
1.4 Zielsetzung .....	13
2 Material und Methoden .....	14
2.1 Herstellung des Referenzkörpers .....	15
2.2 Herstellung der Prüfkörper: Gipsmodelle .....	16
2.2.1 Durchführung der Abformung .....	16
2.2.2 Herstellung der Gipsmodelle zu unterschiedlichen Zeitpunkten.....	18
2.3 Datenerhebung.....	20
2.3.1 Digitalisierung des Referenzmodells und der Gipsmodelle .....	20
2.3.2 Zweidimensionale Auswertung: Streckenabweichung.....	20
2.3.2.1 Vermessung des Referenzmodells .....	20
2.3.2.2 Vermessung der Prüfkörper .....	22
2.3.3 Dreidimensionale Auswertung: Flächen- und Volumenabweichung.....	23
2.3.3.1 Vorbereitung der Referenz- und Vergleichskörper.....	23
2.3.3.2 Vorausrichtung .....	25
2.3.3.3 Flächenabweichung .....	26
2.3.3.4 Volumenabweichung.....	28
2.4 Statistische Auswertung .....	30
3 Ergebnisse.....	31
3.1 Zweidimensional: Streckenabweichungen .....	31
3.1.1 2D: Einfluss der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität von Affinis .....	31
3.1.2 2D: Einfluss der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität von Impregum.....	32

## Verzeichnisse

3.1.3	2D: Einfluss der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität von Identium .....	33
3.1.4	2D: Vergleich der Dimensionsstabilität der drei Abformmaterialien.....	34
3.2	Dreidimensional: Flächen- und Volumenabweichung .....	36
3.2.1	3D: Einfluss der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität von Affinis .....	36
3.2.2	3D: Einfluss der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität von Impregum.....	38
3.2.3	3D: Einfluss der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität von Identium .....	41
3.2.4	3D: Vergleich der Dimensionsstabilität der drei Abformmaterialien.....	44
3.2.5	3D: Einfluss der Abformungsstelle auf die Dimensionsstabilität von Affinis .....	55
3.2.6	3D: Einfluss der Abformungsstelle auf die Dimensionstabilität von Impregum.....	56
3.2.7	3D: Einfluss der Abformungsstelle auf die Dimensionstabilität von Identium.....	57
3.3	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	58
4	Diskussion .....	68
4.1	Diskussion der Methodik und der Materialien.....	68
4.1.1	Fallzahl .....	68
4.1.2	Studiendesign .....	69
4.1.3	Die Abformung.....	71
4.1.3.1	Die Abformmaterialien.....	72
4.1.3.2	Der Abformlöffel .....	73
4.1.3.3	Die Abformtechnik.....	74
4.1.3.4	Vergleich der konventionellen und digitalen Abformung.....	75
4.1.4	Untersuchungsmethode.....	76
4.1.5	Digitalisierung .....	77
4.1.6	Analyse .....	80
4.2	Diskussion der Ergebnisse .....	82
4.2.1	Diskussion der Ergebnisse der 2D- und 3D-Auswertungen .....	82
4.2.2	Signifikanz und klinische Relevanz der Ergebnisse .....	87
5	Zusammenfassung .....	90
6	Literaturverzeichnis .....	92
7	Anhang .....	106
7.1	Herstellerverzeichnis .....	106
7.2	Ergebnisse der Auswertungen .....	109
7.3	Statistische Auswertung .....	118

Danksagung

Lebenslauf

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Herstellungsprozesskette einer zahnärztlichen Restauration .....	3
Abbildung 2	Ablauf der Studie zur Untersuchung der Dimensionsstabilität in Abhängigkeit der Lagerzeit.....	14
Abbildung 3	Arbeitsschritte der Herstellung des NEM-Referenzkörpers .....	16
Abbildung 4	Digitalisiertes Modell mit nummerierten Kugeln und eingezeichneten Strecken.....	21
Abbildung 5	CAD-Elemente der idealen Referenzkörper.....	25
Abbildung 6	Überlagerte Datensätze: Blau Referenzdaten, Grau gescanntes Gipsmodell.....	26
Abbildung 7	Flächenvergleich eines 14-Zahnstumpfes mit seinem Referenzstumpf.....	27
Abbildung 8	Erzeugung eines geometrischen Körpers eines 14- Zahnstumpfes zur Volumenbestimmung.....	29
Abbildung 9	Streckenabweichungen des Materials Affinis in Abhängigkeit der Lagerzeit .....	59
Abbildung 10	Streckenabweichungen des Materials Impregum in Abhängigkeit der Lagerzeit .....	59
Abbildung 11	Streckenabweichungen des Materials Identium in Abhängigkeit der Lagerzeit .....	59
Abbildung 12	Streckenabweichungen der drei Abformmaterialien im Vergleich in $\mu\text{m}$ .....	61
Abbildung 13	Streckenabweichungen der drei Abformmaterialien im Vergleich in % .....	61
Abbildung 14	Flächen- und Volumenabweichungen des Materials Affinis in Abhängigkeit der Lagerzeit .....	63
Abbildung 15	Flächen- und Volumenabweichungen des Materials Impregum in Abhängigkeit der Lagerzeit .....	63
Abbildung 16	Flächen- und Volumenabweichungen des Materials Identium in Abhängigkeit der Lagerzeit.....	64
Abbildung 17	Flächenabweichungen der drei Abformmaterialien im Vergleich in $\mu\text{m}$ .....	65

## Verzeichnisse

Abbildung 18	Volumenabweichungen der drei Abformmaterialien im Vergleich in % .....	65
Abbildung 19	Flächenabweichungen „Koronal-Zervikal“ des Materials Affinis in Abhängigkeit der Lagerzeit.....	66
Abbildung 20	Flächenabweichungen „Koronal-Zervikal“ des Materials Impregum in Abhängigkeit der Lagerzeit .....	67
Abbildung 21	Flächenabweichungen „Koronal-Zervikal“ des Materials Identium in Abhängigkeit der Lagerzeit.....	67



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Einteilung der Abformmaterialien .....	6
Tabelle 2	Verwendete Abformmaterialien.....	6
Tabelle 3	Übersicht der verwendete Abformmaterialien .....	17
Tabelle 4	Zeitangaben der Hersteller.....	17
Tabelle 5	Verwendetes Gipsmodellmaterial .....	19
Tabelle 6	Ergebnisse der Streckenmessungen des Referenzmodells .....	22
Tabelle 7	Ergebnisse der Volumenbestimmung der Referenzstümpfe.....	28
Tabelle 8	Streckenabweichungen des Materials Affinis.....	32
Tabelle 9	Streckenabweichungen des Materials Impregum .....	33
Tabelle 10	Streckenabweichungen des Materials Identium.....	34
Tabelle 11	Rangfolge und Signifikanzen der Streckenabweichungen und der prozentualen Abweichungen der drei Materialien.....	35
Tabelle 12	Gesamtabweichungen der Strecken der drei Materialien im Vergleich .....	35
Tabelle 13	Abweichungen der Gesamtflächen des Materials Affinis .....	37
Tabelle 14	Abweichungen der koronalen Fläche des Materials Affinis.....	37
Tabelle 15	Abweichungen der zervikalen Fläche des Materials Affinis .....	38
Tabelle 16	Prozentuale Volumenabweichungen des Materials Affinis .....	38
Tabelle 17	Abweichungen der Gesamtfläche des Materials Impregum.....	39
Tabelle 18	Abweichungen der koronalen Fläche des Materials Impregum .....	40
Tabelle 19	Abweichungen der zervikalen Fläche des Materials Impregum .....	40
Tabelle 20	Prozentuale Volumenabweichungen des Materials Impregum ....	41
Tabelle 21	Abweichungen der Gesamtfläche des Materials Identium.....	42
Tabelle 22	Abweichungen der koronalen Fläche des Materials Identium.....	42
Tabelle 23	Abweichungen der zervikalen Fläche des Materials Identium .....	43

## Verzeichnisse

Tabelle 24	Prozentuale Volumenabweichungen des Materials Identium .....	43
Tabelle 25	Rangfolge der Abweichungen der Gesamtfläche der drei Materialien.....	45
Tabelle 26	Abweichungen der Gesamtfläche der drei Materialien .....	46
Tabelle 27	Rangfolge der Abweichungen der koronalen Fläche der drei Materialien.....	47
Tabelle 28	Abweichungen der koronalen Fläche der drei Materialien .....	49
Tabelle 29	Rangfolge der Abweichungen der zervikalen Fläche der drei Materialien.....	50
Tabelle 30	Abweichungen der zervikalen Fläche der drei Materialien.....	52
Tabelle 31	Rangfolge der prozentualen Volumenabweichung der drei Materialien.....	53
Tabelle 32	Prozentuale Volumenabweichungen der drei Materialien.....	54
Tabelle 33	Abweichungen „koronal – zervikal“ des Materials Affinis .....	55
Tabelle 34	Abweichungen „koronal – zervikal“ des Materials Impregum.....	56
Tabelle 35	Abweichungen „koronal – zervikal“ des Materials Identium.....	57
Tabelle 36	Gesamtabweichungen der Streckenabweichungswerte und der prozentualen Abweichungen in Abhängigkeit der Lagerzeit .....	58
Tabelle 37	Rangfolge der Streckenabweichungswerte und der prozentualen Abweichungen der drei Materialien in Abhängigkeit der Lagerzeit .....	60
Tabelle 38	Mediane der medianen Flächenabweichungswerte und der medianen prozentualen Volumenabweichungswerte in Abhängigkeit der Lagerzeit .....	62
Tabelle 39	Rangfolge der Flächenabweichungswerte und der prozentualen Volumenabweichungswerte der drei Materialien in Abhängigkeit der Lagerzeit.....	65
Tabelle 40	Mediane der medianen Flächenabweichungswerte „Koronal-Zervikal“ der Abformmaterialien in mm .....	66

## Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
A-Silikon	Additionsvernetzendes Silikon
AM <sub>+</sub>	arithmetisches Mittel der positiven Abweichungswerte
AM <sub>-</sub>	arithmetisches Mittel der negativen Abweichungswerte
AMW <sub>+/-</sub>	arithmetisches Mittel der positive/ negativen Abweichungswerte in Bezug auf die Fläche
CAD / CAM	Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
NEM	Nichtedelmetall
GMW <sub>+/-</sub>	arithmetisches Mittel in Bezug auf die gesamte auszuwertende Fläche
GOM	Gesellschaft für Optische Messtechnik mbH
ISO	International Organisation
IQR	Interquartilsabstand
K-Silikon	kondensationsvernetzendes Silikon
Md	Median
MW	Mittelwert
MW <sub>+/-</sub>	Mittlere positive/negative Abweichungswerte
n	Stichprobengröße
p	Signifikanz
P <sub>1</sub>	Anzahl der Punkte im positiven Bereich
P <sub>2</sub>	Anzahl der Punkte im negativen Bereich
PE	Polyether
RBFDP	Resin-bonded fixed dental prostheses
STL	Standard Tessellation Language
VPS	Vinylpolysiloxan
VPES	Vinylpolyethersiloxane

## 1 Einleitung

Erkrankungen des Zahnes wie Karies und Parodontitis zählen weltweit zu den häufigsten Erkrankungen in der Mundhöhle des Menschen. Die möglichen Folgen dieser Erkrankungen wie die Zerstörung gesunder Zahnhartsubstanz oder der Zahnverlust können zu erheblichen persönlichen Einschränkungen sowie verminderter Lebensqualität führen (Peres et al., 2019). In der Zahnmedizin beschäftigt sich das Fachgebiet der Zahnärztlichen Prothetik mit dem Ersatz verloren gegangener Zähne oder ausgeprägter Zahnhartsubstanzdefekte. Das Ziel ist die Wiederherstellung der Funktion und Ästhetik des Kausystems. Je nach Umfang des Zahnverlustes unterscheidet sich der Zahnersatz von Totalprothesen oder Teilprothesen zu Implantaten oder Brücken und Kronen (R.Marxkors, 2010, p. 1). Kronen und Brückenversorgungen sind bei den prothetischen Restaurationen in Deutschland sehr weit verbreitet. Laut der fünften deutschen Mundgesundheitsstudie besitzen mehr als 30 % in der Altersgruppe der 35- bis 44-Jährigen eine Krone sowie 17,5 % eine Brückenversorgung. Bei den 65- bis 74-Jährigen haben 38,2 % mindestens eine Vollkrone und 33,6 % mindestens eine Brücke (Jordan & Micheelis, 2016).

Der Wunsch nach hochwertigem und langzeitstabilem prothetischem Zahnersatz gewinnt in der Gesellschaft immer mehr an Bedeutung. In klinischen Studien wurde ein wesentlicher Zusammenhang zwischen der Stabilität und Überlebensrate festsitzender Restaurationen und deren Passgenauigkeit deutlich (Karlsson, 1986; Sorensen, 1986). Für den Erfolg der fertigen prothetischen Restauration stellt vor allem die Qualität der Abformung eine Grundvoraussetzung dar. Die abgeformten Zähne und intraoralen Weichgewebsstrukturen sollen detail- und dimensionsgetreu wiedergegeben werden. Trotz der Weiterentwicklung der Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM) Systeme, ist das konventionelle Abformen noch immer state-of-the-art, da es Vorteile in puncto Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit bietet, sowie ein breites Einsatzgebiet hat (Atieh, Ritter, Ko, & Duqum, 2017; Ender & Mehl, 2013; Stober, Johnson, & Schmitter, 2010). Die Präzision und Genauigkeit der erstellten Abformung wird neben der Abformtechnik und des Abformlöffels besonders von den physikalischen und

## 1 Einleitung

chemischen Eigenschaften der verwendeten Abformmaterialien bestimmt (Beier, Grunert, Kulmer, & Dumfahrt, 2007; Boulton, Gage, Vincent, & Basford, 1996; Fenske, 2000; Morgano, Milot, Ducharme, & Rose, 1995). Die Dimensionsstabilität stellt eine wichtige Einflussgröße für das Abformergebnis und somit die Endpassung des Zahnersatzes dar. Bei zu langen Lagerzeiten kann es zu Verzerrungen und somit zu Dimensionsänderungen kommen (Arnetz, 2010, June, 8; Donovan & Chee, 2004; Kotsiomiti, Tziella, & Hatjivasiliou, 2008). Diese Ungenauigkeiten ziehen sich durch die gesamte Prozesskette der Herstellung eines Zahnersatzes und können Passungengenauigkeit erzeugen. Bei Kronen kann es in der Folge zu vergrößerten Randspalten der eingesetzten Restaurationen kommen. Folgen eines zu großen Randspaltes oder einer nicht passgenauen Restauration sind erhöhte Kariesanfälligkeit und parodontale Läsionen oder Hypersensibilitäten an den Restaurationsrändern (Karlsson, 1986). Der klinische Langzeiterfolg einer Restauration wird somit negativ beeinflusst.

In der dieser Promotionsarbeit zugrunde liegenden Studie wurde die Nullhypothese untersucht, ob die Lagerungszeit einer Abformung bis zum Ausgießen eine signifikante Rolle für die Dimensionsstabilitäten der ausgewählten Abformmaterialien spielt.

Zur Übersichtlichkeit und leichteren Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit auf die gendergerechte Formulierung personenbezogener Substantive und Pronomen verzichtet. Begriffe wie Patient, Zahnarzt und Hersteller sollen als geschlechtsneutral zu verstehen sein.

## 1.1 Die Abformung

„Erst mit der Abformung wurde der Schlüssel zum Erfolg gefunden“ (Strübig, 1989). So lautet eine Kernaussage von Strübig W. in seinem Buch „Geschichte der Zahnheilkunde“. In der Zahnmedizin ist die Abformung ein äußerst wichtiger Behandlungsschritt zur Herstellung von Zahnersatz (Millar, 2001; Stober et al., 2010; Wöstmann, 1998, p. 13). Die intraorale Situation soll dimensions- und detailgetreu nachgestellt werden. Dazu wird eine plastisch verformbare Masse auf einen Träger gegeben und in den Patientenmund auf die abzuformende Struktur platziert. Durch den Übergang der Masse in einen festen Zustand kann das intraorale Hart- und Weichgewebe des Patienten wiedergegeben werden (Chandran, Jagger, Jagger, & Barbour, 2010; Eichner, 1996, p. 273). Es entsteht eine Negativform, die als Basis zum Ausgießen eines Modells dient (Papadiochos, Papadiochou, & Emmanouil, 2017).

### 1.1.1 Die Abformung im Herstellungsprozess von Zahnersatz

Die Herstellung prothetischen Zahnersatzes erfolgt nach einer standardisierten Abfolge zahlreicher behandlungs- und labortechnischer Arbeitsschritte. Die häufigsten Hauptarbeitsschritte von der Präparation des Zahnes bis hin zum Einsetzen des fertigen Zahnersatzes sind in Abbildung 1 beschrieben.

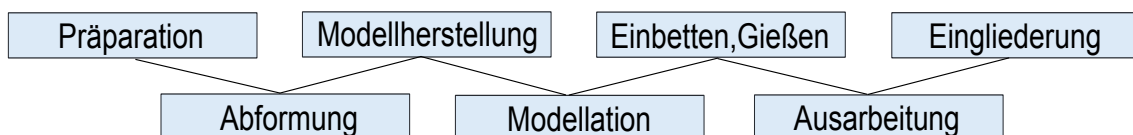


Abbildung 1 Herstellungsprozesskette einer zahnärztlichen Restauration

Jeder einzelne Arbeitsschritt sowie die dabei verwendeten Materialien und Techniken stellen Faktoren dar, welche die Präzision der fertigen Restauration beeinflussen. Reinhard Marxkors beschreibt die Arbeitsschritte bildhaft als „Glieder einer Kette“. Nach dem griechischen Sprichwort „Keine Kette ist stärker als ihr schwächstes Glied“ soll bei jedem einzelnen Arbeitsschritt auf Genauigkeit und Präzision geachtet werden (R.Marxkors, 2010, p. 1). Laut Rajapur et al. ist die Abformung der Arbeitsschritt mit dem größten Anspruch auf Genauigkeit (Rajapur, Dixit, Hoshing, & Raikar, 2012). Hier erzeugte Fehler können meist nur

## 1 Einleitung

durch ein erneutes Abformen korrigiert werden (Rao, Chowdhary, & Mahoorkar, 2010; Wöstmann, 1998, p. 16). Somit kommt der Abformung ein hoher Stellenwert zu. Sie schafft die Vorlage, auf deren Basis das Meistermodell zur Zahnersatzanfertigung hergestellt wird. Der angefertigte Zahnersatz kann nur so genau wie das hergestellte Meistermodell sein und das Modell nur so gut, wie die dazugehörige Abformung. Ein bei der Abformung entstandener Fehler beeinflusst den gesamten Arbeitsablauf im Labor negativ (Heike Rudolph et al., 2005).

Die Herstellung einer präzisen und passgenauen Restauration ist demnach nur bei einer exakten und dimensionsgenauen Abformung möglich (Arnetzl, 2010, June, 8; Donovan & Chee, 2004; Nissan, Laufer, Brosh, & Assif, 2000; Rajapur et al., 2012).

### **1.1.2 Historik der Abformmaterialien**

In dem Lehrbuch „Abhandlung von den Zähnen des menschlichen Körpers und deren Krankheiten“ beschrieb Philipp Pfaff im Jahr 1756 zum ersten Mal die „Abdrucknahme“ des Kiefers. Als Abformmassen benutzte er verflüssigtes Siegelwachs und goss das erstellte Abformnegativ erstmals mit Gips aus. Von Wachs, Gips, Guttapercha und Kompositionsabformmassen entwickelte man Anfang der 1930er Jahre die irreversiblen Hydrokolloide und in den 1940er Jahren die Alginat-Abformmassen. Ab den 1950ern wurden andere elastische Abformmaterialien eingeführt. Zuerst wurden in den USA die Polysulfide entwickelt, die sich in Deutschland kaum verbreiteten. In Deutschland folgte die Einführung der Silikone und Polyether. So kamen 1955 die kondensationsvernetzenden Silikone (K-Silikone), 1965 die Polyether (PE) unter dem Namen Impregum und 1975 die additionsvernetzenden Silikone (A-Silikone), auch Vinylpolysiloxane (VPS) genannt, auf den Markt (Eichner, 1996, pp. 274-275; Gayal, 2014). Die Einführung der Elastomere in die Zahnmedizin wird als deutliche Verbesserung der Abformgenauigkeit und Qualität der Restaurationsergebnisse gesehen (Papadiochos et al., 2017). Die Elastomere wurden kontinuierlich weiterentwickelt und verbessert (Gayal, 2014). Zu den hydrophoben A-Silikonem wurden beispielsweise seifenartige Moleküle, sogenannte Tenside, hinzugefügt, wodurch ihre Hydrophilie erhöht werden

## 1 Einleitung

konnte. Auch der Polyether Impregum wurde weiterentwickelt. Zunächst erfolgte nach der Einführung des mechanischen Anmischgerätes Pentamix die Umbenennung des zugehörigen Kartuschenmaterials von Impregum zu Impregum Penta. Zur neuen Polyethergeneration mit verbesserten Eigenschaften zählen die Produkte Impregum Penta Soft, DuoSoft und Soft Quick (3M-ESPE, 2002b). Eine weitere Neuentwicklung stellten die Silikon-Polyether-Hybridmaterialien – auch Vinylpolyethersiloxane (VPES) genannt – dar. Diese wurden mit dem Ziel entwickelt, die positiven Eigenschaften von VPS- und PE-Abformmaterialien zu kombinieren und Schwächen zu minimieren (KettenbachDental, 2019). Die derzeit auf dem deutschen Dentalmarkt verbreiteten Hybridmaterialien sind beispielsweise Identium (2009 von Kettenbach, Eschenburg, Deutschland) und EXA'ence (2011 von GC Europe, Leuven, Belgien).

Der Dentalmarkt bietet für die Herstellung prothetischer Restaurationen eine große Vielfalt an Abformmaterialien. Der Zahnarzt sollte bei der Materialauswahl die Eigenschaften der verfügbaren Materialien berücksichtigen und mit seinen Anforderungen und Anwendungsgebieten abgleichen. Die endgültige Auswahl ist oft eine Frage der persönlichen Präferenz. Auch Faktoren wie Verfügbarkeit und Kosten spielen eine Rolle. (Christensen, 1984; Karaaslan, Malkoc, Yildirim, & Malkoc, 2018; McCabe & Walls, 2009, pp. 1-3).

### **1.1.3 Verwendete Abformmaterialien**

Die Unterteilung der Abformmaterialien erfolgt nach ihrem Abbindeverhalten und ihren physikalischen Eigenschaften in vier verschiedene Gruppen (Eichner, 1996, p. 274; Rosentritt Martin, 2018, p. 30). Diese sind in Tabelle 1 veranschaulicht.



# 1 Einleitung

Tabelle 1 Einteilung der Abformmaterialien

	<b>Starr</b>	<b>Elastisch</b>
<b>Irreversibel</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Abdruckgips</li><li>• Zinkoxid-Eugenol-Paste</li><li>• Kunststoffe</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Alginate</li><li>• Elastomere<ul style="list-style-type: none"><li>- Silikone</li><li>- Polyether</li><li>- Silikon-Polyether-Hybride</li><li>- Polysulfide</li></ul></li></ul>
<b>Reversibel</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kompositionsmassen</li><li>• Guttapercha</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hydrokolloide (Agar-Agar)</li></ul>

In der modernen Zahnmedizin haben sich vor allem elastische Abformmaterialien etabliert, darunter die reversiblen Hydrokolloide, VPS und PE (Christensen, 1997; Rubel, 2007). Speziell in der Zahnärztlichen Prothetik zur Durchführung von Präzisionsabformungen sind diese elastomeren Abformmaterialien nicht wegzudenken (Eichner, 1996; Wöstmann B., 2005, Nov). Laut Papadiochos et. al. erzielen Elastomere eine Verbesserung der Abformgenauigkeit und damit eine erstklassige Qualität der fertigen Restauration (Papadiochos et al., 2017). Um weitere Detailverbesserungen von Abformmaterialien zu erreichen, müssen deren Eigenschaften, wie in dieser Studie die Dimensionsstabilität, fortlaufend geprüft werden. Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit den drei in Tabelle 2 genannten irreversibel elastischen Abformmaterialien, die der Gruppe der Elastomere angehören.

Tabelle 2 Verwendete Abformmaterialien

Affinis (Aff)	–	ein Vinylpolysiloxan (VPS)
Impregum Penta H DuoSoft (Imp)	–	ein Polyether (PE)
Identium (Ide)	–	ein Polyvinylsiloxanether (VPES)

Das Wissen über die Zusammensetzung, die Eigenschaften und die Anwendung verwendeter Abformmaterialien stellt eine grundlegende Voraussetzung für ein erfolgreiches Abformergebnis dar (Karaaslan et al., 2018; Rubel, 2007).

## 1 Einleitung

Deshalb soll ein kurzer Überblick über die in dieser Studie verwendeten Materialien gegeben werden.

### 1.1.3.1 Allgemeine Eigenschaften der Elastomere

Die DIN EN ISO 4823 Norm beschreibt die wichtigsten Anforderungen und Prüfungen zur Bewertung der Qualität elastomerer Abformmaterialien. So werden beispielsweise die Konsistenz, die Gesamt-Verarbeitungszeit, die Abbindezeit, die Verformung unter Druck, das Rückstellvermögen und die lineare Dimensionsänderung in der Gebrauchsanweisung der Materialien angegeben (DIN EN ISO 4823:2021-06, 2021, June; Eichner, 1996, p. 287). Elastomere Abformmaterialien besitzen alle die Eigenschaft der Gummielastizität. Sie bestehen meist aus einem Zwei-Komponenten-System: einer Basis- und einer Reaktorpaste. Nach dem Vermischen beider Pasten startet die Abbindereaktion, bei der die Molekülketten polymerisieren, die Gummielastizität schwindet und ein Festkörper entsteht (Craig, 2006). Aufgrund ihrer guten Dimensionsstabilität, Detailwiedergabe und physikalischen Eigenschaften werden Elastomere, vor allem Polyether und Vinylpolysiloxane, in der prothetischen Zahnmedizin bevorzugt verwendet. (Enkling, Bayer, Jöhren, & Mericske-Stern, 2012; Faria, Rodrigues, Macedo, Mattos Mda, & Ribeiro, 2008; Kambhampati, Subhash, Vijay, & Das, 2014; Marcinak, Young, Draughn, & Flemming, 1980).

### 1.1.3.2 Affinis

Das Abformmaterial Affinis ist ein additionsvernetzendes Vinylpolysiloxan. Additionsvernetzende Silikone gibt es seit Mitte der 1970er Jahre. Diese Materialklasse macht einen großen Anteil auf dem Dentalmarkt aus (Craig, 2006, p. 175). A-Silikone auf Polyvinylsiloxanbasis bestehen aus als Basispaste dienenden Polysiloxanen mit endständigen Vinylgruppen und der Reaktorpaste mit Hydrogensiloxanen mit seitlicher Wasserstoff-Gruppe. Unter Einfluss eines Platinkatalysators findet die Additionsreaktion dieser Komponenten statt. Es entstehen keine Nebenprodukte, wodurch eine Schrumpfung durch Verdunstung entsprechend den kondensationsvernetzenden Silikonen ausbleibt (Eichner, 1996, p. 283; Mandikos, 1998). Vinylpolysiloxane weisen günstige physikalische Eigenschaften, Präzision, Dimensionsstabilität und Biokompatibilität auf (Blatz, Sadan, Burgess, Mercante, & Hoist, 2005). Von chemischer Natur aus sind sie

## 1 Einleitung

hydrophob und können durch den Einbau geeigneter Moleküle, wie intrinsische Tenside, eine gewisse Hydrophilie erlangen (Abformkompendium, 2017, June). Weitere positive Merkmale der A-Silikone sind ihre geringe reaktions- und lagerungsbedingte Polymerisationsschrumpfung, ihre Reiß- und Zugfestigkeit und die sehr geringen Dimensionsänderungen über die Zeit (Craig, 2006, p. 186; Pande & Parkhedkar, 2013). Zudem erfreuen sie sich einer hohen Akzeptanz bei Zahnarzt und Patient. Laut Donovan & Chee gehören VPS zu den am meisten benutzten Abformmaterialien in der restaurativen Zahnmedizin, was vor allem auf ihre Maßgenauigkeit und gute Oberflächenreproduzierbarkeit zurückzuführen ist (Donovan & Chee, 2004). Ein Nachteil ist ihre potenzielle Interaktion mit Schwefel oder auch schwefelhaltigen Stoffen, wie Latex, was zu einer Polymerisationshemmung führen kann (Chee & Donovan, 1992; Kimoto, Tanaka, Toyoda, & Ochiai, 2005; Peregrina, Land, Feil, & Price, 2003).

Das VPS Affinis gehört zu den hydrophilen VPS- Abformmaterialien und zeichnet sich im Vergleich zu den vorherigen A-Silikonem durch verbesserte Materialeigenschaften bezüglich der Benetzbarkeit und Fließfähigkeit aus (Blatz et al., 2005).

### 1.1.3.3 Impregum Penta H Duosoft

Das Abformmaterial Impregum Penta H Duosoft ist ein von der Firma 3M Oral Care (heute 3M ESPE, Seefeld, Deutschland) hergestelltes zweiphasiges Polyether. Aufgrund limitierender Eigenschaften des vorherigen Impregums, wie einer kurzen Verarbeitungszeit, einer hohen Steifigkeit, einer erschwerten Mundentnahme durch einen starken Saugeffekt sowie seines bitteren Geschmacks (Craig, 2006, p. 187) wurde im Jahr 2000 das Impregum Penta H Duosoft entwickelt. Dieses Nachfolgeprodukt besitzt alle positiven Eigenschaften seines Vorläufers Impregum mit zusätzlich verbessertem Komfort für den Patienten und vereinfachtem Handling für den Anwender (3M ESPE, 2005). Die Polyether gelten als bewährtes und zuverlässiges Abformmaterial, das auch für schwierige Patientensituationen geeignet ist (3M-ESPE, 2002a). Die Basispaste enthält ein längerkettiges Polyethermakromonomer mit reaktionsfreudigen Ringgruppen. Diese Ringgruppen des Makromonomers öffnen sich durch die Reaktion mit einem kationischen Starter, einem Sulfonsäureester der

## 1 Einleitung

Reaktorpaste, wodurch die Polymerisationsreaktion stattfindet (Eichner, 1996, p. 285; GCEuropeA.G., 2020). Dabei werden keine Nebenprodukte frei, was die Dimensionsstabilität einer Abformung positiv beeinflusst (Gonçalves et al., 2011; Wöstmann, 1998, p. 33). Polyether zeichnen sich durch ihre hohe initiale Hydrophilie aus. Durch sie wird ein gutes Fließverhalten in feuchte Bereiche wie den Sulkusbereich der Mundhöhle ermöglicht. Aufgrund der unterschiedlichen Polaritäten der funktionellen Gruppen des Polyethers können die ebenfalls polaren Wassermoleküle angezogen werden und sich anlagern. Des Weiteren besitzen Polyether starke mechanische Eigenschaften, wie beispielsweise eine hohe Zeichnungsschärfe, ein gutes elastisches Rückstellvermögen, eine hohe Detailwiedergabe und eine gute Dimensionsstabilität. Sie sind den Hydrokolloiden und den C-Silikonen weit überlegen (Abformkompendium, 2017, June). Neben den A-Silikonen sind Polyether die wichtigsten Abformmaterialien für Präzisionsabformmassen wie beispielsweise bei Inlay-, Kronen- und Brückenpräparationen (3M-ESPE, 2002a)

### 1.1.3.4 Identium

Das Abformmaterial Identium ist ein hydrophilisierter additionsvernetzender elastomerer Vinylpolysiloxanether. Anfang des Jahres 2009 brachte die Firma Kettenbach (Eschenburg, Deutschland) Identium auf den Dentalmarkt. Werkstoffwissenschaftlich ist es eine Kombination von Polyether- und Vinylpolysiloxananteilen (ein A-Silikon) und wird deshalb auch als Hybridmaterial bezeichnet (KettenbachDental, 2019). Stober et al. untersuchten 2010 die Genauigkeit des damals neuen Abformmaterials Identium im Vergleich zu Polyethern und Vinylpolysiloxanen. Sie publizierten in ihrer Studie die vom Hersteller beschriebenen Bestandteile und Reaktionsmechanismen. Das Polymer der Basispaste besteht aus Divinylpolyether und Divinylpolydimethylsiloxan. Unter Einfluss eines Platinkatalysators kommt es zu einer Vernetzung des Polymers mit dem Organodihydrogensiloxan der Härterpaste, was zur Bildung des Vinylsiloxanethers führt (Stober et al., 2010). Identium soll die positiven Eigenschaften beider vorhandener Materialklassen vereinen. Entsprechend eines Polyethers besitzt es durch die Integration polarer Ketten ins Siloxangerüst eine besonders gute Hydrophilie und hervorragende

## 1 Einleitung

Fließeigenschaften (Beck-Mußotter, 2019; Januar, 22; KettenbachDental, 2019). Verglichen mit A-Silikonen besitzt Identium gleichermaßen eine Geruchs- und Geschmacksneutralität, eine kurze Mundverweildauer und eine geringe Abzugskraft. Außerdem hat es eine hohe Elastizität und ist dadurch leichter aus dem Mund des Patienten zu entnehmen (Enkling et al., 2012). In der vorliegenden Studie wurde Identium Heavy body in Kombination mit Identium Light body verwendet. Laut Herstellerangaben liefert diese Kombination besonders unter der Anwendung der Doppelmischtechnik sehr gute Abformergebnisse (KettenbachDental, 2019).

Die Abformung ist, wie bereits erläutert, ein wichtiger Schritt bei der Herstellung einer gut passenden prothetischen Restauration. Der Präzisionsgrad der Abformung wird von einer Vielzahl an Variablen bestimmt. Einen wesentlichen Einfluss spielen die Eigenschaften des verwendeten Abformmaterials (Arnetzl, 2010, June, 8; Stober et al., 2010). Die drei in dieser Studie getesteten Abformmaterialien zählen zu den neusten auf dem Dentalmarkt erhältlichen Produkten. Die aktuelle Datenlage beschreibt jedoch nicht umfänglich die Eigenschaften der drei Materialien. Vor allem über den Einfluss der Lagerzeit zwischen Abformung und Ausgießen einer Abformung auf die Dimensionsstabilität der in dieser Untersuchung verwendeten drei Abformmaterialien sind derzeit kaum publizierte Studien vorhanden. Da erstellte Abformungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten ausgegossen werden, wurde in der vorliegenden Studie die Auswirkung der Lagerzeit auf deren Dimensionsstabilität untersucht.

### **1.2 Die Dimensionsstabilität**

Zur Herstellung von präzisiertem Zahnersatz sind an zahnärztliche Abformmaterialien zahlreiche Anforderungen gestellt. Zu diesen zählen beispielsweise eine einfache Verarbeitbarkeit, eine ausreichende Elastizität, die Kompatibilität mit Modellmaterialien, die Biokompatibilität, eine gute Lagerfähigkeit sowie ein angenehmer Geruch und Geschmack (Bell & von Fraunhofer, 1975; Craig, 2006, p. 160). Eine herausragende Rolle für die Endpassung des Zahnersatzes spielt die Dimensionsgenauigkeit und die mit ihr

## 1 Einleitung

verbundene Dimensionsstabilität von Abformmaterialien (Boulton et al., 1996; Eichner, 1996, pp. 275-276, 287-295; Özdemir & Pekince, 2019). Diese beeinflusst die Detailwiedergabe der Abformungen (Chandran et al., 2010; Marković et al., 2012; Özdemir & Pekince, 2019) und somit die Präzision, die Passform und demzufolge den klinischen Erfolg der Zahnrestorationen (Blatz et al., 2005).

Die von der International Organization for Standardization (ISO) erarbeitete Norm ISO 5725 Part 1 beschreibt den Begriff Genauigkeit als enge Übereinstimmung mit einer Referenz bezüglich Präzision und Richtigkeit (International Organization for Standardization-ISO, 1994). In der Zahnmedizin steht der Begriff Dimensionsgenauigkeit für die Abformungsschärfe, wie präzise und richtig ein Abformmaterial die abzuformende Struktur wiedergibt (Eichner, 1996, p. 276). Dabei soll die Abformung in seiner Form und den Maßen mit dem Negativ des abzuformenden Originals übereinstimmen (Kotsiomiti et al., 2008). Steht beispielsweise die Wiedergabe der präparierten Zähne im Fokus, so spielt insbesondere die Reproduktionsgenauigkeit der Präparationsgrenzen und die Dimensionstreuung der Zahnstümpfe eine Rolle.

Dimensionsgenauigkeit soll über eine gewisse Zeitdauer bestehen bleiben, das Abformmaterial demnach in seiner Dimension und auch in seinen Abmessungen in Länge und Breite konstant und stabil bleiben (Bell & von Fraunhofer, 1975; Kumari & Nandeeshwar, 2015; Stewardson, 2005). Diese Formtreue über eine bestimmte Zeitdauer wird als Dimensionsstabilität bezeichnet (Kotsiomiti et al., 2008).

Die Dimensionsstabilität von Abformmaterialien wird von einigen Faktoren beeinflusst, welche in zahlreichen Studien thematisiert werden. Zu diesen Faktoren zählen beispielsweise die Materialdicke (Kumar, Yadav, Yadav, & Arora, 2014), die Desinfektion der Abformung (Nassar & Chow, 2015; Sinobad et al., 2014; Soganci, Cinar, Caglar, & Yagiz, 2018), die Lagertemperatur (Corso, Abanomy, Di Canzio, Zurakowski, & Morgano, 1998; Kambhampati et al., 2014) und die Lagerzeit vor dem Ausgießen (Garrofé, Ferrari, Picca, & Kaplan, 2011; Karaaslan et al., 2018; Nassar, Oko, Adeeb, El-Rich, & Flores-Mir, 2013; Naumovski & Kapushevska, 2017).

### **1.3 Die Lagerzeit vor der Modellherstellung**

Nach der Entnahme der Abformung aus dem Mund des Patienten wird als nächster Schritt im Labor das Meistermodell hergestellt, welches dem Zahntechniker als Grundlage zur Herstellung des Zahnersatzes dient. Die Zeit zwischen Entnahme und Ausgießen der Abformung ist dabei ein entscheidender Einflussfaktor auf die Dimensionsstabilität der Abformung (Alkurt, Yeşil Duymus, & Dedeoglu, 2016; Donovan & Chee, 2004; Thongthammachat et al., 2002). Studien haben angeraten, dass ein Ausgießen elastomerer Abformmaterialien innerhalb von 30 Minuten nach der Abformung die genauesten Ergebnisse liefert. Eine schnelle Modellherstellung und Weiterverarbeitung nach einer Abformung wurde für elastomere Materialien empfohlen (Clancy, Scandrett, & Ettinger, 1983; Craig, 2006, p. 293; Garrofé et al., 2011; Gonçalves et al., 2011; Williams, Jackson, & Bergman, 1984). Eine solche Empfehlung gilt jedoch nicht verallgemeinernd für alle Materialien und ist meist nur in Praxen mit integriertem Hauslabor oder naheliegender Dentallabor möglich. Auch andere Gründe machen ein sofortiges Ausgießen oft nicht möglich: Wird die Abformung an ein weiter entferntes Dentallabor geschickt oder wird eine Abformung am Ende des Arbeitstages gemacht, kann diese frühestens am Folgetag ausgegossen werden. Auch bei einer Zusammenarbeit mit Auslandslaboren ist ein sofortiges Ausgießen unmöglich (Bell & von Fraunhofer, 1975; Kumari & Nandeeshwar, 2015). Abformmaterialien sollten daher idealerweise über eine längere Zeitdauer formstabil sein und keine Dimensionsänderungen aufweisen, damit auch nach mehreren Stunden oder Tagen Abdrücke als Grundlage zur Modellherstellung verwendet werden können (Bell & von Fraunhofer, 1975; Donovan & Chee, 2004). Es stellt sich die Frage, ob es entweder eine Zeitspanne, in der die Abformung dimensionsgenau bleibt oder einen optimalen Zeitpunkt zum Ausgießen einer Abformung gibt. Damit ist der Zeitpunkt gemeint, an dem die Abformung die beste Dimensionsgenauigkeit aufweist.

### **1.4 Zielsetzung**

Die Weiterentwicklung klassischer Abformmaterialien zu neueren Nachfolgematerialien mit verbesserten Eigenschaften ist ein wichtiger Bestandteil des Fortschritts in der Zahnmedizin. Diese Fortschritte implizieren die Durchführung von Studien.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Dimensionsstabilität von drei Abformmaterialien in Abhängigkeit der Lagerzeit zu untersuchen. Die damit verbundenen Auswirkungen auf die Dimensionsgenauigkeit werden beurteilt. Drei Abformmaterialien unterschiedlicher Materialklassen wurden nach fünf verschiedenen Lagerzeiten getestet. Die aktuelle Datenlage dieser Abformmaterialien bezüglich ihrer Dimensionsstabilität über eine gewisse Zeitdauer ist nicht ausreichend. Mit dieser Studie soll versucht werden, diese Datenlücke zu schließen.

Haupthypothese:

Die Zeit der Lagerung einer Abformung bis zum Ausgießen spielt eine signifikante Rolle für die Dimensionsstabilitäten der ausgewählten Abformmaterialien.

Nebenhypothesen:

- Die drei Abformmaterialien weisen signifikante Unterschiede bezüglich ihrer Dimensionsgenauigkeit auf.
- Die Stelle der Abformung – koronal oder zervikal – hat keinen signifikanten Einfluss auf die Dimensionsgenauigkeit der Abformung.



## 2 Material und Methoden

Die durchgeführte Studie fand in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit des Universitätsklinikums Würzburg statt. Im Folgenden werden der Ablauf, die einzelnen Arbeitsschritte sowie die verwendeten Materialien beschrieben. Es wurde nach dem Schema in Abbildung 2 verfahren.

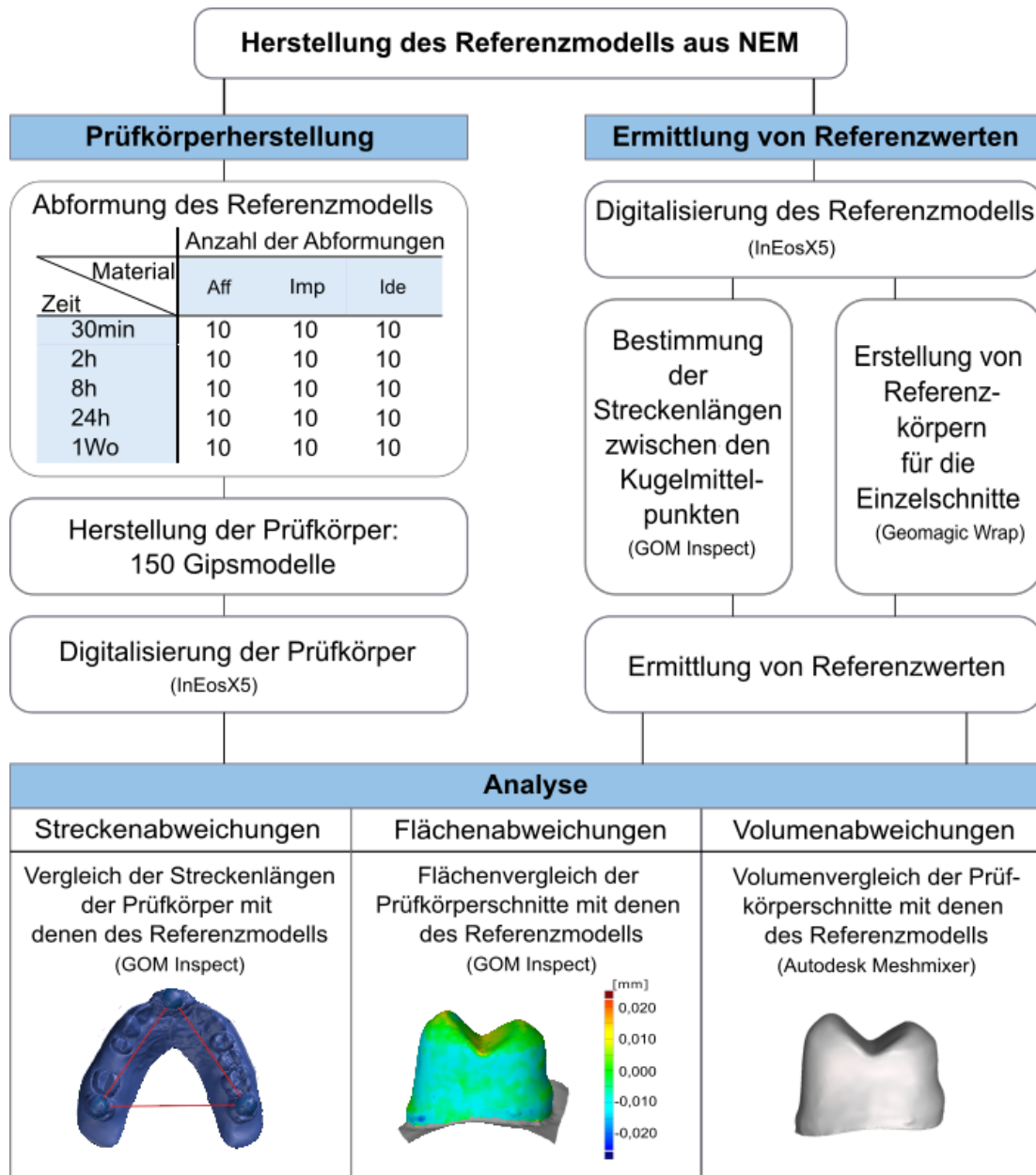


Abbildung 2 Ablauf der Studie zur Untersuchung der Dimensionsstabilität in Abhängigkeit der Lagerzeit

### 2.1 Herstellung des Referenzkörpers

Zur Durchführung der Studie wurde als Referenzkörper ein Modell aus Nichtedelmetall hergestellt. Die Herstellung des benötigten Referenzmodells begann mit der Präparation von Modellzähnen, welche in einem Oberkiefer-Übungsmodell der Firma KaVo (KaVo, Biberach an der Riß, Deutschland) montiert wurden. Das KaVo-Modell wurde hierzu in einem Phantomkopf (KaVo) befestigt. Von Zahn 14 auf 16 wurde eine Brücke mit zervikaler Hohlkehle präpariert. Laut Lehmann und Hellwig soll bei einer Vita-Metall-Keramik-Präparation approximal und oral 0,5 mm, vestibulär 1,5 mm und okklusal 1,5-2 mm Substanz abgetragen werden sowie ein Konvergenzwinkel von 3-6° angestrebt werden (Lehmann KM, 2005). Zur Glättung wurden entsprechende Finierdiamanten benutzt. Auf die Zähne 17 und 27 okklusal und zwischen 11 und 21 inzisal wurden Auflagen für Kugellager-Präzisionskugeln aus Edelstahl von 6 mm Durchmesser präpariert. Die Präzisionskugeln wurden mit Sekundenkleber befestigt.

Zunächst wurde das KaVo-Modell mit den Präparationen und den Präzisionskugeln Affinis abgeformt und mit Epoxidharz ausgegossen. Dieses Epoxidharz-Modell war für die Durchführung von mehreren Abformungen jedoch nicht stabil genug. Nach ersten Probeabformungen waren bereits ein Verzug zu erkennen. Deshalb wurden die Präzisionskugeln auf dem KaVo-Modell neu befestigt und mit einem Sirona inEosX5 Scanner (Dentsply Sirona, York, USA) und der Software InLab 20.0 (Dentsply Sirona, York, USA) gescannt. Dieses Modell wurde mit der CAD-Software Geomagic wrap (3D Systems Rock Hill, USA) überarbeitet. Als Vorschau wurde ein virtueller Körper konstruiert. Diese Scandatei wurde in die Druckvorbereitungssoftware PreForm 2.19.2 (Formlabs Inc., Sommerville, USA) importiert. Anschließend erfolgte der Druck mit dem dazugehörigen Form 2 3D-Drucker (Formlabs Inc., Sommerville, USA). Als Druckmaterial wurde das Grey photopolymer resin (RS-F2-GPGR-04, Formlabs Inc.) verwendet. Nach Waschen des Drucks mit 100% Isopropanol im Form Wash und Härten im Form Cure für 30 Minuten bei 60° (Formlabs Inc., Sommerville, USA) war die Produktion abgeschlossen (Formlabs Inc.). Das gedruckte Resin-

## 2 Material und Methoden

Modell wurde eingebettet und in einer Fornax-T-Schleuder (Bego Bremer Goldschlägerei GmbH, Bremen, Germany) in Nichtedelmetall (NEM) gegossen. Auf die drei präparierten Auflagen wurden die Präzisionskugeln per Laser aufgeheftet. Dieses NEM-Modell mit aufgelaserten Kugeln wurde als Datensatz für den späteren Vergleich mit den Gipsmodellen eingescannt, bevor daraufhin auf ihm die Abformungen erfolgten. In Abbildung 3 sind die Arbeitsschritte der Herstellung des Referenzkörpers veranschaulicht.

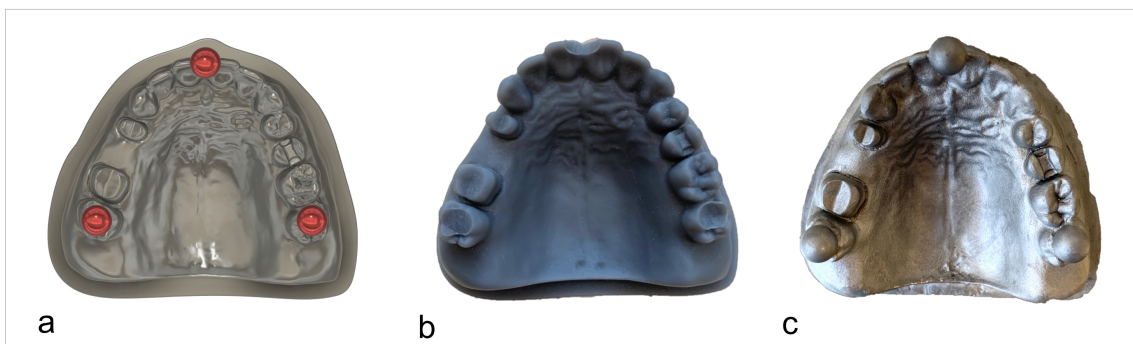


Abbildung 3 Arbeitsschritte der Herstellung des NEM-Referenzkörpers  
a – Virtueller Körper mit Präzisionskugeln  
b – Gedrucktes Resinmodell ohne Präzisionskugeln  
c – Gegossenes NEM-Modell mit Präzisionskugeln

(Die auf dem Bild zu sehende Inlaypräparation des Zahnes 25 ist Teil einer diesem Projekt folgenden Dissertation)

### 2.2 Herstellung der Prüfkörper: Gipsmodelle

Ein Überblick des Versuchsablaufs und die einzelnen Arbeitsschritte sind Abbildung 2 zu entnehmen. Insgesamt wurden 150 Prüfkörper hergestellt.

#### 2.2.1 Durchführung der Abformung

Die Abformung des hergestellten Referenzmodells erfolgte mit drei verschiedenen Materialien: Impregum Penta H DuoSoft (3M ESPE, Seefeld, Deutschland), Affinis (Coltène, Langenau, Deutschland) und Identium (Kettenbach, Eschenburg, Deutschland). Weitere Informationen über die drei Materialien sind Tabelle 3 und Tabelle 4 zu entnehmen (3M-ESPE, 2002a; Coltène/Whaledent, 2015; KettenbachDental).

## 2 Material und Methoden

Tabelle 3 Übersicht der verwendete Abformmaterialien

Jedes Material bestand aus einer schwer- und leichtfließenden Phase.  
Aff= Affinis, Imp= Impregum Penta H DuoSoft, Ide= Identium

Name	Phase		Material- klasse	Hersteller
	Schwer- fließend	Leicht- fließend		
<b>Aff</b>	Heavy body (360 System)	Precious light body (silver)	Vinyl- polysiloxan	Coltène, 89129Langenau, Deutschland
<b>Imp</b>	Penta H DuoSoft	Penta L Duosoft	Polyether	3M ESPE 82229Seefeld, Deutschland
<b>Ide</b>	Heavy body	Light body	Vinylpoly- siloxanether	Kettenbach, 35713Eschenburg, Deutschland

Tabelle 4 Zeitangaben der Hersteller

Die Werte der Verarbeitungszeit, der Mundverweildauer und der Abbindezeit sind in Minuten (min) angegeben. Bei Imp wurde nach den längeren Zeiten des Imp L Duosofts gearbeitet.

		Verarbeitungs- zeit (min)	Mundverweil- dauer (min)	Abbinde- zeit (min)
<b>Aff</b>	Heavy body	1:00	2:00	3:00
	Precious silver	1:00	2:00	3:00
<b>Imp</b>	H DuoSoft	2:30	3:30	6:00
	L DuoSoft	3:15	3:15	6:30
<b>Ide</b>	heavy	2:00	2:30	4:30
	light	2:00	2:30	4:30

Für die Studie wurden mit jedem Abformmaterial 50 Abformungen und somit insgesamt 150 Abformungen durchgeführt. Als Abformlöffel diente ein XS-Rimlock-Löffel (Dentsply De-Trey GmbH, Konstanz, Deutschland), da dieser für die Größe des Referenzmodells passend war. Alle Abformungen wurden im

## 2 Material und Methoden

Doppelmischabformverfahren durchgeführt. Zu Beginn wurde der Löffel je nach verwendetem Abformmaterial mit einem Löffeladhäsiv bestrichen. Für Impregum Penta H DuoSoft wurde Polyetheradhäsiv (3M Deutschland GmbH, Seefeld, Deutschland) und für Affinis und Identium Universaladhäsiv (Heareus Kulzer, Hanau, Deutschland) verwendet. Zur Simulation der intraoralen Verhältnisse, wurde das Referenzmodell vor jeder Abformung in ein 50° heißes Wasserbad gelegt (Julabo-MWB Labortechnik GMBH, Seelbach, Deutschland). Die Temperatur von 50° wurde ausgewählt, da durch das anschließende Trockenpusten mit dem Luftbläser das Modell etwas an Temperatur verlor und sich so der angestrebten Mundtemperatur von 35° weitgehend annäherte. Zunächst wurde die schwerfließende Abformmasse mithilfe des elektrischen Sympress- Dosier- und Mischgerätes (3M Espe, Seefeld, Deutschland) in den Abformlöffel gegeben. Die leichtfließende Komponente befand sich in einer Automischpistole (Omnicent Dental-Handelsgesellschaft mbH, Rodgau Nieder-Roden, Deutschland). Mit dieser wurden zügig die Stümpfe, sowie die Kugeln des Referenzmodells umspritzt. Nun wurde der befüllte Löffel auf das Modell gesetzt, bis die Kugeln am Löffelboden ankamen. Nach Ablauf der vorgeschriebenen Gesamtverarbeitungszeit und somit erfolgter Abbindung des Materials wurde die Abformung vom Modell entnommen und auf ihre Qualität beurteilt.

### **2.2.2 Herstellung der Gipsmodelle zu unterschiedlichen Zeitpunkten**

Als nächstes wurde die durch die Abformung erzeugte Negativform mit Gips ausgegossen. Der verwendete Dentalgips war der Typ IV Superhartgips Fujirock-EP golden brown (Firma GC Europe, Leuven, Belgien). Er wurde wegen seinen hervorragenden mechanischen Eigenschaften wie gute Kantenhärte, hohe Druckstabilität, Detailgenauigkeit und Dimensionsstabilität ausgewählt (Christian Rehse, 2004; GCEuropeA.G., 2020). Außerdem sind Typ IV Gipse besonders für die Herstellung präziser Meistermodelle, wie es in dieser Studie erforderlich ist, geeignet (Eichner, 1996, p. 11). Nähere Informationen über den verwendeten Gips sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

## 2 Material und Methoden

Tabelle 5 Verwendetes Gipsmodellmaterial

<b>Fujirock® EP – Classic goldbraun</b>	
Stoffklasse	Superhartgips Typ IV
Hersteller	GC Europe, Leuven, Belgien
Verhältnis Pulver/ Wasser	20ml /100 g
Vakuummischen	45 sek
Abbindezeit	10-13 min
Entformung nach	30-40 min
Abbindeexpansion (nach 2h)	≤0,09 %
Druckfestigkeit	53 Mpa
Nummer	890226 Goldbraun 12-kg-Packung

(GC Europe, 2016 May, 28)

Das Ausgießen der Abformungen erfolgte nach fünf unterschiedlichen Zeiträumen. Es wurden jeweils zehn Abformungen pro Abformmaterial nach 30 Minuten, nach 2 Stunden, nach 8 Stunden, nach 24 Stunden und nach einer Woche ausgegossen. Das vom Hersteller angegebene Mischungsverhältnis von 100 g Gipspulver auf 20 ml destilliertem Wasser wurde exakt eingehalten. Nach kurzem Verrühren per Hand mit einem Gipsspatel in einem Vakuumrührbecher (Wassermann Dental-Maschinen GmbH, Hamburg, Deutschland) wurde die Masse mit dem Wamix-Vakuumrührgerät (Wassermann Dental-Maschinen GmbH) für 45 Sekunden angerührt. Durch den erzeugten Unterdruck beim maschinellen Anmischen sollen Lufteinschlüsse im Gips minimiert werden und somit festere Gipsmodelle entstehen (Eichner, 1996, p. 21). Der nun angerührte Gips hatte eine für die Anwendung gut geeignete homogene und leicht cremige Konsistenz. Das Ausgießen der Abformung erfolgte unter ständiger Vibration auf einem Rüttlergerät (Harnisch und Rieth, Winterbach, Deutschland), wodurch eine Blasenbildung im Modell vermieden werden sollte. Nach der Aushärtung des Gipses wurde das Modell der Abformung entnommen und zur Formgebung an einem nassen Gipstrimmer (Renfert GmbH, Hilzingen, Deutschland) beschliffen. Jede Abformung und Gipsmodellherstellung wurden auf die gleiche Art und Weise durchgeführt.

### 2.3 Datenerhebung

Nach der Herstellung der Gipsmodelle zu unterschiedlichen Zeitpunkten wurden diese zur Ermittlung der Dimensionsstabilität mit computergestützten Methoden ausgewertet. Im Folgenden werden die Abläufe zur Erhebung der Daten beschrieben.

#### 2.3.1 Digitalisierung des Referenzmodells und der Gipsmodelle

Zur Ermittlung von Referenzwerten wurde das Referenzmodell zwanzig Mal und die Gipsmodelle einmal mit dem InEos X5 Extraoralscanner eingescannt. Das Scanprinzip beruhte auf der Streifenprojektion mit blauem Licht, welche die Art des berührungslosen Scannens mittels optischer Triangulation verwendet (Alexandru, Manole, Campian, Sinescu, & Baci, 2019). Als Software wurde das 3D-CAD-Programm InLab SW 20.0 verwendet. Das jeweilige Gipsmodell wurde auf einer verstellbaren Modellplatte montiert und am Schwenkarm positioniert. Es erfolgte die Erstellung eines Übersichtsscans, die Positionierung der Kieferkammlinie und im Anschluss der lückenlose Scanvorgang. Mittels dieser Daten wurde ein 3D-Modell erstellt, welches im STL-(Standard Tessellation Language) Format gespeichert wurde.

#### 2.3.2 Zweidimensionale Auswertung: Streckenabweichung

Zur zweidimensionalen Analyse der digitalisierten Modelle wurde das 3D-CAD-Softwareprogramm GOM Inspect 2019 (GOM GmbH, Braunschweig, Deutschland) verwendet. GOM wird aufgrund seiner präzisen Auswertungen und geringen Messabweichungen in der Industrie für Messanalysen und Qualitätskontrollen genutzt (von Wilmowsky et al., 2015). Bei allen Modellen wurden jeweils drei Strecken gemessen.

##### 2.3.2.1 Vermessung des Referenzmodells

Die 20 STL-Dateien des Referenzmodells wurden jeweils als „Neues Bauteil“ in GOM Inspect importiert. Als Parameter wurden die „Standardeinheit Millimeter“ und der „Zielelementtyp CAD-Körper“ eingestellt. Grundlage der Streckenmessung bildeten die drei Kugeln auf den Modellzähnen. Sie dienten als Anfangs- bzw. Endpunkte der Strecken. Die Kugeln wurden als „Fitting-Kugeln“ konstruiert und nummeriert.

## 2 Material und Methoden

Die Nummerierung begann im ersten Quadranten und verlief dem Verlauf des Oberkieferbogens entsprechend von links nach rechts.

- Kugel 1: auf dem zweiten Molaren des ersten Quadranten (17)
- Kugel 2: Approximalraum der beiden ersten Inzisiven (11/21)
- Kugel 3: auf dem zweiten Molaren des zweiten Quadranten (27)

Zur linearen Abstandsmessung wurden von GOM Inspect die Mittelpunkte der Kugeln errechnet. Um zwischen den Kugelmittelpunkten Strecken zu erzeugen wurden sogenannte „2-Punkte-Linien“ konstruiert. Dadurch konnten die Abstände zwischen den einzelnen Kugeln gemessen werden. Die Strecken wurden entsprechend ihrer Ausgangskugeln benannt.

- Strecke  $\overline{12}$  : Distanz der Kugelmittelpunkte von Kugel 1 zu Kugel 2
- Strecke  $\overline{23}$  : Distanz der Kugelmittelpunkte von Kugel 2 zu Kugel 3
- Strecke  $\overline{13}$  : Distanz der Kugelmittelpunkte von Kugel 1 zu Kugel 3

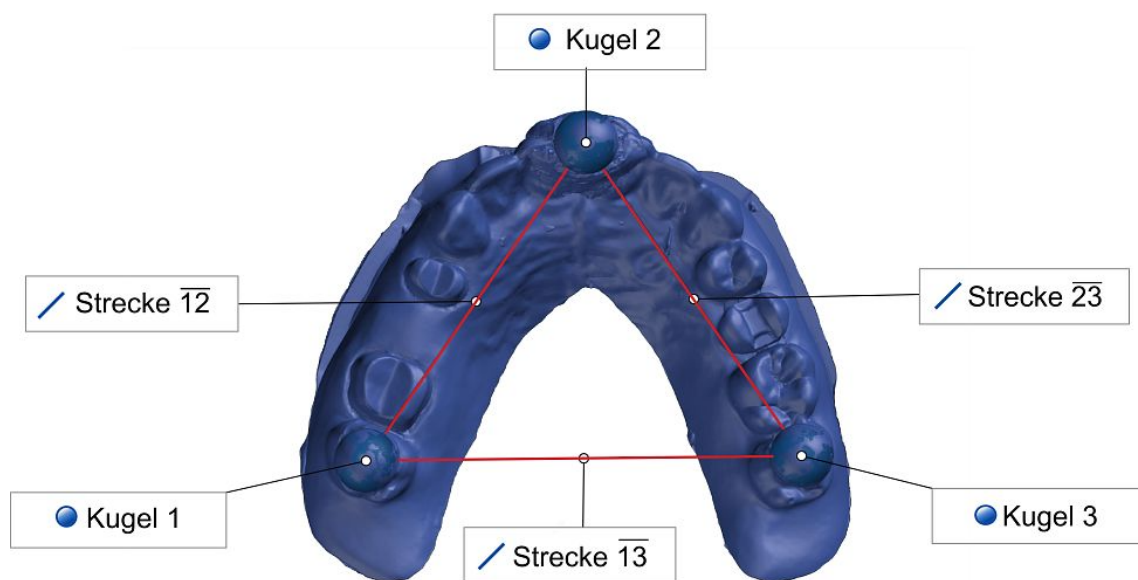


Abbildung 4 Digitalisiertes Modell mit nummerierten Kugeln und eingezeichneten Strecken



## 2 Material und Methoden

Die Werte der Strecken wurden in der Größeneinheit mm angegeben. Die fertige Datei wurde als ginspect-Datei gespeichert.

Es wurden die Mittelwerte aller gemessenen Streckenlängen der 20 STL-Dateien errechnet. Diese wurden als Sollwert abgespeichert und für alle weiteren Messungen an den Gipsmodellen als Referenzwert angesehen. Die Mittelwerte der Vermessungen des Referenzmodells sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6 Ergebnisse der Streckenmessungen des Referenzmodells  
Die Mittelwerte der Streckenmessungen sind in mm angegeben.

Strecke	Strecke $\overline{12}$	Strecke $\overline{23}$	Strecke $\overline{13}$
MW (mm)	36,56	35,93	41,21

### 2.3.2.2 Vermessung der Prüfkörper

Die Streckenlängen wurden entsprechend der Streckenmessung des Referenzmodells mit GOM Inspect bestimmt. Die Werte der Strecken der Prüfkörper wurden mit den Referenzwerten des Referenzmodells durch Ermittlung ihrer Differenz verglichen. Hierdurch konnte die Größe der Abweichung der Prüfkörper zum Referenzmodell bestimmt werden. Es wurden die Beträge dieser Differenzen gebildet.

#### **Formel 1: Betrag der Differenz der einzelnen Strecken des Referenzmodell und der Prüfkörper zur Bestimmung der Abweichung zum Referenzmodell**

$$|\text{Strecke } X \text{ (Referenzmodell)} - \text{Strecke } X' \text{ (Prüfkörper)}|$$

Das X steht dabei für eine der drei analysierten Strecken des Referenzmodells Strecke  $\overline{12}$ , Strecke  $\overline{23}$ , Strecke  $\overline{13}$ . Die Strecken der Prüfkörper wurden mit einem ' gekennzeichnet als Strecke  $\overline{12}'$ ; Strecke  $\overline{23}'$ ; Strecke  $\overline{13}'$ . Anschließend wurden die resultierenden Abweichungen in Prozent umgerechnet.

### **2.3.3 Dreidimensionale Auswertung: Flächen- und Volumenabweichung**

Neben der zweidimensionalen Streckenmessung zwischen den Kugeln des Referenzkörpers sollte im darauffolgenden Schritt die Genauigkeit der Präparationen mithilfe einer dreidimensionalen Auswertung analysiert werden. Dazu wurde ein Flächenvergleich zwischen dem Referenzmodell und den eingescannten Gipsmodellen durchgeführt.

#### 2.3.3.1 Vorbereitung der Referenz- und Vergleichskörper

Zur Durchführung eines detaillierten Flächenvergleichs mussten die Scans der Ganzkiefergipsmodelle zuerst zugeschnitten und neuvernetzt werden. Außerdem mussten vorhandene Fehler ausgeschnitten werden. Um passende Referenzkörper für die einzelnen Schnitte zu haben, wurde auch der Scan des Referenzmodells bearbeitet.

##### *Erstellung von Einzelschnitten mit Autodesk Meshmixer*

Mithilfe des Softwareprogramms Autodesk Meshmixer (Version 3.5, Autodesk, Inc., San Rafael, USA) wurden aus jedem Ganzkiefermodell drei Einzelschnitte erstellt. Dabei wurden die Zähne 14 und 16 einzeln und die Region 14-16 herausgeschnitten. Da durch diese Einzelschnitte die zu analysierenden Datenmengen reduziert wurden, konnte die spätere Analyse und der Flächenvergleich mit der Ist-Datei besser realisierbar sein.

Die STL-Dateien des digitalisierten Gipsmodells wurden in Autodesk Meshmixer importiert. Aus 150 importierten STL-Dateien entstanden durch das Ausführen sogenannter „Plane Cuts“ insgesamt 450 Einzelschnitten. Das fertige Element wurde im STL-Binary-Format exportiert.

##### *Neuvernetzung der Einzelschnitte mit Autodesk Meshmixer*

Bei einem STL-Dateiformat wird die Oberfläche eines Körpers als Gitternetz dargestellt, welches aus einer Vielzahl kleiner Dreiecke besteht. Um ein möglichst kleines Datenvolumen zu erhalten, werden beim Erzeugen der STL-Datei von der 3D-CAD-Software InLab diese Dreiecke oft nicht gleich auf der Oberfläche ausgerichtet. Dies stellt ein Problem für den späteren Oberflächenvergleich mit GOM Inspect dar. Durch eine Neuvernetzung mit der

## 2 Material und Methoden

3D-CAD-Software Autodesk Meshmixer kann eine Homogenisierung und somit gleichmäßige Tessellation der Dreiecke erreicht werden. Die Autodesk Meshmixersoftware wird von der Firma Formlabs, die 3D-Drucktechnologien entwickelt und herstellt, als bestes Programm zur Korrektur von Gitternetzfehlern empfohlen (Formlabs, 2021). Nach dem Import der Datei in das Softwareprogramm wurde jeder Einzelstumpf vollständig selektiert und mit dem Befehl „Remesh“ neu vernetzt. Die neu vernetzten Einzelstümpfe wurden wieder im STL-Binary Format exportiert.

### *Ausschneiden von Distortionen mit Autodesk Meshmixer*

Als nächstes wurden von den Stumpfoberflächen der Einzelschnitte offensichtliche positive und negative Fehler, die beim Ausgießen der Gipsmodelle aufgetreten sind, entfernt. Damit sind beispielsweise Gipsperlen oder Substanzdefizite gemeint. Diese sind vielmehr auf Fehler beim Ausgießen als auf Materialeigenschaften der Abformmaterialien zurückzuführen und könnten die Ergebnisse verfälschen. Im Autodesk Meshmixer Programm wurden alle relevanten Distortionen selektiert und durch den Befehl „Separate“ vom Stumpf getrennt. Beide Dateien wurden im STL-Binary-Format exportiert.

### *Erstellung von Referenzkörpern*

Zur Erstellung von Referenzkörpern wurde die Scandatei des Referenzmodells verwendet, die dem Mittelwert der Streckenmessung am nächsten lag. Entsprechend der vorherigen Schritte wurden mithilfe des Softwareprogramms Autodesk Meshmixer aus der Ganzkieferscandatei des Referenzmodells vier Einzelschnitte erstellt. Mithilfe der Geomagic wrap CAD-Software (3D Systems Rock Hill, USA) wurden Referenzkörper durch Zuschneiden der Einzelschnitte erstellt. Diese schlossen randlos mit der Präparationsgrenze ab. Die Gesamtflächen der Referenzkörper für die Zähne 14 und 16 wurden zur detaillierten Auswertung in die koronale Fläche und die zervikale Fläche unterteilt. Diese erstellten Referenzkörper dienten als Grundlage für alle Flächenvergleiche. Bei der Analyse der Brücke wurden beide Referenzkörper zusammen verwendet. Die Referenzkörper sind in Abbildung 5 veranschaulicht.

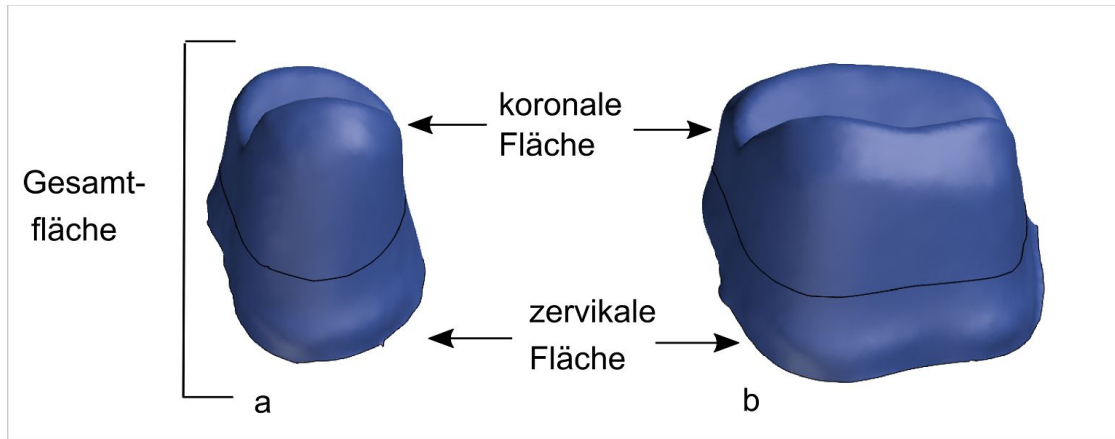


Abbildung 5 CAD-Elemente der idealen Referenzkörper

- a – Referenzkörper Zahnstumpf 14
- b – Referenzkörper Zahnstumpf 16

### 2.3.3.2 Vorausrichtung

Um einen Flächenvergleich zwischen Referenz- und Gipsmodell durchführen zu können, mussten diese zuerst vorausgerichtet werden. Dafür wurde die Referenzkörper-Datei als „Neues Bauteil“ in GOM Inspect 2019 importiert und mit den Einstellungen „Standardeinheit Millimeter“ und dem „Zielelementtyp CAD-Element“ geöffnet. Sie stellte das SOLL-Element dar. Zusätzlich wurden jeweils die zu analysierenden Einzelschnitte importiert. Die Einstellung „Standardeinheit Millimeter“ wurde beibehalten und der „Zielelementtyp Netz“ festgelegt. Die Einzelschnitte stellten das IST-Element dar.

Zur Korrektur der Normalen wurde das IST-Element vollständig markiert. Unter dem Reiter „Operationen“ wurde der Befehl „Selektierte Normalen automatisch orientieren“ ausgeführt.

Um nun die IST- mit den SOLL- Daten überlagern und vergleichen zu können, wurde eine initiale Vorausrichtung erzeugt. Das IST-Element wurde nach dem SOLL-Element ausgerichtet. Beispiele der überlagerten Datensätze sind in Abbildung 6 zu sehen.

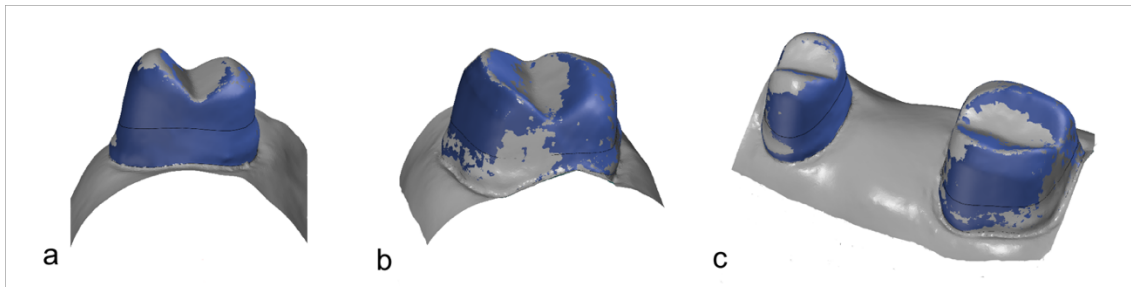


Abbildung 6 Überlagerte Datensätze: Blau Referenzdaten, Grau gescanntes Gipsmodell

- a – Zahnstumpf 14
- b – Zahnstumpf 16
- c – Zahnstümpfe 14-16

### 2.3.3.3 Flächenabweichung

Nach der Vorausrichtung der beiden Datensätze folgte der Oberflächenvergleich. Über die Programmfunktion „CAD-Vergleich – Flächenvergleich auf Ist“ wurden drei Flächenvergleiche pro Einzelschnitt erstellt: Der erste mit der Gesamfläche der Matrize, also mit dem ganzen Stumpf von der Krone bis zur Präparationsgrenze, der zweite beinhaltete nur den koronalen Abschnitt und der dritte Flächenvergleich wurde mit dem zervikalen Abschnitt durchgeführt. Zur Eingrenzung der Anzahl an Werten und da geringste Abweichungswerte zu erwarten waren, wurde als maximaler Abstand 0,5 mm festgelegt. Die Software berechnete nun die positiven und negativen Abweichungswerte des Scans des SOLL-Elements. Diese wurden auf der Oberfläche des IST-Elements farblich dargestellt, wobei rote Farbtöne die positiven und blaue Farbtöne die negativen Abweichungswerte darstellten. Grüne Farbtöne stellten Bereiche ohne oder nur mit geringer Abweichung vom SOLL-Element dar. Durch den Befehl „Nach Wert selektieren“ und der Einstellung des Maximums auf 0,5 mm und des Minimums auf 0 mm erhielt man die Anzahl der positiven Punkte (P1) des zugehörigen Flächenvergleichs. P1 waren die Punkte, an denen das Gipsmodell größer im Vergleich zum Referenzmodell war. Nach Invertierung des Bereichs konnte auch die Anzahl der negativen Punkte (P2) bestimmt werden. P2 waren die Punkte, an denen das Gipsmodell kleiner im Vergleich zum Referenzmodell war. Im Anschluss berechnete GOM Inspect die arithmetischen Mittelwerte der Abweichungen der positiven und negativen Punkte des IST-Elements zum SOLL-Element ( $MW_{(+)}/MW_{(-)}$ ).

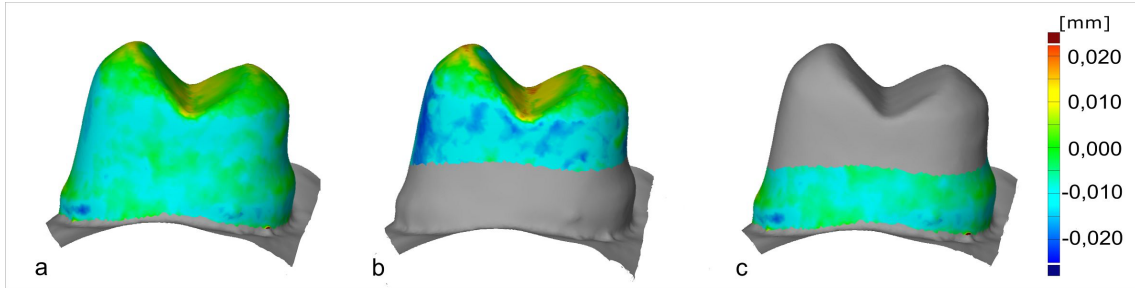


Abbildung 7 Flächenvergleich eines 14-Zahnstumpfes mit seinem Referenzstumpf

Die Abweichung ist farblich skaliert und in Millimeter angegeben.

a – 14 Flächenvergleich der Gesamtfläche

b – 14 Flächenvergleich der koronalen Fläche

c – 14 Flächenvergleich der zervikalen Fläche

Mithilfe der mittleren Abweichungswerte  $MW_{(+)}$  und  $MW_{(-)}$  und der ermittelten Punkteanzahlen der jeweiligen Wertebereiche konnten die mittleren flächenbezogenen Abweichungswerte  $AMW_{+}/AMW_{-}$  berechnet werden.

### Formel 1: Mittlere flächenbezogene Abweichungswerte

$$AMW_{+} = MW_{+} \times \frac{P_1}{P_1 + P_2}; \quad AMW_{-} = MW_{-} \times \frac{P_2}{P_1 + P_2}$$

Zur Beurteilung der Gesamtqualität der Abformung wurde der mittlere absolute Abweichungswert, also das gesamte arithmetische Mittel in Bezug auf die Fläche  $GMW_{(+/-)}$  bestimmt. Er ermöglichte eine Aussage über die Übereinstimmung des IST- mit dem idealen SOLL-Element. Hierzu wurde die Summe aus den Beträgen des  $AMW_{+}$  und  $AMW_{-}$  Wertes gebildet. Denn sowohl die positiven als auch die negativen Abweichungen bedeuten Nichtübereinstimmungen

### Formel 2: Mittlere absolute Flächenabweichungswerte

$$GMW_{+/-} = AMW_{+} + |AMW_{-}|$$

Je näher der Wert an Null, desto höher die Übereinstimmung der verglichenen Elemente. Diese Analyse wurde für jeden Flächenvergleich durchgeführt. Der  $GMW_{(+/-)}$  wird im weiteren Verlauf als Flächenabweichung (FIAbw) beschrieben.

## 2 Material und Methoden

### 2.3.3.4 Volumenabweichung

Zur Bestimmung der prozentualen Volumenabweichung der einzelnen Stümpfe wurde das Programm Autodesk Meshmixer verwendet. Die einzelnen Stümpfe wurden ausgeschnitten und der entstandene Hohlkörper am Boden geschlossen, um ein Volumen bestimmen zu können. Um dies exakt durchführen zu können, wurden Schalen dieser Bodenfläche beim Referenzmodell konstruiert und diese für jeden Schnitt verwendet. Danach wurde das ideale Volumen der Referenzstümpfe bestimmt. Die STL-Datei des Referenzmodells, welche den Mittelwerten der Streckenmessungen aus der 2D-Messung in 2.3.2.1 am nächsten lag, wurde als Referenzdatei verwendet. Aus ihr wurden die drei Referenzstümpfe entsprechend 2.3.3.1 zugeschnitten.

Die STL-Datei der Schalen und die STL-Datei des jeweiligen Referenzstumpfes wurden in das Programm importiert. Die in 2.3.3.1 ausgeschnittenen „Fehler“ wurden mit dem Befehl „Erase and Fill“ plan aufgefüllt. Durch den Befehl „Boolean Intersection“ wurde ein geometrischer Körper erzeugt, dessen Volumen durch das Programm berechnet wurde. Die Werte wurden für alle weiteren Berechnungen als Idealwerte angesehen und sind der Tabelle 7 entnommen.

Tabelle 7 Ergebnisse der Volumenbestimmung der Referenzstümpfe  
Das Idealvolumen der Referenzstümpfe ist in mm<sup>3</sup> angegeben.

Referenzstumpf	Zahn 14	Zahn 16	Zahn 14-16
Idealvolumen X (mm <sup>3</sup> )	62,05	134,63	196,68

Als nächstes wurden die beim vorherigen Flächenvergleich erzeugten ginspect-Dateien in STL-Dateien umgewandelt. Es wurde für jeden Zahnstumpf nach dem gleichen Prinzip wie bei den Referenzstümpfen ein geometrischer Körper erzeugt, dessen Volumen durch das Programm berechnet wurde. Der Ablauf wurde in Abbildung 8 veranschaulicht.

## 2 Material und Methoden

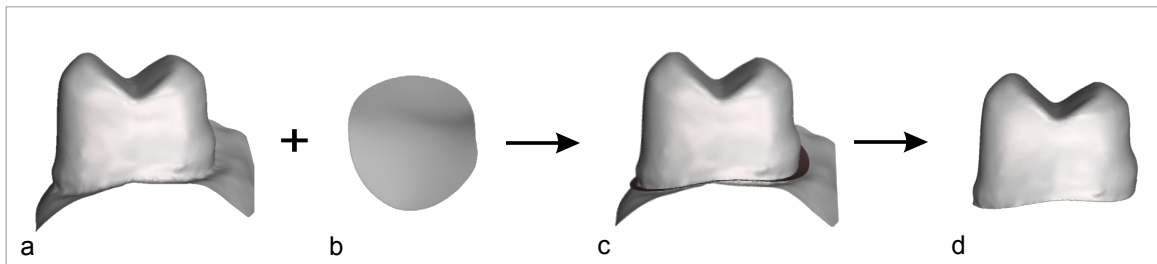


Abbildung 8 Erzeugung eines geometrischen Körpers eines 14-Zahnstumpfes zur Volumenbestimmung

- a – Einzelschnitt eines 14-Zahnstumpfes
- b – Schale der Bodenfläche eines 14-Zahnstumpfes →
- c – Zusammengefügte Dateien a und b
- d – Geometrischer Körper zur Volumenbestimmung

Anschließend wurde in einer Excel-Tabelle die prozentuale Volumenabweichung im Vergleich zum idealen Volumen der Referenzstümpfe mit folgender Formel bestimmt:

### Formel 1: Prozentuale Volumenabweichung (VolAbw)

Das X steht für den verwendeten zu analysierenden Stumpf und das Y für den zugehörigen Referenzstumpf.

$$VolAbw = 100\% - \left( \frac{Vol\ Ideal\ X\ mm^3}{Vol\ Referenzstumpf\ Y\ mm^3} * 100 \right) \%$$



### 2.4 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse der erhobenen Daten wurde unter Zuhilfenahme des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA) und IBM SPSS 25 (IBM Corp, Armonk, USA) durchgeführt. Eine biometrische Beratung erfolgte durch das Institut für Klinische Epidemiologie und Biometrie der Universität Würzburg. Zur deskriptiven Analyse der metrisch skalierten Daten wurden der Median (Md), und der Interquartilsabstand (IQR) beschrieben. Zur Visualisierung und graphischen Auswertung der metrischen Variablen wurden Box-Whisker-Plots verwendet. Sie veranschaulichen die Lage und Verteilung der gewonnenen Daten und geben Auskunft über potenzielle Ausreißer. Innerhalb der Box liegen 50 Prozent der Daten. Die horizontale Unterteilungslinie in der Box zeigt den Median an und gliedert die Box in ein oberes und unteres Quartil. Die Länge der Box wird als Interquartilsabstand (IQR) bezeichnet und spiegelt das Maß der Streuung wider. Die Whisker stellen die außerhalb der Box liegenden Werte dar und sind als vertikale Linien veranschaulicht. Ihre maximale Länge ist das 1,5-Fache des Interquartilsabstandes. Die Endpunkte der Whisker zeigen das Minimum und Maximum der Datenreihe. Ausreißer, welche sich außerhalb des 1,5-fachen Interquartilsabstandes befinden, wurden als Kreise dargestellt (Diaz-Bone, 2018). Um die Daten auf Normalverteilung zu testen, wurde zur explorativen Analyse der Kolmogorov-Smirnov-Test durchgeführt. Dessen Nullhypothese besagt, dass die zu testenden Daten normalverteilt sind. Da nicht alle Datensätze eine Normalverteilung aufwiesen, wurden im Anschluss nicht-parametrische Testverfahren durchgeführt. Um die Datensätze auf Unterschiedlichkeit zu testen, wurde der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Dieser zeigte signifikante Unterschiede zwischen den zu testenden Datengruppen ( $p \leq 0,001$ ). Der anschließend durchgeführte Dunn-Test mit Bonferroni-Korrektur sollte zeigen, welcher der paarweisen Vergleiche einen signifikanten Unterschied aufwies. Das Signifikanzniveau „p“ wurde für alle Tests auf  $p = 0,05$  festgelegt. Die Ergebnisse wurden demnach als statistisch signifikant angesehen, wenn eine Fehlerwahrscheinlichkeit von weniger als fünf Prozent bestand. Das korrigierte Signifikanzniveau wurde in Abhängigkeit der Anzahl der Testpaare bestimmt.

### 3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Auswertung beschrieben und erläutert. Mit drei verschiedenen Abformmaterialien wurden 150 Abformungen eines Referenzmodells genommen und somit 150 Modelle hergestellt. Die Abformungen wurden nach unterschiedlichen Lagerzeiten ausgegossen, wodurch der Einfluss der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität der Abformmaterialien untersucht wurde. Neben den Auswertungen der Streckenmessung und des Flächenvergleichs an den Scans der Gipsmodelle sind auch die Ergebnisse der statistischen Analyse dargelegt. Die Gesamtheit der Daten und Ergebnisse sind im Anhang zu finden. Zur Übersichtlichkeit wurden die Lagerzeiten 30 Minuten (30 min), 2 Stunden (2 h), 8 Stunden (8 h), 24 Stunden (24 h) und eine Woche (1 Wo) in gekürzter Form geschrieben.

#### 3.1 Zweidimensional: Streckenabweichungen

Zur Auswertung der Streckenanalyse wurden die Beträge der Abweichungen der Strecken der Prüfkörper im Vergleich zu denen des Referenzmodells beschrieben. Es wurden die Medianwerte dieser Streckenabweichungen (StrAbw) – angegeben in  $\mu\text{m}$  –, die prozentualen Abweichungen (%Abw) – angegeben in % – sowie die Interquartilsabstände (IQR) dieser Abweichungen beschrieben. Die Werte wurden in Abhängigkeit der fünf Lagerzeiten beschrieben. Die Ergebnisse wurden in die drei Strecken  $\overline{12'}$ ,  $\overline{23'}$  und  $\overline{13'}$  unterteilt. In der Zusammenfassung wurde die Gesamtabweichung der drei Strecken beschrieben. Die Gesamtheit der Werte ist in Tabelle 8 bis Tabelle 12 zu finden.

##### 3.1.1 2D: Einfluss der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität von Affinis

Die Ergebnisse der drei Strecken des Materials Affinis wurden in Tabelle 8 aufgelistet. Für den geringsten Medianwert der Abweichung wurde das Tabellenfeld grün und für den höchsten Medianwert der Abweichung rot markiert.

Bei allen drei Strecken zeigte sich bei einer Lagerzeit von einer Woche der geringste Medianwert der Abweichung und bei einer Lagerzeit von 2 h der höchste Medianwert der Abweichung.

### 3 Ergebnisse

Bei den Abweichungen der Strecke  $\overline{12'}$  zeigte die Lagerzeit von einer Woche zu der Lagerzeit von 2 h und 24 h einen signifikanten Unterschied. Alle anderen Lagerzeiten unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

Für die Abweichungen der Strecke  $\overline{23'}$  wurde zwischen der Lagerzeit von 30 min zu 2 h und 8 h, sowie zwischen 2 h zu 8 h, und auch zwischen einer Woche zu 2 h, 8 h und 24 h ein signifikanter Unterschied beobachtet.

In Bezug auf die Abweichungswerte der Strecke  $\overline{13'}$  zeigten die vier Lagerzeiten 30 min, 2 h, 8 h und 24 h zu der Lagerzeit von einer Woche einen signifikanten Unterschied. Alle übrigen Zeiten unterschieden sich signifikant voneinander.

Tabelle 8 Streckenabweichungen des Materials Affinis

	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
<i>Strecke <math>\overline{12'}</math></i>					
StrAbw $\pm$ IQR( $\mu$ m)	34,5 $\pm$ 17,25	45 $\pm$ 7,5	42 $\pm$ 13,75	40,5 $\pm$ 10	18,5 $\pm$ 7,75
% Abw. $\pm$ IQR(%)	0,10 $\pm$ 0,05	0,13 $\pm$ 0,02	0,12 $\pm$ 0,04	0,11 $\pm$ 0,03	0,05 $\pm$ 0,02
<i>Strecke <math>\overline{23'}</math></i>					
StrAbw $\pm$ IQR( $\mu$ m)	23 $\pm$ 13,5	51,5 $\pm$ 12,25	36 $\pm$ 3,5	37 $\pm$ 12,25	17 $\pm$ 12,5
% Abw. $\pm$ IQR(%)	0,06 $\pm$ 0,04	0,14 $\pm$ 0,03	0,10 $\pm$ 0,01	0,10 $\pm$ 0,03	0,05 $\pm$ 0,03
<i>Strecke <math>\overline{13'}</math></i>					
StrAbw $\pm$ IQR( $\mu$ m)	38,5 $\pm$ 14,5	51 $\pm$ 12,5	35,5 $\pm$ 8,75	43 $\pm$ 9,75	17,5 $\pm$ 9,75
% Abw. $\pm$ IQR(%)	0,09 $\pm$ 0,04	0,12 $\pm$ 0,03	0,09 $\pm$ 0,02	0,10 $\pm$ 0,02	0,04 $\pm$ 0,02

StrAbw = Streckenabweichung, %Abw = prozentuale Abweichungen, IQR = Interquartilsabstand

#### 3.1.2 2D: Einfluss der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität von Impregum

Die Ergebnisse der drei Strecken des Materials Impregum wurden in Tabelle 9 aufgelistet. Für den geringsten Medianwert der Abweichung wurde das Tabellenfeld grün und für den höchsten Medianwert der Abweichung rot markiert.

Bei Strecke  $\overline{12'}$  und  $\overline{23'}$  wurde bei einer Lagerzeit von 30 min und bei Strecke  $\overline{13'}$  bei 24 h der geringste Medianwert der Abweichung dokumentiert. Der höchste

### 3 Ergebnisse

Medianwert der Abweichung zeigte sich bei allen drei Strecken bei einer Lagerzeit von einer Woche.

Es wurden keine signifikanten Unterschiede bei den Abweichungswerten der drei Strecken zwischen allen Lagerzeiten beobachtet.

Tabelle 9 Streckenabweichungen des Materials Impregum

	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
Strecke $\overline{12}'$					
StrAbw $\pm$ IQR( $\mu\text{m}$ )	18 $\pm$ 14	30 $\pm$ 28,75	40,5 $\pm$ 69,25	31 $\pm$ 29	46,5 $\pm$ 88,5
% Abw. $\pm$ IQR(%)	0,05 $\pm$ 0,04	0,08 $\pm$ 0,08	0,11 $\pm$ 0,19	0,09 $\pm$ 0,08	0,13 $\pm$ 0,25
Strecke $\overline{23}'$					
StrAbw $\pm$ IQR( $\mu\text{m}$ )	19,5 $\pm$ 68,5	30,5 $\pm$ 36,5	25 $\pm$ 25,5	40 $\pm$ 27	54,5 $\pm$ 99,5
% Abw. $\pm$ IQR(%)	0,05 $\pm$ 0,19	0,08 $\pm$ 0,10	0,07 $\pm$ 0,07	0,11 $\pm$ 0,07	0,15 $\pm$ 0,27
Strecke $\overline{13}'$					
StrAbw $\pm$ IQR( $\mu\text{m}$ )	40 $\pm$ 36,75	73,5 $\pm$ 22,75	84 $\pm$ 75,75	26 $\pm$ 47,25	96 $\pm$ 28,75
% Abw. $\pm$ IQR(%)	0,10 $\pm$ 0,09	0,18 $\pm$ 0,06	0,20 $\pm$ 0,18	0,06 $\pm$ 0,11	0,23 $\pm$ 0,07

StrAbw = Streckenabweichung, %Abw = prozentuale Abweichungen, IQR = Interquartilsabstand

#### 3.1.3 2D: Einfluss der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität von Identium

Die Ergebnisse der drei Strecken des Materials Identium wurden in Tabelle 10 aufgelistet. Für den geringsten Medianwert der Abweichung wurde das Tabellenfeld grün und für den höchsten Medianwert der Abweichung rot markiert.

Bei Strecke  $\overline{12}'$  wurde bei einer Lagerzeit von 8 h und bei Strecke  $\overline{23}'$  und  $\overline{13}'$  bei 30 min der geringste Medianwert der Abweichung dokumentiert. Der höchste Medianwert der Abweichung zeigte sich bei allen drei Strecken bei einer Lagerzeit von einer Woche.

Bei den Abweichungen der Strecke  $\overline{12}'$  zeigte die Lagerzeit von 2 h zu 8 h sowie von einer Woche zu 30 min, 8 h und 24 h einen signifikanten Unterschied. Zwischen den restlichen Zeiten wurde ein signifikanter Unterschied beobachtet.

### 3 Ergebnisse

In Bezug auf die Abweichungswerte der Strecke  $\overline{23}'$  zeigte die Lagerzeit von einer Woche signifikante Unterschiede zu den Lagerzeiten von 30 min und 8 h. Zwischen den restlichen Zeiten wurde kein signifikanter Unterschied beobachtet. Bei den Abweichungen der Strecke  $\overline{13}'$  wies die Lagerzeit von einer Woche signifikante Unterschiede zu den Lagerzeiten von 30 min und 8 h auf. Ansonsten wurden keine signifikanten Unterschiede beobachtet.

Tabelle 10 Streckenabweichungen des Materials Identium

	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
Strecke $\overline{12}'$					
StrAbw $\pm$ IQR( $\mu\text{m}$ )	21 $\pm$ 22,5	36,5 $\pm$ 9,75	15 $\pm$ 14	22 $\pm$ 21	52 $\pm$ 13
% Abw. $\pm$ IQR(%)	0,06 $\pm$ 0,06	0,10 $\pm$ 0,03	0,04 $\pm$ 0,4	0,06 $\pm$ 0,06	0,14 $\pm$ 0,04
Strecke $\overline{23}'$					
StrAbw $\pm$ IQR( $\mu\text{m}$ )	11,5 $\pm$ 12,5	28 $\pm$ 25,25	16,5 $\pm$ 8,5	13 $\pm$ 24,5	48 $\pm$ 16
% Abw. $\pm$ IQR(%)	0,03 $\pm$ 0,03	0,08 $\pm$ 0,07	0,05 $\pm$ 0,2	0,04 $\pm$ 0,07	0,13 $\pm$ 0,04
Strecke $\overline{13}'$					
StrAbw $\pm$ IQR( $\mu\text{m}$ )	15,5 $\pm$ 25,75	37,5 $\pm$ 31,5	19,5 $\pm$ 11,75	28,5 $\pm$ 30,25	56 $\pm$ 19
% Abw. $\pm$ IQR(%)	0,04 $\pm$ 0,06	0,09 $\pm$ 0,08	0,05 $\pm$ 0,3	0,07 $\pm$ 0,07	0,14 $\pm$ 0,05

StrAbw = Streckenabweichung, %Abw = prozentuale Abweichungen, IQR = Interquartilsabstand

#### 3.1.4 2D: Vergleich der Dimensionsstabilität der drei Abformmaterialien

Die drei getesteten Abformmaterialien wurden hinsichtlich ihrer Dimensionsstabilität in Abhängigkeit bestimmter Lagerzeiten verglichen. Hierzu wurden die Gesamtabweichungswerte zu den unterschiedlichen Lagerzeiten betrachtet. Die jeweilige Summe der Beträge der drei Streckenabweichungen je Material wurden berechnet.

Es ergaben sich zu den fünf Lagerzeiten die in Tabelle 11 beschriebenen Rangfolgen der Medianwerte der Abweichungen. Signifikante Unterschiede wurden mit einem „\*“ beschrieben. Die Werte wurden in Tabelle 12 beschrieben.

### 3 Ergebnisse

Tabelle 11 Rangfolge und Signifikanzen der Streckenabweichungen und der prozentualen Abweichungen der drei Materialien

Lagerzeit	Rangfolge		
	1.	2.	3.
30 min	Identium	< Affinis	< Impregum
2 h	Identium	< Impregum	< Affinis
8 h	Identium (*zu Affinis + Impregum)	< Affinis (*zu Identium)	< Impregum (*zu Identium)
24 h	Identium	< Affinis	< Impregum
1 Wo	Affinis (*zu Impregum + Identium)	< Identium (*zu Affinis)	< Impregum (*zu Affinis)

\* = signifikant verschieden

Den geringsten Medianwert der Abweichung zeigte nach 30 min, 2 h, 8 h und 24 h das Material Identium, während es nach einer Woche Affinis war. Der höchste Medianwert wurde nach 30 min, 8 h, 24 h und einer Woche bei Impregum dokumentiert. Bei einer Lagerzeit von 2 h wies dagegen Affinis den höchsten Wert auf. Zwischen Affinis und Impregum gab es nur bei einer Lagerzeit von einer Woche einen signifikanten Unterschied. Die übrigen Lagerzeiten unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Zwischen Affinis und Identium zeigten sich bei einer Lagerzeit von 8 h und einer Woche signifikante Unterschiede. Identium und Impregum unterschieden sich nach 8 h signifikant voneinander und wiesen ansonsten keine signifikanten Unterschiede auf.

Tabelle 12 Gesamtabweichungen der Strecken der drei Materialien im Vergleich

		30min	2h	8h	24h	1Wo
Aff	StrAbw±IQR(µm)	89,5±30,5	142,5±28,8	110±17,8	121,5±28,8	53,5±25,3
	%Abw±IQR(%)	0,08±0,02	0,13±0,03	0,10±0,02	0,10±0,01	0,05±0,02
Imp	StrAbw±IQR(µm)	108±75,3	126±76,5	137±162,5	124±87,3	216±206,5
	%Abw±IQR(%)	0,10±0,07	0,11±0,07	0,12±0,14	0,11±0,08	0,19±0,18
Ide	StrAbw±IQR(µm)	44,5±58	100,5±68	53±18	65,5±70,8	162±3
	%Abw±IQR(%)	0,04±0,05	0,09±0,06	0,05±0,02	0,06±0,06	0,14±0,00

StrAbw = Streckenabweichung, %Abw = prozentuale Abweichungen, IQR = Interquartilsabstand

### **3.2 Dreidimensional: Flächen- und Volumenabweichung**

Zusätzlich zur Streckenanalyse wurde eine Flächenanalyse durchgeführt. Die Daten der 450 Einzelschnitte wurden ausgewertet. Die Ergebnisse der Flächenanalyse wurden in die drei Flächen „Gesamtfläche“, „koronale Fläche“ und „zervikale Fläche“ unterteilt. Die Medianwerte der mittleren absoluten Abweichungswerte der Flächen (FIAbw) und ihre Interquartilsabstände (IQR) – angegeben in  $\mu\text{m}$  – wurden beschrieben. Zusätzlich wurde für die Gesamtflächen der drei Materialien die mediane prozentuale Volumenabweichung (VolAbw) der Stümpfe mit dem IQR – angegeben in % – beschrieben. Die Werte wurden in Abhängigkeit der fünf Lagerzeiten beschrieben.

#### **3.2.1 3D: Einfluss der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität von Affinis**

Im Folgenden werden die Ergebnisse der lagerzeitabhängigen Dimensionsstabilität des Abformmaterials Affinis beschrieben. Die Ergebnisse des Flächenvergleichs wurden nach den drei untersuchten Flächen aufgeteilt. Für jede Fläche wurden die drei Präparationen beschrieben. Im Anschluss wurde die prozentuale Volumenabweichung beschrieben. Die Gesamtheit der jeweiligen Werte ist in den Tabelle 13 bis Tabelle 16 zu finden. Für den geringsten Medianwert der Abweichung wurde das Tabellenfeld grün und für den höchsten Medianwert der Abweichung rot markiert.

##### *Abweichungswerte der Gesamtfläche*

In Tabelle 13 wurden die Abweichungswerte der Gesamtfläche des Materials Affinis beschrieben. Bei Zahn 14 zeigte sich der geringste Medianwert nach 24 h, bei Zahn 16 nach 2 h und bei den Zähnen 14-16 nach 24 h Lagerzeit. Der höchste Medianwert wurde bei Zahn 14 nach 30 min, bei Zahn 16 nach einer Woche und bei den Zähnen 14-16 nach einer Lagerzeit von 8 h beobachtet.

Es wurden zu allen Lagerzeiten bei allen drei Präparationsformen keine signifikanten Unterschiede beobachtet

### 3 Ergebnisse

Tabelle 13 Abweichungen der Gesamtflächen des Materials Affinis

FIAbw±IQR(µm)	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
Zahn 14	9,79 ± 1,5	8,99 ± 1,2	9,77 ± 0,9	8,08 ± 0,8	8,7 ± 1,6
Zahn 16	5,87 ± 1,0	5,14 ± 0,5	6,21 ± 1,2	6,04 ± 1,2	6,60 ± 1,4
Zähne 14-16	7,43 ± 0,9	7,43 ± 0,9	7,90 ± 1,0	7,11 ± 0,8	7,62 ± 1,4

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

#### *Abweichungswerte der koronalen Fläche*

In Tabelle 14 wurden die Abweichungswerte der koronalen Fläche des Materials Affinis beschrieben. Der geringste Medianwert zeigte sich bei Zahn 14 und den Zähnen 14-16 nach 24 h Lagerzeit. Bei Zahn 16 wurde der geringste Medianwert nach 2 h dokumentiert. Der höchste Medianwert zeigte sich bei Zahn 14 nach 30 min und bei Zahn 16 und den Zähnen 14-16 nach einer Lagerzeit von einer Woche.

Zwischen den verschiedenen Lagerzeiten zeigten sich bei allen drei Präparationsformen keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 14 Abweichungen der koronalen Fläche des Materials Affinis

FIAbw±IQR(µm)	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
Zahn 14	9,69 ± 1,3	8,98 ± 1,2	9,56 ± 1,1	7,99 ± 0,9	9,11 ± 1,9
Zahn 16	5,68 ± 0,8	4,97 ± 0,7	5,94 ± 1,2	5,29 ± 1,1	6,39 ± 1,1
Zähne 14-16	7,04 ± 0,9	6,82 ± 0,4	7,05 ± 0,8	6,40 ± 0,8	7,07 ± 1,0

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

#### *Abweichungswerte der zervikalen Fläche*

In Tabelle 15 wurden die Abweichungswerte der zervikalen Fläche des Materials Affinis beschrieben. Bei Zahn 14 zeigte sich der geringste Medianwert nach 24 h, bei Zahn 16 nach 2 h und bei den Zähnen 14-16 nach 30 min Lagerzeit. Der höchste Medianwert zeigte sich bei Zahn 14 und den Zähnen 14-16 nach 8 h und bei Zahn 16 nach einer Lagerzeit von 24 h.

Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen allen Lagerzeiten bei allen drei Präparationsformen festgestellt.



### 3 Ergebnisse

Tabelle 15 Abweichungen der zervikalen Fläche des Materials Affinis

FIAbw±IQR(μm)	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
Zahn 14	9,8 ± 1,4	9,25 ± 1,5	10,08 ± 1,3	8,10 ± 1,1	8,44 ± 2,2
Zahn 16	6,51 ± 1,1	6,30 ± 1,3	6,70 ± 1,6	7,65 ± 2,3	7,31 ± 2,2
Zähne 14-16	8,39 ± 0,7	8,86 ± 1,8	9,20 ± 1,7	8,59 ± 0,8	8,49 ± 1,9

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

#### Prozentuale Volumenabweichung der Stümpfe

In Tabelle 16 wurden die Abweichungswerte der prozentualen Volumenabweichung der Stümpfe des Materials Affinis beschrieben. Bei Zahn 14 zeigte sich der geringste Medianwert nach 24 h, bei Zahn 16 nach 2 h und bei den Zähnen 14-16 nach 30 min Lagerzeit. Der höchste Medianwert wurde bei Zahn 14 nach 30 min, bei Zahn 16 nach 8 h und bei den Zähnen 14-16 nach einer Lagerzeit von einer Woche beobachtet.

Es ergaben sich zwischen den fünf Lagerzeiten bei allen drei Präparationsformen keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 16 Prozentuale Volumenabweichungen des Materials Affinis

VolAbw±IQR(%)	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
Zahn 14	0,78 ± 0,2	0,77 ± 0,1	0,73 ± 0,3	0,70 ± 0,3	0,76 ± 0,1
Zahn 16	0,39 ± 0,3	0,31 ± 0,2	0,48 ± 0,3	0,38 ± 0,4	0,47 ± 0,2
Zähne 14-16	0,49 ± 0,2	0,67 ± 0,2	0,75 ± 0,2	0,57 ± 0,4	0,76 ± 0,3

VolAbw = Volumenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

#### 3.2.2 3D: Einfluss der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität von Impregum

Die Abweichungswerte des Abformmaterials Impregum Penta H Duosoft über fünf Lagerzeiten werden beschrieben. Die Ergebnisse des Flächenvergleichs wurden nach den drei untersuchten Flächen aufgeteilt und jeweils die drei Präparationen beschrieben. Im Anschluss wurde die prozentuale Volumenabweichung dargestellt. Die Gesamtheit der jeweiligen Werte ist in Tabelle 17 bis Tabelle 20 zu finden. Für den geringsten Medianwert der

### 3 Ergebnisse

Abweichung wurde das Tabellenfeld grün und für den höchsten Medianwert der Abweichung rot markiert.

#### *Abweichungswerte der Gesamtfläche*

In Tabelle 17 wurden die Abweichungswerte der Gesamtfläche des Materials Impregum beschrieben. Bei Zahn 14 und den Zähnen 14-16 wurde bei einer Lagerzeit von 30 min der geringste Medianwert dokumentiert. Bei Zahn 16 zeigte sich der geringste Medianwert nach 24 h. Der höchste Medianwert zeigte sich bei Zahn 16 und den Zähnen 14-16 nach einer Woche. Bei Zahn 14 wurde der höchste Medianwert nach 8 h beobachtet.

Es wurden zu allen Lagerzeiten bei allen drei Präparationsformen keine signifikanten Unterschiede beobachtet

Tabelle 17 Abweichungen der Gesamtfläche des Materials Impregum

<b>FIAbw±IQR(µm)</b>	<b>30 min</b>	<b>2 h</b>	<b>8 h</b>	<b>24 h</b>	<b>1 Wo</b>
Zahn 14	13,16 ± 5,7	15,06 ± 4,2	17,95 ± 2,8	15,87 ± 1,8	16,35 ± 2,8
Zahn 16	9,90 ± 3,1	9,49 ± 1,8	9,90 ± 5,9	8,30 ± 5,7	14,46 ± 5,0
Zähne 14-16	11,67 ± 3,2	11,67 ± 2,9	14,60 ± 5,5	12,65 ± 3,8	15,80 ± 3,8

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

#### *Abweichungswerte der koronalen Fläche*

In Tabelle 18 wurden die Abweichungswerte der koronalen Fläche des Materials Impregum beschrieben. Der geringste Medianwert wurde bei Zahn 14 nach einer Woche, bei Zahn 16 nach 24 h und bei den Zähnen 14-16 bei einer Lagerzeit von 30 min dokumentiert. Bei Zahn 14 und den Zähnen 14-16 wurde der höchste Medianwert bei einer Lagerzeit von 8 h beobachtet. Bei Zahn 16 zeigte sich der höchste Medianwert nach einer Woche.

Zwischen den verschiedenen Lagerzeiten zeigten sich bei allen drei Präparationsformen keine signifikanten Unterschiede.

### 3 Ergebnisse

Tabelle 18 Abweichungen der koronalen Fläche des Materials Impregum

FIAbw±IQR(µm)	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
Zahn 14	12,76 ± 5,09	15,13 ± 4,29	15,95 ± 4,78	14,75 ± 2,76	9,91 ± 2,52
Zahn 16	9,34 ± 2,54	9,40 ± 1,46	8,91 ± 4,33	8,02 ± 4,67	11,90 ± 4,44
Zähne 14-16	10,49 ± 3,21	11,17 ± 2,07	12,51 ± 4,74	11,31 ± 3,42	12,29 ± 4,05

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

#### *Abweichungswerte der zervikalen Fläche*

In Tabelle 19 wurden die Abweichungswerte der zervikalen Fläche des Materials Impregum beschrieben. Der geringste Medianwert wurde bei Zahn 14 nach 30 min, bei Zahn 16 nach 24 h und bei den Zähnen 14-16 bei einer Lagerzeit von 2 h dokumentiert. Der höchste Medianwert zeigte sich bei allen drei Zähnen bei einer Lagerzeit von einer Woche.

Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen allen Lagerzeiten bei allen drei Präparationsformen festgestellt.

Tabelle 19 Abweichungen der zervikalen Fläche des Materials Impregum

FIAbw±IQR(µm)	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
Zahn 14	13,88 ± 6,7	14,63 ± 3,6	22,42 ± 3,5	19,50 ± 3,5	26,68 ± 4,5
Zahn 16	12,12 ± 5,3	9,81 ± 0,9	12,26 ± 9,8	9,70 ± 9,2	21,54 ± 6,0
Zähne 14-16	13,65 ± 3,9	12,78 ± 3,3	18,47 ± 6,9	16,0 ± 4,9	24,15 ± 3,3

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

#### *Prozentuale Volumenabweichung der Stümpfe*

In Tabelle 20 wurden die Abweichungswerte der prozentualen Volumenabweichung der Stümpfe des Materials Impregum beschrieben. Bei Zahn 14 und den Zähnen 14-16 wurde bei einer Lagerzeit von 30 min der geringste Medianwert dokumentiert. Bei Zahn 16 zeigte sich der geringste Medianwert nach 24 h. Der höchste Medianwert wurde bei Zahn 14 nach 24 h und bei Zahn 16 und den Zähnen 14-16 nach einer Woche Lagerzeit beobachtet. Es ergaben sich zwischen den fünf Lagerzeiten bei allen drei Präparationsformen keine signifikanten Unterschiede.

### 3 Ergebnisse

Tabelle 20 Prozentuale Volumenabweichungen des Materials Impregum

VolAbw±IQR(%)	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
Zahn 14	0,95±0,3	1,28±0,4	1,38±0,4	1,40±0,2	1,39±0,5
Zahn 16	0,63±0,3	0,57±0,4	0,71±0,6	0,50±0,5	0,72±0,4
Zähne 14-16	0,82±0,3	0,84±0,4	0,95±0,4	1,07±0,3	1,12±0,4

VolAbw = Volumenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

#### 3.2.3 3D: Einfluss der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität von Identium

Die Abweichungswerte des Abformmaterials Identium über einen definierten Zeitraum werden beschrieben. Die Ergebnisse des Flächenvergleichs wurden nach den drei untersuchten Flächen aufgeteilt. Für jede Fläche wurden die drei Präparationen beschrieben. Im Anschluss wurde die prozentuale Volumenabweichung dargestellt. Die Gesamtheit der jeweiligen Werte ist in Tabelle 21 bis Tabelle 24 zu finden. Für den geringsten Medianwert der Abweichung wurde das Tabellenfeld grün und für den höchsten Medianwert der Abweichung rot markiert.

##### *Abweichungswerte der Gesamtfläche*

In Tabelle 21 wurden die Abweichungswerte der Gesamtfläche des Materials Identium beschrieben. Bei Zahn 14 wurde bei einer Lagerzeit von 30 min der geringste Medianwert dokumentiert. Bei Zahn 16 und den Zähnen 14-16 zeigte sich der geringste Medianwert nach 2 h. Der höchste Medianwert zeigte sich bei Zahn 14 und den Zähnen 14-16 nach 8 h. Bei Zahn 16 wurde der höchste Medianwert nach einer Woche beobachtet.

Bei Zahn 14 und Zahn 16 wurden zu allen Lagerzeiten bei allen drei Präparationsformen keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Bei den Zähnen 14-16 zeigte die Lagerzeit von 2 h einen signifikanten Unterschied zu der Lagerzeit von 8 h. Ansonsten wurden ebenfalls keine signifikanten Unterschiede dokumentiert.

### 3 Ergebnisse

Tabelle 21 Abweichungen der Gesamtfläche des Materials Identium

FIAbw±IQR(µm)	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
Zahn 14	10,36±1,64	10,56±1,81	13,23±1,17	10,88±1,97	11,89±1,97
Zahn 16	6,24±0,66	5,67 ±0,66	7,04 ±1,33	5,81 ±0,85	7,23 ±1,70
Zähne 14-16	7,83 ±1,09	7,58 ±0,79	9,60 ±1,02	7,83 ±0,71	9,55 ±2,78

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

#### *Abweichungswerte der koronalen Fläche*

In Tabelle 22 wurden die Abweichungswerte der koronalen Fläche des Materials Identium beschrieben. Der geringste Medianwert zeigte sich bei allen drei Zähnen bei einer Lagerzeit von 2 h. Der höchste Medianwert wurde bei Zahn 14 und den Zähnen 14-16 nach 8 h dokumentiert. Bei Zahn 16 wurde der höchste Medianwert nach einer Woche Lagerzeit beobachtet.

Bei Zahn 14 zeigten sich zwischen den verschiedenen Lagerzeiten keine signifikanten Unterschiede. Bei Zahn 16 und den Zähnen 14-16 zeigte die Lagerzeit von 2 h einen signifikanten Unterschied zu der Lagerzeit von 8 h. Alle anderen Lagerzeiten unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

Tabelle 22 Abweichungen der koronalen Fläche des Materials Identium

FIAbw±IQR(µm)	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
Zahn 14	9,82 ±1,41	9,68 ±1,06	12,28 ±1,18	10,54 ±1,79	11,48 ±1,95
Zahn 16	5,78 ±0,59	5,23 ±0,59	6,75 ±1,34	5,37 ±0,58	6,94 ±1,45
Zähne 14-16	7,34 ±1,51	6,94 ±0,68	8,81 ±1,00	7,34 ±0,73	8,72 ±2,17

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

#### *Abweichungswerte der zervikalen Fläche*

In Tabelle 23 wurden die Abweichungswerte der zervikalen Fläche des Materials Identium beschrieben. Bei Zahn 14 und den Zähnen 14-16 wurde bei einer Lagerzeit von 30 min der geringste Medianwert dokumentiert. Bei Zahn 16 zeigte sich der geringste Medianwert nach 2 h. Der höchste Medianwert wurde bei Zahn 14 nach 8 h dokumentiert. Bei Zahn 16 und den Zähnen 14-16 zeigte sich

### 3 Ergebnisse

der höchste Medianwert nach einer Woche. Zwischen den Lagerzeiten zeigten sich bei allen drei Präparationsformen keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 23 Abweichungen der zervikalen Fläche des Materials Identium

<b>FIAbw±IQR(µm)</b>	<b>30 min</b>	<b>2 h</b>	<b>8 h</b>	<b>24 h</b>	<b>1 Wo</b>
Zahn 14	10,96±2,4	11,54 ±3,2	15,09 ±0,8	11,37 ±2,3	12,61 ±2,0
Zahn 16	7,20 ±0,8	6,33 ±0,6	7,83 ±1,3	7,02 ±0,8	7,92 ±2,4
Zähne 14-16	8,94 ±1,1	9,01 ±1,5	11,06 ±1,5	9,17 ±0,8	11,26 ±4,0

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

#### *Prozentuale Volumenabweichung der Stümpfe*

In Tabelle 24 wurden die Abweichungswerte der prozentualen Volumenabweichung des Materials Identium beschrieben. Bei Zahn 14 und den Zähnen 14-16 wurde nach 30 min der geringste Medianwert dokumentiert. Bei Zahn 16 zeigte sich der geringste Medianwert nach 2 h. Der höchste Medianwert wurde bei Zahn 14 nach 8 h und bei Zahn 16 und den Zähnen 14-16 nach einer Woche Lagerzeit beobachtet. Zwischen den Lagerzeiten ergaben sich bei allen drei Präparationsformen keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 24 Prozentuale Volumenabweichungen des Materials Identium

<b>VolAbw+IQR(%)</b>	<b>30 min</b>	<b>2 h</b>	<b>8 h</b>	<b>24 h</b>	<b>1 Wo</b>
Zahn 14	0,89 ± 0,2	0,92 ± 0,2	1,17 ± 0,1	0,95 ±0,2	1,09 ±0,2
Zahn 16	0,39 ± 0,2	0,36 ± 0,2	0,45 ± 0,1	0,46 ±0,2	0,52 ± 0,2
Zähne 14-16	0,60 ± 0,1	0,60 ± 0,2	0,72 ± 0,2	0,74 ±0,3	0,80 ± 0,2

VolAbw = Volumenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

## 3 Ergebnisse

### **3.2.4 3D: Vergleich der Dimensionsstabilität der drei Abformmaterialien**

Die drei getesteten Materialien wurden hinsichtlich ihrer Dimensionsstabilität über die Zeit verglichen. Die Ergebnisse der Flächenanalyse wurden in die drei Flächen „Gesamtfläche“, „koronale Fläche“ und „zervikale Fläche“ unterteilt. Zusätzlich wurde für die Gesamtflächen der drei Materialien die mediane prozentuale Volumenabweichung der Stümpfe bestimmt. In Tabelle 25 bis Tabelle 31 wurde zum Vergleich der Materialien eine Rangfolge erstellt. Die Werte wurden in Abhängigkeit der fünf Lagerzeiten in Tabelle 26 bis Tabelle 32 aufgelistet. Für den geringsten Medianwert der Abweichung über die Zeit wurde das Tabellenfeld grün und für den höchsten rot markiert.

#### *Abweichungswerte der Gesamtfläche*

Es ergaben sich zu den fünf Lagerzeiten die in Tabelle 25 beschriebenen Rangfolgen der medianen Abweichungswerte der Gesamtfläche der drei Präparationsformen. Signifikante Unterschiede wurden mit einem „\*“ beschrieben. Die Werte wurden in Tabelle 26 dargestellt.

### 3 Ergebnisse

Tabelle 25 Rangfolge der Abweichungen der Gesamtfläche der drei Materialien

Lagerzeit	Rangfolge				
	1.		2.		3.
Zahn 14					
30 min	Affinis	<	Identium	<	Impregum
2 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)
8 h	Affinis (*zu Impregum +Identium)	<	Identium (*zu Affinis + Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis + Identium)
24 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
1 Wo	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)
Zahn 16					
30 min	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
2 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
8 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)
24 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
1 Wo	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)
Zähne 14-16					
30 min	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)
2 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
8 h	Affinis (*zu Impregum +Identium)	<	Identium (*zu Affinis + Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis + Identium)
24 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)
1 Wo	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)

\* =signifikant verschieden

Bei Zahn 14 zeigte zu allen Lagerzeiten das Material Affinis die geringsten Abweichungswerte des Medianwertes, gefolgt von Identium. Impregum zeigte im Vergleich der drei Materialien konstant die größten Abweichungswerte. Bei einer Lagerzeit von 30 min zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Materialien. Nach 2 h, 8 h, 24 h und einer Woche wurde ein signifikanter Unterschied zwischen Affinis und Impregum beobachtet. Affinis und Identium



### 3 Ergebnisse

unterschieden sich nur nach 8 h signifikant voneinander. Zwischen Identium und Impregum zeigte sich nach 8 h und 24 h ein signifikanter Unterschied.

Bei Zahn 16 zeigte Affinis nach 30 min, 2 h, 8 h und einer Woche die geringsten Abweichungswerte des Medianwertes aufweist, gefolgt von Identium. Nach einer Lagerzeit von 24 h zeigte Identium geringere Abweichungswerte als Affinis. Impregum zeigte wieder konstant die größten medianen Abweichungswerte auf. Zu allen Lagerzeiten wurde ein signifikanter Unterschied zwischen Affinis und Impregum beobachtet. Zwischen Identium und Impregum wurde nach 30 min, 2 h und 24 h ein signifikanter Unterschied festgestellt.

Bei den Zähnen 14-16 wies Affinis stets die geringsten medianen Abweichungswerte auf, gefolgt von Identium. Impregum zeigte im Vergleich der drei Materialien konstant die größten medianen Abweichungswerte. Zwischen Affinis und Impregum wurde zu allen Lagerzeiten ein signifikanter Unterschied beobachtet. Nach 8 h unterschieden sich Affinis und Identium signifikant voneinander. Zudem zeigte sich nach 2 h und 8 h ein signifikanter Unterschied zwischen Impregum und Identium.

Tabelle 26 Abweichungen der Gesamtfläche der drei Materialien

Zeit µm	30min FIAbw ± IQR	2h FIAbw ± IQR	8h FIAbw ± IQR	24h FIAbw ± IQR	1Wo FIAbw ± IQR
Zahn 14					
<b>Aff</b>	9,79 ± 1,45	8,99 ± 1,2	9,77 ± 0,93	8,08 ± 0,8	8,7 ± 1,63
<b>Imp</b>	13,16 ± 5,7	15,06 ± 4,17	17,95 ± 2,80	15,87 ± 1,83	16,35 ± 2,75
<b>Ide</b>	10,36 ± 1,64	10,56 ± 1,81	13,23 ± 1,17	10,88 ± 1,97	11,89 ± 1,97
Zahn 16					
<b>Aff</b>	5,87 ± 0,98	5,14 ± 0,51	6,21 ± 1,24	6,04 ± 1,18	6,60 ± 1,35
<b>Imp</b>	9,90 ± 3,14	9,49 ± 1,77	9,90 ± 5,89	8,30 ± 5,66	14,46 ± 4,98
<b>Ide</b>	6,24 ± 0,66	5,67 ± 0,66	7,04 ± 1,33	5,81 ± 0,85	7,23 ± 1,70
Zähne 14-16					
<b>Aff</b>	7,43 ± 0,89	7,43 ± 0,85	7,90 ± 1,00	7,11 ± 0,83	7,62 ± 1,36
<b>Imp</b>	11,67 ± 3,22	11,67 ± 2,92	14,60 ± 5,57	12,65 ± 3,89	15,80 ± 3,88
<b>Ide</b>	7,83 ± 1,09	7,58 ± 0,79	9,60 ± 1,02	7,83 ± 0,71	9,55 ± 2,78

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

### 3 Ergebnisse

#### Abweichungswerte der koronalen Fläche

Es ergaben sich zu den fünf Lagerzeiten die in Tabelle 27 beschriebenen Rangfolgen der medianen Abweichungswerte der koronalen Fläche der drei Präparationsformen. Signifikante Unterschiede wurden mit einem „\*“ beschrieben. Die Werte wurden in Tabelle 28 dargestellt.

Tabelle 27 Rangfolge der Abweichungen der koronalen Fläche der drei Materialien

Lagerzeit	Rangfolge				
	1.		2.		3.
Zahn 14					
30 min	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)
2 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)
8 h	Affinis (*zu Impregum +Identium)	<	Identium (*zu Affinis)	<	Impregum (*zu Affinis)
24 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
1 Wo	Affinis	<	Identium	<	Impregum
Zahn 16					
30 min	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
2 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
8 h	Affinis	<	Identium	<	Impregum
24 h	Affinis	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Identium)
1 Wo	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
Zähne 14-16					
30 min	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
2 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
8 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
24 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
1 Wo	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)

\* = signifikant verschieden

### 3 Ergebnisse

Bei Zahn 14 wurden zu jeder Lagerzeit bei Affinis die geringsten Abweichungswerte des Medianwertes beobachtet. Impregum zeigte im Vergleich der drei Materialien nach 30 min, 2 h, 8 h und 24 h die größten medianen Abweichungswerte. Nach einer Lagerzeit von einer Woche zeigte Identium den größeren medianen Abweichungswert. Es wurde zwischen Affinis und Impregum nach 30 min, 2 h, 8 h und 24 h ein signifikanter Unterschied festgestellt. Nach 8 h wies Affinis zu Identium und nach 24 h Impregum zu Identium einen signifikanten Unterschied auf.

Ebenso bei Zahn 16 ist zu beobachten, dass Affinis stets die geringsten Abweichungswerte des Medianwertes aufwies, gefolgt von Identium. Impregum zeigte im Vergleich der drei Materialien konstant die größten Abweichungswerte. Nach 30 min, 2 h und einer Woche zeigten Affinis und Impregum sowie auch Impregum und Identium signifikante Unterschiede. Bei letzterem wurde zudem nach 24 h ein signifikanter Unterschied beobachtet.

Auch bei den Zähnen 14-16 zeigte Affinis stets die geringsten Abweichungswerte des Medianwertes aufweist, gefolgt von Identium. Impregum zeigte im Vergleich der drei Materialien konstant die größten Abweichungswerte. Bei einer Lagerzeit von 30 min, 2 h 8 h und 24 h wurden zwischen Affinis und Impregum sowie Identium und Impregum signifikante Unterschiede beobachtet. Zwischen Affinis und Impregum unterschieden sich die Abweichungswerte auch nach einer Woche signifikant voneinander.

### 3 Ergebnisse

Tabelle 28 Abweichungen der koronalen Fläche der drei Materialien

Zeit	30min	2h	8h	24h	1Wo
$\mu\text{m}$	FIAbw $\pm$ IQR	FIAbw $\pm$ IQR	FIAbw $\pm$ IQR	FIAbw $\pm$ IQR	FIAbw $\pm$ IQR
<b>Zahn 14</b>					
<b>Aff</b>	9,69 $\pm$ 1,30	8,98 $\pm$ 1,20	9,56 $\pm$ 1,10	7,99 $\pm$ 0,88	9,11 $\pm$ 1,86
<b>Imp</b>	12,76 $\pm$ 5,09	15,13 $\pm$ 4,29	15,95 $\pm$ 4,78	14,75 $\pm$ 2,76	9,91 $\pm$ 2,52
<b>Ide</b>	9,82 $\pm$ 1,41	9,68 $\pm$ 1,06	12,28 $\pm$ 1,18	10,54 $\pm$ 1,79	11,48 $\pm$ 1,95
<b>Zahn 16</b>					
<b>Aff</b>	5,68 $\pm$ 0,84	4,97 $\pm$ 0,68	5,94 $\pm$ 1,16	5,29 $\pm$ 1,11	6,39 $\pm$ 1,10
<b>Imp</b>	9,34 $\pm$ 2,54	9,40 $\pm$ 1,46	8,91 $\pm$ 4,33	8,02 $\pm$ 4,67	11,90 $\pm$ 4,44
<b>Ide</b>	5,78 $\pm$ 0,59	5,23 $\pm$ 0,59	6,75 $\pm$ 1,34	5,37 $\pm$ 0,58	6,94 $\pm$ 1,45
<b>Zähne 14-16</b>					
<b>Aff</b>	7,04 $\pm$ 0,93	6,82 $\pm$ 0,39	7,05 $\pm$ 0,79	6,40 $\pm$ 0,75	7,07 $\pm$ 0,99
<b>Imp</b>	10,49 $\pm$ 3,21	11,17 $\pm$ 2,07	12,51 $\pm$ 4,74	11,31 $\pm$ 3,42	12,29 $\pm$ 4,05
<b>Ide</b>	7,34 $\pm$ 1,51	6,94 $\pm$ 0,68	8,81 $\pm$ 1,00	7,34 $\pm$ 0,73	8,72 $\pm$ 2,17

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

#### *Abweichungswerte der zervikalen Fläche*

Es ergaben sich zu den fünf Lagerzeiten die in Tabelle 29 beschriebenen Rangfolgen der medianen Abweichungswerte der zervikalen Fläche der drei Präparationsformen. Signifikante Unterschiede wurden mit einem „\*“ beschrieben. Die Werte wurden in Tabelle 30 dargestellt.

### 3 Ergebnisse

Tabelle 29 Rangfolge der Abweichungen der zervikalen Fläche der drei Materialien

Lagerzeit	Rangfolge				
	1.		2.		3.
Zahn 14					
30 min	Affinis	<	Identium	<	Impregum
2 h	Affinis	<	Identium	<	Impregum
8 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)
24 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
1 Wo	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)
Zahn 16					
30 min	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
2 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
8 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
24 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
1 Wo	Affinis	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Identium)
Zähne 14-16					
30 min	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)
2 h	Affinis	<	Identium	<	Impregum
8 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
24 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
1 Wo	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)

\* = signifikant verschieden

Bei Zahn 14 zeigte Affinis zu allen Lagerzeiten den geringsten Medianwert der Abweichung, gefolgt von Identium. Impregum zeigte konstant die größten medianen Abweichungswerte. Nach einer Lagerzeit von 8 h, 24 h und einer Woche wurde zwischen Affinis und Impregum ein signifikanter Unterschied

### 3 Ergebnisse

beobachtet. Nach 24 h unterschieden sich Identium und Impregum signifikant voneinander.

Bei Zahn 16 wies Affinis nach 30 min, 2 h, 8 h und einer Woche die geringsten Abweichungswerte des Medianwertes, gefolgt von Identium. Nach einer Lagerzeit von 24 h zeigte Identium einen geringeren medianen Abweichungswert als Affinis. Impregum zeigte wieder konstant die größten medianen Abweichungswerte. Nach einer Lagerzeit von 30 min, 2 h, 8 h, 24 h und einer Woche wurde zwischen Affinis und Impregum ein signifikanter Unterschied beobachtet. Identium und Impregum unterschieden sich zu allen Lagerzeiten voneinander. Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen Affinis und Identium beobachtet.

Bei den Zähnen 14-16 zeigte Affinis stets die geringsten medianen Abweichungswerte, gefolgt von Identium. Impregum wies erneut konstant die größten medianen Abweichungswerte auf. Bei einer Lagerzeit von 30 min, 8 h, 24 h und einer Woche zeigten sich zwischen Affinis und Impregum signifikante Unterschiede. Nach 8 h und 24 h wurde zudem zwischen Identium und Impregum ein signifikanter Unterschied beobachtet. Affinis und Identium unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

### 3 Ergebnisse

Tabelle 30 Abweichungen der zervikalen Fläche der drei Materialien

Zeit	30min	2h	8h	24h	1Wo
$\mu\text{m}$	FIAbw $\pm$ IQR	FIAbw $\pm$ IQR	FIAbw $\pm$ IQR	FIAbw $\pm$ IQR	FIAbw $\pm$ IQR
Zahn 14					
<b>Aff</b>	9,8 $\pm$ 1,42	9,25 $\pm$ 1,49	10,08 $\pm$ 1,29	8,10 $\pm$ 1,14	8,44 $\pm$ 2,25
<b>Imp</b>	13,88 $\pm$ 6,71	14,63 $\pm$ 3,61	22,42 $\pm$ 3,53	19,50 $\pm$ 3,46	26,68 $\pm$ 4,54
<b>Ide</b>	10,96 $\pm$ 2,41	11,54 $\pm$ 3,19	15,09 $\pm$ 0,79	11,37 $\pm$ 2,28	12,61 $\pm$ 1,95
Zahn 16					
<b>Aff</b>	6,51 $\pm$ 1,10	6,30 $\pm$ 1,32	6,70 $\pm$ 1,65	7,65 $\pm$ 2,26	7,31 $\pm$ 2,19
<b>Imp</b>	12,12 $\pm$ 5,34	9,81 $\pm$ 0,86	12,26 $\pm$ 9,80	9,70 $\pm$ 9,19	21,54 $\pm$ 6,03
<b>Ide</b>	7,20 $\pm$ 0,79	6,33 $\pm$ 0,61	7,83 $\pm$ 1,26	7,02 $\pm$ 0,84	7,92 $\pm$ 2,40
Zähne 14-16					
<b>Aff</b>	8,39 $\pm$ 0,72	8,86 $\pm$ 1,80	9,20 $\pm$ 1,67	8,59 $\pm$ 0,75	8,49 $\pm$ 1,85
<b>Imp</b>	13,65 $\pm$ 3,91	12,78 $\pm$ 3,33	18,47 $\pm$ 6,93	16,0 $\pm$ 4,89	24,15 $\pm$ 3,25
<b>Ide</b>	8,94 $\pm$ 1,13	9,01 $\pm$ 1,50	11,06 $\pm$ 1,46	9,17 $\pm$ 0,84	11,26 $\pm$ 4,04

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

#### *Prozentuale Volumenabweichung der Stümpfe*

Es ergaben sich zu den fünf Lagerzeiten die in Tabelle 31 beschriebenen Rangfolgen der medianen Abweichungswerte der zervikalen Fläche der drei Präparationsformen. Signifikante Unterschiede wurden mit einem „\*“ beschrieben. Die Werte wurden in Tabelle 32 dargestellt.

### 3 Ergebnisse

Tabelle 31 Rangfolge der prozentualen Volumenabweichung der drei Materialien

Lagerzeit	Rangfolge				
	1.		2.		3.
Zahn 14					
30 min	Affinis	<	Identium	<	Impregum
2 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)
8 h	Affinis (*zu Identium)	<	Identium (*zu Affinis)	<	Impregum
24 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)
1 Wo	Affinis	<	Identium	<	Impregum
Zahn 16					
30 min	Affinis	<	Identium	<	Impregum
2 h	Affinis	<	Identium	<	Impregum
8 h	Affinis	<	Identium	<	Impregum
24 h	Affinis	<	Identium	<	Impregum
1 Wo	Affinis	<	Identium	<	Impregum
Zähne 14-16					
30 min	Affinis	<	Identium	<	Impregum
2 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium (*zu Impregum)	<	Impregum (*zu Affinis +Identium)
8 h	Affinis	<	Identium	<	Impregum
24 h	Affinis (*zu Impregum)	<	Identium	<	Impregum (*zu Affinis)
1 Wo	Affinis	<	Identium	<	Impregum

\* = signifikant verschieden

Bei Zahn 14 zeigte Affinis zu allen Lagerzeiten die geringste mediane prozentuale Volumenabweichung, gefolgt von Identium. Impregum zeigte im Vergleich der drei Materialien konstant die größte mediane Abweichung. Es zeigte sich zwischen Affinis und Impregum nach 2 h sowie 24 h und zwischen Affinis und Identium nach 8 h ein signifikanter Unterschied.

Bei Zahn 16 wurden nach 2 h, 24 h und einer Woche bei Affinis die geringsten Medianwerte der prozentualen Volumenabweichungen beobachtet, während



### 3 Ergebnisse

nach 30 min und nach 8 h Identium die geringeren Werte aufwies. Die Werte lagen mit einer maximalen Differenz von 0,08 % sehr nah aneinander. Impregum zeigte im Vergleich der drei Materialien konstant die größte mediane prozentuale Volumenabweichung. Die Materialien hatten zu keiner Lagerzeit einen signifikanten Unterschied.

Bei den Zähnen 14-16 wurden nach 30 min, 24 h und einer Woche bei Affinis die geringsten Medianwerte der prozentualen Volumenabweichungen festgestellt, während nach 2 h und nach 8 h Identium die geringeren Werte aufwies. Impregum zeigte im Vergleich der drei Materialien konstant die größte mediane prozentuale Volumenabweichung. Es zeigte sich zwischen Affinis und Impregum nach 2 h sowie nach 24 h und zwischen Identium und Impregum nach 2 h ein signifikanter Unterschied.

Tabelle 32 Prozentuale Volumenabweichungen der drei Materialien

Zeit µm	30min VolAbw ± IQR	2h VolAbw ± IQR	8h VolAbw ± IQR	24h VolAbw ± IQR	1Wo VolAbw ± IQR
Zahn 14					
<b>Aff</b>	0,78 ± 0,18	0,77 ± 0,10	0,73 ± 0,27	0,70 ± 0,25	0,76 ± 0,14
<b>Imp</b>	0,95 ± 0,33	1,28 ± 0,41	1,38 ± 0,36	1,40 ± 0,18	1,39 ± 0,46
<b>Ide</b>	0,89 ± 0,22	0,92 ± 0,19	1,17 ± 0,08	0,95 ± 0,15	1,09 ± 0,18
Zahn 16					
<b>Aff</b>	0,39 ± 0,27	0,31 ± 0,17	0,48 ± 0,29	0,38 ± 0,37	0,47 ± 0,20
<b>Imp</b>	0,63 ± 0,34	0,57 ± 0,41	0,71 ± 0,60	0,50 ± 0,54	0,72 ± 0,43
<b>Ide</b>	0,39 ± 0,20	0,36 ± 0,20	0,45 ± 0,12	0,46 ± 0,20	0,52 ± 0,24
Zähne 14-16					
<b>Aff</b>	0,49 ± 0,21	0,67 ± 0,15	0,75 ± 0,20	0,57 ± 0,39	0,76 ± 0,28
<b>Imp</b>	0,82 ± 0,33	0,84 ± 0,41	0,95 ± 0,41	1,07 ± 0,33	1,12 ± 0,36
<b>Ide</b>	0,60 ± 0,10	0,60 ± 0,17	0,72 ± 0,20	0,74 ± 0,32	0,80 ± 0,24

VolAbw = Volumenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

### 3 Ergebnisse

#### 3.2.5 3D: Einfluss der Abformungsstelle auf die Dimensionsstabilität von Affinis

Die Ergebnisse des Einflusses der Abformungsstelle auf die Dimensionsgenauigkeit des Materials Affinis werden unter Betrachtung jeder Zahnform im Folgenden beschrieben. Die Medianwerte der mittleren absoluten Abweichungswerte der koronalen und zervikalen Flächen und ihre Interquartilsabstände wurden in Abhängigkeit der fünf Lagerzeiten in Tabelle 33 dargestellt. Für den geringsten Medianwert der Abweichung über die Zeit wurde das Tabellenfeld grün und für den höchsten rot markiert.

Bei dem Vergleich der koronalen zur zervikalen Abformungsfläche ergaben sich für die Abweichungswerte folgende Ergebnisse: Bei Zahn 14 zeigte die koronale Fläche nach einer Lagerzeit von 30 min, 2 h, 8 h und 24 h einen geringeren Medianwert als die zervikale. Nach einer Woche war es umgekehrt. Die zervikale Fläche zeigte einen geringeren Medianwert als die koronale. Bei Zahn 16 und den Zähnen 14-16 zeigte zu allen Lagerzeiten die koronale Fläche einen geringeren Medianwert auf als die zervikale. Bei Zahn 14 und Zahn 16 wurden zu allen Lagerzeiten keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Bei den Zähnen 14-16 wurde nach einer Lagerzeit von 24 h ein signifikanter Unterschied zwischen den Abformungsflächen beobachtet.

Tabelle 33 Abweichungen „koronal – zervikal“ des Materials Affinis

Zeit µm	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
	FIAbw ±IQR	FIAbw ±IQR	FIAbw ±IQR	FIAbw ±IQR	FIAbw ±IQR
Zahn 14					
<b>koronal</b>	9,69 ±1,3	8,98 ±1,2	9,56 ±1,1	7,99 ±0,88	9,11 ±1,86
<b>zervikal</b>	9,80 ±1,42	9,25 ±1,49	10,08 ±1,29	8,10 ±1,14	8,44 ±2,25
Zahn 16					
<b>koronal</b>	5,68 ±0,84	4,97 ±0,68	5,94 ±1,16	5,29 ±1,11	6,39 ±1,1
<b>zervikal</b>	6,51 ±1,1	6,30 ±1,32	6,70 ±1,65	7,65 ±2,26	7,31 ±2,19
Zähne 14-16					
<b>koronal</b>	7,04 ±0,93	6,82 ±0,39	7,05 ±0,79	6,40 ±0,75	7,07 ±0,99
<b>zervikal</b>	8,39 ±0,72	8,86 ±1,8	9,20 ±1,67	8,59 ±0,75	8,49 ±1,85

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

### 3 Ergebnisse

#### 3.2.6 3D: Einfluss der Abformungsstelle auf die Dimensionstabilität von Impregum

Die Ergebnisse des Einflusses der Abformungsstelle auf die Dimensionsgenauigkeit des Materials Impregum werden unter Betrachtung jeder Zahnform im Folgenden beschrieben. Die Medianwerte der mittleren absoluten Abweichungswerte der koronalen und zervikalen Flächen und ihre Interquartilsabstände wurden in Abhängigkeit der fünf Lagerzeiten in Tabelle 34 dargestellt. Für den geringsten Medianwert der Abweichung über die Zeit wurde das Tabellenfeld grün und für den höchsten rot markiert.

Bei dem Vergleich der koronalen zur zervikalen Abformungsfläche ergaben sich für die Abweichungswerte folgende Ergebnisse: Bei Zahn 14 zeigte die koronale Fläche nach einer Lagerzeit von 30 min, 8 h, 24 h und einer Woche einen geringeren Medianwert als die zervikale. Nach 2 h war es umgekehrt. Die zervikale Fläche wies einen geringeren Medianwert als die koronale auf. Bei Zahn 16 und den Zähnen 14-16 zeigte zu allen Lagerzeiten die koronale Fläche einen geringeren Medianwert auf als die zervikale.

Bei Zahn 14 wurde bei einer Lagerzeit von 24 h ein signifikanter Unterschied zwischen den Abformungsflächen beobachtet. Bei Zahn 16 und den Zähnen 14-16 wurden zu allen Lagerzeiten keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Tabelle 34 Abweichungen „koronal – zervikal“ des Materials Impregum

Zeit µm	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
	FIAbw ±IQR	FIAbw ±IQR	FIAbw ±IQR	FIAbw ±IQR	FIAbw ±IQR
Zahn 14					
<b>koronal</b>	12,76 ±5,09	15,13 ±4,29	15,95 ±4,78	14,75 ±2,76	9,91 ±2,52
<b>zervikal</b>	13,88 ±6,71	14,63 ±3,61	22,42 ±3,53	19,50 ±3,46	26,68 ±4,54
Zahn 16					
<b>koronal</b>	9,34 ±2,54	9,40 ±1,46	8,91 ±4,33	8,02 ±4,67	11,90 ±4,44
<b>zervikal</b>	12,12 ±5,34	9,81 ±0,86	12,26 ±9,80	9,70 ±9,19	21,54 ±6,03
Zähne 14-16					
<b>koronal</b>	10,49 ± 3,2	11,17 ±2,07	12,51 ±4,74	11,31 ±3,42	12,29 ±4,05
<b>zervikal</b>	13,65 ± 3,9	12,78 ± 3,3	18,47 ±6,93	16 ±4,89	24,15 ±3,25

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

### 3 Ergebnisse

#### 3.2.7 3D: Einfluss der Abformungsstelle auf die Dimensionstabilität von Identium

Die Ergebnisse des Einflusses der Abformungsstelle auf die Dimensionsgenauigkeit des Materials Identium werden unter Betrachtung jeder Zahnform im Folgenden beschrieben. Die Medianwerte der mittleren absoluten Abweichungswerte der koronalen und zervikalen Flächen und ihre Interquartilsabstände wurden in Abhängigkeit der fünf Lagerzeiten in der Tabelle 35 dargestellt. Für den geringsten Medianwert der Abweichung über die Zeit wurde das Tabellenfeld grün und für den höchsten rot markiert.

Bei dem Vergleich der koronalen zur zervikalen Abformungsfläche ergaben sich für die Abweichungswerte folgende Ergebnisse: Bei allen drei Präparationsformen zeigte zu allen Lagerzeiten die koronale Fläche einen geringeren Medianwert auf als die zervikale.

Bei Zahn 14 wurde bei einer Lagerzeit von 8 h und bei Zahn 16 bei einer Lagerzeit von 2 h ein signifikanter Unterschied zwischen den Abformungsflächen beobachtet. Bei den Zähnen 14-16 zeigten sich bei einer Lagerzeit von 2 h, 8 h und 24 h signifikante Unterschiede.

Tabelle 35 Abweichungen „koronal – zervikal“ des Materials Identium

Zeit µm	30 min FIAbw ±IQR	2 h FIAbw ±IQR	8 h FIAbw ±IQR	24 h FIAbw ±IQR	1 Wo FIAbw ±IQR
Zahn 14					
koronal	9,82 ±1,41	9,68 ±1,06	12,28 ±1,18	10,54 ±1,79	11,48 ±1,95
zervikal	10,96 ±2,41	11,54 ±3,19	15,09 ±0,79	11,37 ±2,28	12,61 ±1,95
Zahn 16					
koronal	5,78 ±0,59	5,23 ±0,59	6,75 ±1,34	5,37 ±0,58	6,94 ±1,45
zervikal	7,20 ±0,79	6,33 ±0,61	7,83 ±1,26	7,02 ±0,84	7,92 ±2,40
Zähne 14-16					
koronal	7,34 ±1,51	6,94 ±0,68	8,81 ±1,00	7,34 ±0,73	8,72 ±2,17
zervikal	8,94 ±1,13	9,01 ±1,50	11,06 ±1,46	9,17 ±0,84	11,26 ±4,04

FIAbw = Flächenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

### 3 Ergebnisse

#### 3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der zweidimensionalen Streckenabweichungen, dreidimensionalen Flächenabweichungen und dreidimensionalen prozentualen Volumenabweichungen zusammengefasst werden. Die Werte sind in Tabellen und Boxplot-Diagrammen veranschaulicht. Bei den zweidimensionalen Streckenabweichungswerten wurde für jedes Material die Gesamtabweichung der drei Strecken  $\overline{12'}$ ,  $\overline{23'}$  und  $\overline{13'}$  berechnet. Bei den Medianwerten der Gesamtabweichungen der Strecken bei Affinis zeigte sich, dass nach einer Woche die geringsten Abweichungswerte mit 53,5  $\mu\text{m}$  auftraten. Die größte Dimensionsabweichung wurde bei Affinis nach 2 Stunden mit 142,5  $\mu\text{m}$  beobachtet. Bei Impregum und Identium zeigten sich die geringsten Abweichungswerte mit 108  $\mu\text{m}$  und 44,5  $\mu\text{m}$  nach 30 Minuten Lagerzeit. Beide Materialien wiesen zudem nach einer Woche Lagerzeit die größten Abweichungswerte auf. Die prozentuale Abweichung der Gesamtabweichungswerte der drei Materialien liegt im Median zwischen 0,04 % - 0,19 %. Sie ist innerhalb der durch die DIN EN ISO 4823 für elastomere Abformmaterialien beschriebenen linearen Maßänderung von maximal 1,5 %. Die Werte der drei Materialien in Abhängigkeit der fünf Lagerzeiten sind in Tabelle 36 aufgelistet. Für den geringsten Medianwert der Abweichung über die Zeit wurde das Tabellenfeld grün und für den höchsten rot markiert. Zudem sind die Abweichungswerte der drei Materialien über die Zeit in Box-Whisker-Plots in Abbildung 9 bis Abbildung 11 sowohl in  $\mu\text{m}$  als auch in % veranschaulicht.

Tabelle 36 Gesamtabweichungen der Streckenabweichungswerte und der prozentualen Abweichungen in Abhängigkeit der Lagerzeit

		30min	2h	8h	24h	1Wo
<b>Aff</b>	StrAbw $\pm$ IQR( $\mu\text{m}$ )	89,5 $\pm$ 30,5	142,5 $\pm$ 28,8	110 $\pm$ 17,8	121,5 $\pm$ 28,8	53,5 $\pm$ 25,3
	%Abw $\pm$ IQR(%)	0,08 $\pm$ 0,02	0,13 $\pm$ 0,03	0,10 $\pm$ 0,02	0,10 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,02
<b>Imp</b>	StrAbw $\pm$ IQR( $\mu\text{m}$ )	108 $\pm$ 75,3	126 $\pm$ 76,5	137 $\pm$ 162,5	124 $\pm$ 87,3	216 $\pm$ 206,5
	%Abw $\pm$ IQR(%)	0,10 $\pm$ 0,07	0,11 $\pm$ 0,07	0,12 $\pm$ 0,14	0,11 $\pm$ 0,08	0,19 $\pm$ 0,18
<b>Ide</b>	StrAbw $\pm$ IQR( $\mu\text{m}$ )	44,5 $\pm$ 58	100,5 $\pm$ 68	53 $\pm$ 18	65,5 $\pm$ 70,8	162 $\pm$ 3
	%Abw $\pm$ IQR(%)	0,04 $\pm$ 0,05	0,09 $\pm$ 0,06	0,05 $\pm$ 0,02	0,06 $\pm$ 0,06	0,14 $\pm$ 0,00

StrAbw = Streckenabweichung, %Abw = prozentuale Abweichungen, IQR = Interquartilsabstand

### 3 Ergebnisse

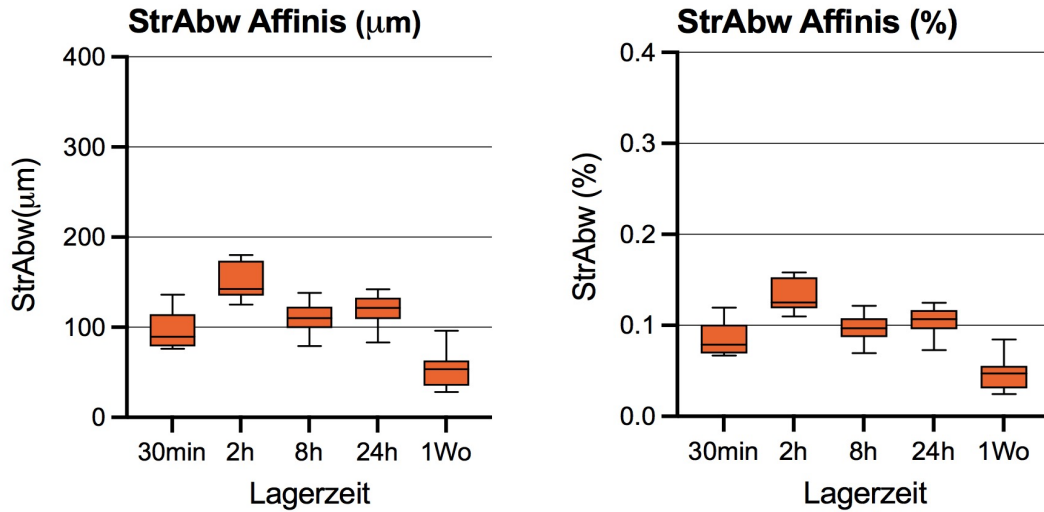


Abbildung 9 Streckenabweichungen des Materials Affinis in Abhängigkeit der Lagerzeit

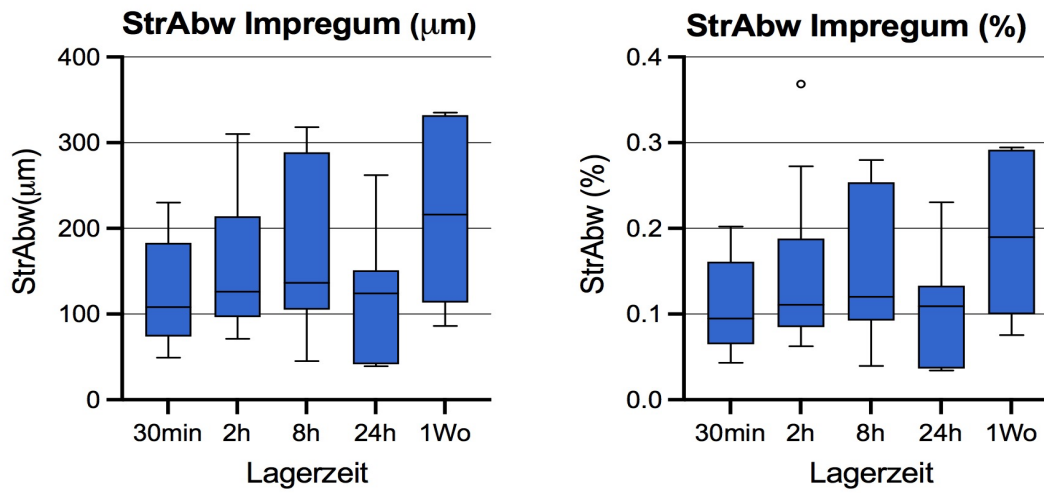


Abbildung 10 Streckenabweichungen des Materials Impregum in Abhängigkeit der Lagerzeit

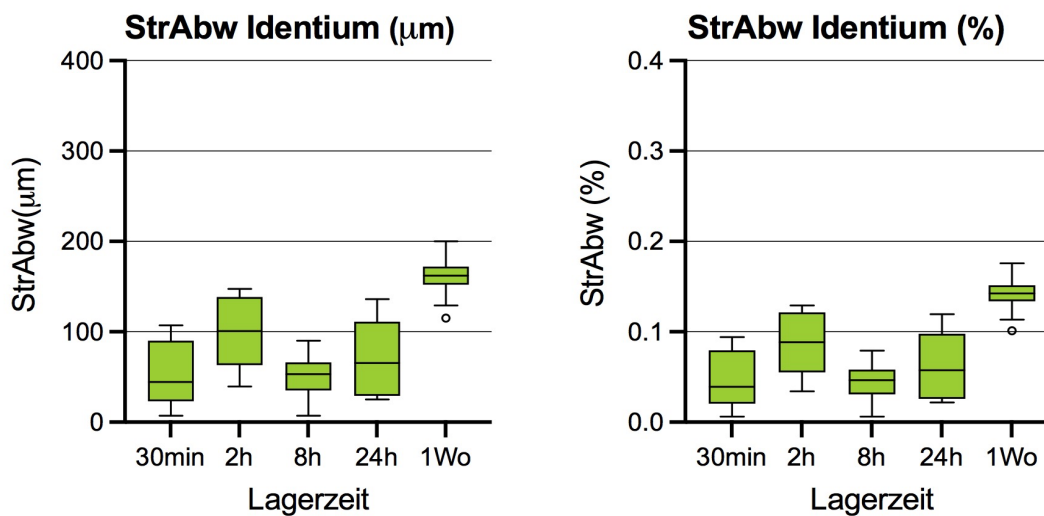


Abbildung 11 Streckenabweichungen des Materials Identium in Abhängigkeit der Lagerzeit

### 3 Ergebnisse

Im Vergleich der drei Materialien wies Impregum bis auf die Messung bei 2 Stunden zu allen Lagerzeiten die größten medianen Abweichungswerte auf. Der größte Wert wurde nach einer Woche mit 216  $\mu\text{m}$  beobachtet. Bei einer Lagerzeit von 2 Stunden zeigte dagegen Affinis mit 142,5  $\mu\text{m}$  die größten Abweichungswerte. Identium wies bei nahezu allen Vergleichen die geringsten medianen Medianwerte der Streckenabweichungen auf, wobei sich die Werte nach 8 Stunden zu beiden Materialien und nach einer Woche nur zu Affinis auch als signifikant erweisen konnten. Affinis zeigte dagegen mit Ausnahme des Zeitpunktes der Auswertung nach einer Woche zu allen Lagerzeiten geringere Interquartilsabstände. Die geringste prozentuale Abweichung war bei Identium nach 30 Minuten mit 0,04 % und die höchste bei Impregum nach einer Woche mit 0,19 % festzustellen. Es ergaben sich zu den fünf Lagerzeiten die in Tabelle 37 beschriebenen Rangfolgen der Medianwerte der Abweichungen. Die Werte der drei Materialien in Abhängigkeit der fünf Lagerzeiten sind in Tabelle 36 aufgelistet. Zudem ist der Materialvergleich in Box-Whisker-Plots in Abbildung 12 und Abbildung 13 sowohl in  $\mu\text{m}$  als auch in % veranschaulicht.

Tabelle 37 Rangfolge der Streckenabweichungswerte und der prozentualen Abweichungen der drei Materialien in Abhängigkeit der Lagerzeit

Lagerzeit	Rangfolge		
	1.	2.	3.
30 min	Identium	< Affinis	< Impregum
2 h	Identium	< Impregum	< Affinis
8 h	Identium	< Affinis	< Impregum
24 h	Identium	< Affinis	< Impregum
1 Wo	Affinis	< Identium	< Impregum

### 3 Ergebnisse

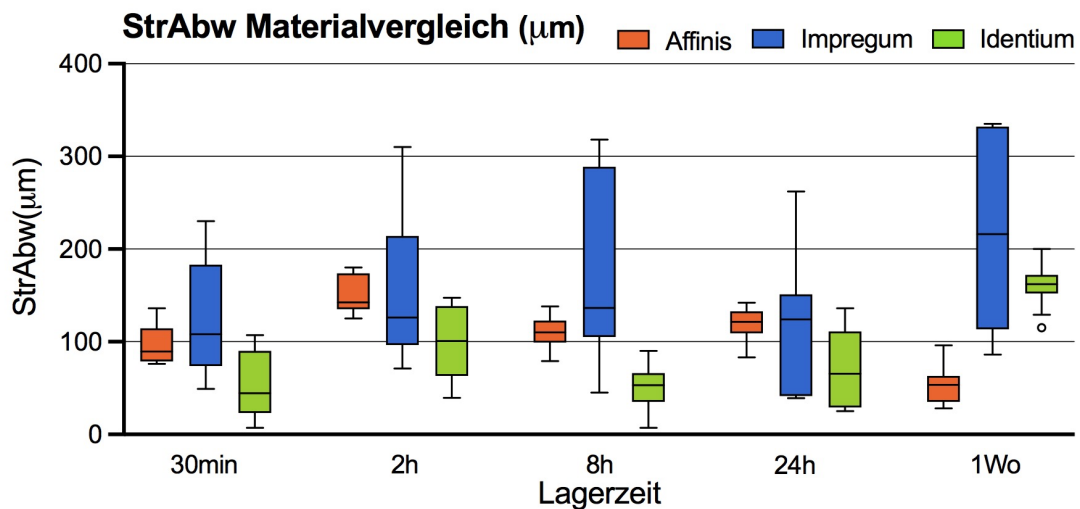


Abbildung 12 Streckenabweichungen der drei Abformmaterialien im Vergleich in µm

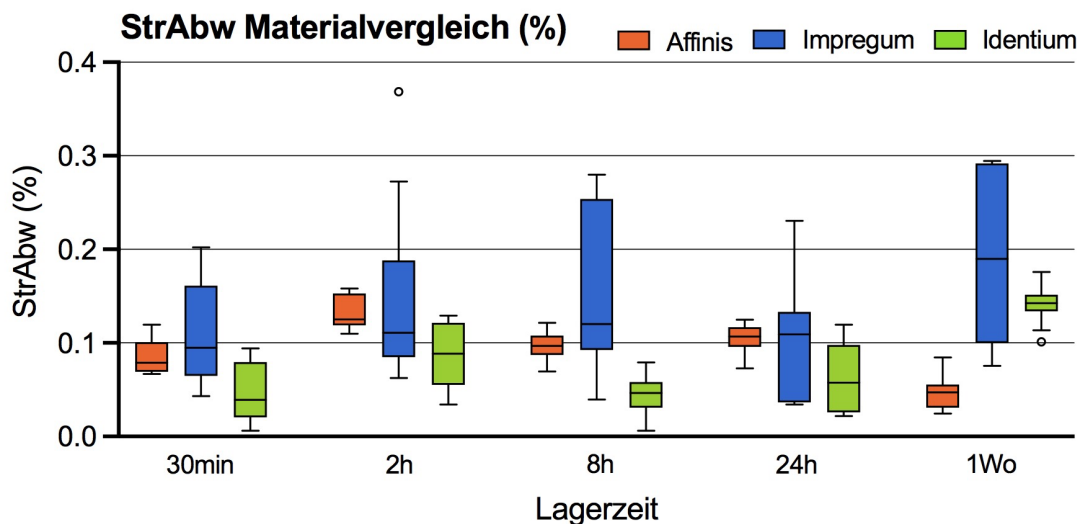


Abbildung 13 Streckenabweichungen der drei Abformmaterialien im Vergleich in %

Bei den dreidimensionalen Flächenabweichungswerten wurde zur Erstellung einer allgemeinen Übersicht für jedes Material und jede Lagerzeit der Medianwert aus den neun Medianen jeder Präparation (14, 16, 14-16) und jeder Abformungsfläche (Gesamt-, koronale -, zervikale Fläche) gebildet. Bei allen drei Materialien wurden die geringsten Abweichungswerte – Affinis 7,43 µm, Impregum 11,67 µm, Identium 7,58 µm – nach 2 Stunden beobachtet. Die Lagerzeit mit den zweitgeringsten Werten ist ebenfalls bei allen Materialien eine Lagerzeit von 30 Minuten. Impregum und Identium zeigten mit 15,80 µm und 9,60 µm bei einer Woche Lagerzeit die höchsten Abweichungswerte, während



### 3 Ergebnisse

bei Affinis nach 8 Stunden Lagerzeit mit 7,90  $\mu\text{m}$  der höchste Wert beobachtet wurde. Der geringste Interquartilsabstand wurde bei Affinis nach 24 Stunden und bei Impregum und Identium nach 2 Stunden beobachtet. Der größte Interquartilsabstand zeigte sich bei Affinis und Identium nach einer Woche und bei Impregum nach 8 Stunden.

Auch bei den prozentualen Volumenabweichungen wurden die Mediane aus den Medianwerten für jede Lagerzeit gebildet. Bei allen drei Materialien wurden die geringsten Abweichungswerte nach 30 Minuten beobachtet. Die höchsten Werte zeigten sich ebenso bei allen drei Materialien nach einer Woche Lagerzeit. Die mediane prozentuale Volumenabweichung der drei Materialien liegt zwischen 0,49% - 1,12%. Der geringste Interquartilsabstand wurde bei Affinis und Identium nach 8 Stunden und bei Impregum nach 30 Minuten beobachtet. Der größte Interquartilsabstand zeigte sich bei Affinis nach 2 Stunden und bei Identium und Impregum nach 24 Stunden. Die Werte sind in Tabelle 38 aufgelistet. Für den geringsten Medianwert der Abweichung über die Zeit wurde das Tabellenfeld grün und für den höchsten rot markiert.

Tabelle 38 Mediane der medianen Flächenabweichungswerte und der medianen prozentualen Volumenabweichungswerte in Abhängigkeit der Lagerzeit

		30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
<b>Aff</b>	<b>FIAbw<math>\pm</math>IQR(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	7,43 $\pm$ 0,98	7,43 $\pm$ 1,2	7,90 $\pm$ 1,16	7,646 $\pm$ 0,88	7,62 $\pm$ 1,63
	<b>VolAbw<math>\pm</math>IQR(%)</b>	0,49 $\pm$ 0,20	0,67 $\pm$ 0,23	0,73 $\pm$ 0,13	0,57 $\pm$ 0,16	0,76 $\pm$ 0,14
<b>Imp</b>	<b>FIAbw<math>\pm</math>IQR(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	12,12 $\pm$ 3,91	11,67 $\pm$ 2,92	14,60 $\pm$ 4,78	12,65 $\pm$ 3,89	15,80 $\pm$ 4,05
	<b>VolAbw<math>\pm</math>IQR(%)</b>	0,82 $\pm$ 0,16	0,84 $\pm$ 0,35	0,95 $\pm$ 0,35	1,07 $\pm$ 0,45	1,12 $\pm$ 0,34
<b>Ide</b>	<b>FIAbw<math>\pm</math>IQR(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	7,83 $\pm$ 1,13	7,58 $\pm$ 0,79	9,55 $\pm$ 1,18	7,83 $\pm$ 0,84	9,6 $\pm$ 1,97
	<b>VolAbw<math>\pm</math>IQR(%)</b>	0,60 $\pm$ 0,25	0,60 $\pm$ 0,28	0,74 $\pm$ 0,24	0,72 $\pm$ 0,36	0,80 $\pm$ 0,29

FIAbw = Flächenabweichung, VolAbw = Volumenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

### 3 Ergebnisse

Zudem sind die Flächenabweichungen und Volumenabweichungen der drei Materialien über die Zeit in Box-Whisker-Plots in Abbildung 14 bis Abbildung 16 sowohl in  $\mu\text{m}$  als auch in % veranschaulicht.

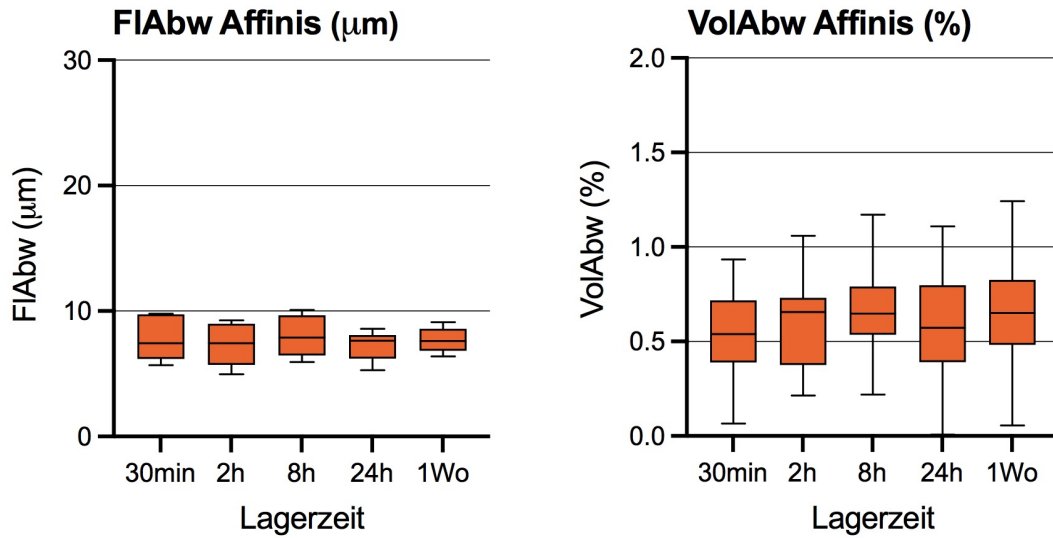


Abbildung 14 Flächen- und Volumenabweichungen des Materials Affinis in Abhängigkeit der Lagerzeit

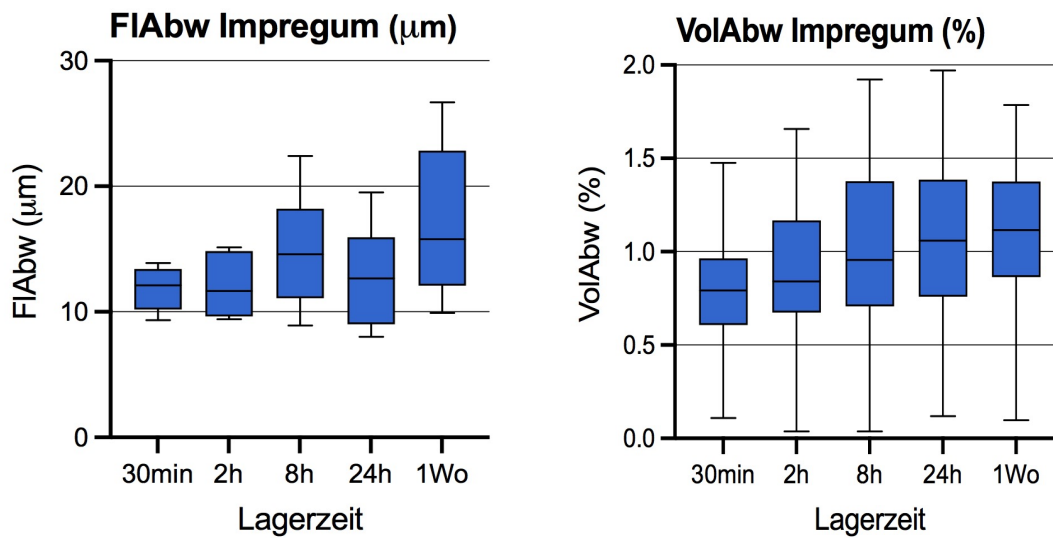


Abbildung 15 Flächen- und Volumenabweichungen des Materials Impregum in Abhängigkeit der Lagerzeit

### 3 Ergebnisse

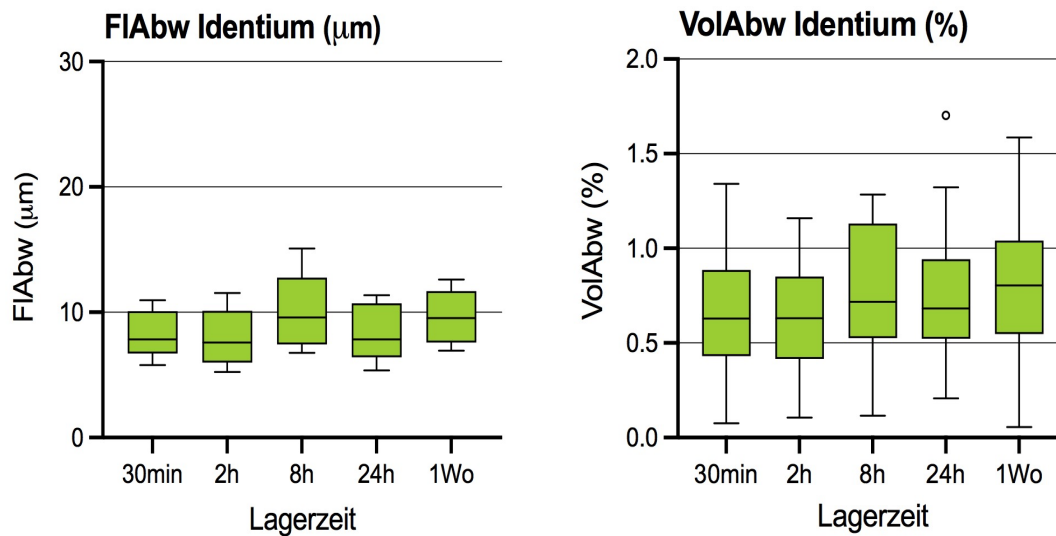


Abbildung 16 Flächen- und Volumenabweichungen des Materials Identium in Abhängigkeit der Lagerzeit

Beim Vergleich der drei Materialien wurden bei der dreidimensionalen Flächenanalyse und der prozentualen Volumenanalyse folgende Ergebnisse beobachtet: Entsprechend der zweidimensionalen Streckenanalyse wurden bei dem Material Impregum bei allen Lagerzeiten die größten Mediane der medianen Abweichungswerte festgestellt. Der Großteil der Werte konnte sich auch als signifikant erweisen. Der größte Wert wurde nach einer Woche mit 15,80 µm bzw 1,12% beobachtet. Affinis und Identium lagen von den Abweichungswerten näher aneinander. Affinis wies bei allen Zeiten geringere Abweichungswerte als Identium auf, von denen sich auch ein Großteil als signifikant erwies. Der geringste Wert wurde nach 2 Stunden mit 7,43 µm und nach 30 Minuten mit 0,49% beobachtet. Es ergaben sich zu den fünf Lagerzeiten die in Tabelle 39 beschriebenen Rangfolgen der Medianwerte der Abweichungen. Die Werte der drei Materialien über die Zeit sind in Tabelle 38 aufgelistet. Außerdem ist der Materialvergleich in Box-Whisker-Plots in Abbildung 17 und Abbildung 18 sowohl in µm als auch in % veranschaulicht.

### 3 Ergebnisse

Tabelle 39 Rangfolge der Flächenabweichungswerte und der prozentualen Volumenabweichungswerte der drei Materialien in Abhängigkeit der Lagerzeit

Lagerzeit	Rangfolge				
	1.		2.		3.
30 min	Affinis	<	Identium	<	Impregum
2 h	Affinis	<	Identium	<	Impregum
8 h	Affinis	<	Identium	<	Impregum
24 h	Affinis	<	Identium	<	Impregum
1 Wo	Affinis	<	Identium	<	Impregum

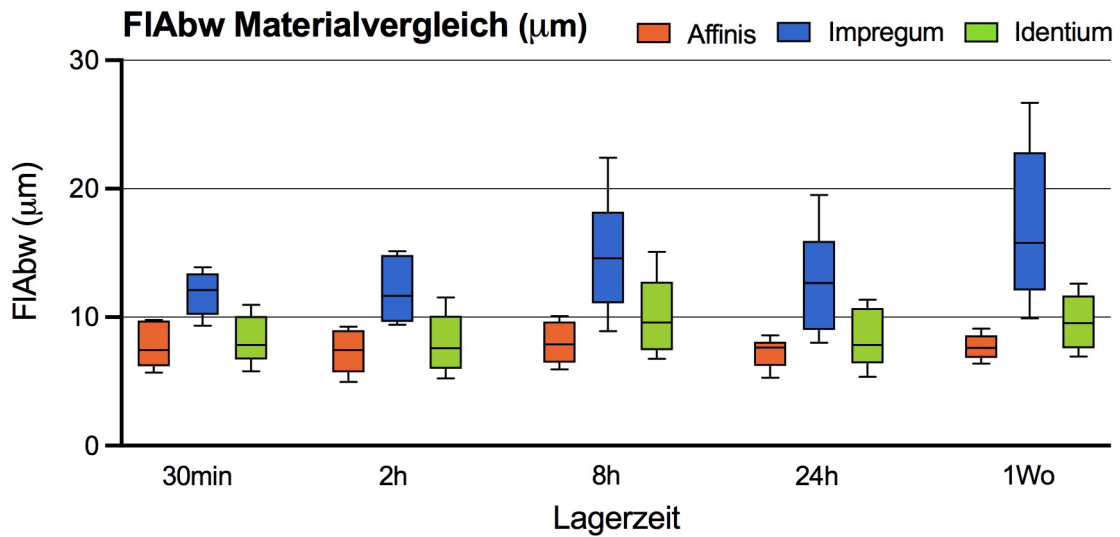


Abbildung 17 Flächenabweichungen der drei Abformmaterialien im Vergleich in µm

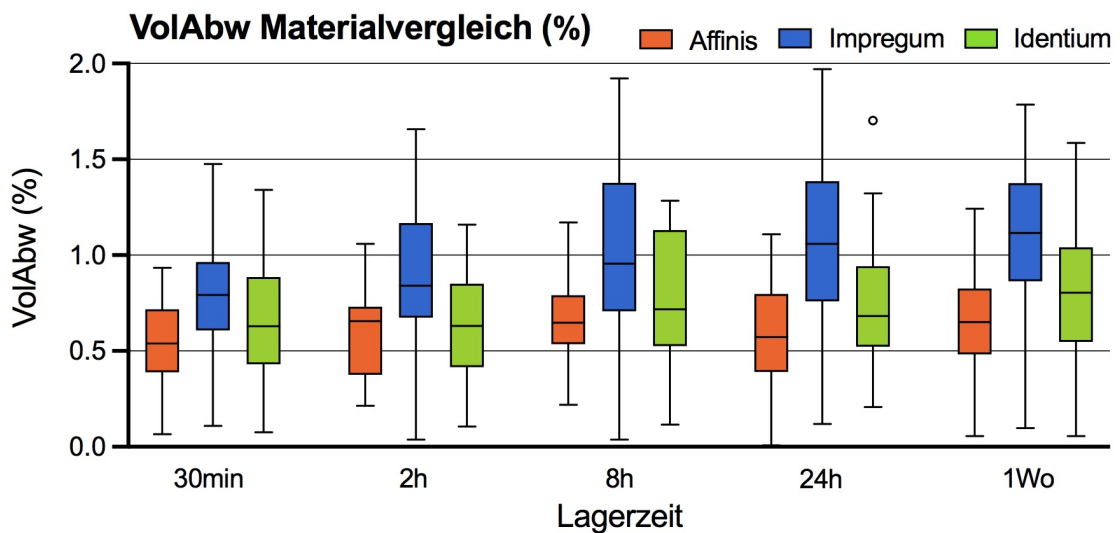


Abbildung 18 Volumenabweichungen der drei Abformmaterialien im Vergleich in %

### 3 Ergebnisse

Bei der Analyse des Einflusses der Abformungsstelle auf die Dimensionsstabilität wurden die Medianwerte der medianen Abweichungswerte der drei Präparationen bestimmt. Bei allen drei Materialien wies die koronale Fläche zu jeder Lagerzeit geringere Abweichungswerte als die zervikale auf, wobei sich ein Großteil als signifikant erwies. Die Werte der drei Materialien über die Zeit sind in Tabelle 40 aufgelistet. Für den geringsten medianen Abweichungswert wurde das Tabellenfeld grün und für den höchsten rot markiert.

Tabelle 40 Mediane der medianen Flächenabweichungswerte „Koronal-Zervikal“ der Abformmaterialien in mm

	FIAbw±IQR(µm)	30 min	2 h	8 h	24 h	1 Wo
Aff	Koronal	7,04 ± 0,93	6,82 ± 0,68	7,05 ± 1,10	6,40 ± 0,88	7,07 ± 1,10
	Zervikal	8,39 ± 1,10	8,86 ± 1,49	9,20 ± 1,65	8,10 ± 1,14	8,44 ± 2,19
Imp	Koronal	10,49 ± 3,21	11,17 ± 2,07	12,51 ± 4,74	11,31 ± 3,42	11,90 ± 4,05
	Zervikal	13,65 ± 5,34	12,78 ± 3,33	18,47 ± 6,93	16,00 ± 4,89	24,15 ± 4,54
Ide	Koronal	7,34 ± 1,41	6,94 ± 0,68	8,81 ± 1,18	7,34 ± 0,73	8,72 ± 1,95
	Zervikal	8,94 ± 1,13	9,01 ± 1,50	11,06 ± 1,26	9,17 ± 0,84	11,26 ± 2,40

FIAbw = Flächenabweichung, VolAbw = Volumenabweichung, IQR = Interquartilsabstand

Außerdem ist der Materialvergleich in Box-Whisker-Plots in Abbildung 19 bis Abbildung 21 in der Einheit µm veranschaulicht.

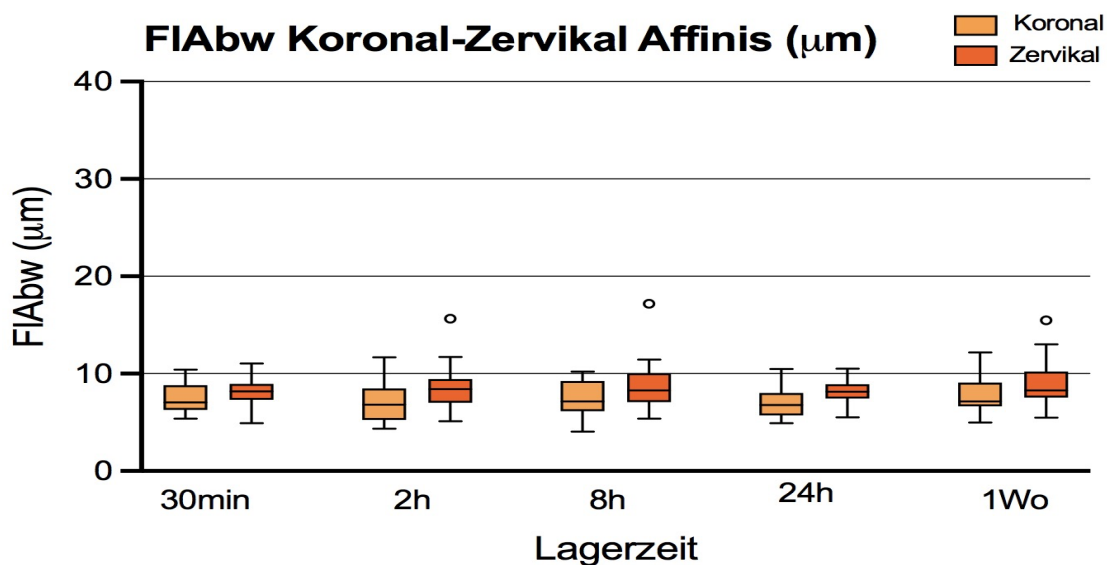


Abbildung 19 Flächenabweichungen „Koronal-Zervikal“ des Materials Affinis in Abhängigkeit der Lagerzeit

### 3 Ergebnisse

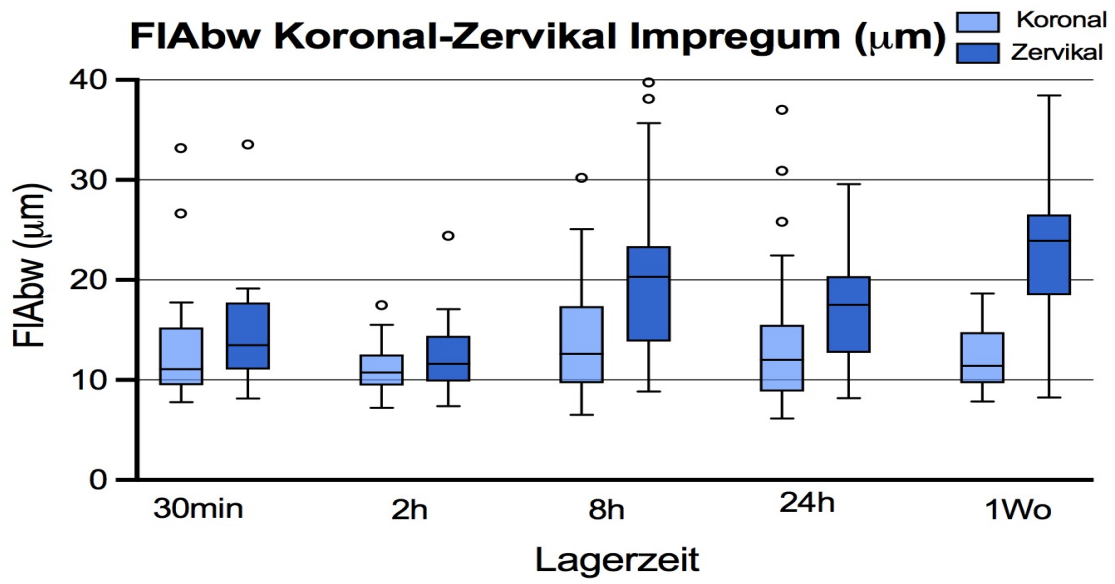


Abbildung 20 Flächenabweichungen „Koronal-Zervikal“ des Materials Impregum in Abhängigkeit der Lagerzeit

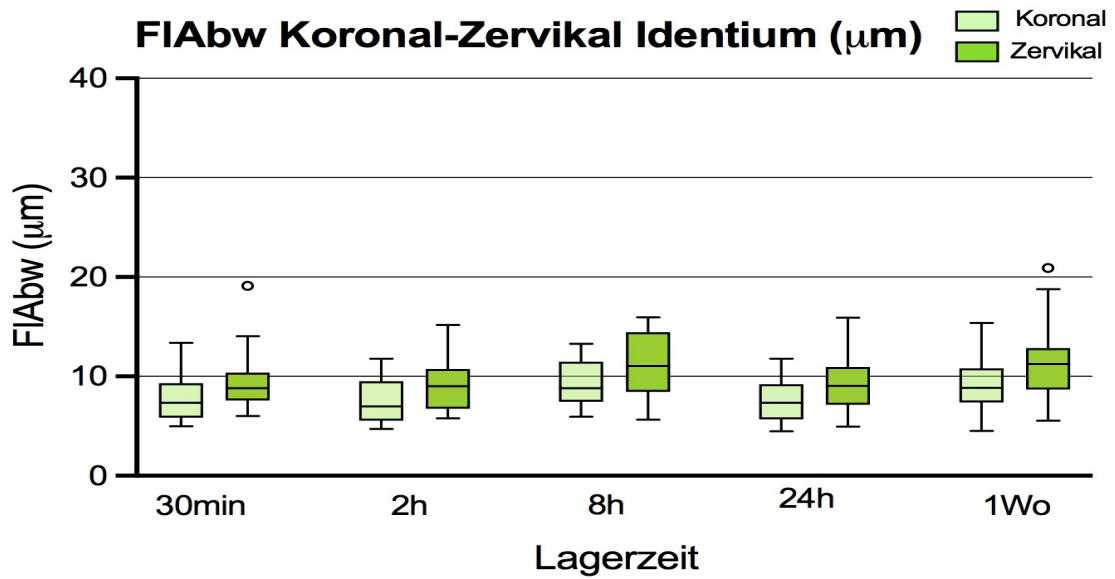


Abbildung 21 Flächenabweichungen „Koronal-Zervikal“ des Materials Identium in Abhängigkeit der Lagerzeit

## 4 Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde die Dimensionsstabilität dreier Abformmaterialien nach fünf verschiedenen Lagerzeiten untersucht. Die insgesamt 150 Abformungen wurden in Gips ausgegossen und zur digitalen Analyse eingescannt. Das zur Abformung verwendete Referenzmodell wurde ebenfalls eingescannt und diente als Referenzkörper. Es wurde ein zweidimensionaler Streckenvergleich und ein dreidimensionaler Flächenvergleich zwischen den Prüfkörpern und dem Referenzkörper durchgeführt.

Die in dieser Studie angewandten Materialien und Methoden sowie die gewonnenen Ergebnisse sollen im folgenden Kapitel diskutiert werden.

### 4.1 Diskussion der Methodik und der Materialien

Im folgenden Abschnitt sollen die Fallzahl, das Studiendesign sowie die für die Versuchsdurchführung verwendeten Materialien und Methoden diskutiert werden

#### 4.1.1 Fallzahl

In dieser Studie wurden drei Abformmaterialien auf ihre Dimensionsstabilität nach fünf unterschiedlichen Lagerzeiten getestet. Mit jedem Material wurden pro Lagerzeit zehn Abdrücke durchgeführt, die in Gips ausgegossen wurden.

Zur Berechnung der Gesamtfallzahl wird folgende Formel verwendet:

$$\begin{array}{ccccccc} \textit{Materialanzahl} & \times & \textit{Lagerzeitanzahl} & \times & \textit{Prüfkörperanzahl} & = & \textit{Gesamtfallzahl} \\ 3 & \times & 5 & \times & 10 & = & 150 \end{array}$$

Die vorliegende Studie hatte somit eine Gesamtfallzahl von 150 Prüfkörpern. Vergleichbare Studien hatten eine ähnliche Anzahl an Prüfkörpern. Aivatzidou et al. testeten beispielsweise fünf elastomere Abformmaterialien zu zwei verschiedenen Lagerzeiten und verwendeten eine Prüfkörperanzahl von 20 Abdrücken ( $5 \times 2 \times 20 = 200$ ) (Aivatzidou, Kamalakis, Emmanouil, Michalakis, & Pissiotis, 2020). Auch Alkurt et al. prüften fünf Materialien mit einer Anzahl von 10 Prüfkörpern pro Material. Diese wurden zu vier verschiedenen Lagerzeiten analysiert ( $5 \times 4 \times 10 = 200$ ) (Alkurt et al., 2016). Chandran et al. untersuchten

## 4 Diskussion

vier Materialien, indem sie nach zwei verschiedenen Lagerzeiten vier Prüfkörper je Material erstellten ( $4 \times 2 \times 4 = 36$ ) (Chandran et al., 2010).

In der vorliegenden Studie wurde die Fallzahl von 150 Prüfkörpern angestrebt, da diese Datenmenge in der Machbarkeit einer Promotionsarbeit lag.

### 4.1.2 Studiendesign

Das Design der Studie als in-vitro Studie sowie die Verwendung des NEM-Modells als Prüfkörper sollen im Folgenden diskutiert werden.

#### *Durchführung der Studie in-vitro*

Wie die in Kapitel 4.1.1 aufgezählten Studien wurde auch die dieser Dissertation zugrunde liegende Studie in-vitro durchgeführt. Die Prüfungen wurden also im Laboratorium und nicht am Patienten vorgenommen. Bei der Studiendurchführung wurde versucht klinische Bedingungen zu simulieren, da diese einen wesentlichen Einflussfaktor für das Ergebnis einer Abformung darstellen (Wenz H-J, 2020; Wöstmann B., 2005, Nov). Zum einen wurde zur Herstellung des NEM-Referenzmodells als Vorlage ein KaVo-Modell mit integrierten Zähnen, vorhandenen anatomischen Merkmalen wie der Poundschen Linie, Speeschen Kurve und Wilson Kurve, sowie dazugehöriger Gingivamaske verwendet (KavoDentalGmbH, 2021). Zum anderen wurde durch Vorwärmen des Referenzmodells die Mundtemperatur nachgeahmt. Andere beeinflussende klinische Parameter, wie beispielsweise der Zustand des oralen Weichgewebes, der Speichel, das Auftreten von Sulkusblutungen oder subgingival liegende Präparationsgrenzen konnten nicht simuliert werden (Luthardt, Koch, Rudolph, & Walter, 2006; Wöstmann B., 2005, Nov). Die dieser Dissertation zugrunde liegende Studie in-vivo durchzuführen wäre nur mit einem bedeutend höheren Aufwand möglich gewesen. Um gleiche Ausgangsbedingungen bei den Abformungen zu haben und weitere Einflussfaktoren auf die Abformung zu minimieren, hätten die Abformungen an ein und demselben Patienten durchgeführt werden müssen. Um eine entsprechend hohe Fallzahl von 150 Abdrücken zu erhalten, hätten an einem Patienten 150 Abdrücke genommen werden müssen. Da der Erfolg einer Abformung auch von der Mitarbeit des Patienten abhängig ist und kleinste



## 4 Diskussion

Bewegungen, eine gereizte Gingiva oder ein erhöhter Speichelfluss diesen beeinflussen können, ist eine derart hohe Fallzahl an einem Patienten jedoch schwer umsetzbar (Boeddinghaus, 2014). Die Abformungen an verschiedenen Patienten durchzuführen wäre möglich gewesen, hätte jedoch die Variablen der Einflüsse auf den Erfolg einer Abformung stark erhöht. In-vivo Studien zeigten sich zudem meist als sehr kostspielig, langwierig und oft wenig aussagekräftig (Siavikis, 2007). Bei In-vitro Untersuchungen können Werkstoffprüfungen einfacher, schneller und effizienter durchgeführt werden. Ein höheres Maß an Standardisierung und Reproduzierbarkeit kann ermöglicht werden (Siavikis, 2007). Laut Siavikis et al. spielen in-vitro-Studien eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von Dentalmaterialien und korrelierten in seiner Studie zufriedenstellend mit den in-vivo Ergebnissen (Siavikis, 2007).

Um eine genaue Analyse des Einflusses der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität einer Abformung zu ermöglichen, wurde die Studie in vitro durchgeführt. Verfahrenstechnische Parameter wurden standardisiert, indem immer die gleichen Materialien, die gleiche Abformtechnik, der gleiche Art von Abformlöffel und der gleiche Modellgips verwendet wurden. Eine Standardisierung erfolgte ebenso bei den weiteren Geräten, Hilfsmitteln und den Arbeitsabläufen. Da alle Abformungen am selben Ort durchgeführt wurden, sind die Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck) in jeder Versuchsreihe für die drei Abformmaterialien und Lagerzeiten als identisch anzusehen. Auf diese Weise sollte die Fehlerstreuung verkleinert werden, sowie die Interpretation der Resultate und der Vergleich mit thematisch ähnlichen Versuchen vereinfacht werden.

### *NEM-Modell als Prüfkörper*

Das Referenzmodell dieser Studie war ein NEM-Modell, welches auf Grundlage eines KaVo-Modells hergestellt wurde. Viele Studien, welche die Dimensionsgenauigkeit oder Dimensionsstabilität von Abformmaterialien testen, werden nach dem Verfahren der American Dental Association (ADA), ADA-Spezifikation Nr.19, durchgeführt (Aalaei Sha, 2015; Eames, Wallace, Suway, & Rogers, 1979; Nassar, Flores-Mir, Heo, & Torrealba, 2017; Rodriguez & Bartlett,

2011). Bei diesem Verfahren wird eine zylindrische Standardmetallscheibe aus Edelstahl verwendet, welche die Durchführung linearer Abstandsmessungen ermöglicht (AmericanDentalAssociation, 1977). Quick et al. wiesen kritisch auf die Einschränkungen dieses Verfahrens hin. Die Ähnlichkeit zu klinischen Abformungen sei zu gering und es könnten keine dreidimensionalen Parameter betrachtet werden (Quick, Holtan, & Ross, 1992). Andere Forscher verwendeten selbst designte Modelle aus Metall oder Acrylharz, die der Form des Zahnbogens entsprachen (Alkurt et al., 2016; Faria et al., 2008; Gonçalves et al., 2011). Diese waren mit Zylinderblöcken (Nassar et al., 2013) oder präparierten Zähnen (Thongthammachat et al., 2002) versehen.

Um eine möglichst realitätsnahe intraorale Situation zu simulieren, wurde in dieser Studie ein NEM-Modell mit nahezu vollständigem Zahnbogen und präparierten Zähnen als Prüfkörper verwendet. Das hierfür als Grundlage dienende KaVo-Modell wurde laut Hersteller nach einer anatomischen Vorlage mit entsprechenden morphologischen Einzelheiten designt (KavoDentalGmbH, 2021). Im Vergleich zu zylindrischen Prüfkörpern waren somit schwierigere abzuformende Strukturen wie Unterschnitte unterhalb des anatomischen Äquators der Zähne, Kavitäten und feine Präparationsgrenzen vorhanden. Das KaVo-Modell selbst konnte nicht als Prüfkörper verwendet werden. Die Kunststoffzähne des KaVo-Modells sind als Schnappzähne konstruiert und weisen eine hohe Mobilität auf, wodurch sie beim Abformen häufig in der Abformung stecken bleiben, was die zu untersuchende Genauigkeit von Abformungen verfälschen könnte. Die Umsetzung in Metall wurde zudem aus Gründen der Stabilität und Festigkeit durchgeführt, da das Modell einer Vielzahl von Abformungen standhalten sollte und somit besser geeignet als das KaVo-Modell oder ein Modell aus Acrylharz war.

### **4.1.3 Die Abformung**

Die Abformung ist ein zentraler und entscheidender Schritt bei der Herstellung von Zahnersatz (Stober et al., 2010). Die verwendeten Abformmaterialien, der Abformlöffel und die Abformtechnik sollen im Folgenden diskutiert werden.

## 4 Diskussion

### 4.1.3.1 Die Abformmaterialien

Der Zahnmedizin stehen eine Vielzahl an Abformmaterialien zur Verfügung. Zu nennen sind vor allem die irreversiblen Hydrokolloide, die Polyvinylsiloxane, die Polyether und auch die Polysulfide. Bei Präzisionsabformungen für prothetische Arbeiten werden hauptsächlich VPS- und PE-Materialien verwendet (Christensen, 1997; Perakis, Belser, & Magne, 2004; Rubel, 2007; Wöstmann B., 2005, Nov). In der vorliegenden Studie wurden drei verschiedene Materialien unterschiedlicher Materialklassen ausgewählt – Impregum Penta H Duosoft (PE), Affinis (VPS) und Identium (VPES). Diese werden besonders für Präzisionsabformungen bei beispielsweise Inlay-, Onlay-, Kronen- und Brückenpräparationen verwendet (3M-ESPE, 2002a; Abformkompendium, 2017, June; KettenbachDental). In Puncto Genauigkeit, Abformqualität und klinischer Handhabung wurden diese drei Materialien in mehreren Studien positiv bewertet (Beier et al., 2007; Coltène/Whaledent, 2015; Enkling et al., 2012; Schaefer, Schmidt, Goebel, & Kuepper, 2012).

Die Dimensionsstabilität in Abhängigkeit der Lagerzeit der Materialien Impregum Penta H Duosoft (Handschuck, 2007; Napp-Selei, 2008; Nave, 2000) und Affinis (Aalaei Sha, 2015; Al-Zarea & Sughaireen, 2011; Alkurt et al., 2016; Franco, da Cunha, & Benetti, 2007; Özdemir & Pekince, 2019) wurde erst in wenigen wissenschaftlichen Arbeiten untersucht. Identium wurde sogar bis dato kaum hinsichtlich der Dimensionsstabilität untersucht. Schaefer et. al analysierten die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit des Materials im Vergleich zu einem VPS und einem PE ohne den Faktor Lagerzeit miteinzubeziehen (Schaefer et al., 2012). Auch Stober et. al. erprobten lediglich die Eigenschaft der Dimensionengenauigkeit des Materials Identium. Der Einfluss der Lagerzeit auf die Genauigkeit der Abformung wurde in dieser Studie nicht untersucht (Stober et al., 2010). Bezüglich der lagerzeitabhängigen Dimensionsstabilität wurde nur das VPES EXA'ence untersucht (Karaaslan et al., 2018; Nassar et al., 2013). Dabei wurden andere Parameter wie beispielsweise andere Lagerzeiten, der Einfluss der Desinfektion sowie andere Mess- und Analysemethoden betrachtet. Die Datenlage, der in dieser Studie untersuchten Materialien bezüglich ihrer Dimensionsstabilität in Abhängigkeit von der Lagerzeit, ist deshalb sehr gering.

## 4 Diskussion

Die untersuchte Kombination der drei Abformmaterialien mit den fünf Lagerzeiten sowie das Vorgehen zur Auswertung der Genauigkeit der Abformungen wurde bisher noch nicht angewandt.

### 4.1.3.2 Der Abformlöffel

Zur Abformung des NEM-Modells wurde ein konfektionierter XS-Rimlock-Löffel verwendet. Aufgrund des Fließverhaltens der Abformmaterialien ist für eine qualitative Abformung ein Abformlöffel als Träger des Abformmaterials ein wichtiges Instrument zur Durchführung der Abformung (Körper, 1993, p. 220). Die Wahl eines zum Kiefer passenden Abformlöffels stellt laut Wöstmann et. al. einen für die Qualität der Abformung entscheidenden Schritt dar (Wöstmann, 1998, p. 89). Das Löffelmaterial soll verwindungssteif und stabil, die Größe des Löffels soll für die zu erfassenden Zähne und abzuformenden Strukturen ausreichend sein. Außerdem soll eine gute Verankerung des Abformmaterials am Löffel beispielsweise durch Perforationen, Retentionsleisten oder Adhäsive erzielt werden (Rehmann & Wöstmann, 2018).

Der verwendete Rimlock-Löffel besteht aus Edelstahl und wird der Anforderung an Stabilität und Verwindungssteifheit gerecht (Rehmann & Wöstmann, 2018; Schwickerath, 1978). Alternativ werden in der Zahnmedizin auch Kunststofflöffel für Abformungen verwendet. Breeding et. al. und Hoyos et. al. wiesen jedoch in ihren Studien auf die besseren physikalischen Eigenschaften und genaueren Ergebnisse konfektionierter Metalllöffel im Vergleich zu Kunststofflöffeln hin (Breeding & Dixon, 2000; Hoyos & Soderholm, 2011). Bei Kunststofflöffeln sei aufgrund deren Flexibilität mit geringerer Stabilität und mehr Deformationen zu rechnen (Rehmann & Wöstmann, 2018).

Eine weitere oft verwendete Löffelart ist der im Labor angefertigte individuelle Löffel, welcher aus lichthärtendem Kunststoff für die jeweilige Patientensituation individuell hergestellt werden kann (Hohmann, 2012). Einige Studien berichten von einer höheren Genauigkeit der Abformung durch individuelle Abformlöffel (Rueda, Sy-Muñoz, Naylor, Goodacre, & Swartz, 1996; Stewardson, 2005). Die Herstellung solcher individueller Löffel ist mit erhöhtem Zeitaufwand und erhöhten Kosten verbunden (Mishra & Chowdhary, 2010). Studien haben außerdem gezeigt, dass die starren und konfektionierten Abformlöffel als

## 4 Diskussion

gleichermaßen genau und als gültige Alternative zu individuellen Abformlöffeln angesehen werden können (Mishra & Chowdhary, 2010; Thongthammachat et al., 2002). Da es sich bei der vorliegenden Studie um eine in-vitro Studie handelte und individuelle anatomische Strukturen aufgrund der Verwendung eines idealen Kavo-Modells als Grundlage für das NEM-Modell ausgeschlossen werden konnten, wurde ein Rimlock-Löffel für die Abformungen verwendet.

### 4.1.3.3 Die Abformtechnik

Das Ergebnis einer Abformung korreliert nicht nur mit den Eigenschaften der verwendeten Abformmaterialien, sondern ist darüber hinaus untrennbar mit der gewählten Abformtechnik verbunden (Al-Zarea & Sughaireen, 2011; Chee & Donovan, 1992; H. Rudolph et al., 2015; Wöstmann B., 2005, Nov). Zu den am häufigsten angewandten Techniken gehören die Monophasenabformung, die Doppelmischabformung und die Korrekturabformung. In der dieser Dissertation zugrunde liegenden Studie wurde die Doppelmischabformung angewandt. Sie ist ein einzeitig-zweiphasiges Abformverfahren und wird in der Zahnmedizin beispielsweise für Präparationen oder Implantate verwendet (Troost, 2014). Voraussetzung an die Abformmaterialien bei dieser Technik ist neben unterschiedlicher Viskosität vor allem die gleiche chemische Herkunft der zwei verwendeten Phasen des Materials (R.Marxkors/H.Meiners/J.Geis-Gerstorfer, 2008).

Studien zeigten die Überlegenheit der Doppelmischtechnik im Vergleich zu anderen Abformtechniken (Finger, Kurokawa, Takahashi, & Komatsu, 2008; Kumari & Nandeeshwar, 2015). Dumfahrt et. al. sowie Körber et. al. schreiben dieser eine nahezu originalgetreue Wiedergabe der Stümpfe zu (Dumfahrt, 1987; Körber, 1993). Auch andere Autoren sprechen von einer sehr hohen Dimensionsgenauigkeit der angefertigten Abdrücke (KulzerGmbH, 2019; Noack T., 2004). Der Vorteil der Doppelmischtechnik liegt vor allem in der einzeitigen Durchführbarkeit, was mit weniger Arbeitsaufwand und höherem Patientenkomfort verbunden ist. Im Vergleich zur Korrekturabformung, welche zu den zweizeitigen Abformungen zählt, treten keine elastischen Deformationen des Vorabformungsmaterials im Löffel auf (R.Marxkors/H.Meiners/J.Geis-Gerstorfer, 2008, p. 26). Laut Kumari et. al. könnten mit der Doppelmischabformung bessere

## 4 Diskussion

Ergebnisse erzielt werden als mit einer Korrekturabformung oder einer Singlemix-Abformung (Kumari & Nandeeshwar, 2015). Bei anderen Autoren, wie Faria et al. und Hassan et. al. schnitt die Doppelmischabformung aufgrund schlechterer Messergebnisse weniger gut ab. Andere Techniken zeigten eine höhere Genauigkeit. (Faria et al., 2008; Hassan, 2006). Ein Nachteil besteht in der Entstehung von Fließnasen, Verziehungen oder Blasen durch den zu geringen Staudruck. Vor allem in subgingivalen Bereichen gilt die Doppelmischabformung deshalb als weniger geeignet (Noack T., 2004; Wöstmann B., 2005, Nov).

Da die Doppelmischabformung laut mehrerer Autoren besonders bei in-vitro Untersuchung exakte Ergebnisse lieferte (Bader F, 1991; Fenske, 2000; H. Rudolph et al., 2015) und in der Praxis aus Zeit- und Materialersparnisgründen häufig ihre Anwendung findet, wurde sie in der vorliegenden Studie angewandt (Samet, Shohat, Livny, & Weiss, 2005).

### 4.1.3.4 Vergleich der konventionellen und digitalen Abformung

Aufgrund des technologischen Fortschritts bekam die konventionelle Abformung in den letzten Jahren eine digitale Konkurrenz (Kihara et al., 2020; Mangano, Shibli, & Fortin, 2016). Neben dem konventionellen Abformungsprinzip gewann die optische Abformung mit intraoralen Scannern und dem CAD/CAM- System an Beliebtheit (Seelbach, Brueckel, & Wöstmann, 2013). Laut Zimmermann et al. wird das digitale Abformen bis 2016 laut Schätzungen nur von rund 5-10% der Zahnärzte genutzt (Zimmermann, 2016, March,17). Hürden stellen die hohen Investitionskosten, der noch unbekannte digitale Arbeitsablauf und die Umstellung von bewährten Techniken auf neue dar. Vorteile der digitalen Abformung sind zum einen die Elimination von Fabrikationsfehlern und Materialeinflüssen, die Materialersparnis sowie die Archivierbarkeit (Kihara et al., 2020; Ragain, Grosko, Raj, Ryan, & Johnston, 2000). (Kihara et al., 2020). Laut Yuzbasioglu et. al. sei das digitale Abformen zeiteffizienter und bei Patienten favorisierter. (Yuzbasioglu, Kurt, Turunc, & Bilir, 2014). Es gibt allerdings zahlreiche Situationen, bei denen die digitale Abformung an ihre Grenzen stößt und eine konventionelle Abformung erforderlich ist. Dazu zählen Sammelabformungen in der Doppelkronentechnik, Funktionsabformungen in der

## 4 Diskussion

Totalprothetik oder mehrspannige, kompliziertere Brücken (Baresel, 2019, Januar,16; Wöstmann Bernd, 2020, June, 16). Vergleiche zwischen der konventionellen und der digitalen Abformmethode zeigen in der Literatur keine eindeutige Antwort. Einerseits werden im Hinblick auf ihre Dimensionsgenauigkeiten in Studien oft keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Methoden nachgewiesen. (Ender & Mehl, 2011; Persson, Odén, Andersson, & Sandborgh-Englund, 2009; Sfondrini et al., 2018). Andere Studien zeigen jedoch eine Überlegenheit der konventionellen Abformmethode auf (Atieh et al., 2017; Ender & Mehl, 2013; Kuhr, 2016; Stober et al., 2010).

Die Digitalisierung der Zahnmedizin schreitet immer weiter voran und kann in vielen Bereichen Arbeitsabläufe vereinfachen (Hirschinger, 2001; Rekow, 2018), dennoch ist in vielen Situationen die konventionelle Abformung die Methode der Wahl. Laut Wenz et al. wird sie ihren Stellenwert noch lange Zeit beibehalten (Wenz H-J, 2020). Die konventionelle Abformung überzeugt weiterhin mit ihrer hohen Genauigkeit und Präzision und ist demnach für den klinischen Gebrauch sehr gut geeignet (Malik, Rodriguez, Weisbloom, & Petridis, 2018; Tomita et al., 2018).

### **4.1.4 Untersuchungsmethode**

Die Dimensionsstabilität und Dimensionsgenauigkeit sind sehr wichtige Eigenschaften von Abformmaterialien, welche in zahlreichen Studien analysiert wurden. Es gibt verschiedene Ansätze Abformungen zu untersuchen, zu digitalisieren und die Daten auszuwerten. Diese sollen im folgenden Abschnitt diskutiert werden.

Um die Dimensionsgenauigkeit von Abformmaterialien zu testen, können Messungen direkt an der Abformung oder indirekt an dem mit der Abformung hergestellten Modell durchgeführt werden (Kotsiomiti et al., 2008). Bei direkten Vermessungen der Abformung oder Vermessungen am Scan der Abformung wären zwar die Einflussfaktoren der Modellherstellung eliminiert, allerdings ist das Vorgehen dieser Messmethode schwieriger auszuführen und wird deshalb selten angewandt. Laut Soganci et. al. sei diese Methode vor allem bei tiefen Abformimpressionen und im Bereich der Präparationsgrenzen nur eingeschränkt anwendbar (Quaas, Rudolph, & Luthardt, 2007; Soganci et al., 2018). Aus

## 4 Diskussion

diesem Grund wird häufiger die indirekte Messmethode genutzt und somit das Gipsmodell als Untersuchungsobjekt herangezogen.

Die indirekt hergestellten Modelle können wiederum entweder über die Ermittlung der Passgenauigkeit der Suprakonstruktion evaluiert werden (Merchant, Herrera, & Dwan, 1987) oder durch das Vermessen der Gipsmodelle und den anschließenden Vergleich mit ihrem Referenzkörper auf ihre Dimensionsgenauigkeit untersucht werden (Persson, Andersson, Odén, & Sandborgh-Englund, 2008). In dieser Studie wurde die Dimensionsgenauigkeit mit der indirekten Messmethode unter Vermessung der Gipsmodelle untersucht. Die Gipsmodellherstellung ist ein wichtiger Teilschritt der Herstellung zahnärztlicher Restaurationen. Die konventionelle Zahnersatzanfertigung erfolgt auf dem Gipsmodell, weshalb dieses sehr dimensionsgenau sein sollte. Neben der Dimensionsänderung des Abformmaterials sollte auch die Volumenänderung beim Abbinden des Superhartgipses miteinberechnet werden (R.Marxkors/H.Meiners/J.Geis-Gerstorfer, 2008). Um den Einfluss des Modellmaterials vernachlässigen zu können, wurden alle Modelle dieser Studie aus dem gleichen Modellmaterial und unter gleichen Bedingungen hergestellt. Der verwendete Gips Fujirock EP ist ein weltweit verbreiteter Gips für die Modellherstellung in der Zahnmedizin (Kioleoglou, Pissiotis, & Konstantinos, 2018). Er wurde bereits in vielen wissenschaftlichen Studien verwendet (Ceyhan, Johnson, & Lepe, 2003; Kioleoglou et al., 2018; Ribeiro et al., 2018). Aus diesen Gründen wurde der bewährte Gips auch in dieser Studie verwendet. Die Gipsmodelle wurden im Anschluss digitalisiert und mit einem Referenzkörperdatensatz zwei- und dreidimensional verglichen.

### **4.1.5 Digitalisierung**

Zum Vergleich der Gipsmodelle mit dem Referenzkörper wurden alle Gipsmodelle mit einem InEosX5-Scanner eingescannt. Dieser Scanner nutzt das Verfahren der optischen Triangulation mit blauem strukturiertem Licht, weshalb er auch als Streifenlichtprojektionsscanner einzuordnen ist. Er ermöglicht Scans mit höchster Genauigkeit und Schnelligkeit. Alexandru et al. wiesen in ihrer Studie bezüglich der Präzision und auch der Genauigkeit auf die Überlegenheit des Scanners InEosX5 hin (Alexandru et al., 2019). InEosX5 weist laut DIN EN



## 4 Diskussion

ISO Überprüfung eine sehr hohe Genauigkeit und hohe Tiefenschärfe auf. Für den Prüfkörper „Brücke“ wurde eine Genauigkeit von  $2,1 \mu\text{m} \pm 2,8 \mu\text{m}$  und für das Inlay eine Genauigkeit von  $1,3 \mu\text{m} \pm 0,4 \mu\text{m}$  beschrieben. Die Fünf-Achs-Robotorkinematik und die optische Triangulation als Scanverfahren ermöglichen eine sehr präzise Erfassung von Modellen (Dentisply Sirona, 2018, September, 15, 2020).

Die Vermessungen der Gipsmodelle und des Referenzkörpers werden in der Literatur mit unterschiedlichen Hilfsmitteln durchgeführt. Diese sind beispielsweise ein Messschieber (Marcinak & Draughn, 1982; Nassar et al., 2013), Messmikroskope (Thongthammachat et al., 2002), Wandertischmikroskope (Clancy et al., 1983; Eames et al., 1979; Williams et al., 1984) oder Dehnungsmesssensoren (Assif, Marshak, & Schmidt, 1996). Diese manuellen Messmethoden sind einfach durchzuführen und nicht kostspielig. Sie werden allerdings auch als nicht sensibel genug, stark variierend je nach Untersucher und daher als fehleranfälliger und eingeschränkt reproduzierbar angesehen (Brosky, Major, DeLong, & Hodges, 2003; Özdemir & Pekince, 2019). Alternativ zum manuellen Messen ist es mithilfe dreidimensionaler Sensortechnologien und computergestützter Messsoftwares möglich, Modelle zu digitalisieren und anschließend zu vermessen (Fleming, Marinho, & Johal, 2011; Sousa, Vasconcelos, Janson, Garib, & Pinzan, 2012). Die digitalisierten Datensätze können zu weiteren computergestützten dreidimensionalen Vermessungen genutzt werden, wodurch mechanische Vermessungsfehler durch den Bediener reduziert werden. Die Technologien zur Erstellung digitalisierter Modelle sowie die dreidimensionalen und computergestützten Analysemöglichkeiten sind sehr unterschiedlich.

Der Prozess der digitalen Konvertierung wurde vor allem durch das Aufkommen der Kegelstrahl-Computertomographie (CBCT) und den Scansystemen vorangetrieben (Fleming et al., 2011). Badawi-Fayad et al. verwendeten die Computertomographie zur dreidimensionalen Analyse kraniofazialer menschlicher Formen, die aus fünf verschiedenen Regionen stammten. Messungen an CT-Scans wurden als sehr präzise und genau befunden (Badawi-

## 4 Diskussion

Fayad & Cabanis, 2007). Alkurt et al. und auch Steinhäuser-Andresen et al. untersuchten in ihren Pilotstudien mithilfe computertomographischer Aufnahmen die Genauigkeit und Dimensionsstabilität von Abformmaterialien in Abhängigkeit von der Lagerzeit (Alkurt et al., 2016; Steinhäuser-Andresen et al., 2011). Im Vergleich zu CT-Scans sind die optischen Verfahren wie Laser- und Streifenlichtscans kosteneffizienter. Das Scannen mittels Laserscannern stellt eine überzeugende Methode zur Modelldigitalisierung dar und wurde in vielen Studien verwendet (Alcan, Ceylanoglu, & Baysal, 2009; Nouri, Massudi, Bagheban, Azimi, & Fereidooni, 2009; Quick et al., 1992; Rodriguez & Bartlett, 2011). Auch Streifenlichtscanner können zur Digitalisierung von Modellen verwendet. Streifenlichtscanner arbeiten mit dem Prinzip der optischen Triangulation unter Verwendung von Lichtmustern. Im Vergleich zu mechanischen Scannern und Laserscannern können mehr Daten in kürzerer Zeit erfasst werden (Bollmann F, 1997). Neben der Nutzung in der Medizin, haben sich Streifenlichtscanner auch in der Industrie, der Forschung und der Archäologie verbreitet und bewährt. Laut Boldt et al. wird der lichtoptischen Digitalisierungsmethode die höchste subjektiv wahrgenommene Genauigkeit zugeschrieben (Boldt, Weinzierl, Hertrich, & Hirschfelder, 2009). Allerdings muss zunächst ein solches Gerät zur Digitalisierung von Gipsmodellen vorhanden sein. In der dieser Dissertation zugrunde liegenden Studie wurde die indirekte Messmethode von Abdrücken angewandt. Gipsmodelle wurden mit den erstellten Abdrücken hergestellt und nachträglich eingescannt. Die dabei gewonnenen Daten wurden im nächsten Schritt digital analysiert.

Digitale Modelle sind eine genaue, effiziente und benutzerfreundliche Alternative (Peluso, Josell, Levine, & Lorei, 2004). Sousa et. al und Quimby et. al bewerteten die Messungen an digitalisierten Modellen als genau, zuverlässig und reproduzierbar (Quimby, Vig, Rashid, & Firestone, 2004; Sousa et al., 2012). Im Allgemeinen kann eine höhere Präzision geboten werden (Gül Amuk, Karsli, & Kurt, 2019; Quick et al., 1992).

### 4.1.6 Analyse

Zur Vermessung und Ermittlung von Form- und Oberflächenveränderung eines Objektes im Vergleich zu einem Referenzobjekt können Softwareprogramme zu dreidimensionalen Analyseverfahren genutzt werden. Auf diese Weise können eingescannte Modelle präzise mit einem Referenzkörper verglichen werden. In dieser Studie wurde die Vermessung und Analyse der eingescannten Modelle mit der Software GOM Inspect 2019 durchgeführt. Zum einen wurden lineare Distanzmessungen zwischen auf dem Referenzmodell angebrachten Kugelmittelpunkten durchgeführt. Diese Methode wird auch als Kugelmessmethode bezeichnet. Die zweidimensionale lineare Abstandsmessungen stellt eine herkömmliche Methodik zur Beurteilung der Dimensionsstabilität von Abformmaterialien dar (Chandran et al., 2010; Thongthammachat et al., 2002). Durch die Vermessung linearer Abstände zwischen ausgewählten Fixpunkten einer Abformung oder eines Modells können Rückschlüsse über die räumlichen Veränderungen gezogen werden. Die Distanzmessungen anderer Studien als Vergleich heranzuziehen ist jedoch nur bedingt möglich. Denn je größer die Distanz zwischen den verwendeten Messpunkten, desto größere Abweichungen können erwartet werden (Thongthammachat et al., 2002). Die Verwendung von Metallkugeln als Referenzpunkte hat sich bereits in anderen Studien als geeignet erwiesen (Kämpe, 2018; Kuhr, 2016). Dabei wurden jedoch unterschiedliche Scanner und nicht Abformmaterialien auf ihre Dimensionsgenauigkeit untersucht, was den Vergleich erschwert.

Zum anderen wurden in dieser Studie die Daten der gescannten Gipsmodelle mit dem Scan des Referenzkörpers überlagert und mithilfe eines dreidimensionalen Flächenvergleichs ausgewertet. Wie bereits Chandran et al. und Luthardt et al. beschrieben, liefern zweidimensionale Messungen kein vollständiges Bild über die Dimensionsänderungen eines Modells. Durch Streckenmessungen können nicht alle Veränderungen registriert werden, während bei dreidimensionalen Flächenüberlagerungen mehr Informationen generiert werden können (Chandran et al., 2010; Luthardt, Kühmstedt, & Walter, 2003). Der dreidimensionale Flächenvergleich, wurde bereits in mehreren Studien

## 4 Diskussion

angewandt (Ender, Attin, & Mehl, 2016; Fenske, 2000; Kuhr, 2016). In dieser Studie wurden die Daten der gescannten Gipsmodelle mit dem Scan des Referenzkörpers überlagert und mithilfe eines dreidimensionalen Flächenvergleichs ausgewertet. GOM Inspect, eine 3D-Analysesoftware, dient zur Form- und Maßanalyse sowie zur 3D-Inspektion von 3D-Datensätzen. Die Institutionen PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin) und NIST (Nationales Institut für Standards und Technologie, Gaithersburg, Maryland, USA) prüften die Genauigkeit von GOM Inspect und zertifizierten sie in die Klasse 1 mit den geringsten Messabweichungen (GOM GmbH). GOM Inspect wurde in der Medizin und Zahnmedizin bereits in zahlreichen anderen Studien als Analysesoftware verwendet. Wölm führte eine virtuelle Testung präformierter Unterkieferosteosyntheseplatten durch. Prototypen dieser Platten wurden mittels der GOM Inspect-Software an Unterkieferstellen angepasst und vermessen (Wölm, 2019). Schenz et al. untersuchten die Genauigkeit des Abutmenttransfers mit aktuellen Abformmaterialien unter Anwendung von GOM Inspect (Schenz, Schwarz, Hörmann, & Crismani, 2020). Höhne et al. nutzen GOM Inspect zur Evaluierung des Lernerfolgs verschiedener Präparationsformen an 3D- gedruckten Zähnen. Es wurde das Verfahren der Flächenüberlagerung mit der Best-fit-Überlagerung angewendet (Höhne & Schmitter, 2020). Kuhr führte eine klinische Studie zur Messung der Dimensionsstabilität digitaler Ganzkieferabformungen durch. Mit GOM Inspect wurden Distanzmessungen, Winkelmessungen und Flächenvergleiche vorgenommen (Kuhr, 2016).

Der Vorteil von 3D-Analysesoftwareprogrammen ist vor allem die Minimierung von Fehlerquellen. Durch Menschenhand verursachte Fehler bei der Auswertung können effektiv reduziert werden.

### 4.2 Diskussion der Ergebnisse

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die Dimensionsstabilität dreier Abformmaterialien in Abhängigkeit von der Lagerzeit zu untersuchen. Hierzu wurden drei Abformmaterialien unterschiedlicher Materialklassen ausgewählt, die zu fünf verschiedenen Lagerzeiten geprüft wurden. Es wurde eine zweidimensionale Streckenanalyse und eine dreidimensionale Flächenanalyse durchgeführt. Zudem wurden bei der dreidimensionalen Analyse die prozentualen Volumenabweichungen ermittelt. Die vorliegende Studie beinhaltet eine neue Kombination von Materialien sowie die Anwendung neuester Methoden wie den Extraoralscanner InEosX5 und die Analysesoftwareprogramme Meshmixer Autodesk und GOM Inspect. Im Folgenden sollen die Ergebnisse diskutiert werden.

#### 4.2.1 Diskussion der Ergebnisse der 2D- und 3D-Auswertungen

In der zahnmedizinischen Fachliteratur findet man einige Studien über die Dimensionsstabilität elastomerer Abformmaterialien in Abhängigkeit von der Lagerzeit. Es werden oft andere Abformmaterialien und andere Methoden angewandt. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sollen mit ihr ähnlichen Studien verglichen und in die Literatur eingeordnet werden.

##### *Affinis*

Das A-Silikon Affinis zeigte bei den 2D-Messungen im Laufe der längeren Lagerzeiten keine höheren Abweichungswerte. Nach einer Woche Lagerzeit wurden die besten Ergebnisse beobachtet. Die Abweichungswerte nach 30 Minuten und nach einer Woche liegen mit  $89,5 \mu\text{m}$  bzw.  $0,08 \%$  und  $53,5 \mu\text{m}$  bzw.  $0,05 \%$  nah aneinander. Das Warten von einer Woche bis zum Ausgießen der Abformung ist im Praxisalltag sehr unrealistisch. Deshalb wird das Ausgießen nach 30 Minuten empfohlen, da es die zweitbesten Ergebnisse lieferte.

Bei der 3D-Analyse zeigte das Abformmaterial Affinis zu den fünf Lagerzeiten die geringsten dimensional Veränderungen. Die Werte liegen zwischen  $7,427 \mu\text{m}$  bzw.  $0,49 \%$  und  $7,897 \mu\text{m}$  bzw.  $0,76 \%$ . Entsprechend der zweidimensionalen Analyse sind keine Veränderungen bei längerer Lagerzeit zu beobachten. Die Stabilität des A-Silikons Affinis ist darauf zurückzuführen, dass bei der

## 4 Diskussion

Polymerisationsreaktion der VPS-Abformmaterialien kein Nebenprodukt gebildet wird, sondern die Vinylgruppen durch einen Platinkatalysator hydrolysiert werden (Donovan & Chee, 2004). Trotz der hydrophilen Eigenschaft von Affinis ist die Wasseraufnahme geringer als bei Polyethern (Kanehira, Finger, & Endo, 2006). Während in der Literatur bereits einige VPS-Materialien (beispielsweise Imprint 3 (Nassar et al., 2013), President (Williams et al., 1984); (Marcinak & Draughn, 1982), Aquasil (Faria et al., 2008); (Garrofé et al., 2011) und andere) auf ihre Dimensionsstabilität untersucht wurden, gibt es über Affinis bezüglich des Einflusses der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität nur wenige Studien. Aalaei Sha et al. wiesen in ihrer Studie eine gute Dimensionsstabilität von Affinis nach, die über einen Zeitraum von einer Woche anhalte. Der Prozentsatz der Dimensionsänderung in Abhängigkeit der Lagerzeit war nicht signifikant und blieb immer unter einem Wert von 0,27 % (Aalaei Sha, 2015). In der Studie von Al-Zarea et al. schnitt Affinis im Vergleich zu drei anderen VPS bezüglich der Genauigkeit am schlechtesten ab, da es den größten prozentualen Unterschied zum Vergleichsmodell aufwies. Die Studie zeigte aber, dass der Zeitfaktor keinen signifikanten Einfluss auf die Genauigkeit der getesteten Abformmaterialien hatte. Es wurde ein Zeitverlauf von 4 Wochen untersucht (Al-Zarea & Sughaireen, 2011). Eine akzeptable Lagerfähigkeit von bis zu 4 Wochen beschrieben auch Gonçalves et al. (Gonçalves et al., 2011). Rodriguez et al. prüften Affinis über einen Zeitraum von 12 Wochen auf Dimensionsänderungen. Bei den Messungen wurde kein signifikanter Unterschied zum Vergleichsmodell festgestellt (Rodriguez & Bartlett, 2011).

Auch in der vorliegenden Studie zeigte sich Affinis als sehr lagerungsstabil. Die beobachteten Dimensionsänderungen waren äußerst gering und zeigten über eine Lagerzeit von bis zu einer Woche keinen Anstieg. Bei der zweidimensionalen Messung wurde nach einer Woche sogar eine geringere mediane Dimensionsabweichung festgestellt als nach den restlichen Zeiten.

Die Dimensionsänderungen waren mit einer prozentualen Dimensionsänderung von 0,05 % bis 0,13 % zweidimensional und 0,49 % bis 0,76 % dreidimensional sehr gering.

## 4 Diskussion

### *Impregum*

Bei den 2D-Messungen zeigte Impregum vergleichsweise größere Dimensionsänderungen als die anderen beiden Abformmaterialien. Nach 30 Minuten lag die mediane Abweichung noch bei 108  $\mu\text{m}$  bzw. 0,095 %, während sie nach einer Woche um das Doppelte auf 216  $\mu\text{m}$  bzw. 0,19 % anstieg. Deshalb ist ein Ausgießen zu früheren Zeitpunkten wie nach 30 Minuten tendenziell empfehlenswert.

Nassar et al. beobachteten bei Impregum Penta Soft nach einer Woche die größte mittlere prozentuale Dimensionsänderung, welche 1,14 % betrug (Nassar et al., 2013). Die maximal gemessene Abweichung des Polyethers Permadyne in der Studie von Thongthammachat et al. betrug 140  $\mu\text{m}$  und wurde nach mehr als 24 Stunden festgestellt (Thongthammachat et al., 2002). Diese höheren Dimensionsänderung bei längeren Lagerzeiten könnten durch die dabei auftretende Instabilität der Polyetherabformmaterialien erklärt werden. Es ist bekannt das Polyether stark hydrophile Materialien sind, welche gerne Wasser aus der Umgebung absorbieren und außerdem anfällig für die Freisetzung flüchtiger Substanzen sind (Donovan & Chee, 2004). Beides könnte für die größeren Abweichungen verantwortlich sein.

Bei den 3D-Messungen wurden ähnliche Ergebnisse beobachtet. Das Abformmaterial Impregum wies bei längeren Lagerzeiten ebenso die größten dimensional Abweichungen auf. Der größte Wert wurde nach einer Woche mit 15,799  $\mu\text{m}$  Flächenabweichung und 1,12 % prozentualer Volumenabweichung beobachtet. Zudem zeigte Impregum auch die größte Streuung der Werte mit 4,784  $\mu\text{m}$ . Diese Ergebnisse stimmen hinsichtlich der Beeinträchtigung der Dimensionsgenauigkeit bei längeren Lagerzeiten mit den Aussagen anderer Studien über diese Materialklasse überein. Diese empfahlen die Abformung innerhalb von 24 Stunden auszugießen, um klinisch zufriedenstellende und überzeugende Ergebnisse zu erhalten (Franco et al., 2007; Nassar et al., 2013). Napp-Selei M. untersuchte Impregum Penta H Duosoft über einen Zeitraum von 2 Tagen. Nach 48 Stunden sei das Material sehr dimensionsstabil und eine Modellherstellung könne stattfinden. In dieser Studie wurde empfohlen ein Ausgießen nach 3 Stunden zu vermeiden, da infolge der Materialexpansion

## 4 Diskussion

ungünstige Modellergebnisse in Form stark verkleinerter Modellstümpfe resultieren könnten (Napp-Selei, 2008). Nave S. untersuchte die Dimensionsänderungen des Impregum Penta H DuoSofts nach 15 Minuten und nach 24 Stunden. Es zeigten sich bei den Messungen keine deutlichen Unterschiede. Die tendenziell vergrößerten Messwerte nach 15 Minuten glichen sich nach 24 Stunden wieder auf Prüfblock-Niveau aus (Nave, 2000).

Die Werte der vorliegenden Studien zeigten tendenziell einen Anstieg der Abweichungswerte von Impregum Penta H DuoSoft nach längeren Lagerzeiten, der sich jedoch nicht als signifikant erweisen konnte. Die Dimensionsänderungen waren mit einer prozentualen Dimensionsänderung von 0,095 % bis 0,19 % zweidimensional und 0,82 % bis 1,12 % dreidimensional allerdings trotzdem gering.

### *Identium*

Auch bei Identium sind bei den 2D-Messungen nach einer Woche Lagerzeit höhere Abweichungswerte als nach 30 min zu beobachten. Der Wert hat sich von 44,5  $\mu\text{m}$  bzw. 0,039 % auf 162  $\mu\text{m}$  bzw. 0,142 % erhöht. Auch hier wird tendenziell das Ausgießen zu den früheren Zeitpunkten empfohlen. Die größeren Abweichungswerten bei längeren Lagerzeiten könnten darauf zurückgeführt werden, dass Identium als Hybridmaterial neben dem Silikonanteil auch aus Polyether besteht (KettenbachDental, 2019). Beim Vergleich der Dimensionsstabilität der drei Abformmaterialien zeigte Identium die besten Ergebnisse. Der Unterschied zu Affinis und auch zu Impregum ist als gering einzustufen.

Bei den 3D-Messungen schnitt Identium etwas schlechter als das A-Silikon Affinis ab, war aber besser als der Polyether Impregum. Die Werte zu den früheren Ausgusszeitpunkten wie 2 Stunden und 30 Minuten liegen sehr nah an den Werten von Affinis. Über einen längeren Lagerzeitraum wie nach einer Woche lässt sich bei Identium entsprechend der 2D-Analyse ein leichter Anstieg der Abweichungswerte beobachten. Zwischen der besten Lagerzeit von 2 Stunden und der schlechtesten Lagerzeit von einer Woche liegen 1,97  $\mu\text{m}$ . Bei



## 4 Diskussion

Affinis dagegen liegen zwischen dem medianen Maximal- und dem Minimalwert 0,47  $\mu\text{m}$ .

VPES-Materialien gehören in der Zahnmedizin zu den neueren Abformmaterialien, weswegen in der Literatur im Vergleich zu den VPS über sie nur wenig zu finden ist.

Nach Enkling et al. erwies sich Identium im direkten Vergleich zu Polyethern als ebenbürtig und in manchen Parametern sogar überlegen (Enkling et al., 2012; ZahnmedizinReport, 2009, August). Laut einer Untersuchung der Universität Jena zeigte Identium eine signifikant höhere Dimensionsstabilität als der Polyether (Schaefer et al., 2012). Da bis dato nach unserem besten Wissenstand das Material Identium in keiner Studie hinsichtlich des Einflusses der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität erprobt wurde, können zum Vergleich nur die Untersuchungen des VPES EXA'lence betrachtet werden.

Nassar et al. untersuchten in ihrer Studie das Vinylpolysiloxanether EXA'lence 370 und beschrieben eine minimale mittlere prozentuale Dimensionsänderung der Messungen zu allen Ausgusszeiten von  $\leq 0,34\%$ . Das VPSE zeigte sich für ein sofortiges Ausgießen als genauestes Material. Auch nach einem Tag und einer Woche war es trotz leicht steigender prozentualer Dimensionsänderung sehr maßgenau. Dies bestätigte sich nach zwei Wochen allerdings nicht mehr, weshalb empfohlen wurde, VPES vor Ablauf einer zweiwöchigen Zeitspanne auszugießen (Nassar et al., 2013). In einer späteren Studie von Nassar et al. wurde allerdings eine gute Formstabilität von des VPES über eine Lagerzeit von 2 Wochen angegeben. Es erfuhr sogar eine geringere Dimensionsänderung als das VPS (Nassar & Chow, 2015).

In dieser Studie wurde Identium in einem Lagerzeitraum von einer Woche untersucht. Es zeigten sich zwischen 30 Minuten und einer Woche in der Tendenz gesehen ein Anstieg der medianen Dimensionsabweichungen. Bei der Streckenanalyse zeigte sich dies auch in den Signifikanzen, während bei der Flächenanalyse keine signifikanten Unterschiede zwischen der kürzeren und längeren Lagerzeit festgestellt wurden. Die Dimensionsänderungen waren mit einer prozentualen Dimensionsänderung von 0,039 % bis 0,142 % zweidimensional und 0,6 % bis 0,8 % dreidimensional sehr gering.

### *Einfluss der Abformungsstelle auf die Dimensionsstabilität*

Bei der Untersuchung des Einflusses der Abformungsstelle auf die Dimensionsstabilität wurden bei allen Materialien nahezu zu allen Lagerzeiten koronal bessere Ergebnisse beobachtet als zervikal. Der Unterschied ist jedoch sehr gering und kann daher vernachlässigt werden. Es könnte jedoch geschlussfolgert werden, dass es bei filigraneren, unebeneren und komplizierteren Flächen zu größeren Abweichungen kommen kann als bei glatten Flächen. Ein möglicher Grund der minimalen zervikalen Ungenauigkeit könnte ein unsauberes Umspritzen der Präparationsgrenze mit der dünnfließenden Abformmasse gewesen sein, sowie ein zu geringer Staudruck beim Abformen durch die Anwendung der Doppelmischmethode. Wöstmann et. al. empfehlen zur besseren Darstellung der Präparationsgrenze die Korrekturabformung, da sowohl die Doppelmischmethode als auch die Einphasenabformung wenig Staudruck aufwiesen (Wöstmann B., 2005, Nov).

### **4.2.2 Signifikanz und klinische Relevanz der Ergebnisse**

In der vorliegenden Studie wurden bei den untersuchten Parametern wie der Lagerzeit, der Materialart, dem Ort und der Größe der Abformungsstelle vereinzelt signifikante Unterschiede festgestellt. Die für die fünf Lagerzeiträume ermittelten Abweichungswerte aller drei Abformmaterialien liegen im Mikrometerbereich und können daher als äußerst gering betrachtet werden.

Bei einigen Autoren wird angenommen, dass eine Abweichung von  $\geq 100 \mu\text{m}$  bei zahnärztlichen Restaurationen zu Passungenauigkeiten führen könnte (Ender et al., 2016; Müller, Ender, Joda, & Katsoulis, 2016). Dieser Wert wird entweder ohne Quellenangabe angenommen oder durch eine Studie zur Passung von Keramik-Kronen begründet (Belser, MacEntee, & Richter, 1985). Es kann vermutet werden, dass der Wert sich auf die Randschlussgenauigkeit von Kronen und Brücken bezieht. Laut der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) ist ein Randspalt von  $\leq 100 \mu\text{m}$  als akzeptabel anzusehen (Wichmann, 1999). Ob sich dieser Grenzwert in toto auf die zwei- oder dreidimensionalen Abweichungswerte der präparierten Stümpfe übertragen lässt, ist als kritisch zu sehen. Vor allem für die linearen Streckenmessungen ist

## 4 Diskussion

der Wert der Randschlussgenauigkeit als wenig aussagekräftig anzusehen. Ginge man jedoch von 100  $\mu\text{m}$  als Grenzwert bei der dreidimensionalen Flächenanalyse aus, ließe sich ableiten, dass alle Werte der drei getesteten Materialien deutlich unter diesem Wert liegen.

Um die Daten besser vergleichen zu können, ist eine Angabe der Abweichungswerte als prozentuale Abweichung sinnvoll, was jedoch nicht von allen Autoren, die ebenfalls die Dimensionsstabilität von Abformmaterialien untersuchten, berücksichtigt wurde. In dieser Studie wurden sowohl die zweidimensionalen als auch die dreidimensionalen Abweichungswerte in die prozentualen Abweichungen umgerechnet. Nach der DIN EN ISO 4823, welche im März 2021 neu verfasst wurde, darf die lineare Maßänderung elastomerer Abformmaterialien den Wert von 1,5 % nicht überschreiten. In der vorliegenden Studie wurde zwar nicht der dort beschriebene Probekörper oder die Prüfmethode verwendet, es handelt sich aber bei der zweidimensionalen Streckenmessung um ein lineares Messverfahren. Daher soll die prozentuale lineare Dimensionsänderung der DIN EN ISO 4823 als Vergleichs- und Einordnungswert der Ergebnisse der zweidimensionalen Messungen dieser Studie herangezogen werden. Die medianen prozentualen Abweichungen der zweidimensionalen Analyse lagen zwischen 0,039 % und 0,190 % und damit innerhalb der Toleranzgrenze der DIN-Norm. Die Werte sind äußerst gering und weit von der maximalen prozentualen linearen Dimensionsänderung von 1,5 % entfernt. Die Ergebnisse sind somit als klinisch nicht relevant für zahnärztliche Restaurationen zu sehen. Längere Lagerzeiten, wie sie im Rahmen der vorliegenden Studie geprüft wurden, sind für die getesteten Abformmaterialien somit unbedenklich.

Da durch die Streckenanalyse die Dimensionsänderungen vor allem in der horizontalen Ebene untersucht werden, kann in der Tendenz gesehen eine Empfehlung für die Herstellung großer verbundener zahnärztlicher Arbeiten wie längerspannige Brücken oder Teleskoparbeiten gegeben werden. Das Abformmaterial Identium zeigt die besten Ergebnisse und sollte tendenziell zu den früheren Zeitpunkten ausgegossen werden. Die Verwendung von Affinis oder Impregum ist gleichermaßen zufriedenstellend.

## 4 Diskussion

Auch die Abweichungswerte der dreidimensionalen Flächenanalyse sind mit 7,427  $\mu\text{m}$  bis 15,799  $\mu\text{m}$  äußerst gering. Die medianen prozentualen Volumenabweichungen liegen zwischen 0,49% und 1,12%. Die DIN EN ISO 4823 ist für lineare Maßänderungen vorgesehen. Da jedoch die prozentualen linearen Dimensionsänderungen dieser Studie deutlich unter der Toleranzgrenze von maximal 1,5 % liegen und auch die medianen prozentualen Volumenabweichungen diese Grenze nicht überschreiten, sind auch die Abweichungen der dreidimensionalen Analyse als klinisch nicht relevant einzustufen. Da bei der dreidimensionalen Analyse keine längere Spanne, sondern die Stümpfe einzeln untersucht wurden, kann eine Empfehlung für die Herstellung von kleineren Arbeiten, wie Kronen und Brücken gegeben werden. Das Abformmaterial Affinis wird empfohlen und kann unabhängig von der Lagerzeit ausgegossen werden. Trotz tendenziell leicht höherer Abweichungswerte weisen auch Identium und Impregum unabhängig von der Lagerzeit zufriedenstellende Ergebnisse auf und werden gleichermaßen empfohlen.

## 5 Zusammenfassung

Drei Abformmaterialien verschiedener Materialklassen – Affinis, Impregum Penta DuoSoft und Identium – wurden auf ihre Dimensionsstabilität in Abhängigkeit der Lagerzeit untersucht. Als Referenzkörper diente ein aus Nichtedelmetall hergestelltes Modell, welches präparierte Zahnstümpfe und Messkugeln enthielt. Dieses Modell wurde mit den drei Materialien jeweils 50-mal abgeformt. Die Abformungen wurden nach fünf verschiedenen Lagerzeiten – 30 Minuten, 2 Stunden, 8 Stunden, 24 Stunden und eine Woche – mit Superhartgips ausgegossen. Nach der Digitalisierung des Referenzkörpers und der Gipsmodelle erfolgte die zweidimensionale Auswertung der ermittelten Streckenabweichungen und die dreidimensionale Auswertung der ermittelten Flächen- und Volumenabweichungen. Es wurde der Einfluss der Lagerzeit auf die Dimensionsstabilität der drei Abformmaterialien untersucht, ein Vergleich der drei Materialien untereinander erstellt und zudem der Einfluss der Abformungsstelle – koronal oder zervikal – auf die Dimensionsstabilität untersucht.

Affinis zeigte sowohl bei den 2D-Messungen als auch bei den 3D-Messungen äußerst geringe Abweichungswerte. Es ist kein Anstieg der Dimensionsänderung über eine Lagerzeit von bis zu einer Woche zu beobachten. Die Dimensionsänderungen waren mit einer prozentualen Dimensionsänderung von 0,05 % bis 0,13 % zweidimensional und 0,49 % bis 0,76 % dreidimensional sehr gering.

Impregum zeigte sowohl bei den 2D-Messungen als auch bei den 3D-Messungen vergleichsweise größere Dimensionsänderungen als die anderen beiden Abformmaterialien. Es ist tendenziell ein Anstieg der Abweichungswerte bei längeren Lagerzeiten von bis zu einer Woche zu beobachten. Die Dimensionsänderungen waren mit einer prozentualen Dimensionsänderung von 0,095 % bis 0,19 % zweidimensional und 0,82 % bis 1,12 % dreidimensional allerdings trotzdem gering.

Identium zeigte sowohl bei den 2D-Messungen als auch bei den 3D-Messungen äußerst geringe Abweichungswerte. Es zeigten sich bei längeren Lagerzeiten tendenziell leicht höhere Abweichungswerte als bei den kürzeren Lagerzeiten.

## 5 Zusammenfassung

Die Dimensionsänderungen waren mit einer prozentualen Dimensionsänderung von 0,039 % bis 0,142 % zweidimensional und 0,6 % bis 0,8 % dreidimensional sehr gering.

Beim Vergleich der Dimensionsstabilitäten der drei Abformmaterialien zeigte Impregum stets die höchsten Abweichungswerte, während Affinis und Identium vergleichsweise geringere Werte aufwiesen und nah aneinander lagen.

Bei der Untersuchung des Einflusses der Abformungsstelle auf die Dimensionsstabilität wurden bei allen Materialien nahezu zu allen Lagerzeiten koronal bessere Ergebnisse beobachtet als zervikal. Der Unterschied ist jedoch sehr gering und kann daher vernachlässigt werden.

Summa summarum lagen alle in dieser Studie gemessenen medianen Abweichungswerte im Mikrometerbereich und können als sehr gering angesehen werden. In Anlehnung an die DIN EN ISO 4823 lagen die Werte innerhalb der Toleranzgrenze der maximalen prozentualen linearen Dimensionsänderung von 1,5 %. Die statistisch signifikanten Unterschiede sind als klinisch ohne Relevanz einzuordnen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass bei einer längeren Lagerung von bis zu einer Woche keine Nachteile für die Dimensionen der drei getesteten Abformmaterialien entstehen. Alle Materialien sind genau und formstabil und hinsichtlich ihrer Dimensionsstabilität bei einer Lagerzeit von bis zu einer Woche zufriedenstellend. Bei Lagerzeiten von mehreren Stunden könnten bei Polyethermaterialien eher Probleme auftreten als bei Silikonmaterialien oder VPES-Materialien. Längere Lagerzeiten sind im normalen Praxisbetrieb jedoch eher selten und können durch einfache organisatorische Maßnahmen vermieden werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- 3M ESPE. (2005). Impregum™ –Wie ein Fisch im Wasser! Retrieved 20.12.2021 from [https://multimedia.3m.com/mws/media/596581O/impregum-family-folder.pdf?&fn=Impregum\\_Family\\_Folder\\_D.pdf](https://multimedia.3m.com/mws/media/596581O/impregum-family-folder.pdf?&fn=Impregum_Family_Folder_D.pdf)
- 3M-ESPE. (2002a). 3M ESPE Technisches Produkt Profil (3M ESPE Impregum Penta Soft, 3M ESPE Impregum Penta H DuoSoft, 3M ESPE Impregum Penta L DuoSoft, 3M ESPE Impregum Garant LDuoSoft). Retrieved 12.12.2021 from <https://multimedia.3m.com/mws/media/205463O/impregumtm-duosofttm-technical-profile.pdf>
- 3M-ESPE. (2002b). Technisches Produkt Profil Retrieved 21.12.2021 from <https://multimedia.3m.com/mws/media/205463O/impregumtm-duosofttm-technical-profile.pdf>
- Aalaei Sha, R. A. A., Mansoorali MRb, Gholami Fa. (2015). Dimensional Stability of Two Polyvinyl Siloxane Impression Materials in Different Time Intervals. *Journal of Dental Biomaterials*.
- Abformkompendium, W. s. B. P., John. (2017, June). Präzisionsabformungen – Ein Leitfaden für Theorie und Praxis. Retrieved 02.11.2021 from <https://multimedia.3m.com/mws/media/604457O/3m-health-care-academy-impressioning-compendium-german.pdf>
- Aivatzydou, K., Kamalakis, S. N., Emmanouil, I., Michalakis, K., & Pissiotis, A. L. (2020). Comparative Study of Dimensional Stability and Detail Reproduction of Reformulated and Nonreformulated Elastomeric Impression Materials. *J Prosthodont*. doi:10.1111/jopr.13248
- Al-Zarea, B. K., & Sughaireen, M. G. (2011). Comparative analysis of dimensional precision of different silicone impression materials. *J Contemp Dent Pract*, 12(3), 208-215. doi:10.5005/jp-journals-10024-1036
- Alcan, T., Ceylanoglu, C., & Baysal, B. (2009). The relationship between digital model accuracy and time-dependent deformation of alginate impressions. *Angle Orthod*, 79(1), 30-36. doi:10.2319/100307-475.1
- Alexandru, B., Manole, M., Campian, R.-S., Sinescu, C., & Baciu, S. (2019). In vitro Comparison of Accuracy of Two Scanners Used in Dental Medicine. *Revista de Chimie*, 70, 2344-2346. doi:10.37358/RC.19.7.7336
- Alkurt, M., Yeşil Duymus, Z., & Dedeoglu, N. (2016). Investigation of the effects of storage time on the dimensional accuracy of impression materials using cone beam computed tomography. *J Adv Prosthodont*, 8(5), 380-387. doi:10.4047/jap.2016.8.5.380

- American Dental Association. (1977). Revised American Dental Association Specification no. 19 for Non-aqueous, Elastomeric Dental Impression Materials. *Journal of the American Dental Association*, 94(4), 733-741. doi:10.14219/jada.archive.1977.0334
- Arnetz, P. D. G. (2010, June, 8). Optische versus konventionelle Abformung – wie präzise sind die Methoden? – Teil 1. Retrieved 17.12.2020 from [https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/digitale-praxis/story/optische-versus-konventionelle-abformung--wie-precise-sind-die-methoden--teil-1\\_\\_242.html](https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/digitale-praxis/story/optische-versus-konventionelle-abformung--wie-precise-sind-die-methoden--teil-1__242.html)
- Assif, D., Marshak, B., & Schmidt, A. (1996). Accuracy of implant impression techniques. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 11(2), 216-222.
- Atieh, M. A., Ritter, A. V., Ko, C. C., & Duqum, I. (2017). Accuracy evaluation of intraoral optical impressions: A clinical study using a reference appliance. *J Prosthet Dent*, 118(3), 400-405. doi:10.1016/j.prosdent.2016.10.022
- Badawi-Fayad, J., & Cabanis, E. A. (2007). Three-dimensional Procrustes analysis of modern human craniofacial form. *Anat Rec (Hoboken)*, 290(3), 268-276. doi:10.1002/ar.20442
- Bader F, S. J. (1991). Benetzbarkeit und Wiedergabegenauigkeit von Abformmassen. *Dtsch Zahnärztl Z* 46: 346-348.
- Baresel, D. I. (2019, Januar, 16). Durchblick im Dschungel der Intraoralscanner. Retrieved 17.12.2021 from [https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/allgemeine-zahnheilkunde/story/durchblick-im-dschungel-der-intraoralscanner\\_\\_7148.html](https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/allgemeine-zahnheilkunde/story/durchblick-im-dschungel-der-intraoralscanner__7148.html)
- Beck-Mußotter, D. J. (2019; Januar, 22). Neuer Werkstoff für die Abformung vereint das Beste aus 2 Welten. Retrieved 15.01.2022 from [https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/zahnerhaltung/story/neuer-werkstoff-fuer-die-abformung-vereint-das-beste-aus-2-welten\\_\\_7166.html](https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/zahnerhaltung/story/neuer-werkstoff-fuer-die-abformung-vereint-das-beste-aus-2-welten__7166.html)
- Beier, U. S., Grunert, I., Kulmer, S., & Dumfahrt, H. (2007). Quality of impressions using hydrophilic polyvinyl siloxane in a clinical study of 249 patients. *Int J Prosthodont*, 20(3), 270-274.
- Bell, J. W., & von Fraunhofer, J. A. (1975). The handling of elastomeric impression materials: a review. *J Dent*, 3(5), 229-237. doi:10.1016/0300-5712(75)90129-3
- Belser, U. C., MacEntee, M. I., & Richter, W. A. (1985). Fit of three porcelain-fused-to-metal marginal designs in vivo: a scanning electron microscope study. *J Prosthet Dent*, 53(1), 24-29. doi:10.1016/0022-3913(85)90058-7
- Blatz, M. B., Sadan, A., Burgess, J. O., Mercante, D., & Hoist, S. (2005). Selected characteristics of a new polyvinyl siloxane impression material-- a randomized clinical trial. *Quintessence Int*, 36(2), 97-104.



- Boeddinghaus, M. (2014). *Vergleichsstudie zur Genauigkeit von intraoralen optischen Abformungen und einem konventionellen Abformmaterial -Eine in-vivo Studie -*. Dissertation. Gießen.
- Boldt, F., Weinzierl, C., Hertrich, K., & Hirschfelder, U. (2009). Comparison of the spatial landmark scatter of various 3D digitalization methods. *J Orofac Orthop*, 70(3), 247-263. doi:10.1007/s00056-009-0902-2
- Bollmann F, D. D., Koslow J, Saulin V, and von Bally G. (1997). 3D-Koordinatenerfassung mittels computerunterstützter Profilometrie für zahnmedizinische Modellanalysen. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 105-108.
- Boulton, J. L., Gage, J. P., Vincent, P. F., & Basford, K. E. (1996). A laboratory study of dimensional changes for three elastomeric impression materials using custom and stock trays. *Aust Dent J*, 41(6), 398-404. doi:10.1111/j.1834-7819.1996.tb06026.x
- Breeding, L. C., & Dixon, D. L. (2000). Accuracy of casts generated from dual-arch impressions. *J Prosthet Dent*, 84(4), 403-407. doi:10.1067/mpr.2000.110266
- Brosky, M. E., Major, R. J., DeLong, R., & Hodges, J. S. (2003). Evaluation of dental arch reproduction using three-dimensional optical digitization. *J Prosthet Dent*, 90(5), 434-440. doi:10.1016/j.prosdent.2003.08.021
- Ceyhan, J. A., Johnson, G. H., & Lepe, X. (2003). 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*, 90(2), 143-149. doi:10.1016/s0022-3913(03)00276-2
- Chandran, D. T., Jagger, D. C., Jagger, R. G., & Barbour, M. E. (2010). Two- and three-dimensional accuracy of dental impression materials: effects of storage time and moisture contamination. *Biomed Mater Eng*, 20(5), 243-249. doi:10.3233/bme-2010-0638
- Chee, W. W., & Donovan, T. E. (1992). Polyvinyl siloxane impression materials: a review of properties and techniques. *J Prosthet Dent*, 68(5), 728-732. doi:10.1016/0022-3913(92)90192-d
- Christensen, G. J. (1984). Impression materials for complete and partial denture prosthodontics. *Dent Clin North Am*, 28(2), 223-237.
- Christensen, G. J. (1997). What category of impression material is best for your practice? *J Am Dent Assoc*, 128(7), 1026-1028. doi:10.14219/jada.archive.1997.0312
- Christian Rehse, G. (2004). Dentalgips- Ein unersetzbarer Modellwerkstoff. Retrieved 12.01.2022 from [https://media.zwp-online.info/archiv/pub/pim/dz/2004/dz0204/dz0204\\_058\\_060\\_rehse.pdf](https://media.zwp-online.info/archiv/pub/pim/dz/2004/dz0204/dz0204_058_060_rehse.pdf)

## 6 Literaturverzeichnis

- Clancy, J. M., Scandrett, F. R., & Ettinger, R. L. (1983). Long-term dimensional stability of three current elastomers. *J Oral Rehabil*, 10(4), 325-333. doi:10.1111/j.1365-2842.1983.tb00127.x
- Coltène/Whaledent. (2015). Affinis- The art of Impressions.
- Corso, M., Abanomy, A., Di Canzio, J., Zurakowski, D., & Morgano, S. M. (1998). The effect of temperature changes on the dimensional stability of polyvinyl siloxane and polyether impression materials. *J Prosthet Dent*, 79(6), 626-631. doi:10.1016/s0022-3913(98)70068-x
- Craig, R. G. P. J. M. W. J. C. (2006). *Zahnärztliche Werkstoffe*. München: Elsevier GmbH Urban&Fischer
- Dentisply Sirona. (2018, September, 15). Präzisionsscanner inEos X5 feiert fünften Geburtstag. Retrieved 27.12.2021 from <https://www.zm-online.de/markt/news/dentsply-sirona/praezisionsscanner-ineos-x5-feiert-fuenften-geburtstag/>
- Dentisply Sirona. (2020). inEos X5 Scannen mit inLab. Retrieved 27.12.2021 from <https://www.dentsplysirona.com/de-de/entdecken/lab/cad-cam-fuer-das-labor/scannen.html>
- Diaz-Bone, R. (2018). *Statistik für Soziologen*: UTB GmbH.
- DIN EN ISO 4823:2021-06. (2021, June). Zahnheilkunde - Elastomere Abform- und Bissregistriermaterialien. Retrieved 26.11.2021 from <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-4823/229857450>
- Donovan, T. E., & Chee, W. W. (2004). A review of contemporary impression materials and techniques. *Dent Clin North Am*, 48(2), vi-vii, 445-470. doi:10.1016/j.cden.2003.12.014
- Dumfahrt, H., Schäffer, H. . (1987). Zum Dimensionsverhalten bei verschiedenen Abformverfahren mit gummielastischen Massen in der Inlay-, Kronen- und Brückentechnik. *Z Stomatol* 84, 231-239.
- Eames, W. B., Wallace, S. W., Suway, N. B., & Rogers, L. B. (1979). Accuracy and dimensional stability of elastomeric impression materials. *J Prosthet Dent*, 42(2), 159-162. doi:10.1016/0022-3913(79)90166-5
- Eichner, K. (1996). *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung* Heidelberg: Hüthig Verlag
- Ender, A., Attin, T., & Mehl, A. (2016). In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent*, 115(3), 313-320. doi:10.1016/j.prosdent.2015.09.011
- Ender, A., & Mehl, A. (2011). Full arch scans: conventional versus digital impressions--an in-vitro study. *Int J Comput Dent*, 14(1), 11-21.

- Ender, A., & Mehl, A. (2013). Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. *J Prosthet Dent*, 109(2), 121-128. doi:10.1016/s0022-3913(13)60028-1
- Enkling, N., Bayer, S., Jöhren, P., & Mericske-Stern, R. (2012). Vinylsiloxanether: a new impression material. Clinical study of implant impressions with vinylsiloxanether versus polyether materials. *Clin Implant Dent Relat Res*, 14(1), 144-151. doi:10.1111/j.1708-8208.2009.00240.x
- Faria, A. C., Rodrigues, R. C., Macedo, A. P., Mattos Mda, G., & Ribeiro, R. F. (2008). Accuracy of stone casts obtained by different impression materials. *Braz Oral Res*, 22(4), 293-298. doi:10.1590/s1806-83242008000400002
- Fenske, C. (2000). The influence of five impression techniques on the dimensional accuracy of master models. *Braz Dent J*, 11(1), 19-27.
- Finger, W. J., Kurokawa, R., Takahashi, H., & Komatsu, M. (2008). Sulcus reproduction with elastomeric impression materials: a new in vitro testing method. *Dent Mater*, 24(12), 1655-1660. doi:10.1016/j.dental.2008.03.025
- Fleming, P. S., Marinho, V., & Johal, A. (2011). Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res*, 14(1), 1-16. doi:10.1111/j.1601-6343.2010.01503.x
- Formlabs. (2021). Wie Sie STL-Dateien mit den 5 besten (kostenlosen) STL-Reparaturtools für den 3D-Druck reparieren. Retrieved 19.12.2021 from <https://formlabs.com/de/blog/besten-stl-reparaturtools/>
- Formlabs Inc. Artikel. Retrieved 05.06 from <https://support.formlabs.com/s/article/Isopropyl-Alcohol-IPA?language=de>
- Franco, E. B., da Cunha, L. F., & Benetti, A. R. (2007). Effect of storage period on the accuracy of elastomeric impressions. *J Appl Oral Sci*, 15(3), 195-198. doi:10.1590/s1678-77572007000300008
- Garrofé, A. B., Ferrari, B. A., Picca, M., & Kaplan, A. E. (2011). Linear dimensional stability of elastomeric impression materials over time. *Acta Odontol Latinoam*, 24(3), 289-294.
- Gayal, G. (2014). History of Impressions, Impression Materials and Impression Techniques in Complete Dentures. *J Adv Med Dent Scie*(2 (2)), 116-119.
- GCEurope. (2016 May,28). Die Superhartgipse von GC. Retrieved 12.01.2022 from [https://cdn.gceurope.com/v1/PID/fujirock/leaflet/LFL\\_Fujirock\\_EP\\_de.pdf](https://cdn.gceurope.com/v1/PID/fujirock/leaflet/LFL_Fujirock_EP_de.pdf)

## 6 Literaturverzeichnis

- GCEuropeA.G. (2020). Fujirock EP- Superhartgips vom Typ 4. Retrieved 12.01.2022 from <https://europe.gc.dental/de-DE/products/fujirock>
- GOMGmbH. GOM Inspect Suite. Retrieved 03.01.2022 from <https://www.gom.com/de/3d-software/gom-inspect-suite.html>
- Gonçalves, F. S., Popoff, D. A., Castro, C. D., Silva, G. C., Magalhães, C. S., & Moreira, A. N. (2011). Dimensional stability of elastomeric impression materials: a critical review of the literature. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 19(4), 163-166.
- Gül Amuk, N., Karsli, E., & Kurt, G. (2019). Comparison of dental measurements between conventional plaster models, digital models obtained by impression scanning and plaster model scanning. *Int Orthod*, 17(1), 151-158. doi:10.1016/j.ortho.2019.01.014
- Handschuck, N. m. d. (2007). *Werkstoffkundlich vergleichende Untersuchung an Abformmassen auf der Basis von Polyethern, additionsvernetzenden und kondensationsvernetzenden Silikonen*.
- Hassan, A. K. (2006). Dimensional accuracy of 3 silicone dental impression materials. *East Mediterr Health J*, 12(5), 632-636.
- Hirschinger, R. (2001). Digital dentistry: information technology for today's (and tomorrow's) dental practice. *J Calif Dent Assoc*, 29(3), 215-221, 223-215.
- Hohmann, A. H. W. (2012). *Lehrbuch der Zahntechnik*. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH.
- Höhne, C., & Schmitter, M. (2020). CAD/CAM supported production process of standardized enamel and dentin tooth discs with different thicknesses for in vitro material testing. *Dent Mater*, 36(5), e143-e148. doi:10.1016/j.dental.2020.01.021
- Hoyos, A., & Soderholm, K. J. (2011). Influence of tray rigidity and impression technique on accuracy of polyvinyl siloxane impressions. *Int J Prosthodont*, 24(1), 49-54.
- International Organization for Standardization-ISO. (1994). Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results. Part 1: General Principles and Definitions. Retrieved 01.01.2022 from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5725:-1:ed-1:v1:en>
- Jordan, A. R., & Micheelis, W. (Eds.). (2016). *Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V)*. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag DfV.
- Kambhampati, S., Subhash, V., Vijay, C., & Das, A. (2014). Effect of temperature changes on the dimensional stability of elastomeric impression materials. *J Int Oral Health*, 6(1), 12-19.

- Kämpe, H. S. (2018). *Studie zur Dimensionsgenauigkeit digitaler Abformungen von Implantaten mittels intraoraler Scansysteme*. Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen.
- Kanehira, M., Finger, W. J., & Endo, T. (2006). Volatilization of components from and water absorption of polyether impressions. *J Dent*, *34*(2), 134-138. doi:10.1016/j.jdent.2005.05.003
- Karaaslan, G., Malkoc, M. A., Yildirim, G., & Malkoc, S. (2018). Comparison of time-dependent two-dimensional and three-dimensional stability with micro-computerized tomography and wettability of three impression materials. *Niger J Clin Pract*, *21*(7), 912-920. doi:10.4103/njcp.njcp\_314\_17
- Karlsson, S. (1986). A clinical evaluation of fixed bridges, 10 years following insertion. *J Oral Rehabil*, *13*(5), 423-432. doi:10.1111/j.1365-2842.1986.tb01304.x
- KavoDentalGmbH. (2021). Bestens präpariert für die Praxis. Perfekt bis ins Detail. *Modelle Basic*. Retrieved 12.01.2022 from <https://www.kavo.com/de-de/zahnaerztliche-ausbildung/modelle-basic-zahn-und-studien-modelle>
- KettenbachDental. Produktfolder. Retrieved 12.12.2021 from [https://www.kettenbach-dental.de/fileadmin/produkte/Identium/Identium\\_Heavy/Download/Dokumentation/012735\\_0819\\_Identium\\_6-Seiter.PDF](https://www.kettenbach-dental.de/fileadmin/produkte/Identium/Identium_Heavy/Download/Dokumentation/012735_0819_Identium_6-Seiter.PDF)
- KettenbachDental. (2019). IDENTIUM® - DAS BESTE AUS POLYETHER UND A-SILIKON. Retrieved 26.12.2021 from <https://www.kettenbach-dental.de/produkte/abformmaterialien/identium/identium-heavy/>
- Kihara, H., Hatakeyama, W., Komine, F., Takafuji, K., Takahashi, T., Yokota, J., . . . Kondo, H. (2020). Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *J Prosthodont Res*, *64*(2), 109-113. doi:10.1016/j.jpor.2019.07.010
- Kimoto, K., Tanaka, K., Toyoda, M., & Ochiai, K. T. (2005). Indirect latex glove contamination and its inhibitory effect on vinyl polysiloxane polymerization. *J Prosthet Dent*, *93*(5), 433-438. doi:10.1016/j.prosdent.2005.02.015
- Kioleoglou, I., Pissiotis, A., & Konstantinos, M. (2018). Accuracy of fit of implant-supported bars fabricated on definitive casts made by different dental stones. *J Clin Exp Dent*, *10*(3), e252-e263. doi:10.4317/jced.54603
- Körper, K. L., K. . (1993). *Zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

- Kotsiomiti, E., Tzialla, A., & Hatjivasiliou, K. (2008). Accuracy and stability of impression materials subjected to chemical disinfection - a literature review. *J Oral Rehabil*, 35(4), 291-299. doi:10.1111/j.1365-2842.2007.01771.x
- Kuhr, F. (2016). *Klinische Studie zur Messung der Dimensionsstabilität von digitalen Ganzkieferabformungen und die Entwicklung einer neuen Messmethode*. Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen.
- KulzerGmbH. (2019). Tipps&Tricks Einzeitige Abformtechniken. Retrieved 28.12.2021 from [https://www.kulzer.de/media/webmedia\\_local/downloads\\_new/flexitime\\_1/flexitime\\_14/Tipps\\_Tricks\\_Guide\\_Flexitime\\_einzeitige\\_Abformung.pdf](https://www.kulzer.de/media/webmedia_local/downloads_new/flexitime_1/flexitime_14/Tipps_Tricks_Guide_Flexitime_einzeitige_Abformung.pdf)
- Kumar, S., Yadav, D., Yadav, R., & Arora, A. (2014). A comparative evaluation of tray spacer thickness and repeat pour on the accuracy of monophasic polyvinyl siloxane impression material: in vitro study. *Indian J Dent Res*, 25(2), 184-187. doi:10.4103/0970-9290.135916
- Kumari, N., & Nandeeshwar, D. B. (2015). The dimensional accuracy of polyvinyl siloxane impression materials using two different impression techniques: An in vitro study. *J Indian Prosthodont Soc*, 15(3), 211-217. doi:10.4103/0972-4052.158074
- Lehmann KM, H. E. (2005). *Zahnärztliche Propädeutik*. Urban & Fischer, München 2005, S. 1 (10. Auflage ed.). München Urban & Fischer,.
- Luthardt, R. G., Koch, R., Rudolph, H., & Walter, M. H. (2006). Qualitative computer aided evaluation of dental impressions in vivo. *Dent Mater*, 22(1), 69-76. doi:10.1016/j.dental.2005.02.015
- Luthardt, R. G., Kühmstedt, P., & Walter, M. H. (2003). A new method for the computer-aided evaluation of three-dimensional changes in gypsum materials. *Dent Mater*, 19(1), 19-24. doi:10.1016/s0109-5641(02)00013-1
- Malik, J., Rodriguez, J., Weisbloom, M., & Petridis, H. (2018). Comparison of Accuracy Between a Conventional and Two Digital Intraoral Impression Techniques. *Int J Prosthodont*, 31(2), 107-113. doi:10.11607/ijp.5643
- Mandikos, M. N. (1998). Polyvinyl siloxane impression materials: an update on clinical use. *Aust Dent J*, 43(6), 428-434. doi:10.1111/j.1834-7819.1998.tb00204.x
- Mangano, F., Shibli, J. A., & Fortin, T. (2016). Digital Dentistry: New Materials and Techniques. *Int J Dent*, 2016, 5261247. doi:10.1155/2016/5261247
- Marcinak, C. F., & Draughn, R. A. (1982). Linear dimensional changes in addition curing silicone impression materials. *J Prosthet Dent*, 47(4), 411-413. doi:10.1016/s0022-3913(82)80092-9

- Marcinak, C. F., Young, F. A., Draughn, R. A., & Flemming, W. R. (1980). Linear dimensional changes in elastic impression materials. *J Dent Res*, 59(7), 1152-1155. doi:10.1177/00220345800590071001
- Marković, D., Puskar, T., Hadžistević, M., Potran, M., Blažić, L., & Hodolič, J. (2012). THE DIMENSIONAL STABILITY OF ELASTOMERIC DENTAL IMPRESSION MATERIALS. *Contemporary Materials*, 1. doi:10.7251/COM1201105M
- McCabe, J. F., & Walls, A. W. G. (2009). *Applied Dental Materials*: Wiley.
- Merchant, V. A., Herrera, S. P., & Dwan, J. J. (1987). Marginal fit of cast gold MO inlays from disinfected elastomeric impressions. *J Prosthet Dent*, 58(3), 276-280. doi:10.1016/0022-3913(87)90039-4
- Millar, B. (2001). How to make a good impression (crown and bridge). *Br Dent J*, 191(7), 402-403, 405. doi:10.1038/sj.bdj.4801192
- Mishra, S., & Chowdhary, R. (2010). Linear dimensional accuracy of a polyvinyl siloxane of varying viscosities using different impression techniques. *J Investig Clin Dent*, 1(1), 37-46. doi:10.1111/j.2041-1626.2010.00004.x
- Morgano, S. M., Milot, P., Ducharme, P., & Rose, L. (1995). Ability of various impression materials to produce duplicate dies from successive impressions. *J Prosthet Dent*, 73(4), 333-340. doi:10.1016/s0022-3913(05)80327-0
- Müller, P., Ender, A., Joda, T., & Katsoulis, J. (2016). Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner. *Quintessence Int*, 47(4), 343-349. doi:10.3290/j.qi.a35524
- Napp-Selei, M. (2008). Beurteilung verschiedener Abformmaterialien und Abformmethoden bezüglich Dimensionsgenauigkeit, Rückstellvermögen und Lagerungsstabilität. Retrieved 15.01.2022 from <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/5979>
- Nassar, U., & Chow, A. K. (2015). Surface Detail Reproduction and Effect of Disinfectant and Long-Term Storage on the Dimensional Stability of a Novel Vinyl Polyether Silicone Impression Material. *J Prosthodont*, 24(6), 494-498. doi:10.1111/jopr.12244
- Nassar, U., Flores-Mir, C., Heo, G., & Torrealba, Y. (2017). The effect of prolonged storage and disinfection on the dimensional stability of 5 vinyl polyether silicone impression materials. *J Adv Prosthodont*, 9(3), 182-187. doi:10.4047/jap.2017.9.3.182
- Nassar, U., Oko, A., Adeeb, S., El-Rich, M., & Flores-Mir, C. (2013). An in vitro study on the dimensional stability of a vinyl polyether silicone impression material over a prolonged storage period. *J Prosthet Dent*, 109(3), 172-178. doi:10.1016/s0022-3913(13)60038-4

- Naumovski, B., & Kapushevska, B. (2017). Dimensional Stability and Accuracy of Silicone - Based Impression Materials Using Different Impression Techniques - A Literature Review. *Pril (Makedon Akad Nauk Umet Odd Med Nauki)*, 38(2), 131-138. doi:10.1515/prilozi-2017-0031
- Nave, S. B. (2000). *Untersuchungen zum Polyetherabform- material Impregum Penta Soft*. Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen.
- Nissan, J., Laufer, B. Z., Brosh, T., & Assif, D. (2000). Accuracy of three polyvinyl siloxane putty-wash impression techniques. *J Prosthet Dent*, 83(2), 161-165. doi:10.1016/s0022-3913(00)80007-4
- Noack T., B. M., Wöstmann B. (2004). Möglichkeiten und Grenzen der Doppelmischabformung bei prothetischer Versorgung. *ZWR - Das Deutsche Zahnärzteblatt*(Nr. 10).
- Nouri, M., Massudi, R., Bagheban, A. A., Azimi, S., & Fereidooni, F. (2009). The accuracy of a 3-D laser scanner for crown width measurements. *Aust Orthod J*, 25(1), 41-47.
- Özdemir, H., & Pekince, K. A. (2019). Evaluation of the effect of storage time and disinfectant solutions on the dimensional accuracy of impression materials with digital radiography. *Dent Med Probl*, 56(1), 67-74. doi:10.17219/dmp/101649
- Pande, N. A., & Parkhedkar, R. D. (2013). An evaluation of dimensional accuracy of one-step and two-step impression technique using addition silicone impression material: an in vitro study. *J Indian Prosthodont Soc*, 13(3), 254-259. doi:10.1007/s13191-012-0182-1
- Papadiochos, I., Papadiochou, S., & Emmanouil, I. (2017). The Historical Evolution of Dental Impression Materials. *J Hist Dent*, 65(2), 79-89.
- Peluso, M., Josell, S., Levine, S., & Lorei, B. (2004). Digital models: An introduction. *Seminars in Orthodontics*, 10, 226-238. doi:10.1053/j.sodo.2004.05.007
- Perakis, N., Belser, U. C., & Magne, P. (2004). Final impressions: a review of material properties and description of a current technique. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 24(2), 109-117.
- Peregrina, A., Land, M. F., Feil, P., & Price, C. (2003). Effect of two types of latex gloves and surfactants on polymerization inhibition of three polyvinylsiloxane impression materials. *J Prosthet Dent*, 90(3), 289-292. doi:10.1016/s0022-3913(03)00420-7
- Peres, M. A., Macpherson, L. M. D., Weyant, R. J., Daly, B., Venturelli, R., Mathur, M. R., . . . Watt, R. G. (2019). Oral diseases: a global public health challenge. *Lancet*, 394(10194), 249-260. doi:10.1016/s0140-6736(19)31146-8



- Persson, A. S., Andersson, M., Odén, A., & Sandborgh-Englund, G. (2008). Computer aided analysis of digitized dental stone replicas by dental CAD/CAM technology. *Dent Mater*, 24(8), 1123-1130. doi:10.1016/j.dental.2008.01.008
- Persson, A. S., Odén, A., Andersson, M., & Sandborgh-Englund, G. (2009). Digitization of simulated clinical dental impressions: virtual three-dimensional analysis of exactness. *Dent Mater*, 25(7), 929-936. doi:10.1016/j.dental.2009.01.100
- Quaas, S., Rudolph, H., & Luthardt, R. G. (2007). Direct mechanical data acquisition of dental impressions for the manufacturing of CAD/CAM restorations. *J Dent*, 35(12), 903-908. doi:10.1016/j.jdent.2007.08.008
- Quick, D. C., Holtan, J. R., & Ross, G. K. (1992). Use of a scanning laser three-dimensional digitizer to evaluate dimensional accuracy of dental impression materials. *J Prosthet Dent*, 68(2), 229-235. doi:10.1016/0022-3913(92)90319-6
- Quimby, M. L., Vig, K. W. L., Rashid, R. G., & Firestone, A. R. (2004). The Accuracy and Reliability of Measurements Made on Computer-Based Digital Models. *The Angle Orthodontist*, 74(3), 298-303. doi:10.1043/0003-3219(2004)074<0298:Taarom>2.0.Co;2
- R.Marxkors. (2010). *Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik*. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag.
- R.Marxkors/H.Meiners/J.Geis-Gerstorfer. (2008). *Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde*. Köln: Deutscher Zahnärzterverlag Köln.
- Ragain, J. C., Grosko, M. L., Raj, M., Ryan, T. N., & Johnston, W. M. (2000). Detail reproduction, contact angles, and die hardness of elastomeric impression and gypsum die material combinations. *Int J Prosthodont*, 13(3), 214-220.
- Rajapur, A., Dixit, S., Hoshing, C., & Raikar, S. P. (2012). The influence of tray space and repeat pours on the accuracy of monophasic polyvinylsiloxane impression. *J Contemp Dent Pract*, 13(6), 824-829. doi:10.5005/jp-journals-10024-1236
- Rao, S., Chowdhary, R., & Mahoorkar, S. (2010). A systematic review of impression technique for conventional complete denture. *J Indian Prosthodont Soc*, 10(2), 105-111. doi:10.1007/s13191-010-0020-2
- Rehmann, P., & Wöstmann, B. (2018). Auswahl geeigneter Abformlöffel. *ZWR - Das Deutsche Zahnärzteblatt*, 127(05), 237-239. doi:10.1055/a-0548-5426
- Rekow, D. (2018). *Digital Dentistry A comprehensive Reference and Preview of the Future*. Quintessence Publishing.

- Ribeiro, P., Herrero-Climent, M., Díaz-Castro, C., Ríos-Santos, J. V., Padrós, R., Mur, J. G., & Falcão, C. (2018). Accuracy of Implant Casts Generated with Conventional and Digital Impressions-An In Vitro Study. *Int J Environ Res Public Health*, 15(8). doi:10.3390/ijerph15081599
- Rodriguez, J. M., & Bartlett, D. W. (2011). The dimensional stability of impression materials and its effect on in vitro tooth wear studies. *Dent Mater*, 27(3), 253-258. doi:10.1016/j.dental.2010.10.010
- Rosentritt Martin, N. I., Lohbauer Ulrich. (2018). *Werkstoffkunde in der Zahnmedizin Moderne Materialien und Technologien*.
- Rubel, B. S. (2007). Impression materials: a comparative review of impression materials most commonly used in restorative dentistry. *Dent Clin North Am*, 51(3), 629-642, vi. doi:10.1016/j.cden.2007.03.006
- Rudolph, H., Graf, M. R., Kuhn, K., Rupf-Köhler, S., Eirich, A., Edelmann, C., . . . Luthardt, R. G. (2015). Performance of dental impression materials: Benchmarking of materials and techniques by three-dimensional analysis. *Dent Mater J*, 34(5), 572-584. doi:10.4012/dmj.2014-197
- Rudolph, H., Quaas, S., Koch, M., Preißler, J., Koch, R., & Luthardt, R. (2005). Randomisierte, kontrollierte klinische Blindstudie: Zeitregime versus 3D-Genauigkeit von Abformungen.
- Rueda, L. J., Sy-Muñoz, J. T., Naylor, W. P., Goodacre, C. J., & Swartz, M. L. (1996). The effect of using custom or stock trays on the accuracy of gypsum casts. *Int J Prosthodont*, 9(4), 367-373.
- Samet, N., Shohat, M., Livny, A., & Weiss, E. I. (2005). A clinical evaluation of fixed partial denture impressions. *J Prosthet Dent*, 94(2), 112-117. doi:10.1016/j.prosdent.2005.05.002
- Schaefer, O., Schmidt, M., Goebel, R., & Kuepper, H. (2012). Qualitative and quantitative three-dimensional accuracy of a single tooth captured by elastomeric impression materials: an in vitro study. *J Prosthet Dent*, 108(3), 165-172. doi:10.1016/s0022-3913(12)60141-3
- Schenz, N., Schwarz, V., Hörmann, R., & Crismani, A. G. (2020). Impression material accuracy for palatal orthodontic miniscrews. *J Orofac Orthop*, 81(6), 427-439. doi:10.1007/s00056-020-00245-3
- Schwickerath, H. (1978). [Stability of impression trays]. *Zwr*, 87(12), 596-598.
- Seelbach, P., Brueckel, C., & Wöstmann, B. (2013). Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow. *Clin Oral Investig*, 17(7), 1759-1764. doi:10.1007/s00784-012-0864-4
- Sfondrini, M. F., Gandini, P., Malfatto, M., Di Corato, F., Trovati, F., & Scribante, A. (2018). Computerized Casts for Orthodontic Purpose Using Powder-Free Intraoral Scanners: Accuracy, Execution Time, and Patient Feedback. *Biomed Res Int*, 2018, 4103232. doi:10.1155/2018/4103232

- Siavikis, G. (2007). *Festsitzender Zahnersatz Vergleich in-vivo und in-vitro. Comparison of in-vivo-behaviour and in-vitro-simulation of all-ceramic fixed partial dentures. Διδακτορική Διατριβή.*
- Sinobad, T., Obradovic-Djuricic, K., Nikolic, Z., Dodic, S., Lazic, V., Sinobad, V., & Jesenko-Rokvic, A. (2014). The effect of disinfectants on dimensional stability of addition and condensation silicone impressions. *Vojnosanit Pregl*, 71(3), 251-258. doi:10.2298/vsp120709037s
- Soganci, G., Cinar, D., Caglar, A., & Yagiz, A. (2018). 3D evaluation of the effect of disinfectants on dimensional accuracy and stability of two elastomeric impression materials. *Dent Mater J*, 37(4), 675-684. doi:10.4012/dmj.2017-097
- Sorensen, S. E., Larsen, I. B., Jörgensen, K. D. (1986). Gingival and alveolar bone reaction to marginal fit of subgingival crown margins. *Scand J Dent Res*, 94(2), 109-114. doi:10.1111/j.1600-0722.1986.tb01373.x
- Sousa, M. V., Vasconcelos, E. C., Janson, G., Garib, D., & Pinzan, A. (2012). Accuracy and reproducibility of 3-dimensional digital model measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 142(2), 269-273. doi:10.1016/j.ajodo.2011.12.028
- Steinhäuser-Andresen, S., Detterbeck, A., Funk, C., Krumm, M., Kasperl, S., Holst, A., & Hirschfelder, U. (2011). Pilot study on accuracy and dimensional stability of impression materials using industrial CT technology. *J Orofac Orthop*, 72(2), 111-124. doi:10.1007/s00056-011-0015-6
- Stewardson, D. A. (2005). Trends in indirect dentistry: 5. Impression materials and techniques. *Dent Update*, 32(7), 374-376, 379-380, 382-374 passim. doi:10.12968/denu.2005.32.7.374
- Stober, T., Johnson, G. H., & Schmitter, M. (2010). Accuracy of the newly formulated vinyl siloxanether elastomeric impression material. *J Prosthet Dent*, 103(4), 228-239. doi:10.1016/s0022-3913(10)60035-2
- Strübig, W. (1989). *Geschichte der Zahnheilkunde*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Thongthammachat, S., Moore, B. K., Barco, M. T., 2nd, Hovijitra, S., Brown, D. T., & Andres, C. J. (2002). Dimensional accuracy of dental casts: influence of tray material, impression material, and time. *J Prosthodont*, 11(2), 98-108.
- Tomita, Y., Uechi, J., Konno, M., Sasamoto, S., Iijima, M., & Mizoguchi, I. (2018). Accuracy of digital models generated by conventional impression/plaster-model methods and intraoral scanning. *Dent Mater J*, 37(4), 628-633. doi:10.4012/dmj.2017-208
- Troost, P. (2014). Weg 7: Die Präzisionsabformung – wie Sie Wiederholungsabformungen sicher vermeiden. ZMK Retrieved

- 12.12.2021 from [https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/allgemeine-zahnheilkunde/story/weg-7-die-praezisionsabformung--wie-sie-wiederholungsabformungen-sicher-vermeiden\\_\\_1030.html](https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/allgemeine-zahnheilkunde/story/weg-7-die-praezisionsabformung--wie-sie-wiederholungsabformungen-sicher-vermeiden__1030.html)
- von Wilmowsky, C., Bergauer, B., Nkenke, E., Neukam, F. W., Neuhuber, W., Lell, M., . . . Matta, R. E. (2015). A new, highly precise measurement technology for the in vitro evaluation of the accuracy of digital imaging data. *J Craniomaxillofac Surg*, 43(8), 1335-1339. doi:10.1016/j.jcms.2015.06.021
- Wenz H-J, S. T. (2020). Präzisionsabformung analog – Strategien zur Fehlervermeidung. *Quintessenz*(Nr 3).
- Wichmann, M. (1999). Kronen und Brücken. Wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK. *Dtsch Zahnärztl Z* 54, 469-470.
- Williams, P. T., Jackson, D. G., & Bergman, W. (1984). An evaluation of the time-dependent dimensional stability of eleven elastomeric impression materials. *J Prosthet Dent*, 52(1), 120-125. doi:10.1016/0022-3913(84)90194-x
- Wölm, C. (2019). *Passung präformierter Unterkiefer Osteosyntheseplatten*.
- Wöstmann, B. (1998). *Zum derzeitigen Stand der Abformung in der Zahnheilkunde* Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH.
- Wöstmann B. (2005, Nov). Die Abformung als Grundlage für eine langfristige prothetische Versorgung. Retrieved 15.12.2021 from <https://www.zm-online.de/archiv/2005/21/titel/die-abformung-als-grundlage-fuer-eine-langfristige-prothetische-versorgung/>
- Wöstmann Bernd, S. M. A. (2020, June, 16). Ist die konventionelle Abformung obsolet? Retrieved 17.12.2021 from <https://www.zm-online.de/archiv/2020/12/zahnmedizin/ist-die-konventionelle-abformung-obsolet/seite/alle/>
- Yuzbasioglu, E., Kurt, H., Turunc, R., & Bilir, H. (2014). Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC Oral Health*, 14, 10. doi:10.1186/1472-6831-14-10
- ZahnmedizinReport. (2009, August). Identium® versus Impregum®: Vergleichbar bis besser. *ZahnmedizinReport* Retrieved 02.12.2021 from <https://www.iww.de/zr/materialkunde/abformwerkstoffe-identium-und-panasil-besser-als-der-abform-goldstandard-polyether-f56935>
- Zimmermann, D. M. (2016, March,17, 22.03.2016). Die digitale Abformung mit dem Intraoralscanner: mehr als nur eine Abformung. Retrieved 12.12.2021 from [https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/digitale-praxis/story/die-digitale-abformung-mit-dem-intraoralscanner-mehr-als-nur-eine-abformung\\_\\_3826.html](https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/digitale-praxis/story/die-digitale-abformung-mit-dem-intraoralscanner-mehr-als-nur-eine-abformung__3826.html)

## 7 Anhang

### 7.1 Herstellerverzeichnis

Materialien, Geräte und Softwareprogramme, die in dieser Studie verwendet wurden, sowie Angaben zu ihren Herstellern sind im Folgenden aufgelistet.

<b>Material/ Gerät</b>	<b>Hersteller</b>
3D-Drucker Form 2	Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Aushärtegerät Form Cure	Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Autoanmischpistole	Omnicident Dental-Handelsgesellschaft mbH 63110 Rodgau Nieder-Roden, Deutschland
Gipstrimmer	Renfert GmbH 78247 Hilzingen, Deutschland
Harz Grey photopolymer resin (RS-F2-GPGR-04)	Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
KaVo- Modellzähnen	Firma KaVo Dental, Biberach an der Riß, Deutschland
KaVo- OK-Modell	Firma KaVo Dental, Biberach an der Riß, Deutschland
Pentamixanmischgerät	3M Espe 82229 Seefeld, Deutschland

## 7 Anhang

<b>Material/ Gerät</b>	<b>Hersteller</b>
Phantomkopf DSE kompakt	Firma KaVo Dental, Biberach an der Riß, Deutschland
Polyether Adhäsiv	3M Deutschland GmbH 82229 Seefeld, Deutschland
Reinigungsalkohol 100 % Isopropanol	VWR International 19087 Radnor, PA, USA
Reinigungsgerät Form Wash	Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Rimlock-Abformlöffel XS	Dentsply De-Trey GmbH, 78467 Konstanz, Deutschland
Rüttler	Harnisch und Rieth 73650 Winterbach, Deutschland
Universal Adhäsiv	Heareus Kulzer, 6345 Hanau, Deutschland
Vakuumanrührbecher	Wassermann Dental-Maschinen GmbH 21031 Hamburg, Deutschland
Vakuumanrührgerät	Wassermann Dental-Maschinen GmbH 21031 Hamburg, Deutschland
Wasserbad	Typ MWB, Julabo Labortechnik GMBH, 77960 Seelbach, Deutschland
Scanner InEosX5	Dentsply Sirona York, PA 17404, USA

## 7 Anhang

<b>Softwareprogramm</b>	<b>Name</b>	<b>Hersteller</b>
3D-Analysesoftware	GOM Inspect 2019	GOM GmbH 38122Braunschweig, Deutschland
3D-CAD-Software	Inventor 2021	Autodesk, Inc. San Rafael, CA 94903 USA
3D-CAD-Software	Meshmixer 3.5	Autodesk, Inc. San Rafael, CA 94903 USA
3D-Scan-Software	Geomagic Wrap	3D Systems Rock Hill, SC 29730 USA
Drucksoftware	PreForm 2.19.3	Formlabs Inc. Sommerville, MA 02143, USA
Scansoftware	inLab SW 20.0	Dentsply Sirona York, PA 17404, USA
Statistiksoftware	IBM SPSS StatisticsVersion 25	IBM Corp, Armonk, NY 10504-1722, USA
Tabellenkalkulations- programm	Microsoft Excel	Microsoft Corporation Redmond,WA 98052-6399, USA

## 7.2 Ergebnisse der Auswertungen

Ergebnisse der Streckenauswertungen des Materials Affinis

Affinis	30 min		2 h		8 h		24 h		1 Wo	
	Str (mm)	StrAbw (mm)	Str (mm)	StrAbw (mm)	Str (mm)	StrAbw (mm)	Str (mm)	StrAbw (mm)	Str (mm)	StrAbw (mm)
12'	35,986	0,052	35,980	0,046	35,949	0,015	35,973	0,039	35,946	0,012
2	35,979	0,045	35,974	0,040	35,982	0,048	35,973	0,039	35,955	0,021
3	35,981	0,047	35,980	0,046	35,963	0,029	35,992	0,058	35,966	0,032
4	35,964	0,030	35,977	0,043	35,978	0,044	35,976	0,042	35,952	0,018
5	35,981	0,047	35,978	0,044	35,961	0,027	35,980	0,046	35,967	0,033
6	35,963	0,029	35,975	0,041	35,978	0,044	35,971	0,037	35,950	0,016
7	35,971	0,037	35,987	0,053	35,975	0,041	35,985	0,051	35,954	0,020
8	35,956	0,022	35,987	0,053	35,967	0,033	35,970	0,036	35,953	0,019
9	35,966	0,032	35,971	0,037	35,977	0,043	35,982	0,048	35,946	0,012
10	35,953	0,019	35,984	0,050	35,977	0,043	35,968	0,034	35,942	0,008
23'	36,564	0,007	36,598	0,041	36,593	0,036	36,592	0,035	36,563	0,006
2	36,590	0,033	36,593	0,036	36,594	0,037	36,604	0,047	36,575	0,018
3	36,582	0,025	36,626	0,069	36,586	0,029	36,596	0,039	36,574	0,017
4	36,571	0,014	36,600	0,043	36,591	0,034	36,592	0,035	36,574	0,017
5	36,578	0,021	36,610	0,053	36,595	0,038	36,599	0,042	36,582	0,025
6	36,573	0,016	36,607	0,050	36,593	0,036	36,600	0,043	36,580	0,023
7	36,587	0,030	36,610	0,053	36,589	0,032	36,603	0,046	36,565	0,008
8	36,588	0,031	36,611	0,054	36,590	0,033	36,580	0,023	36,564	0,007
9	36,572	0,015	36,614	0,057	36,600	0,043	36,586	0,029	36,567	0,010
10	36,582	0,025	36,596	0,039	36,593	0,036	36,585	0,028	36,567	0,022
13'	41,238	0,03	41,253	0,045	41,236	0,028	41,249	0,041	41,226	0,018
2	41,266	0,058	41,257	0,049	41,245	0,037	41,252	0,044	41,225	0,017
3	41,261	0,053	41,265	0,057	41,241	0,033	41,253	0,045	41,223	0,015
4	41,254	0,046	41,266	0,058	41,241	0,033	41,256	0,048	41,230	0,022
5	41,248	0,040	41,254	0,046	41,246	0,038	41,234	0,026	41,246	0,038
6	41,245	0,037	41,253	0,045	41,242	0,034	41,252	0,044	41,232	0,024
7	41,252	0,044	41,281	0,073	41,237	0,029	41,252	0,044	41,204	0,004
8	41,234	0,026	41,281	0,073	41,251	0,043	41,232	0,024	41,219	0,011
9	41,237	0,029	41,251	0,043	41,260	0,052	41,250	0,042	41,214	0,006
10	41,242	0,034	41,261	0,053	41,254	0,046	41,240	0,032	41,229	0,021



# 7 Anhang

## Ergebnisse der Streckenauswertungen des Materials Impregum

Impregum	30 min			2 h			8 h			24 h			1 Wo			
	Str (mm)	StrAbw (mm)	StrAbw (%)	Str (mm)	StrAbw (mm)	StrAbw (%)	Str (mm)	StrAbw (mm)	StrAbw (%)	Str (mm)	StrAbw (mm)	StrAbw (%)	Str (mm)	StrAbw (mm)	StrAbw (%)	
12'	1	35,980	0,046	0,13	35,926	0,008	0,02	35,918	0,016	0,04	35,891	0,043	0,12	35,947	0,013	0,04
	2	35,913	0,021	0,06	35,951	0,017	0,05	35,929	0,005	0,01	35,981	0,047	0,13	35,923	0,011	0,03
	3	35,954	0,020	0,06	35,964	0,030	0,08	35,875	0,059	0,16	35,869	0,065	0,18	35,609	0,325	0,90
	4	35,869	0,065	0,18	36,054	0,120	0,33	35,906	0,028	0,08	35,935	0,001	0,00	35,940	0,006	0,02
	5	35,959	0,025	0,07	36,105	0,171	0,48	36,018	0,084	0,23	35,911	0,023	0,06	35,947	0,013	0,04
	6	35,930	0,004	0,01	35,935	0,001	0,00	36,110	0,176	0,49	35,949	0,015	0,04	35,960	0,026	0,07
	7	35,942	0,008	0,02	35,964	0,030	0,08	35,938	0,004	0,01	35,896	0,038	0,11	35,867	0,067	0,19
	8	35,944	0,010	0,03	35,904	0,030	0,08	35,881	0,053	0,15	35,886	0,048	0,13	35,814	0,120	0,33
	9	35,944	0,010	0,03	35,976	0,042	0,12	36,048	0,114	0,32	35,938	0,004	0,01	35,840	0,094	0,26
	10	35,950	0,016	0,04	35,932	0,002	0,01	35,940	0,006	0,02	35,910	0,024	0,07	35,830	0,104	0,29
23'	1	36,558	0,001	0,00	36,542	0,015	0,04	36,554	0,003	0,01	36,507	0,050	0,14	36,569	0,012	0,03
	2	36,474	0,083	0,23	36,606	0,049	0,13	36,525	0,032	0,09	36,626	0,069	0,19	36,513	0,044	0,12
	3	36,579	0,022	0,06	36,601	0,044	0,12	36,461	0,096	0,26	36,496	0,061	0,17	36,402	0,155	0,42
	4	36,445	0,112	0,31	36,652	0,095	0,26	36,519	0,038	0,10	36,528	0,029	0,08	36,556	0,001	0,00
	5	36,598	0,041	0,11	36,677	0,120	0,33	36,528	0,029	0,08	36,556	0,001	0,00	36,573	0,016	0,04
	6	36,555	0,002	0,01	36,540	0,017	0,05	36,547	0,010	0,03	36,594	0,037	0,10	36,539	0,018	0,05
	7	36,340	0,217	0,59	36,555	0,002	0,01	36,547	0,010	0,03	36,541	0,016	0,04	36,438	0,119	0,33
	8	36,553	0,004	0,01	36,547	0,010	0,03	36,536	0,021	0,06	36,514	0,043	0,12	36,438	0,119	0,33
	9	36,553	0,004	0,01	36,610	0,053	0,14	36,571	0,014	0,04	36,537	0,020	0,05	36,492	0,065	0,18
	10	36,540	0,017	0,05	36,540	0,017	0,05	36,508	0,049	0,13	36,510	0,047	0,13	36,450	0,107	0,29
13'	1	41,243	0,035	0,08	41,285	0,077	0,19	41,270	0,062	0,15	41,273	0,065	0,16	41,298	0,09	0,22
	2	41,136	0,072	0,17	41,324	0,116	0,28	41,324	0,116	0,28	41,354	0,015	0,04	41,295	0,087	0,21
	3	41,289	0,081	0,20	41,278	0,070	0,17	41,311	0,103	0,25	41,231	0,023	0,06	40,634	0,574	1,39
	4	41,236	0,028	0,07	41,303	0,095	0,23	41,257	0,049	0,12	41,198	0,010	0,02	41,287	0,079	0,19
	5	41,253	0,045	0,11	41,336	0,128	0,31	41,377	0,169	0,41	41,223	0,015	0,04	41,288	0,08	0,19
	6	41,307	0,099	0,24	41,261	0,053	0,13	41,340	0,132	0,32	41,273	0,065	0,16	41,314	0,106	0,26
	7	41,203	0,005	0,01	41,284	0,076	0,18	41,239	0,031	0,08	41,299	0,091	0,22	41,304	0,096	0,23
	8	41,243	0,035	0,08	41,274	0,066	0,16	41,247	0,039	0,09	41,237	0,029	0,07	41,304	0,096	0,23
	9	41,243	0,035	0,08	41,279	0,071	0,17	41,389	0,181	0,44	41,226	0,018	0,04	41,369	0,161	0,39
	10	41,279	0,071	0,17	41,275	0,067	0,16	41,273	0,065	0,16	41,265	0,057	0,14	41,328	0,12	0,29

## Ergebnisse der Streckenauswertungen des Materials Identium

Identium	30 min			2 h			8 h			24 h			1 Wo		
	Str (mm)	StrAbw (mm)	StrAbw (%)	Str (mm)	StrAbw (mm)	StrAbw (%)	Str (mm)	StrAbw (mm)	StrAbw (%)	Str (mm)	StrAbw (mm)	StrAbw (%)	Str (mm)	StrAbw (mm)	StrAbw (%)
12'	35,959	0,025	0,07	35,954	0,02	0,06	35,932	0,002	0,01	35,960	0,026	0,07	35,979	0,045	0,13
2	35,967	0,033	0,09	35,961	0,027	0,08	35,938	0,004	0,01	35,941	0,007	0,02	35,997	0,063	0,18
3	35,969	0,035	0,10	35,970	0,036	0,10	35,949	0,015	0,04	35,979	0,045	0,13	35,980	0,046	0,13
4	35,978	0,044	0,12	35,967	0,033	0,09	35,951	0,017	0,05	35,972	0,038	0,11	35,993	0,059	0,16
5	35,962	0,028	0,08	35,966	0,032	0,09	35,949	0,015	0,04	35,975	0,041	0,11	35,986	0,052	0,14
6	35,934	0,000	0,00	35,979	0,045	0,13	35,959	0,025	0,07	35,956	0,022	0,06	35,964	0,030	0,08
7	35,921	0,013	0,04	35,976	0,042	0,12	35,949	0,015	0,04	35,948	0,014	0,04	35,997	0,063	0,18
8	35,937	0,003	0,01	35,976	0,042	0,12	35,966	0,032	0,09	35,948	0,014	0,04	35,980	0,046	0,13
9	35,926	0,008	0,02	35,980	0,046	0,13	35,949	0,000	0,00	35,956	0,022	0,06	35,993	0,059	0,16
10	35,917	0,017	0,05	35,970	0,036	0,10	35,956	0,022	0,06	35,938	0,004	0,01	35,986	0,052	0,14
23'	36,568	0,011	0,03	36,567	0,010	0,03	36,553	0,004	0,01	36,602	0,045	0,12	36,595	0,038	0,10
2	36,585	0,028	0,08	36,571	0,014	0,04	36,561	0,004	0,01	36,549	0,008	0,02	36,621	0,064	0,18
3	36,588	0,031	0,08	36,572	0,015	0,04	36,575	0,018	0,05	36,582	0,025	0,07	36,597	0,040	0,11
4	36,578	0,021	0,06	36,571	0,014	0,04	36,572	0,015	0,04	36,603	0,046	0,13	36,605	0,048	0,13
5	36,569	0,012	0,03	36,586	0,029	0,08	36,577	0,020	0,05	36,592	0,035	0,10	36,613	0,056	0,15
6	36,544	0,013	0,04	36,595	0,038	0,10	36,584	0,027	0,07	36,555	0,008	0,02	36,597	0,040	0,11
7	36,565	0,008	0,02	36,603	0,046	0,13	36,588	0,011	0,03	36,566	0,009	0,02	36,621	0,064	0,18
8	36,554	0,003	0,01	36,597	0,040	0,11	36,586	0,029	0,08	36,563	0,006	0,02	36,597	0,040	0,11
9	36,556	0,001	0,00	36,597	0,040	0,11	36,570	0,013	0,04	36,574	0,017	0,05	36,605	0,048	0,13
10	36,563	0,006	0,02	36,584	0,027	0,07	36,577	0,020	0,05	36,565	0,008	0,02	36,613	0,056	0,15
13'	41,253	0,045	0,11	41,217	0,009	0,02	41,207	0,001	0,00	41,238	0,030	0,07	41,254	0,046	0,11
2	41,232	0,024	0,06	41,223	0,015	0,04	41,193	0,015	0,04	41,267	0,059	0,14	41,281	0,073	0,18
3	41,248	0,04	0,10	41,226	0,018	0,04	41,231	0,023	0,06	41,246	0,038	0,09	41,282	0,074	0,18
4	41,250	0,042	0,10	41,226	0,018	0,04	41,236	0,028	0,07	41,260	0,052	0,13	41,264	0,056	0,14
5	41,218	0,010	0,02	41,243	0,035	0,08	41,223	0,015	0,04	41,253	0,045	0,11	41,262	0,054	0,13
6	41,216	0,008	0,02	41,263	0,055	0,13	41,241	0,033	0,08	41,235	0,027	0,07	41,253	0,045	0,11
7	41,219	0,011	0,03	41,267	0,059	0,14	41,221	0,013	0,03	41,201	0,007	0,02	41,281	0,073	0,18
8	41,207	0,001	0,00	41,248	0,040	0,10	41,237	0,029	0,07	41,201	0,007	0,02	41,282	0,074	0,18
9	41,193	0,015	0,04	41,260	0,052	0,13	41,230	0,022	0,05	41,221	0,013	0,03	41,264	0,056	0,14
10	41,192	0,016	0,04	41,250	0,042	0,10	41,225	0,017	0,04	41,221	0,013	0,03	41,262	0,054	0,13

Ergebnisse der Flächenauswertungen des Materials Affinis

Zahn	n	30 min			2 h			8 h			24 h			1 Wo		
		FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)	FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)	FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)	FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)	FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)
14	1	0,00975	0,00960	0,01003	0,00963	0,00932	0,01017	0,01048	0,00992	0,01145	0,01032	0,01046	0,01009	0,00730	0,00705	0,00772
	2	0,00903	0,00874	0,00957	0,01061	0,01106	0,00988	0,00847	0,00860	0,00826	0,00762	0,00763	0,00761	0,00855	0,00880	0,00816
	3	0,00857	0,00903	0,00784	0,01316	0,01168	0,01566	0,00680	0,00708	0,00631	0,00846	0,00858	0,00828	0,01006	0,01048	0,00940
	4	0,00779	0,00815	0,00720	0,00927	0,00926	0,00932	0,01254	0,00983	0,01718	0,00678	0,00694	0,00651	0,00779	0,00815	0,00720
	5	0,00856	0,00909	0,00772	0,00974	0,00955	0,01007	0,00914	0,00789	0,01122	0,00793	0,00795	0,00791	0,00856	0,00909	0,00772
	6	0,00842	0,00839	0,00850	0,00755	0,00750	0,00765	0,00974	0,00956	0,01007	0,00823	0,00852	0,00776	0,00842	0,00839	0,00850
	7	0,01009	0,00998	0,01031	0,00860	0,00871	0,00842	0,01016	0,01022	0,01010	0,00838	0,00804	0,00896	0,01009	0,00998	0,01031
	8	0,01204	0,01122	0,01303	0,00796	0,00785	0,00824	0,00979	0,00966	0,01003	0,00770	0,00783	0,00750	0,01204	0,01122	0,01303
	9	0,01355	0,01217	0,01547	0,00848	0,00825	0,00887	0,00986	0,00956	0,01036	0,00761	0,00717	0,00829	0,01355	0,01217	0,01547
	10	0,00884	0,00913	0,00838	0,00870	0,00842	0,00918	0,00920	0,00896	0,00961	0,00946	0,00959	0,00927	0,00884	0,00913	0,00838
16	1	0,00684	0,00632	0,00800	0,00514	0,00468	0,00623	0,00654	0,00608	0,00762	0,00736	0,00712	0,00794	0,00716	0,00666	0,00826
	2	0,00651	0,00623	0,00716	0,00701	0,00641	0,00841	0,00526	0,00513	0,00559	0,00614	0,00532	0,00803	0,00681	0,00616	0,00833
	3	0,00577	0,00542	0,00656	0,00671	0,00640	0,00741	0,00660	0,00639	0,00710	0,00529	0,00519	0,00552	0,00638	0,00661	0,00590
	4	0,00624	0,00595	0,00695	0,00570	0,00504	0,00724	0,00508	0,00495	0,00540	0,00648	0,00526	0,00940	0,00624	0,00595	0,00695
	5	0,00823	0,00694	0,01118	0,00512	0,00489	0,00566	0,00456	0,00406	0,00573	0,00551	0,00510	0,00645	0,00823	0,00694	0,01118
	6	0,00524	0,00498	0,00583	0,00509	0,00454	0,00636	0,00558	0,00533	0,00618	0,00553	0,00545	0,00575	0,00524	0,00498	0,00583
	7	0,00583	0,00541	0,00678	0,00485	0,00444	0,00581	0,00889	0,00915	0,00830	0,00594	0,00493	0,00836	0,00583	0,00541	0,00678
	8	0,00732	0,00719	0,00768	0,00496	0,00436	0,00638	0,00724	0,00681	0,00824	0,00519	0,00490	0,00586	0,00732	0,00719	0,00768
	9	0,00899	0,00844	0,01028	0,00514	0,00515	0,00513	0,00597	0,00580	0,00635	0,00946	0,00959	0,00927	0,00899	0,00844	0,01028
	10	0,00564	0,00571	0,00550	0,00534	0,00529	0,00546	0,00645	0,00619	0,00705	0,00677	0,00650	0,00735	0,00564	0,00571	0,00550
14-16	1	0,00823	0,00793	0,00888	0,00748	0,00681	0,00892	0,00827	0,00747	0,00990	0,00892	0,00844	0,00990	0,00753	0,00708	0,00843
	2	0,00753	0,00706	0,00853	0,00908	0,00830	0,01068	0,00699	0,00651	0,00798	0,00702	0,00633	0,00841	0,00770	0,00707	0,00897
	3	0,00696	0,00677	0,00738	0,00983	0,00891	0,01171	0,00736	0,00690	0,00829	0,00695	0,00640	0,00807	0,00799	0,00801	0,00795
	4	0,00712	0,00675	0,00793	0,00824	0,00710	0,01063	0,00808	0,00673	0,01084	0,00678	0,00583	0,00880	0,00712	0,00675	0,00793
	5	0,00875	0,00772	0,01086	0,00757	0,00693	0,00890	0,00630	0,00541	0,00818	0,00735	0,00665	0,00878	0,00879	0,00772	0,01086
	6	0,00685	0,00617	0,00823	0,00659	0,00596	0,00792	0,00723	0,00682	0,00805	0,00719	0,00684	0,00792	0,00685	0,00617	0,00823
	7	0,00755	0,00327	0,00854	0,00720	0,00666	0,00832	0,00984	0,00985	0,00982	0,00775	0,00641	0,01051	0,00755	0,00707	0,00854
	8	0,00945	0,00910	0,01018	0,00705	0,00628	0,00865	0,00853	0,00781	0,01002	0,00624	0,00594	0,00686	0,00945	0,00910	0,01018
	9	0,01055	0,01007	0,01153	0,00737	0,00668	0,00883	0,00824	0,00757	0,00962	0,00659	0,00575	0,00826	0,01055	0,01007	0,01153
	10	0,00691	0,00691	0,00692	0,00728	0,00683	0,00821	0,00772	0,00720	0,00878	0,00807	0,00765	0,00889	0,00692	0,00691	0,00693

Ergebnisse der Flächenauswertungen des Materials Impregum

Impregum	Zahn	n	30 min			2 h			8 h			24 h			1 Wo		
			FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)	FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)	FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)	FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)	FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)
14	1	1	0,01338	0,01288	0,01418	0,01585	0,01513	0,01708	0,01895	0,01593	0,02435	0,01522	0,01457	0,01643	0,01653	0,01000	0,02748
		2	0,06572	0,05781	0,07925	0,01193	0,01175	0,01221	0,01620	0,01246	0,02304	0,01573	0,01351	0,01956	0,01595	0,00882	0,02714
		3	0,00907	0,00957	0,00825	0,01082	0,01035	0,01165	0,01926	0,01749	0,02234	0,01738	0,01601	0,01983	0,00901	0,00948	0,00825
		4	0,01249	0,01183	0,01359	0,01088	0,01079	0,01103	0,01726	0,01597	0,01949	0,01498	0,01233	0,01944	0,01253	0,01190	0,01358
		5	0,01005	0,01093	0,00860	0,02006	0,01749	0,02443	0,02306	0,02142	0,02598	0,01601	0,01493	0,01797	0,02392	0,01569	0,03762
		6	0,01827	0,01777	0,01916	0,01521	0,01512	0,01541	0,01692	0,01195	0,02556	0,01559	0,01115	0,02206	0,01351	0,00829	0,02217
		7	0,04326	0,04083	0,04789	0,01534	0,01535	0,01535	0,01353	0,01331	0,01394	0,02145	0,01697	0,02906	0,01644	0,01133	0,02489
		8	0,01544	0,01440	0,01726	0,01492	0,01551	0,01397	0,01965	0,01802	0,02250	0,01888	0,01649	0,02318	0,01698	0,00915	0,02970
		9	0,01170	0,01185	0,01148	0,01521	0,01520	0,01528	0,01864	0,01734	0,02081	0,01642	0,01537	0,01828	0,01893	0,01466	0,02642
		10	0,01294	0,01264	0,01346	0,01031	0,01030	0,01033	0,01519	0,01211	0,02038	0,01368	0,01295	0,01506	0,01626	0,00982	0,02694
16	1	1	0,00894	0,00830	0,01049	0,01047	0,01074	0,00990	0,01329	0,01078	0,01920	0,00698	0,00616	0,00891	0,01265	0,00906	0,02060
		2	0,07276	0,06457	0,09432	0,00959	0,00955	0,00971	0,03506	0,03022	0,04692	0,03315	0,03703	0,02416	0,01485	0,01086	0,02393
		3	0,00802	0,00797	0,00814	0,00726	0,00722	0,00737	0,00997	0,00907	0,01210	0,00835	0,00783	0,00959	0,00806	0,00786	0,00850
		4	0,01070	0,00986	0,01266	0,00877	0,00825	0,00991	0,00721	0,00652	0,00886	0,01339	0,01122	0,01856	0,01087	0,00974	0,01349
		5	0,00994	0,00882	0,01240	0,00815	0,00771	0,00914	0,02831	0,02373	0,03976	0,00826	0,00820	0,00840	0,02199	0,01526	0,03800
		6	0,00987	0,01015	0,00928	0,00964	0,00945	0,01015	0,00777	0,00714	0,00918	0,00816	0,00746	0,00981	0,01505	0,01189	0,02248
		7	0,02862	0,02666	0,03354	0,00829	0,00850	0,00784	0,00984	0,00873	0,01241	0,02669	0,02581	0,02881	0,01880	0,01659	0,02399
		8	0,01255	0,01123	0,01568	0,01036	0,00985	0,01159	0,00928	0,00875	0,01056	0,00790	0,00734	0,00926	0,01407	0,01205	0,01879
		9	0,00899	0,00780	0,01184	0,01119	0,01086	0,01205	0,01554	0,01335	0,02085	0,01371	0,01231	0,01708	0,01900	0,01687	0,02392
		10	0,00887	0,00877	0,00920	0,00939	0,00935	0,00951	0,00904	0,00826	0,01089	0,00703	0,00654	0,00818	0,01357	0,01190	0,01760
14-16	1	1	0,01061	0,00987	0,01213	0,01297	0,01242	0,01417	0,01597	0,01275	0,02263	0,01084	0,00964	0,01334	0,01522	0,01097	0,02381
		2	0,07292	0,06434	0,09207	0,01078	0,01054	0,01127	0,02909	0,02508	0,03812	0,02848	0,03090	0,02362	0,01561	0,01047	0,02571
		3	0,00849	0,00858	0,00832	0,00873	0,00849	0,00926	0,01550	0,01320	0,02024	0,01278	0,01159	0,01537	0,00852	0,00855	0,00845
		4	0,01230	0,01065	0,01572	0,00988	0,00947	0,01069	0,01175	0,01028	0,01483	0,01401	0,01174	0,01879	0,01200	0,01032	0,01555
		5	0,01104	0,00979	0,01352	0,01339	0,01212	0,01602	0,02814	0,02477	0,03569	0,01151	0,01094	0,01282	0,02274	0,01511	0,03846
		6	0,01326	0,01304	0,01378	0,01208	0,01131	0,01373	0,01137	0,00876	0,01669	0,01107	0,00849	0,01615	0,01512	0,01148	0,02257
		7	0,03733	0,03319	0,04627	0,01127	0,01104	0,01183	0,01202	0,01126	0,01361	0,02480	0,02245	0,02959	0,02091	0,01865	0,02572
		8	0,01401	0,01298	0,01623	0,01333	0,01298	0,01417	0,01369	0,01228	0,01666	0,01252	0,01102	0,01586	0,01694	0,01326	0,02448
		9	0,01023	0,00919	0,01239	0,01304	0,01202	0,01520	0,01786	0,01595	0,02202	0,01543	0,01393	0,01858	0,01973	0,01745	0,02459
		10	0,01060	0,01033	0,01122	0,00976	0,00985	0,00960	0,01158	0,00987	0,01518	0,01007	0,00897	0,01239	0,01599	0,01309	0,02206

Ergebnisse der Flächenauswertungen des Materials Identium

Identium	Zahn	n	30 min			2 h			8 h			24 h			1 Wo		
			FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)	FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)	FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)	FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)	FIAbw G (mm)	FIAbw K (mm)	FIAbw Z (mm)
14		1	0,00915	0,00929	0,00897	0,01017	0,00977	0,01084	0,01138	0,01094	0,01213	0,00853	0,00767	0,00982	0,00995	0,00972	0,01034
		2	0,00999	0,00941	0,01095	0,00959	0,00892	0,01072	0,01401	0,01290	0,01594	0,01244	0,01185	0,01346	0,01244	0,01185	0,01346
		3	0,00927	0,00895	0,00980	0,00936	0,00909	0,00982	0,01397	0,01329	0,01515	0,01666	0,01538	0,01879	0,01666	0,01538	0,01879
		4	0,00750	0,00727	0,00788	0,01063	0,01054	0,01078	0,01324	0,01206	0,01527	0,01248	0,01187	0,01352	0,01248	0,01187	0,01352
		5	0,01074	0,01061	0,01097	0,00986	0,00954	0,01040	0,01230	0,01172	0,01331	0,01173	0,01122	0,01260	0,01173	0,01122	0,01260
		6	0,01079	0,01022	0,01175	0,01080	0,00958	0,01286	0,01367	0,01249	0,01562	0,01714	0,01489	0,02093	0,01714	0,01489	0,02093
		7	0,01083	0,01069	0,01109	0,01221	0,01049	0,01518	0,01245	0,01022	0,01504	0,01032	0,00967	0,01143	0,01032	0,00967	0,01143
		8	0,01318	0,01267	0,01405	0,01048	0,00945	0,01224	0,01322	0,01252	0,01440	0,01104	0,01050	0,01192	0,01104	0,01050	0,01192
		9	0,01551	0,01339	0,01913	0,01206	0,01075	0,01428	0,01363	0,01271	0,01518	0,00911	0,00871	0,00977	0,00911	0,00871	0,00977
		10	0,00908	0,00925	0,00880	0,01293	0,01174	0,01498	0,01260	0,01140	0,01464	0,01205	0,01173	0,01262	0,01205	0,01173	0,01262
16		1	0,00627	0,00587	0,00724	0,00643	0,00526	0,00852	0,00663	0,00644	0,00710	0,00506	0,00449	0,00640	0,00682	0,00641	0,00778
		2	0,00631	0,00521	0,00826	0,00539	0,00491	0,00653	0,00739	0,00707	0,00822	0,00717	0,00688	0,00788	0,00717	0,00688	0,00788
		3	0,00558	0,00497	0,00702	0,00576	0,00560	0,00617	0,00586	0,00595	0,00565	0,00916	0,00815	0,01149	0,00916	0,00815	0,01149
		4	0,00543	0,00518	0,00601	0,00605	0,00602	0,00615	0,00797	0,00790	0,00817	0,00992	0,00908	0,01192	0,00992	0,00908	0,01192
		5	0,00621	0,00571	0,00717	0,00557	0,00521	0,00641	0,00627	0,00601	0,00686	0,00484	0,00453	0,00556	0,00484	0,00453	0,00556
		6	0,00647	0,00585	0,00766	0,00526	0,00491	0,00607	0,00854	0,00787	0,01012	0,00800	0,00760	0,00891	0,00800	0,00760	0,00891
		7	0,00565	0,00544	0,00613	0,00536	0,00499	0,00625	0,00794	0,00745	0,00908	0,00728	0,00699	0,00797	0,00728	0,00699	0,00797
		8	0,00610	0,00584	0,00671	0,00501	0,00468	0,00579	0,00772	0,00739	0,00853	0,00623	0,00602	0,00669	0,00623	0,00602	0,00669
		9	0,00828	0,00762	0,00986	0,00596	0,00552	0,00684	0,00653	0,00600	0,00745	0,00590	0,00558	0,00665	0,00590	0,00558	0,00665
		10	0,00672	0,00645	0,00733	0,00620	0,00551	0,00742	0,00669	0,00635	0,00750	0,00810	0,00751	0,00952	0,00810	0,00751	0,00952
14-16		1	0,00634	0,00543	0,00811	0,00768	0,00710	0,00891	0,00857	0,00803	0,00968	0,00634	0,00543	0,00811	0,00886	0,00811	0,01041
		2	0,00785	0,00692	0,00972	0,00701	0,00642	0,00822	0,00999	0,00915	0,01182	0,00785	0,00692	0,00972	0,01011	0,00929	0,01183
		3	0,00718	0,00638	0,00884	0,00723	0,00685	0,00801	0,00909	0,00858	0,01016	0,00718	0,00638	0,00884	0,01253	0,01100	0,01559
		4	0,00674	0,00614	0,00800	0,00796	0,00771	0,00846	0,01027	0,00926	0,01233	0,00674	0,00614	0,00800	0,01192	0,01052	0,01483
		5	0,00782	0,00723	0,00904	0,00729	0,00672	0,00844	0,00867	0,00792	0,01023	0,00782	0,00723	0,00904	0,00935	0,00845	0,01121
		6	0,00815	0,00784	0,00880	0,00748	0,00655	0,00939	0,01068	0,00956	0,01294	0,00761	0,00692	0,00906	0,01224	0,01076	0,01524
		7	0,00775	0,00745	0,00840	0,00810	0,00703	0,01032	0,00975	0,00878	0,01174	0,00757	0,00745	0,00784	0,00863	0,00802	0,00991
		8	0,00896	0,00836	0,01019	0,00727	0,00638	0,00911	0,00993	0,00923	0,01138	0,00807	0,00748	0,00929	0,00800	0,00751	0,00904
		9	0,01105	0,00979	0,01369	0,00824	0,00734	0,01012	0,00945	0,00883	0,01074	0,00837	0,00771	0,00974	0,00715	0,00674	0,00799
		10	0,00851	0,00809	0,00938	0,00872	0,00782	0,01059	0,00892	0,00808	0,01067	0,01006	0,00916	0,01189	0,00974	0,00899	0,01131

## Ergebnisse der Volumenauswertungen des Materials Affinis

Zahn	Affinis n	30 min		2 h		8 h		24 h		1 Wo	
		Vol (mm <sup>3</sup> )	VolAbw (%)	Vol (mm <sup>3</sup> )	VolAbw (%)	Vol (mm <sup>3</sup> )	VolAbw (%)	Vol (mm <sup>3</sup> )	VolAbw (%)	Vol (mm <sup>3</sup> )	VolAbw (%)
14	1	61,53	0,83	61,54	0,82	61,58	0,75	61,52	0,85	61,79	0,42
	2	61,62	0,68	61,50	0,88	61,64	0,65	61,69	0,57	61,59	0,74
	3	61,70	0,56	61,39	1,06	61,70	0,56	61,61	0,70	61,35	1,12
	4	61,59	0,73	61,55	0,80	61,32	1,17	61,72	0,52	61,68	0,60
	5	61,51	0,87	61,54	0,81	61,67	0,61	61,65	0,64	61,60	0,72
	6	61,47	0,93	61,65	0,64	61,87	0,28	61,61	0,70	61,54	0,82
	7	61,61	0,69	61,59	0,73	61,49	0,90	61,56	0,78	61,52	0,84
	8	61,49	0,89	61,65	0,64	61,60	0,71	61,73	0,51	61,27	1,24
	9	61,60	0,72	61,60	0,72	61,48	0,91	61,52	0,85	61,56	0,78
	10	61,50	0,88	61,59	0,73	61,52	0,85	61,48	0,92	61,62	0,69
16	1	134,54	0,07	134,30	0,25	133,80	0,62	133,73	0,67	134,05	0,43
	2	134,05	0,43	133,72	0,68	134,25	0,29	134,30	0,25	134,29	0,25
	3	133,99	0,48	134,33	0,23	134,19	0,33	134,07	0,42	133,97	0,49
	4	134,22	0,31	133,97	0,49	134,18	0,33	134,56	0,05	133,94	0,52
	5	134,33	0,22	134,05	0,43	134,34	0,22	134,22	0,31	134,56	0,06
	6	133,93	0,52	134,27	0,27	134,09	0,40	133,93	0,52	134,28	0,26
	7	133,76	0,65	134,24	0,29	133,88	0,56	134,64	0,01	134,02	0,45
	8	133,66	0,72	134,34	0,21	133,79	0,62	134,17	0,34	133,94	0,51
	9	134,50	0,10	134,19	0,33	133,74	0,66	133,14	1,11	133,83	0,59
	10	134,16	0,35	134,12	0,38	133,76	0,64	133,63	0,74	133,96	0,50
14-16	1	196,02	0,33	195,29	0,71	194,97	0,87	194,99	0,86	195,51	0,59
	2	195,89	0,40	195,29	0,70	195,15	0,77	196,39	0,15	195,47	0,61
	3	195,67	0,51	195,36	0,67	195,52	0,59	195,64	0,52	194,82	0,95
	4	196,48	0,10	195,56	0,57	195,19	0,76	195,54	0,58	195,31	0,69
	5	195,75	0,47	195,16	0,77	195,77	0,46	195,95	0,37	195,93	0,38
	6	195,34	0,68	195,58	0,56	195,32	0,69	194,83	0,94	194,45	1,13
	7	195,83	0,43	195,96	0,37	195,23	0,73	195,57	0,56	195,25	0,73
	8	195,38	0,66	195,24	0,73	195,48	0,61	195,89	0,40	194,84	0,93
	9	195,34	0,68	195,73	0,48	195,02	0,84	195,23	0,74	195,03	0,84
	10	195,68	0,51	195,35	0,67	195,02	0,84	195,00	0,85	195,13	0,79

## Ergebnisse der Volumenauswertungen des Materials Impregum

Impregum Zahn	n	30 min		2 h		8 h		24 h		1 Wo	
		Vol (mm <sup>3</sup> )	VolAbw (%)	Vol (mm <sup>3</sup> )	VolAbw (%)	Vol (mm <sup>3</sup> )	VolAbw (%)	Vol (mm <sup>3</sup> )	VolAbw (%)	Vol (mm <sup>3</sup> )	VolAbw (%)
14	1	61,58	0,75	61,20	1,36	60,88	1,88	61,22	1,33	61,15	0,39
	2	61,59	0,74	61,46	0,94	62,23	0,29	61,37	1,08	61,17	1,19
	3	61,59	0,74	61,45	0,96	61,00	1,68	61,19	1,38	60,58	0,76
	4	61,46	0,95	61,46	0,95	61,19	1,37	61,21	1,35	61,20	0,96
	5	61,56	0,95	61,02	1,66	60,85	1,92	61,15	1,44	60,70	1,49
	6	61,13	1,48	61,15	1,45	61,18	1,39	60,89	1,86	61,32	0,53
	7	61,45	0,95	61,25	1,28	61,59	0,73	60,82	1,97	61,48	0,63
	8	61,21	1,35	61,25	1,28	61,12	1,49	61,16	1,43	61,02	0,10
	9	61,43	1,00	61,21	1,35	61,26	1,27	61,34	1,14	61,37	0,99
	10	61,31	1,18	61,51	0,87	61,24	1,30	61,09	1,53	61,35	0,68
16	1	133,56	0,80	133,71	0,68	133,48	0,86	134,03	0,45	134,11	0,39
	2	133,66	0,72	133,99	0,48	133,11	1,13	133,25	1,02	133,03	1,19
	3	133,91	0,54	133,9	0,54	133,81	0,61	134,29	0,26	133,61	0,76
	4	133,69	0,70	134,47	0,12	134,57	0,05	133,26	1,02	133,33	0,96
	5	134,42	0,16	134,68	0,04	132,34	1,70	133,90	0,54	132,62	1,49
	6	134,10	0,40	133,58	0,78	134,21	0,32	134,32	0,23	133,91	0,53
	7	133,51	0,83	133,83	0,59	134,17	0,35	133,50	0,84	133,78	0,63
	8	133,57	0,79	134,38	0,19	133,35	0,95	134,47	0,12	134,50	0,10
	9	134,34	0,22	133,76	0,64	134,58	0,04	134,34	0,22	133,30	0,99
	10	133,88	0,56	133,52	0,83	133,56	0,80	133,84	0,59	133,72	0,68
14-16	1	194,68	1,02	194,22	1,25	194,28	1,22	195,07	0,82	194,91	0,90
	2	195,14	0,78	195,01	0,85	194,86	0,92	193,93	1,40	194,21	1,26
	3	195,03	0,84	195,04	0,83	194,40	1,16	194,83	0,94	195,29	0,70
	4	194,69	1,01	195,23	0,74	194,84	0,93	194,49	1,11	194,09	1,31
	5	196,46	0,11	195,18	0,76	193,01	1,87	194,26	1,23	193,16	1,79
	6	195,08	0,81	194,54	1,09	195,03	0,84	194,40	1,16	194,73	0,99
	7	195,78	0,46	194,51	1,10	195,43	0,63	193,42	1,65	194,28	1,22
	8	194,45	1,13	195,11	0,79	194,29	1,21	194,83	0,94	194,73	0,99
	9	195,45	0,62	194,43	1,14	194,95	0,88	194,85	0,93	194,45	1,13
	10	194,87	0,92	195,25	0,73	194,79	0,96	194,64	1,03	194,49	1,11

## Ergebnisse der Volumenauswertungen des Materials Identium

Identium	30 min		2 h		8 h		24 h		1 Wo			
	Zahn	n	Vol (mm <sup>3</sup> )	VolAbw (%)	Vol (mm <sup>3</sup> )	VolAbw (%)	Vol (mm <sup>3</sup> )	VolAbw (%)	Vol (mm <sup>3</sup> )	VolAbw (%)		
14	1	1	61,55	0,80	61,50	0,88	61,32	1,17	60,99	1,70	61,52	0,85
	2	1	61,51	0,86	61,45	0,96	61,25	1,28	61,49	0,90	61,35	1,12
	3	1	61,59	0,73	61,53	0,83	61,30	1,21	61,59	0,73	61,06	1,59
	4	1	61,64	0,66	61,55	0,79	61,33	1,15	61,65	0,63	61,35	1,12
	5	1	61,47	0,93	61,52	0,84	61,42	1,01	61,47	0,93	61,41	1,03
	6	1	61,47	0,92	61,45	0,96	61,32	1,17	61,50	0,88	61,10	1,52
	7	1	61,44	0,98	61,37	1,09	61,35	1,12	61,45	0,96	61,48	0,91
	8	1	61,38	1,08	61,49	0,89	61,29	1,22	61,39	1,06	61,38	1,07
	9	1	61,21	1,34	61,38	1,06	61,27	1,25	61,43	0,99	61,56	0,77
	10	1	61,60	0,72	61,33	1,16	61,35	1,12	61,23	1,32	61,35	1,11
16	1	1	134,73	0,08	133,64	0,73	134,04	0,44	133,78	0,64	133,73	0,67
	2	1	134,32	0,23	134,35	0,21	134,09	0,40	134,15	0,36	133,89	0,55
	3	1	134,16	0,35	134,38	0,18	134,04	0,44	134,07	0,42	134,11	0,39
	4	1	134,05	0,43	134,12	0,38	133,92	0,53	133,84	0,59	133,41	0,90
	5	1	133,92	0,53	134,16	0,35	134,24	0,29	134,27	0,27	134,56	0,06
	6	1	134,06	0,42	134,17	0,34	133,91	0,53	134,04	0,44	133,69	0,70
	7	1	134,23	0,30	134,49	0,11	134,02	0,46	133,91	0,53	134,02	0,46
	8	1	134,37	0,19	134,03	0,44	133,78	0,63	133,98	0,49	133,98	0,48
	9	1	133,40	0,91	133,90	0,54	133,90	0,54	134,35	0,21	134,22	0,30
	10	1	134,02	0,46	134,06	0,42	134,48	0,12	133,84	0,59	133,83	0,59
14-16	1	1	195,72	0,48	195,39	0,66	195,21	0,75	194,86	0,92	195,45	0,62
	2	1	195,42	0,64	195,71	0,49	195,65	0,52	195,22	0,74	195,19	0,76
	3	1	195,84	0,43	195,31	0,69	195,12	0,79	195,84	0,43	195,41	0,64
	4	1	195,46	0,62	195,73	0,48	195,35	0,67	195,46	0,62	195,04	0,83
	5	1	195,53	0,58	195,49	0,60	195,49	0,60	195,53	0,58	195,61	0,54
	6	1	195,52	0,59	195,68	0,51	194,85	0,93	195,24	0,73	194,95	0,88
	7	1	195,30	0,70	195,36	0,67	195,32	0,69	194,69	1,01	195,03	0,84
	8	1	195,52	0,59	195,89	0,40	194,65	1,03	195,60	0,55	194,89	0,91
	9	1	194,96	0,88	195,49	0,60	195,01	0,85	194,70	1,00	196,18	0,25
	10	1	194,55	1,08	195,19	0,76	195,44	0,63	194,95	0,88	194,06	1,33



### 7.3 Statistische Auswertung

Die Ergebnisse des Dunn-Tests mit Bonferroni-Korrektur wurden im Folgenden aufgelistet.

Streckenauswertung in Abhängigkeit der Lagerzeit	
Anzahl Testpaare:	90
gewähltes Signifikanzniveau:	0,05
korrigiertes Signifikanzniveau:	0,00055556

Paare	p - Wert	Paare	p - Wert	Paare	p - Wert
111 - 112	0,089	211 - 212	0,015	311 - 312	0,353
111 - 113	0,912	211 - 213	0,971	311 - 313	0,631
111 - 114	0,165	211 - 214	0,315	311 - 314	0,089
111 - 115	0,003	211 - 215	0,000076	311 - 315	0,075
112 - 113	0,063	212 - 213	0,00013	312 - 313	0,393
112 - 114	0,315	212 - 214	0,043	312 - 314	0,029
112 - 115	0,000011	212 - 215	0,002	312 - 315	0,015
113 - 114	0,315	213 - 214	0,247	313 - 314	0,315
113 - 115	0,002	213 - 215	0,000022	313 - 315	0,165
114 - 115	0,000011	214 - 215	0,000076	314 - 315	0,436
121 - 122	0,000011	221 - 222	0,011	321 - 322	0,105
121 - 123	0,00013	221 - 223	0,393	321 - 323	0,436
121 - 124	0,002	221 - 224	0,315	321 - 324	0,912
121 - 125	0,143	221 - 225	0,000011	321 - 325	0,353
122 - 123	0,000487	222 - 223	0,089	322 - 323	0,009
122 - 124	0,009	222 - 224	0,19	322 - 324	0,023
122 - 125	0,000011	222 - 225	0,00105	322 - 325	0,007
123 - 124	0,684	223 - 224	0,971	323 - 324	0,912
123 - 125	0,000011	223 - 225	0,000011	323 - 325	0,353
124 - 125	0,000022	224 - 225	0,000725	324 - 325	0,19
131 - 132	0,011	231 - 232	0,063	331 - 332	0,019
131 - 133	0,631	231 - 233	0,739	331 - 333	0,023
131 - 134	1	231 - 234	0,218	331 - 334	0,579
131 - 135	0,000206	231 - 235	0,000011	331 - 335	0,015
132 - 133	0,00105	232 - 233	0,052	332 - 333	0,912
132 - 134	0,00105	232 - 234	0,436	332 - 334	0,002
132 - 135	0,000011	232 - 235	0,003	332 - 335	0,123
133 - 134	0,631	233 - 234	0,353	333 - 334	0,011
133 - 135	0,000325	233 - 235	0,000011	333 - 335	0,971
134 - 135	0,000076	234 - 235	0,000725	334 - 335	0,005196

## 7 Anhang

### Streckenbewertung in Abhängigkeit des Materials

Anzahl Testpaare:	15
gewähltes Signifikanzniveau:	0,05
korrigiertes Signifikanzniveau:	0,00333333

Paare	p - Wert	Paare	p - Wert	Paare	p - Wert
11 - 21	0,436	22 - 32	0,075	14 - 34	0,011
11 - 31	0,019	13 - 23	0,123	24 - 34	0,075
21 - 31	0,011	13 - 33	0	15 - 25	0
12 - 22	0,631	23 - 33	0,001	15 - 35	0
12 - 32	0,007	14 - 24	0,684	25 - 35	0,739

### Flächenauswertung in Abhängigkeit der Lagerzeit

Anzahl Testpaare:	270
gewähltes Signifikanzniveau:	0,05
korrigiertes Signifikanzniveau:	0,00018519

Paare	p - Wert	Paare	p - Wert	Paare	p - Wert
1111 - 1112	0,436	2111 - 2112	0,912	3111 - 3112	0,579
1111 - 1113	0,971	2111 - 2113	0,089	3111 - 3113	0,005
1111 - 1114	0,007	2111 - 2114	0,165	3111 - 3114	0,684
1111 - 1115	0,579	2111 - 2115	0,436	3111 - 3115	0,123
1112 - 1113	0,436	2112 - 2113	0,015	3112 - 3113	0,000325
1112 - 1114	0,052	2112 - 2114	0,035	3112 - 3114	0,853
1112 - 1115	0,971	2112 - 2115	0,105	3112 - 3115	0,247
1113 - 1114	0,019	2113 - 2114	0,218	3113 - 3114	0,000725
1113 - 1115	0,579	2113 - 2115	0,165	3113 - 3115	0,089
1114 - 1115	0,075	2114 - 2115	0,165	3114 - 3115	0,123
1121 - 1122	0,353	2121 - 2122	0,853	3121 - 3122	0,971
1121 - 1123	0,393	2121 - 2123	0,393	3121 - 3123	0,023
1121 - 1124	0,015	2121 - 2124	0,481	3121 - 3124	0,912
1121 - 1125	0,971	2121 - 2125	0,035	3121 - 3125	0,165
1122 - 1123	0,529	2122 - 2123	0,089	3122 - 3123	0,000487
1122 - 1124	0,413	2122 - 2124	0,579	3122 - 3124	0,796
1122 - 1125	0,739	2122 - 2125	0,023	3122 - 3125	0,063
1123 - 1124	0,089	2123 - 2124	0,436	3123 - 3124	0,00105
1123 - 1125	0,796	2123 - 2125	0,001	3123 - 3125	0,28
1124 - 1125	0,052	2124 - 2125	0,005	3124 - 3125	0,089
1131 - 1132	0,481	2131 - 2132	0,853	3131 - 3132	0,353

## 7 Anhang

Paare	p - Wert	Paare	p - Wert	Paare	p - Wert
1131 - 1133	0,436	2131 - 2133	0,043	3131 - 3133	0,003
1131 - 1134	0,011	2131 - 2134	0,075	3131 - 3134	0,529
1131 - 1135	0,28	2131 - 2135	0,165	3131 - 3135	0,089
1132 - 1133	0,218	2132 - 2133	0,004	3132 - 3133	0,007
1132 - 1134	0,043	2132 - 2134	0,005	3132 - 3134	0,684
1132 - 1135	0,529	2132 - 2135	0,011	3132 - 3135	0,631
1133 - 1134	0,015	2133 - 2134	0,143	3133 - 3134	0,002
1133 - 1135	0,247	2133 - 2135	0,105	3133 - 3135	0,075
1134 - 1135	0,28	2134 - 2135	0,089	3134 - 3135	0,165
1211 - 1212	0,019	2211 - 2212	0,247	3211 - 3212	0,029
1211 - 1213	0,971	2211 - 2213	0,971	3211 - 3213	0,035
1211 - 1214	0,912	2211 - 2214	0,315	3211 - 3214	0,218
1211 - 1215	0,28	2211 - 2215	0,105	3211 - 3215	0,089
1212 - 1213	0,218	2212 - 2213	0,353	3212 - 3213	0,000206
1212 - 1214	0,029	2212 - 2214	0,912	3212 - 3214	0,436
1212 - 1215	0,005	2212 - 2215	0,002	3212 - 3215	0,007
1213 - 1214	0,853	2213 - 2214	0,436	3213 - 3214	0,004
1213 - 1215	0,315	2213 - 2215	0,247	3213 - 3215	0,739
1214 - 1215	0,353	2214 - 2215	0,143	3214 - 3215	0,029
1221 - 1222	0,009	2221 - 2222	0,436	3221 - 3222	0,075
1221 - 1223	0,684	2221 - 2223	0,739	3221 - 3223	0,004
1221 - 1224	0,165	2221 - 2224	0,28	3221 - 3224	0,28
1221 - 1225	0,247	2221 - 2225	0,247	3221 - 3225	0,052
1222 - 1223	0,123	2222 - 2223	0,796	3222 - 3223	0,000076
1222 - 1224	0,052	2222 - 2224	0,796	3222 - 3224	0,393
1222 - 1225	0,004	2222 - 2225	0,011	3222 - 3225	0,003
1223 - 1224	0,684	2223 - 2224	0,579	3223 - 3224	0,002
1223 - 1225	0,315	2223 - 2225	0,28	3223 - 3225	0,853
1224 - 1225	0,123	2224 - 2225	0,19	3224 - 3225	0,015
1231 - 1232	0,436	2231 - 2232	0,063	3231 - 3232	0,143
1231 - 1233	0,912	2231 - 2233	0,739	3231 - 3233	0,28
1231 - 1234	0,436	2231 - 2234	0,631	3231 - 3234	0,393
1231 - 1235	0,353	2231 - 2235	0,089	3231 - 3235	0,247
1232 - 1233	0,684	2232 - 2233	0,019	3232 - 3233	0,015
1232 - 1234	0,123	2232 - 2234	0,579	3232 - 3234	0,393
1232 - 1235	0,123	2232 - 2235	0,001	3232 - 3235	0,019
1233 - 1234	0,28	2233 - 2234	0,28	3233 - 3234	0,089
1233 - 1235	0,315	2233 - 2235	0,28	3233 - 3235	0,796
1234 - 1235	0,912	2234 - 2235	0,089	3234 - 3235	0,089
1311 - 1312	0,796	2311 - 2312	0,631	3311 - 3312	0,684
1311 - 1313	0,353	2311 - 2313	0,218	3311 - 3313	0,004
1311 - 1314	0,315	2311 - 2314	0,529	3311 - 3314	0,579
1311 - 1315	0,418	2311 - 2315	0,143	3311 - 3315	0,019
1312 - 1313	0,739	2312 - 2313	0,023	3312 - 3313	0,000043

## 7 Anhang

Paare	p - Wert	Paare	p - Wert	Paare	p - Wert
1312 - 1314	0,165	2312 - 2314	0,19	3312 - 3314	0,971
1312 - 1315	0,631	2312 - 2315	0,007	3312 - 3315	0,004
1313 - 1314	0,123	2313 - 2314	0,315	3313 - 3314	0,000725
1313 - 1315	0,971	2313 - 2315	0,631	3313 - 3315	1
1314 - 1315	0,165	2314 - 2315	0,247	3314 - 3315	0,007
1321 - 1322	0,436	2321 - 2322	0,853	3321 - 3322	0,481
1321 - 1323	0,853	2321 - 2323	0,529	3321 - 3323	0,009
1321 - 1324	0,052	2321 - 2324	0,971	3321 - 3324	0,579
1321 - 1325	0,529	2321 - 2325	0,436	3321 - 3325	0,019
1322 - 1323	0,529	2322 - 2323	0,165	3322 - 3323	0,000011
1322 - 1324	0,165	2322 - 2324	0,853	3322 - 3324	0,912
1322 - 1325	0,19	2322 - 2325	0,218	3322 - 3325	0,000725
1323 - 1324	0,123	2323 - 2324	0,529	3323 - 3324	0,000487
1323 - 1325	0,481	2323 - 2325	0,971	3323 - 3325	0,912
1324 - 1325	0,023	2324 - 2325	0,796	3324 - 3325	0,004
1331 - 1332	0,052	2331 - 2332	0,353	3331 - 3332	0,853
1331 - 1333	0,075	2331 - 2333	0,089	3331 - 3333	0,004
1331 - 1334	0,436	2331 - 2334	0,353	3331 - 3334	0,912
1331 - 1335	0,436	2331 - 2335	0,123	3331 - 3335	0,029
1332 - 1333	0,796	2332 - 2333	0,001	3332 - 3333	0,000487
1332 - 1334	0,247	2332 - 2334	0,011	3332 - 3334	0,739
1332 - 1335	0,579	2332 - 2335	0,002	3332 - 3335	0,019
1333 - 1334	0,481	2333 - 2334	0,28	3333 - 3334	0,002
1333 - 1335	0,739	2333 - 2335	0,218	3333 - 3335	0,912
1334 - 1335	0,739	2334 - 2335	0,063	3334 - 3335	0,023

### Flächenauswertung in Abhängigkeit des Materials

Anzahl Testpaare:	135
gewähltes Signifikanzniveau:	0,05
korrigiertes Signifikanzniveau:	0,00037037

Paare	p - Wert	Paare	p - Wert	Paare	p - Wert
1111 - 2111	0,00105	1312 - 2312	0,000076	1214 - 2214	0,000725
1111 - 3111	0,19	1312 - 3312	0,853	1214 - 3214	0,579
2111 - 3111	0,035	2312 - 3312	0,000011	2214 - 3214	0,000043
1121 - 2121	0,000325	1322 - 2322	0,000022	1224 - 2224	0,00105
1121 - 3121	0,353	1322 - 3322	0,739	1224 - 3224	0,912
2121 - 3121	0,005196	2322 - 3322	0,000011	2224 - 3224	0,00013
1131 - 2131	0,011	1332 - 2332	0,000725	1234 - 2234	0,00105
1131 - 3131	0,143	1332 - 3332	1	1234 - 3234	0,481
2131 - 3131	0,089	2332 - 3332	0,000487	2234 - 3234	0,000076

## 7 Anhang

<b>Paare</b>	<b>p - Wert</b>	<b>Paare</b>	<b>p - Wert</b>	<b>Paare</b>	<b>p - Wert</b>
1211 - 2211	0,000011	1113 - 2113	0,000011	1314 - 2314	0,000011
1211 - 3211	0,912	1113 - 3113	0,000076	1314 - 3314	0,247
2211 - 3211	0,000022	2113 - 3113	0,00013	2314 - 3314	0,000011
1221 - 2221	0,000011	1123 - 2123	0,000011	1324 - 2324	0,000011
1221 - 3221	0,684	1123 - 3123	0,000022	1324 - 3324	0,247
2221 - 3221	0,000011	2123 - 3123	0,009	2324 - 3324	0,000043
1231 - 2231	0,000011	1133 - 2133	0,000022	1334 - 2334	0,000011
1231 - 3231	0,315	1133 - 3133	0,002	1334 - 3334	0,353
2231 - 3231	0,00013	2133 - 3133	0,000725	2334 - 3334	0,000011
1311 - 2311	0,00011	1213 - 2213	0,000076	1115 - 2115	0,000325
1311 - 3311	0,353	1213 - 3213	0,052	1115 - 3115	0,011
2311 - 3311	0,000487	2213 - 3213	0,000725	2115 - 3115	0,043
1321 - 2321	0,000011	1223 - 2223	0,000487	1125 - 2125	0,165
1321 - 3321	0,853	1223 - 3223	0,063	1125 - 3125	0,029
2321 - 3321	0,000076	2223 - 3223	0,00105	2125 - 3125	0,481
1331 - 2331	0,000206	1233 - 2233	0,000011	1135 - 2135	0,000487
1331 - 3331	0,029	1233 - 3233	0,075	1135 - 3135	0,007
2331 - 3331	0,003	2233 - 3233	0,000076	2135 - 3135	0,003
1112 - 2112	0,000206	1313 - 2313	0,000011	1215 - 2215	0,000043
1112 - 3112	0,019	1313 - 3313	0,000325	1215 - 3215	0,393
2112 - 3112	0,007	2313 - 3313	0,000011	2215 - 3215	0,000076
1122 - 2122	0,000325	1323 - 2323	0,000022	1225 - 2225	0,000022
1122 - 3122	0,075	1323 - 3323	0,002	1225 - 3225	0,353
2122 - 3122	0,00105	2323 - 3323	0,000325	2225 - 3225	0,000076
1132 - 2132	0,000725	1333 - 2333	0,000011	1235 - 2235	0,000043
1132 - 3132	0,004	1333 - 3333	0,000725	1235 - 3235	0,436
2132 - 3132	0,089	2333 - 3333	0,000011	2235 - 3235	0,00013
1212 - 2212	0,000011	1114 - 2114	0,000011	1315 - 2315	0,000076
1212 - 3212	0,165	1114 - 3114	0,005196	1315 - 3315	0,019
2212 - 3212	0,000011	2114 - 3114	0,000011	2315 - 3315	0,002
1222 - 2222	0,000011	1124 - 2124	0,000011	1325 - 2325	0,000043
1222 - 3222	0,28	1124 - 3124	0,019	1325 - 3325	0,035
2222 - 3222	0,000011	2124 - 3124	0,000022	2325 - 3325	0,003
1232 - 2232	0,000076	1134 - 2134	0,000011	1335 - 2335	0,000206
1232 - 3232	0,481	1134 - 3134	0,000725	1335 - 3335	0,011
2232 - 3232	0,000076	2134 - 3134	0,000022	2335 - 3335	0,002

## 7 Anhang

Flächenauswertung der Abformungsstelle in Abhängigkeit der Lagerzeit	
Anzahl Testpaare:	135
gewähltes Signifikanzniveau:	0,05
korrigiertes Signifikanzniveau:	0,00037037

Paare	p - Wert	Paare	p - Wert	Paare	p - Wert
1111 - 1121	0,853	2111 - 2121	0,853	3111 - 3121	0,684
1111 - 1131	0,739	2111 - 2131	0,796	3111 - 3131	0,579
1121 - 1131	0,684	2121 - 2131	0,796	3121 - 3131	0,436
1211 - 1221	0,353	2211 - 2221	0,353	3211 - 3221	0,123
1211 - 1231	0,143	2211 - 2231	0,315	3211 - 3231	0,029
1221 - 1231	0,052	2221 - 2231	0,143	3221 - 3231	0,00105
1311 - 1321	0,165	2311 - 2321	0,436	3311 - 3321	0,315
1311 - 1331	0,011	2311 - 2331	0,28	3311 - 3331	0,019
1321 - 1331	0,002	2321 - 2331	0,165	3321 - 3331	0,002
1112 - 1122	0,739	2112 - 2122	0,739	3112 - 3122	0,105
1112 - 1132	0,739	2112 - 2132	0,631	3112 - 3132	0,089
1122 - 1132	0,684	2122 - 2132	0,684	3122 - 3132	0,003
1212 - 1222	0,165	2212 - 2222	0,739	3212 - 3222	0,043
1212 - 1232	0,023	2212 - 2232	0,529	3212 - 3232	0,003
1222 - 1232	0,009	2222 - 2232	0,315	3222 - 3232	0,000022
1312 - 1322	0,043	2312 - 2322	0,436	3312 - 3322	0,015
1312 - 1332	0,009	2312 - 2332	0,28	3312 - 3332	0,000487
1322 - 1332	0,000725	2322 - 2332	0,19	3322 - 3332	0,000011
1113 - 1123	0,436	2113 - 2123	0,105	3113 - 3123	0,043
1113 - 1133	0,393	2113 - 2133	0,009	3113 - 3133	0,004
1123 - 1133	0,063	2123 - 2133	0,00105	3123 - 3133	0,000206
1213 - 1223	0,631	2213 - 2223	0,436	3213 - 3223	0,353
1213 - 1233	0,315	2213 - 2233	0,28	3213 - 3233	0,165
1223 - 1233	0,143	2223 - 2233	0,075	3223 - 3233	0,052
1313 - 1323	0,123	2313 - 2323	0,247	3313 - 3323	0,035
1313 - 1333	0,019	2313 - 2333	0,105	3313 - 3333	0,002
1323 - 1333	0,000487	2323 - 2333	0,019	3323 - 3333	0,000011
1114 - 1124	0,796	2114 - 2124	0,052	3114 - 3124	0,393
1114 - 1134	0,853	2114 - 2134	0,015	3114 - 3134	0,353
1124 - 1134	0,912	2124 - 2134	0,000325	3124 - 3134	0,035
1214 - 1224	0,165	2214 - 2224	0,481	3214 - 3224	0,19
1214 - 1234	0,143	2214 - 2234	0,218	3214 - 3234	0,052
1224 - 1234	0,015	2224 - 2234	0,19	3224 - 3234	0,011
1314 - 1324	0,052	2314 - 2324	0,315	3314 - 3324	0,105
1314 - 1334	0,007	2314 - 2334	0,089	3314 - 3334	0,007
1324 - 1334	0,000325	2324 - 2334	0,029	3324 - 3334	0,000325
1115 - 1125	0,912	2115 - 2125	0,003	3115 - 3125	0,436
1115 - 1135	0,579	2115 - 2135	0,015	3115 - 3135	0,28
1125 - 1135	0,631	2125 - 2135	0,003	3125 - 3135	0,123
1215 - 1225	0,529	2215 - 2225	0,143	3215 - 3225	0,579
1215 - 1235	0,315	2215 - 2235	0,043	3215 - 3235	0,393
1225 - 1235	0,143	2225 - 2235	0,003	3225 - 3235	0,105
1315 - 1325	0,353	2315 - 2325	0,063	3315 - 3325	0,315
1315 - 1335	0,105	2315 - 2335	0,015	3315 - 3335	0,165
1325 - 1335	0,029	2325 - 2335	0,003	3325 - 3335	0,015

## 7 Anhang

Volumenauswertung in Abhängigkeit der Lagerzeit	
Anzahl der Testpaare	90
gewähltes Signifikanzniveau:	0,05
korrigiertes Signifikanzniveau:	0,00055556

Paare	p - Wert	Paare	p - Wert	Paare	p - Wert
111 - 112	0,853	211 - 212	0,218	311 - 312	0,436
111 - 113	0,739	211 - 213	0,075	311 - 313	0,002
111 - 114	0,247	211 - 214	0,003	311 - 314	0,436
111 - 115	0,912	211 - 215	0,123	311 - 315	0,063
112 - 113	0,739	212 - 213	0,28	312 - 313	0,0003
112 - 114	0,315	212 - 214	0,075	312 - 314	0,739
112 - 115	0,971	212 - 215	0,631	312 - 315	0,143
113 - 114	0,684	213 - 214	0,796	313 - 314	0,029
113 - 115	0,796	213 - 215	0,739	313 - 315	0,075
114 - 115	0,529	214 - 215	0,436	314 - 315	0,28
121 - 122	0,739	221 - 222	0,436	321 - 322	0,853
121 - 123	0,529	221 - 223	0,579	321 - 323	0,247
121 - 124	0,853	221 - 224	0,912	321 - 324	0,247
121 - 125	0,796	221 - 225	0,393	321 - 325	0,143
122 - 123	0,165	222 - 223	0,353	322 - 323	0,247
122 - 124	0,529	222 - 224	0,796	322 - 324	0,247
122 - 125	0,218	222 - 225	0,165	322 - 325	0,123
123 - 124	0,853	223 - 224	0,579	323 - 324	0,912
123 - 125	0,393	223 - 225	0,529	323 - 325	0,315
124 - 125	0,971	224 - 225	0,247	324 - 325	0,436
131 - 132	0,043	231 - 232	0,393	331 - 332	0,684
131 - 133	0,003	231 - 233	0,052	331 - 333	0,165
131 - 134	0,247	231 - 234	0,009	331 - 334	0,353
131 - 135	0,005	231 - 235	0,015	331 - 335	0,218
132 - 133	0,089	232 - 233	0,247	332 - 333	0,063
132 - 134	1	232 - 234	0,075	332 - 334	0,089
132 - 135	0,089	232 - 235	0,089	332 - 335	0,063
133 - 134	0,315	233 - 234	0,481	333 - 334	0,912
133 - 135	0,631	233 - 235	0,315	333 - 335	0,912
134 - 135	0,165	234 - 235	0,796	334 - 335	0,971

## 7 Anhang

Volumenauswertung in Abhängigkeit des Materials	
Anzahl Testpaare:	45
gewähltes Signifikanzniveau:	0,05
korrigiertes Signifikanzniveau:	0,001111

Paare	p - Wert	Paare	p - Wert	Paare	p - Wert
111 - 211	0,007	222 - 322	0,218	214 - 314	0,002
111 - 311	0,143	132 - 232	0,00013	124 - 224	0,684
211 - 311	0,218	132 - 332	0,393	124 - 324	0,739
121 - 221	0,075	232 - 332	0,000043	224 - 324	0,853
121 - 321	0,971	113 - 213	0,005196	134 - 234	0,000206
221 - 321	0,123	113 - 313	0,000206	134 - 334	0,143
131 - 231	0,015	213 - 313	0,029	234 - 334	0,002
131 - 331	0,089	123 - 223	0,393	115 - 215	0,007
231 - 331	0,19	123 - 323	0,684	115 - 315	0,015
112 - 212	0,000206	223 - 323	0,353	215 - 315	0,247
112 - 312	0,005196	133 - 233	0,002	125 - 225	0,011
212 - 312	0,029	133 - 333	0,796	125 - 325	0,247
122 - 222	0,28	233 - 333	0,009	225 - 325	0,105
122 - 322	0,912	114 - 214	0,000011	135 - 235	0,003
111 - 211	0,007	114 - 314	0,004	135 - 335	0,912
111 - 311	0,143	222 - 322	0,218	235 - 335	0,007



