

Aus der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik, Alterszahnheilkunde und medizinische  
Werkstoffkunde

(Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. dent. Reiner Biffar)

im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

(Geschäftsführender Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. dent. Karl-Friedrich Krey)

der Universitätsmedizin der Universität Greifswald

# **Dimensionsänderungen von dentalen Abformmaterialien durch Desinfektionsmittel**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Zahnmedizin

(Dr. med. dent.)

der Universitätsmedizin der

Universität Greifswald

2022

vorgelegt von: Mike Rudolf Edelmann

geboren am: 14. März 1994

in: Eberbach

Dekan: Prof. Dr. med. Karlhans Endlich

1. Gutachter: Prof. Dr. med. dent. Reiner Biffar
2. Gutachter: Prof. Dr. med. dent. Holger Jakstat

Ort, Raum: Greifswald, Walther-Rathenau-Straße 42a, Hörsaal des ZZMK

Tag der Disputation: 07.03.2023

*Meinen Eltern*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>8</b>
<b>2. Literaturübersicht</b>	<b>9</b>
2.1 Die Abformung	9
2.1.1 Übersicht der Abformmaterialien	9
2.1.2 Unterschiede der Abformlöffel	11
2.2 Alginate	13
2.2.1 Zusammensetzung	13
2.2.2 Dimensionsstabilität	14
2.3 Die Desinfektion	16
2.4 Gips	18
2.5 Möglichkeiten der Vermessung	20
<b>3. Fragestellung und Zielsetzung</b>	<b>21</b>
<b>4. Material und Methode</b>	<b>22</b>
4.1 Verwendete Materialien und Geräte	22
4.2 Das Meistermodell	25
4.3 Herstellung der Probenkörper	27
4.3.1 Abformlöffel	27
4.3.2 Anmischen des Abformmaterials	28
4.3.3 Die Abformung	29
4.4 Desinfektion der Prüfkörper	32
4.5 Vermessung der Prüfkörper	34
4.6 Auswertung der Daten	36

4.6.1	Statistische Methode	36
4.6.2	Graphische Darstellung	36
<b>5.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>37</b>
5.1	Untersuchung der Messgenauigkeit am Meistermodell	37
5.2	Statistische Auswertung der Messergebnisse	38
5.2.1	Meistermodell gegen unbehandelte Alginate	39
5.2.2	Meistermodell bei Mundtemperatur gegen unbehandelte Alginate	41
5.2.3	Blueprint Xcreme unbehandelt gegen desinfiziert	43
5.2.4	HS-Maxima unbehandelt gegen desinfiziert	45
5.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	47
<b>6.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>49</b>
6.1	Diskussion von Material und Methode	49
6.2	Diskussion der Ergebnisse	52
6.2.1	Meistermodell gegen unbehandelte Alginate	52
6.2.2	Meistermodell bei Mundtemperatur gegen unbehandelte Alginate	53
6.2.3	Blueprint Xcreme und HS-Maxima unbehandelt gegen desinfiziert	53
6.3	Diskussion der Schlussfolgerung	55
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>56</b>
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>57</b>
<b>9.</b>	<b>Anhang</b>	<b>64</b>
<b>10.</b>	<b>Danksagung</b>	<b>78</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Urmodell in Superhartgips eingebettet (eigenes Bildmaterial)	25
Abbildung 2: Messpunkt unter dem Mikroskop (eigenes Bildmaterial)	25
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Messpunkte am Meistermodell (eigenes Bildmaterial)	26
Abbildung 4: individueller Abformlöffel (eigenes Bildmaterial)	27
Abbildung 5: Mischgerät für Alginate (eigenes Bildmaterial)	28
Abbildung 6: Meistermodell und befüllter Abformlöffel in der Material-Prüfmaschine (eigenes Bildmaterial)	29
Abbildung 7: Prüfkörper nach der Abformung (eigenes Bildmaterial)	31
Abbildung 8: Prüfkörper während der Desinfektion, HS-Maxima in EuroSept (eigenes Bildmaterial)	32
Abbildung 9: Prüfkörper im Messmikroskop (eigenes Bildmaterial)	34
Abbildung 10: Schematische Darstellung der Messpunkte im Prüfkörper (eigenes Bildmaterial)	34
Abbildung 11: Boxplots Umfang Meistermodell gegen unbehandelte Alginate	39
Abbildung 12: Boxplots Diagonale Meistermodell gegen unbehandelte Alginate	40
Abbildung 13: Boxplots Umfang Meistermodell bei Mundtemperatur gegen unbehandelte Alginate	41
Abbildung 14: Boxplots Diagonale Meistermodell bei Mundtemperatur gegen unbehandelte Alginate	42
Abbildung 15: Boxplots Umfang Blueprint Xcreme unbehandelt gegen desinfiziert	43
Abbildung 16: Boxplots Diagonale Blueprint Xcreme unbehandelt gegen desinfiziert	44
Abbildung 17: Boxplots Umfang HS-Maxima unbehandelt gegen desinfiziert	45
Abbildung 18: Boxplots Diagonale HS-Maxima unbehandelt gegen desinfiziert	46

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Abformmassen (modifiziert nach Eble und Mergelsberg, 2010; Jakstat und Klinke, 2008; Weber, 2016)	9
Tabelle 2: Gipstypen (modifiziert nach Eichner und Kappert, 2005; Ohlendorf, 2021)	18
Tabelle 3: Auflistung der verwendeten Abformmaterialien	22
Tabelle 4: Auflistung der verwendeten Desinfektionsmittel	22
Tabelle 5: weitere Materialien	23
Tabelle 6: Auflistung der verwendeten Geräte und Programme	23
Tabelle 7: Länge der Strecken (Mittelwerte aus Modellvermessung)	38

# 1. Einleitung

Auch in Zeiten der Digitalisierung und technischen Neuerungen legt eine gute Abformung noch immer den Grundstein der meisten zahntechnischen Arbeiten. Ihre Qualität und Präzision beeinflusst maßgeblich das Ergebnis der prothetischen Versorgung und somit auch die Zufriedenheit der Patienten (Rosentritt et al., 2018). Eine Abformung sollte deshalb immer so exakt wie möglich die individuelle Mundsituation des Patienten wiedergeben.

Des Weiteren stellt die Abformung eine wichtige Verbindung zwischen Zahnarzt und Zahntechniker dar (Schulz und Schwickerath, 1989). Als Werkstück aus einem Patientenmund ist eine Abformung jedoch mikrobiell kontaminiert und muss zum Schutz von Praxispersonal und Zahntechniker desinfiziert werden (Deutscher Arbeitskreis für Hygiene in der Zahnmedizin (Hrsg.), 2020). Neben experimentellen Versuchen durch Bestrahlung mit ultraviolettem Licht oder Mikrowellen stellt die Desinfektion in wässrigen Lösungen die gängigste Art der Desinfektion von Abformungen dar (Martin et al., 2007). Alginate, als bewährte Abformmaterialien, haben nach dem Abbinden die Eigenschaft Wasser sowohl abzugeben und dadurch zu schrumpfen, als auch Wasser aufzunehmen und hierdurch aufzuquellen (Eble und Mergelsberg, 2010; Jakstat und Klinke, 2008). Beides führt zu ungenauen Abformungen. Ein auf der Basis einer solchen Abformung hergestelltes Gipsmodell bietet nicht die nötige Präzision, um einen passgenauen Zahnersatz herzustellen.

Hier stellt sich nun die Grundfrage der vorliegenden Dissertation. Welchen Einfluss haben Desinfektionsmittel auf die Dimensionsstabilität von Abformmaterialien? Seit der Einführung von Desinfektionsmitteln für Abformungen wird deren Kompatibilität mit den verwendeten Abformmaterialien überprüft und kontrolliert. Dennoch ist das Thema noch immer aktuell, da es durch die Weiterentwicklung von Abformmaterialien und Verbesserung von Desinfektionsmitteln immer wieder zu neuen Produktkombinationen kommt, die im Sinne der Sicherung von Präzision und Qualität der Abformungen stets überprüft werden müssen.



## 2. Literaturübersicht

### 2.1 Die Abformung

Die Abformung wird als wichtigstes Bindeglied zwischen Zahnarzt und Zahntechniker gesehen. Eine fehlerfreie Abformung ist Voraussetzung für die Herstellung eines präzisen Modells, um die Passgenauigkeit der späteren zahntechnischen Arbeit zu garantieren. Die individuelle Situation von Hart- und Weichgewebe soll dimensions- und detailgetreu wiedergegeben werden (Schulz und Schwickerath, 1989). Anfangs noch ohne Abformlöffel, gehen die ersten dentalen Abformungen auf Phillip Pfaff (1713-1766) in Berlin zurück (Hoffmann-Axthelm, 1978). Anfang des 19. Jahrhunderts wird erstmals die Nutzung eines Löffels als Hilfsmittel zur Abformung beschrieben. Diese grundlegende Methode der Abformung gilt bis heute (Strübig, 1989). Die von Pfaff verwendeten Siegelwaxe werden Mitte des 19. Jahrhunderts erst von Abdruckgips und später von thermoplastischen Stentsmassen ersetzt. Diese werden wiederum ab Mitte des 20. Jahrhunderts von den Elastomeren abgelöst (Wöstmann, 2016). 1947 werden die ersten Alginate beschrieben, die aus den Hydrokolloiden entwickelt wurden (Hansson und Eklund, 1984). Sie zählen zu den am häufigsten verwendeten Materialien in der Zahnmedizin (Cervino et al., 2018). In der Fortführung der Abformtechnik werden seit den 1980er Jahren computergestützte, optische Verfahren immer weiter entwickelt, die in digital unterstützten Fertigungsprozessen immer mehr und mehr an Bedeutung gewinnen (Mörmann, 2006), den flächenhaften Einsatz der Alginate aber noch nicht ersetzen können.

#### 2.1.1 Übersicht der Abformmaterialien

Materialien zur dentalen Abformung lassen sich nach ihren physikalischen Merkmalen in vier Hauptgruppen einteilen (Jakstat und Klinke, 2008).

Tabelle 1: Einteilung der Abformmassen (modifiziert nach Eble und Mergelsberg, 2010; Jakstat und Klinke, 2008; Weber, 2016)

<b>Eigenschaft</b>	<b>Abformmaterial</b>
irreversibel starr	Abdruckgips Zinkoxid-Eugenol-Paste Kunststoffpasten
reversibel starr	Kompositionsmassen Guttapercha Wachse
irreversibel elastisch	Alginat Silikone Polyether
reversibel elastisch	Hydrokolloide

Ein Material muss grundlegende Eigenschaften erfüllen, um als Abformmasse geeignet zu sein. Für die Präzision der Werkstoffe gibt es Normen, welche unter anderem die lineare Schrumpfung, die Fähigkeit der Oberflächenreproduktion und die Rückstellkräfte nach Verformung berücksichtigen. Das Fließverhalten ist wichtig für eine detaillierte Wiedergabe der abzuformenden Oberfläche. Die Viskosität des Materials muss gering genug sein um feinste Strukturen wiedergeben zu können, aber auch hoch genug, um nicht aus dem Abformlöffel zu fließen. Thixotrope und strukturviskose Materialien schaffen es sowohl hoch-, als auch niedrigviskose Eigenschaften in einem Material zu vereinen. Damit keine Luftblasen bei der Abformung und bei der Modellherstellung entstehen, sollte das Material hydrophile Eigenschaften und eine gute Benetzbarkeit besitzen. Um die Abformung aus dem Mund entformen zu können, muss das Abformmaterial in seiner ausgehärteten Form deformierbar sein und eine hohe Rückstellgenauigkeit haben. Auch der richtige Grad der Reißfestigkeit ist für ein Abformmaterial ausschlaggebend. Sie muss so hoch sein, dass eine korrekte Darstellung von subgingivalen Bereichen möglich ist, aber die Abformung auch bei größeren, ausgeflossenen Interdentalräumen noch aus dem Mund entnommen werden kann. Bis die Abformung im Labor ausgegossen wird, vergehen teilweise mehrere Stunden. Um sicher zu stellen, dass die Abformung nicht verformt im Labor ankommt, spielen eine korrekte, materialspezifische Lagerung und die Dimensionsstabilität des Materials eine große Rolle. Bei der Abformung im Mund erfolgt eine Kontamination mit Speichel und Blut. Demzufolge ist eine Desinfektion aus arbeitsschutzrechtlichen und hygienischen Vorgaben unumgänglich, um

Kreuzkontaminationen sowohl im Praxisumfeld, als auch im Technikerlabor nach besten Möglichkeiten zu vermeiden. Des Weiteren muss eine sehr hohe Biokompatibilität und eine Kompatibilität mit den Materialien zur Modellherstellung gegeben sein (Rosentritt et al., 2018).

## **2.1.2 Unterschiede der Abformlöffel**

In der Zahnmedizin werden zwei Arten von Abformlöffeln unterscheiden: der konfektionierte und der individuelle Abformlöffel. Konfektionierte Abformlöffel sind in unterschiedlichen Größen erhältlich. Sie bestehen häufig aus Edelstahl zur mehrfachen Verwendung oder sind Einwegprodukte aus Kunststoff. Sie werden bei Standardsituationen für Situations- und Gegenkieferabformungen und auch zur Abformung von Präparationen verwendet. Individualisierte Abformlöffel werden anhand eines Situationsmodells vom Techniker aus auto- oder lichtpolymerisierenden Kunststoffen hergestellt. Sie kommen bei Funktions- und Implantatabformungen zum Einsatz, oder wenn eine Abformung mit einem konfektionierten Löffel nicht möglich ist (Eble und Mergelsberg, 2010; Lehmann et al., 2012; Schönfeld, 2005; Strietzel, 2021; Wöstmann, 1998).

Woodward zeigt bereits 1985, dass sich bei Alginatabformungen mit einem perforierten Löffel genauere Ergebnisse erzielen lassen, als bei der Verwendung von Rimlock Löffeln (Woodward et al., 1985). Rehberg zeigt, dass sich individuelle Abformlöffel aus verschiedenen Kunststoffen unter experimentellen Bedingungen soweit verformen lassen, dass dies zu Einflüssen auf das Arbeitsmodell führt. In der Praxis kann dies zu Ungenauigkeiten in der Abformung führen (Rehberg, 1977). Auch liefern Abformungen, bei denen ein Löffel aus Metall oder verwindungssteifem Kunststoff verwendet wird, eine höhere Genauigkeit, als bei Abformungen mit einem Löffel aus biegsamem Kunststoff (Carrotte et al., 1998). Shafa zeigt in einer Studie, dass es bei individuellen Löffeln aus lichtgehärteten und autopolymerisierten Kunststoffen keine signifikanten Unterschiede in der Genauigkeit der Abformung gibt (Shafa et al., 2008). Individuelle Löffel lassen sich mittlerweile auch ohne Modelle mithilfe von digitalen Scans und 3D-Druckern herstellen. Vorteile sind unter anderem die hohe Passgenauigkeit. Nachteilig bei der Herstellung eines stabilen Abformlöffels im 3D-Drucker sind die hohen Materialkosten. Ihr

Einsatzgebiet ist vornehmlich die Implantatabformung, da durch digitale Navigation und digitale Planung der Prozess optimiert werden kann (Schweiger et al., 2021).

## 2.2 Alginat

Alginat gehören auf Grund ihrer physikalischen Eigenschaften zu den irreversibel elastisch Abformmassen.

### 2.2.1 Zusammensetzung

Grundstoff der Alginat ist die aus Braun- und Rotalgen gewonnene Alginsäure, ein Polyglykosid. Die Alginsäure an sich ist wasserunlöslich. Sie liegt im Alginatpulver als wasserlösliches Salz, meist Natrumalginat oder Kaliumalginat, vor und macht zwischen 10 - 20 % des Pulvers aus. Den Hauptbestandteil bilden mit 60 - 80 % Calciumcarbonat und Diatomeenerde als Füllstoffe. Weiterer Bestandteil ist mit 0,5 - 12 %, je nach Autor bzw. Produkt, das Calciumsulfat, das als Reagens zur Abbindereaktion benötigt wird. Natriumphosphat mit einem Anteil von 0,5 - 3,5 % wirkt verzögernd auf die Abbindereaktion und sorgt damit für eine angemessene Verarbeitungszeit. Außerdem befinden sich noch 1 - 5 % Geschmacks- und Farbstoffe in dem Alginatpulver. Beim Anmischen des Pulvers mit Wasser verbraucht für eine ausreichende Topfzeit der Reaktionsprozess des Calciumsulfats zuerst das Natriumphosphat,. Dann beginnt die eigentliche Vernetzungsreaktion in der die einwertigen Alkalimetalle des Natrium- und Kaliumalginats an den polymeren Alginsäuren durch das mehrwertige Calcium aus dem Calciumsulfat ersetzt werden. Dadurch entsteht beim Abbinden das wasserunlösliche Calciumalginat. Das Wasser, welches bei der Reaktion lediglich als Reaktionsmilieu dient, lagert sich zwischen die Calciumalginatmoleküle ein. Bei den heutigen „staubfreien Alginaten“ wird dem Alginatpulver noch Glycerin beigemischt, wodurch das lungengängige Pulver beim Anmischen gebunden wird (Gernet et al., 2011; Jakstat und Klinke, 2008; Ludwig und Biffar, 2005; Rosentritt et al., 2018; Wirz et al., 1993; Wöstmann, 1998).

## 2.2.2 Dimensionsstabilität

Das Ausgießen von Alginatabformungen mit Gips sollte immer schnellstmöglich nach der Rückstellungsphase geschehen, um ein dimensionsgetreues Gipsmodell zu erhalten (Sedda et al., 2008). Durch die Verdunstung des im Alginat gebundenen Wassers kommt es schon nach kurzer Zeit zu einer schrumpfungsbedingten Dimensionsveränderung der Abformung (Rosentritt et al., 2018). Die Zeit zwischen Abformung und dem Ausgießen der Abformung mit Gips hat einen signifikanten Einfluss auf die Dimensionsstabilität der Abformung (Garrofé et al., 2015; Chen et al., 2004). Die Lagerung der Abformungen an der Luft geht mit deutlicher Schrumpfung und die Lagerung im Wasser mit Aufquellen einher. Der beste Ort zur Lagerung von Alginatabformungen ist ein Hygrophor, ein abgeschlossener Raum mit 100 % relativer Luftfeuchtigkeit (O'Brien, 2002). Jedoch selbst bei der Aufbewahrung in einem Hygrophor ist nach fünf Stunden eine Verformung von 0,1 bis 0,8 % zu erwarten (Rosentritt et al., 2018). Neuere Alginat-erlauben eine größere Zeitspanne zwischen der Abformung und dem Ausgießen mit Gips. Sogar ein zweites Ausgießen der Abformung ist bei gesteuerter Lagerung ohne signifikante Nebeneffekte möglich. Eine kurze Lagerungszeit nach der Rückstellzeit wird dennoch angeraten (Nassar et al., 2011).

Die Dimensionsstabilität der Alginatabformungen wird jedoch nicht nur durch die Art und Dauer der Lagerung beeinflusst. Ein weiterer Einflussfaktor stellt die Desinfektion der Abformung dar (Martin et al., 2007). Babiker zeigt anhand der Desinfektion von Alginatabformungen mit Natriumhypochlorit, dass sowohl die Konzentration der Desinfektionsmittel, als auch die Art der Desinfektion, in diesem Fall die Tauch- und Sprühdesinfektion, unterschiedliche Auswirkungen auf die Stabilität der Alginat-er haben (Hassa Babiker et al., 2018). Hiraguchi zeigte in einer Studie, dass Alginat-er nach dem Besprühen mit 1-%iger Natriumhypochlorit-Lösung und 2-%iger Glutaraldehyd-Lösung auch nach einer Lagerung von drei Stunden im Hygrophor eine signifikante Veränderung der Dimension nachzuweisen ist. Er führt dennoch weiter aus, dass diese Methode trotzdem eine klinisch praktikable Art der Desinfektion darstellt (Hiraguchi et al., 2010). Mit den gleichen Desinfektionsmitteln in einem Tauchbad zeigte Ismail, dass auch die Dauer der Desinfektion eine Rolle spielt. Eine Desinfektion für 10 Minuten beeinflusste die Dimensionsstabilität der Alginatabformungen nicht, wohingegen für eine Desinfektionsdauer von 60 Minuten eine signifikante Abweichung nachgewiesen werden kann (Ismail et al., 2017). In einer weiteren Studie zeigt Hiraguchi, dass für Alginat-er,

welche in Wasser dimensionsstabil sind, die Tauchdesinfektion in 0,5-%iger Natriumhypochlorit-Lösung eine geeignete Art der Desinfektion ist (Hiraguchi et al., 2012). Johnson zeige schon 1998 in einer Studie, dass die Desinfektion von Alginatabformungen im Tauchbad mit Oxalaldehyd und Iodophor hinreichend genaue Modelle für Diagnostik, Gegenkiefermodell und Modelle zur Herstellung von abnehmbarem Zahnersatz im Lückengebiss liefern (Johnson et al., 1998). Özdemir zeigt, dass Alginate im Vergleich mit Polyethern und Silikonen zwar die größten Ungenauigkeiten nach einer Desinfektion im Tauchbad hat, diese aber nach den Vorgaben der Leitlinie Nr. 19 der American Dental Association immer noch klinisch akzeptabel sind (Özdemir und Azlağ Pekince, 2019).

## 2.3 Die Desinfektion

Abformungen sind mit Speichel und oftmals auch mit Blut kontaminiert und somit Träger von Bakterien, Viren und Pilzen. Zum Schutz der Zahntechniker, aber auch des eigenen Praxispersonals und der Patienten, ist eine suffiziente Desinfektion von Abformungen unerlässlich (British Dental Association, 2003; Deutscher Arbeitskreis für Hygiene in der Zahnmedizin (Hrsg.), 2020; Heudorf et al., 2006; Kohn et al., 2004; Matalon et al., 2011). In einem Frankfurter Pilotprojekt zur Hygiene in Zahnarztpraxen geben 89 Prozent der Befragten an, ihre Abformungen zu desinfizieren (Heudorf et al., 2006). In einer Befragung von zahntechnischen Laboren zeigt sich jedoch, dass nur die Hälfte der Labore überhaupt eine Anweisung zur Desinfektion von Abformungen haben (Al Mortadi et al., 2019). Mögliche Gründe dafür sind:

1. Die Desinfektion erfordert einen zusätzlichen Arbeitsschritt
2. Die Desinfektion könnte die Oberflächenqualität und die Dimensionsstabilität der Abformung negativ beeinflussen
3. Die meisten Desinfektionsmittel sind reizend und können ein Gesundheitsrisiko für das Praxis- und Laborpersonal darstellen  
(Wang et al., 2007)

Eine klare Absprache zwischen Zahnarztpraxis und dem Technikerlabor hilft bei der korrekten Desinfektion und wer diese durchzuführen hat. So kommt es weder zu einer übermäßigen Desinfektion durch Praxis und Labor, und einer möglichen Schädigung der Abformung, noch dazu, dass die Desinfektion komplett vergessen wird (Kohn et al., 2004). Eine Weitergabe von nicht desinfizierten Abformungen ist unter den hygienischen Regularien einer Praxis nicht statthaft.

Gängige Desinfektionsmittel zur Desinfektion von Abformungen sind Glutaraldehyde, Natriumhypochlorid, Iodophore, Phenole, Alkohole und Chlorhexidindiglutamat (Mushtaq und Khan, 2018; Rentzia et al., 2011). Bei der Art der Desinfektion ist die Tauchdesinfektion der Sprühdesinfektion vorzuziehen. Sollte dennoch eine Sprühdesinfektion benutzt werden, ist es sehr wichtig, dass die Oberfläche der Abformung vollständig mit dem Desinfektionsmittel benetzt ist (Al Shikh und Milosevic,



2020). Der Deutsche Arbeitskreis für Hygiene in der Zahnmedizin rät in seinem Hygieneleitfaden von 2020 bei der Desinfektion von Abformungen folgendes zu beachten:

1. Die Reinigung von Abformungen erfolgt unmittelbar nach Entnahme aus dem Mund des Patienten durch vorsichtiges und sorgfältiges Abspülen, vorzugsweise unter fließendem Leitungswasser. Spritzer vermeiden!
2. Anschließend wird ein Desinfektionsverfahren als Tauch- oder Sprühdesinfektion im geschlossenen System durchgeführt.
3. Nach der Desinfektion soll das Desinfektionsmittel unter fließendem Leitungswasser oder mit besonderen Mitteln, die auf das Desinfektionsverfahren abgestimmt sind, abgespült werden.
4. Für die Desinfektion sollen nur nachweislich wirksame und materialkompatible Verfahren nach Angaben der Hersteller angewendet werden.  
(Deutscher Arbeitskreis für Hygiene in der Zahnmedizin (Hrsg.), 2020)

Des Weiteren werden vom Deutschen Arbeitskreis für Hygiene in der Zahnmedizin folgende Anforderungen an die Desinfektionsmittel für Abformungen gestellt:

1. Sie müssen den Anforderungen des Verbunds für Angewandte Hygiene an Flächendesinfektionsmittel (Präparate zur Sprühdesinfektion) bzw. an Instrumentendesinfektionsmittel (Präparate zur Eintauchdesinfektion) entsprechen (begrenzte Viruzidie).
2. Sie müssen materialverträglich sein.
3. Beim Einsatz in Ultraschallbädern müssen sie für diese Anwendung geeignet sein. Die Herstellerangaben sind zu berücksichtigen.
4. Herstellerangaben zu Abformmaterialien sind bei der Auswahl des Desinfektionsverfahrens zu beachten, ebenso die Werkstoffkompatibilität und die Verwendungszeit des Desinfektionsbades.  
(Deutscher Arbeitskreis für Hygiene in der Zahnmedizin (Hrsg.), 2020)

## 2.4 Gips

Der 1770 von Philipp Pfaff in die Zahnmedizin eingeführte Gips ist das wasserhaltige Schwefelsalz des Kalziums. Erst durch Erhitzen, das so genannte Brennen, wird der Gips für die Zahnmedizin nutzbar gemacht. Hierbei wird aus dem natürlich vorkommenden oder synthetisch aus Rauchgasentschwefelung gewonnen Dihydrat das Hemihydrat des Kalziumsulfats. Das Pulver des Halbhhydrats besitzt die Eigenschaft durch Zugabe von Wasser durch Rehydration wieder Dihydrate zu bilden. Durch diesen exothermen Vorgang bindet das Gipspulver ab. Die Dauer dieses Vorgangs kann durch Wassertemperatur, Veränderung des Verhältnisses von Wasser zu Gipspulver, Anrührdauer oder Zugabe von Salzen beeinflusst werden. Beim Abbindevorgang erfährt der Gips eine Zunahme seines Volumens. Diese sogenannte Gipsexpansion sollte für den in der Zahnmedizin genutzten Gips unter 0,2 Prozent liegen. Die Beschleunigung der Abbindedauer geht meist mit einer Erhöhung der Expansion einher. Doch auch die Expansion kann beeinflusst werden. So ist es zum Beispiel durch die Zugabe von Kaliumsulfat möglich einen Gips zu erhalten, der schnell abbindet, aber dennoch mit 0,05 Prozent eine sehr geringe Expansion vorweist (Eichner und Kappert, 2005); Jakstat und Klinke, 2008; Ohlendorf, 2021).

Tabelle 2: Gipstypen (modifiziert nach Eichner und Kappert, 2005; Ohlendorf, 2021)

Typ	Eigenschaften	Nutzung
Typ 1: Abdruckgips	beta-Halbhydrat kurze Abbindezeit Expansion 0,15 Prozent Härte 20 Nmm <sup>2</sup> Druckfestigkeit 4 bis 8 MPa	wird fast nicht mehr benutzt, selten zum Einartikulieren
Typ 2: Alabastergips	beta-Halbhydrat Expansion 0,3 Prozent Härte 40 Nmm <sup>2</sup> Druckfestigkeit 9 MPa	Situations- oder Vormodelle
Typ 3: Hartgips	alpha-Halbhydrat Expansion 0,2 Prozent Härte 40 bis 130 Nmm <sup>2</sup> Druckfestigkeit 20 MPa	Situations- und Gegenkiefermodelle, manchmal Arbeitsmodelle für Teilprothetik

Typ	Eigenschaften	Nutzung
Typ 4: Superhartgips	alpha-Halbhydrat Expansion 0,15 Prozent Härte 140 bis 300 Nmm <sup>2</sup> Druckfestigkeit 20 MPa	Sägeschnittmodelle, Modelle für Modellguss oder Totalprothetik

In der amerikanischen Literatur findet man die Unterscheidung in Typ 4 und Typ 5. Unter Typ 4 versteht man hier Superhartgipse mit niedriger Abbindeexpansion und unter Typ 5 Superhartgipse mit hoher Abbindeexpansion von 0,16 bis 0,5 Prozent. Typ 5 Gipse werden ausschließlich für die Totalprothetik genutzt, um hier durch die erhöhte Expansion der Polymerisationsschrumpfung der Prothesenbasis entgegen zu wirken (Eichner und Kappert, 2005; Ohlendorf, 2021).

## 2.5 Möglichkeiten der Vermessung

In der American Dental Association (ADA)-Spezifikation Nr. 18 von 1968 wurde noch nicht auf das Dimensionsverhalten von Alginatabformungen eingegangen ("Council adopts American Dental Association Specification No. 18 (Alginate Impression Material)," 1968). Neun Jahre später in der ADA-Spezifikation Nr. 19 von 1977, die sich auf elastomere Abformmaterialien bezieht, wird die Messung der Dimensionsstabilität anhand eines Prüfkörpers beschrieben. Bereits hier wird für die Vermessung des Prüfkörpers ein Messmikroskop mit einer Messgenauigkeit von 0,005 mm empfohlen ("Revised American Dental Association Specification No. 19 for Non-Aqueous, Elastomeric Dental Impression Materials," 1977). Ende der 1990er-Jahre verwendet Burawi Messmikroskope mit einer Messgenauigkeit von 0,001mm bei der Vermessung von Implantatmodellen (Burawi et al., 1997). Doch auch heute noch werden in Studien zur Dimensionsstabilität von Alginaten Reisemikroskope mit einer Messgenauigkeit von lediglich 0,01 mm verwendet (Kulkarni und Thombare, 2015; Muzaffar et al., 2012, 2011). Manche Studien nehmen zur Vermessung auch eine digitale Schieblehre, deren Messgenauigkeit der der Reisemikroskope gleicht (Bambini et al., 2005; Dalstra und Melsen, 2009). Auch Profilprojektoren, mit einer Messgenauigkeit von bis zu 0,001 mm, bei denen die Abformung oder das Modell stark vergrößert auf einem Bildschirm dargestellt wird, werden zur Vermessung genutzt (Cabral und Guedes, 2007; Hsu et al., 1993; Vigolo et al., 2004, 2003). Die Vermessung von Fotografien mittels Fotogrammetrie am Computer ist eine weitere Möglichkeit zur optischen Bestimmung der Dimensionsstabilität von Abformungen (Walker et al., 2010). Es zeigt sich, dass eine dreidimensionale Messung, wie sie von digitalen Messmikroskopen generiert werden kann, nützliche Vorteile gegenüber der reinen Distanzmessung mit sich bringt (Kolyada et al., 2005; Thielke et al., 1998). Deshalb werden Koordinatenmessgeräte und optische Scanner immer häufiger bei der Vermessung von Modellen und Abformungen eingesetzt (Bergin et al., 2013; Dalstra und Melsen, 2009; Porrelli et al., 2021).

### 3. Fragestellung und Zielsetzung

Um die Gefahr von Kreuzkontaminationen und -infektionen im zahnmedizinischen Alltag zu verringern, ist es unerlässlich Abformungen zu desinfizieren. In der vorliegenden in vitro Studie soll deshalb die Dimensionsstabilität von Alginaten untersucht werden, besonders im Hinblick auf die Dimensionsstabilität nach der Desinfektion.

In dieser Arbeit sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Sind bei unbehandelten, nicht desinfizierten Alginatabformungen Dimensionsänderungen in Bezug zu den Dimensionen des Meistermodells festzustellen?
2. Hat die Erwärmung des Meistermodells von Raumtemperatur auf Mundtemperatur einen Einfluss auf die dimensionsgetreue Wiedergabe des Meistermodells durch Alginatabformungen?
3. Hat die Desinfektion der Alginatabformungen, im Speziellen mit sauerstoffabspaltenden Desinfektionsmitteln, einen Einfluss auf die dimensionsgetreue Abformung des Meistermodells?

Hierzu wurden folgende Nullhypothesen formuliert:

- $H_{0a}$ : Es gibt in den Prüfgruppen keine Unterschiede in den Dimensionen zwischen dem Meistermodell und unbehandelten, nicht desinfizierten Alginatabformungen.
- $H_{0b}$ : Es gibt in den Prüfgruppen keine Unterschiede in den Dimensionen zwischen den Alginatabformungen des Meistermodells bei Raum- und Mundtemperatur.
- $H_{0c}$ : Es gibt in den Prüfgruppen keine Unterschiede in den Dimensionen zwischen den unbehandelten und desinfizierten Alginatabformungen.

## 4. Material und Methode

### 4.1 Verwendete Materialien und Geräte

Tabelle 3: Auflistung der verwendeten Abformmaterialien

Handelsname	Hersteller	Chargennummer	Art
Blueprint Xcreme	Dentsply Sirona	LOT 2002337377	Alginat
HS-Maxima	Henry Schein	LOT 200302	Alginat
Alginoplast	Kulzer	LOT 190434	Alginat
Alginat Plus ORBIS	Orbis	LOT 1912334006	Alginat
Impregum Penta	3M ESPE	LOT 6444187	Polyether

Tabelle 4: Auflistung der verwendeten Desinfektionsmittel

Handelsname	Angaben
ORBI-Sept	Hersteller: Orbis Desinfiziens: Quartäre Ammoniumverbindungen, Chlorhexidin Chargennummer: LOT A1908 Anwendung: gebrauchsfertige Lösung, Desinfektionsdauer von 1 Minute bei Bakterien empfohlen
Zeta 90+	Hersteller: Zhermack Desinfiziens: Quartäre Ammoniumverbindungen, Chlorhexidin Chargennummer: LOT A0719 Anwendung: gebrauchsfertige Lösung, Desinfektionsdauer von 1 Minute bei Bakterien empfohlen
MD 520	Hersteller: Dürr Dental Desinfiziens: Glutardialdehyde, quartäre Ammoniumverbindungen Chargennummer: LOT 2016908 Anwendung: gebrauchsfertige Lösung, Desinfektionsdauer von 5 Minuten bei Bakterien empfohlen

Handelsname	Angaben
Dentavon	<p>Hersteller: Schülke</p> <p>Desinfiziens: Kaliumperoxomonosulfat</p> <p>Chargennummer: LOT 1542591</p> <p>Anwendung: 2-%ige Lösung ansetzen (20g auf 1L), Desinfektionsdauer von 10 Minuten bei Bakterien empfohlen</p>
EuroSept Plus	<p>Hersteller: Henry Schein</p> <p>Desinfiziens: Kaliumperoxomonosulfat</p> <p>Chargennummer: LOT A1070</p> <p>Anwendung: 2-%ige Lösung ansetzen (20g auf 1L), Desinfektionsdauer von 10 Minuten bei Bakterien empfohlen</p>

Tabelle 5: weitere Materialien

Handelsname	Hersteller	Art
Lab-Silicon	Henry Schein	A-Silikon
Clear Resin	Formlabs	Photopolymer Resin
Vaseline	Balea	Vaseline

Tabelle 6: Auflistung der verwendeten Geräte und Programme

Handelsname	Hersteller	Art
RetroLine Z050 TH	ZwickRoell	Material- Prüfmaschine
Measuring Microscope STM	Olympus	Messmikroskop
DDM-R 830	Medim GmbH	Wasserbad
Cerec Primescan	Dentsply Sirona	Intraoralscanner
Inlab Splint Version 19	Dentsply Sirona	Konstruktionsprogramm
Meshmixer Version 3.5.474	Autodesk	Konstruktionsprogramm
Form 2	Formlabs	3D-Drucker
Migma	Mikrona	Mischgerät für Alginate
Penta-Mix	3M ESPE	Mischgerät für Kartuschen
Digi 2000	WEDO	Waage

In dieser Arbeit werden zunächst in einer Vorversuchsreihe alle in Tabelle 2: „Auflistung der verwendeten Abformmaterialien“ aufgeführten Alginate und Polyether auf ihre Eignung getestet. Es wird je eine Abformung pro Abformmaterial genommen, die unbehandelt vermessen werden. Jeweils eine Abformung wurde je Kombination aus Abformmaterial und Desinfektionsmittel genommen, um die Kompatibilität im Desinfektionsprozess zu prüfen. Es zeigte sich, dass Impregum nach dem Abbinden, trotz seiner elastischen Eigenschaften, zu fest war, um von der Material-Prüfmaschine entformt zu werden. Auch das Entformen von Hand gestaltete sich schwierig. Alginoplast war nach dem Anmischen zäher in seiner Konsistenz, als die anderen Alginate. Dies erschwerte das Befüllen des Abformlöffels. Alginat Plus ORBIS wiederum hatte mit 40 Sekunden eine so kurze Verarbeitungszeit, dass die Zeit zum Befüllen des Abformlöffels, dem Einspannen des Abformlöffels in die Material-Prüfmaschine und dem Starten des Programms zur Abformung mit der Material-Prüfmaschine die vom Hersteller angegebene Verarbeitungszeit überschritt. Deshalb wurde Blueprint Xcreme, ein Alginat als stellvertretendes Produkt eines namenhaften Herstellers für Dentalprodukte, und HS Maxima, ein Alginat als stellvertretendes Produkt der Eigenmarke eines Dentaldepots, für die Hauptversuchsreihe ausgewählt.



## 4.2 Das Meistermodell

Abbildung 1: Urmodell in Superhartgips eingebettet (eigenes Bildmaterial)



Das für die Herstellung der Abformungen genutzte Meistermodell aus Nichtedelmetall (CoCr) zeigt einen Oberkiefer mit einer Restbezaehlung von 17 und 27, sowie der Front von 13 nach 23. Auf beiden Seiten fehlen somit jeweils die beiden Prämolaren und der erste Molar. Zur stabilen Befestigung in der Material-Prüfmaschine wurde das Meistermodell in Superhartgips eingebettet.

Abbildung 2: Messpunkt unter dem Mikroskop (eigenes Bildmaterial)

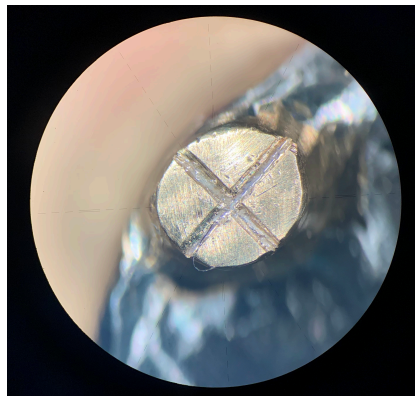
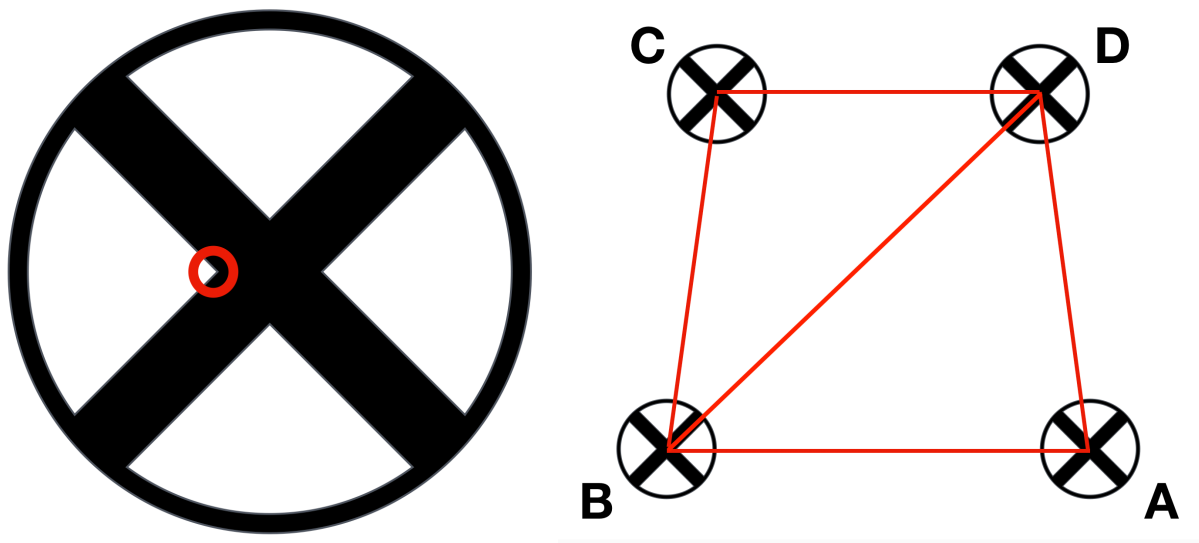


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Messpunkte am Meistermodell (eigenes Bildmaterial)



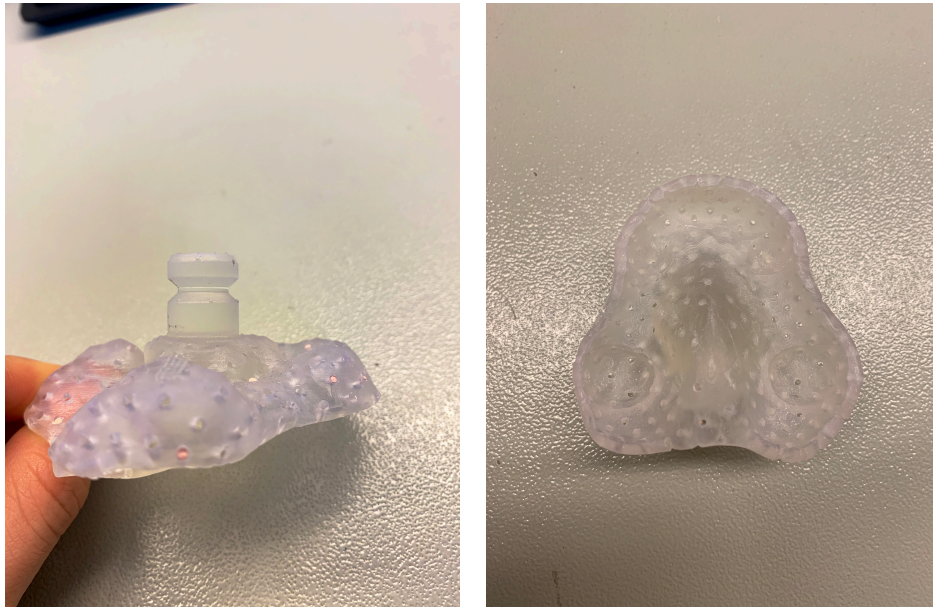
Als Messpunkte sind plane, mit einem eingemeißelten Kreuz versehene Flächen auf den beiden Eckzahnsitzen, als auch auf den beiden distobukkalen Höckersitzen der zweiten Molaren eingearbeitet. Das Fadenkreuz des Messmikroskops wird für die reproduzierbare Vermessung an die Spitze des linken Kreissektors angelegt (in Abbildung X rot eingekreist). Für die Vermessung werden die Messpunkte mit den Buchstaben A, B, C und D gekennzeichnet und die Strecken [AB], [BC], [CD], [AD] und [BD] gemessen (in Abbildung X als rote Linien dargestellt).

Zur Bestimmung der Strecken wird das Meistermodell 20-mal mit dem Messmikroskop vermessen, um den Meßfehler zu ermitteln.

## 4.3 Herstellung der Probenkörper

### 4.3.1 Abformlöffel

Abbildung 4: individueller Abformlöffel (eigenes Bildmaterial)



Bei der Auswahl des Abformlöffels viel die Entscheidung auf einen eigens dafür konstruierten, gedruckten, individuellen Löffel. So kann die Passung sowohl an der Material-Prüfmaschine, als auch auf dem Modell reproduzierbar gehalten werden. Für den Intraoralscanner Cerec Primescan der Firma Dentsply Sirona zeigen sich bei einer vergleichenden Studie zwischen in vivo und in vitro erstellten digitalen Abformungen vergleichbar genaue Ergebnisse. Bezüglich der Reproduzierbarkeit sind in vitro signifikant bessere Scans zu erzielen (Keul und Güth, 2022). Für die Herstellung des individuellen Abformlöffels wird zunächst das Meistermodell mit dem Intraoralscanner eingescannt. Mit dem Programm Inlab Splint Version 19 (Fa. Dentsply Sirona) wird der individuelle Abformlöffel konstruiert. Durch die individuelle Anfertigung des Abformlöffels wird bei der Abformung im gesamten Löffel eine vergleichbare und reproduzierbar Schichtstärke von 3mm (McCullagh et al., 2005) des Alginats erreicht. Um den individuellen Abformlöffel in der Material-Prüfmaschine einspannen zu können, wird auch der Ansatz für die Material-Prüfmaschine mit dem Intraoralscanner eingescannt und mit dem Programm Autodesk Meshmixer Version 3.5.474 an den konstruierten Löffel angefügt.

Zum Druck des Löffels wird der Stereolithographie 3D-Drucker Form 2 des Herstellers Formlabs genutzt. Die Genauigkeit der Druckergebnisse, auch im Vergleich mit anderen 3D-Druckern ist in Studien hinreichend gesichert (Mangano et al., 2020; Nestler et al., 2021). Als Druckmaterial dient Clear Resin vom gleichen Hersteller.

### 4.3.2 Anmischen des Abformmaterials

Abbildung 5: Mischgerät für Alginate (eigenes Bildmaterial)



Zum reproduzierbaren Anmischen der Alginate wird das Mischgerät für Alginate (Fa. Mikrona) verwendet. Sowohl bei Blueprint Xcreme, als auch bei HS-Maxima, ist ein Pulver : Wasser-Verhältnis von 7 Gramm Pulver auf 15 Milliliter Wasser angegeben. Um den Abformlöffel mit ausreichend Material befüllen zu können, werden die Angaben auf 14 Gramm Pulver und 30 Milliliter Wasser verdoppelt. Die Alginate werden je in einer luftdichten Aufbewahrungsbox gelagert und zu Versuchsbeginn täglich aufgeschüttelt, um ein Absetzen der verschiedenen Alginatbestandteile zu verhindern. Das Leitungswasser wird prinzipiell am Vorabend abgefüllt, in Flaschen bereitgestellt und auf Zimmertemperatur (20 °C) temperiert. Um die Reproduzierbarkeit zu gewährleisten werden im Unterschied zum klinischen Alltag sowohl Wasser, als auch Pulver, nicht mit

Messbecher und -löffel abgemessen, sondern mit einer Waage (Fa. WEDO) abgewogen. Das Pulver wird direkt in den Anrührbehälter gegeben. Die zuvor abgewogene Menge an Wasser wird dann direkt vor dem Anmischen hinzu gegeben. Der Anrührbehälter wird verschlossen und in die Mischmaschine eingesetzt. In der Gebrauchsanweisung des Mischgerätes wird eine Anmischzeit von 10-12 Sekunden für Alginate empfohlen. Laut Herstellerangaben soll Blueprint Xcreme bei Verwendung einer Mischmaschine zwischen 8 und 12 Sekunden angerührt werden. Bei HS-Maxima wird nur auf eine Anmischzeit von Hand verwiesen. In der Hauptversuchsreihe wird eine Anmischzeit von 10 Sekunden als Standard festgelegt.

### 4.3.3 Die Abformung

Abbildung 6: Meistermodell und befüllter Abformlöffel in der Material-Prüfmaschine  
(eigenes Bildmaterial)



Das Meistermodell wird mit dem Gipssockel fest in die Material-Prüfmaschine eingespannt. Die Position des Modells in der Prüfmaschine wurde mit beidseitigen Silikonschlüssels (Lab-Silicon; Fa. Henry Schein) angefertigt. Nach Ende des Anmischvorgangs des Alginates im Mischgerät beginnt die Verarbeitungszeit (Blueprint Xcreme 1 min; HS Maxima 1 min 30 sek). Die Alginat werden mit einem Spatel in den Löffel appliziert. Der Löffel wird über den angeformten Ansatz fest mit der Material-Prüfmaschine verschraubt. Die Position des Abformlöffels zum Modell wird ebenfalls mit einem Silikonschlüssel reproduzierbar gesichert. Zehn Sekunden vor Ablauf der Verarbeitungszeit wird das Programm der Material-Prüfmaschine gestartet. Mit Ablauf der Verarbeitungszeit hat die Material-Prüfmaschine ihre Endposition für die Abformung erreicht. Die Verweildauern betragen für Blueprint Xcreme eine Minute und für HS-Maxima eine Minute und 30 Sekunden. Anschließend wird die Abformung durch die Material-Prüfmaschine sofort entformt und die Abformung samt Löffel kann entnommen werden. Zur Darstellung des Einflusses der Mundtemperatur auf die Versuchsbedingungen wird in einer weiteren Versuchsreihe das Meistermodell vor der Abformung in einem Wasserbad (Fa. Medim GmbH) erwärmt. Das Wasserbad wird auf 36 Grad Celsius Mundtemperatur eingestellt. Mit dieser Versuchsreihe soll gezeigt werden, ob es zu Dimensionsunterschieden kommt, wenn das Alginat auf einem Modell mit Mundtemperatur und nicht mit 20 Grad Celsius Raumtemperatur abbindet. Als Abformmaterial wurde Blueprint Xcreme gewählt. Das Meistermodell wird vor Beginn der Versuchsreihe drei Stunden im Wasserbad temperiert, um eine komplette Erwärmung zu gewährleisten. Zwischen den einzelnen Abformungen, also während der Desinfektion und der Vermessung der Prüfkörper, wird das Meistermodell im Wasserbad aufbewahrt, um die Temperatur zu halten. Beim Herausnehmen des Meistermodells aus der Material-Prüfmaschine wird immer nur eine der beiden Halterungen gelöst, um eine reproduzierbare Position des Modells in der Prüfmaschine zu gewährleisten.

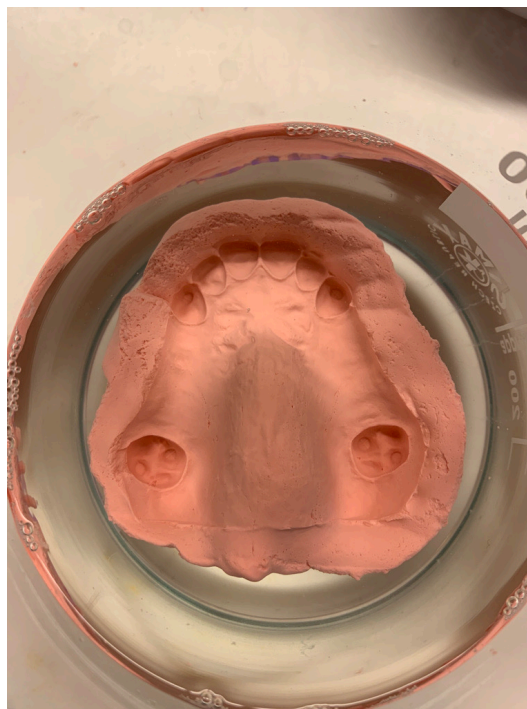
Abbildung 7: Prüfkörper nach der Abformung (eigenes Bildmaterial)



## 4.4 Desinfektion der Prüfkörper

Die Desinfektionsmittel werden immer vor den jeweiligen Versuchsreihen frisch mit Leitungswasser angesetzt. Die gebrauchsfertigen Lösungen werden bei Raumtemperatur (20 °C) gelagert. Das Leitungswasser wird jeweils am Vortag in ein verschließbares Glasgefäß abgefüllt und dann über Nacht bei Raumtemperatur gelagert. Somit hatten alle Desinfektionsmittel kontrollierte und dokumentierte Raumtemperatur. Die Temperatur wurde vor Beginn der Versuchsreihen gemessen und dokumentiert. Die Prüfkörper werden unverzüglich nach Entnahme aus der Material-Prüfmaschine in die Desinfektionslösung gelegt. Hierbei wird darauf geachtet, dass das Alginat im Abformlöffel über die Zeit der Desinfektion druckfrei im Desinfektionsmittel lagert, also weder am Boden, noch an den Wänden des Desinfektionsgefäßes anliegt, um keine mechanische Verformung von außen auszulösen.

Abbildung 8: Prüfkörper während der Desinfektion, HS-Maxima in EuroSept (eigenes Bildmaterial)



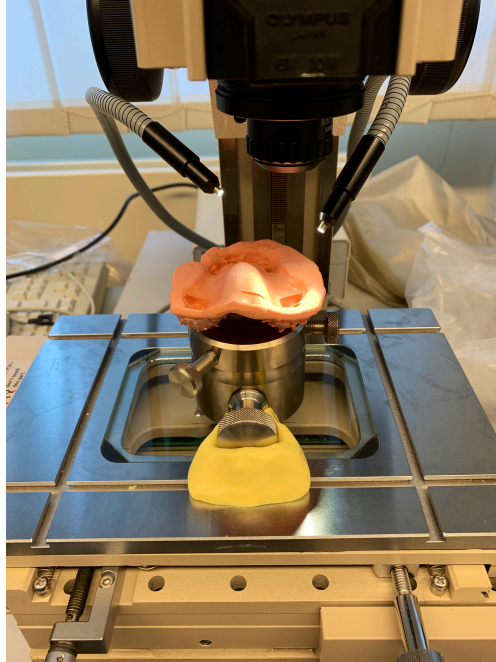
Nach den vom Hersteller empfohlenen Einwirkzeiten ( Tab. 3: „Auflistung der verwendeten Desinfektionsmittel“) wird jeder Prüfkörper 15 Sekunden unter fließendem Wasser gereinigt, um die noch anhaftenden Desinfektionsmittelüberreste zu entfernen. Hierdurch



wird die Wirkdauer gestoppt. Überschüssiges Wasser wird mit Druckluft aus dem Prüfkörper geblasen, um ein ungewolltes Aufquellen der Alginatmasse zu verhindern und etwaige Spiegelungen unter dem Messmikroskop zu vermeiden.

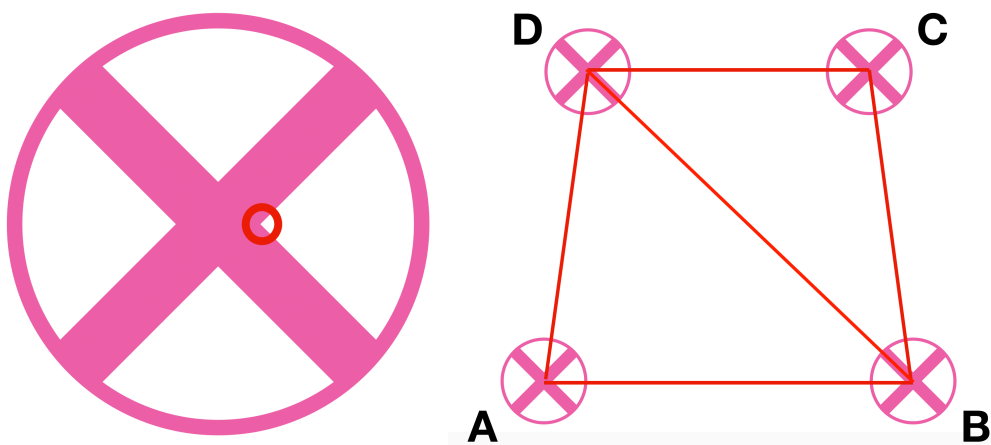
## 4.5 Vermessung der Prüfkörper

Abbildung 9: Prüfkörper im Messmikroskop (eigenes Bildmaterial)



Der Prüfkörper wird zur Reproduktion der dreidimensionalen Lage in eine Halterung der Material-Prüfmaschine durch Laborsilikonschlüssel fixiert.

Abbildung 10: Schematische Darstellung der Messpunkte im Prüfkörper (eigenes Bildmaterial)



Die zu vermessenden Strecken  $[AB]$ ,  $[BC]$ ,  $[CD]$ ,  $[AD]$  und  $[BD]$  des Prüfmodells liegen mit ihren Messpunkten versuchsbedingt im Vergleich zum Meistermodell gespiegelt vor. Auch

das Fadenkreuz des Messmikroskops wird bei den Prüfkörper nicht an der Spitze des linken Kreissektors, sondern durch die Spiegelung an der Spitze des rechten Kreissektors angelegt.

Nach dem der Messpunkt korrekt unter dem Fadenkreuz positioniert ist, wird die Messeinheit des Messmikroskops genullt. Anschließend wird der Tisch zum nächsten Messpunkt gefahren. Die Tischbewegung ist an der Messeinheit des Mikroskops als x- und y-Werte in Millimetern angegeben. Die Angaben sind auf vier Nachkommastellen genau, wobei die vierte Nachkommastelle nur zwischen den Zahlenwerten 0 und 5 unterscheidet. Die Messgenauigkeit des Messmikroskops wird mit 0,0005 mm angegeben.

Nach der vollständigen Vermessung eines Prüfkörpers wird das Alginat aus dem Abformlöffel entfernt und der Löffel für die nächste Abformung vorbereitet.

Bei der im vorliegenden Versuchsaufbau verwendeten Methode zur Vermessung der Prüfkörper wird bewusst auf das Überführen der Abformungen in Gips verzichtet. Gips stellt eine weitere Variable dar, die reproduzierbar gehalten werden muss, um mit seinen Einflüssen, wie zum Beispiel der Gipsexpansion, die Ergebnisse nicht zu verfälschen. Durch die Vermessung der Abformungen werden diese Einflüsse umgangen.

## 4.6 Auswertung der Daten

Mit dem Satz des Pythagoras und den gemessenen x- und y-Werten wurden die einzelnen Strecken berechnet. Zur statistischen Auswertung wurde das Programm IBM SPSS Statistics Version 28 (Fa. IBM SPSS Inc., New York, U.S.A.) verwendet.

### 4.6.1 Statistische Methode

Da für diese Arbeit die Stichprobengröße immer  $N < 30$  ist, kann nicht ohne Weiteres von einer Normalverteilung ausgegangen werden, wie sie der zentrale Grenzwertsatz zugrunde legt (Bortz und Schuster, 2010). Deshalb wurden die Daten mit dem Kolmogorow-Smirnow-Anpassungstest auf ihre Normalverteilung geprüft.

Zur weiteren Auswertung wird der Kruskal-Wallis-Test verwendet. Er vergleicht mehr als zwei Stichproben hinsichtlich einer Variablen miteinander. Die Stichproben müssen hierzu nicht normalverteilt vorliegen. Es wurde ein Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  gewählt. Da sich das Ergebnis des Kruskal-Wallis-Test immer auf alle Stichproben bezieht, wird im Nachgang noch ein Post-hoc-Test zum paarweisen Vergleich als U-Test durchgeführt. Die dazu formulierte Nullhypothese geht davon aus, dass keine Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen vorliegen (Kruskal and Wallis, 1952). Es wurde keine Bonferroni-Korrektur bei multipler Post-hoc-Testung durchgeführt. Die angegebenen Signifikanzen sind auf vier Stellen nach dem Komma gerundet.

### 4.6.2 Graphische Darstellung

Zur visuellen Erfassung der Stichproben sind diese in Diagrammen dargestellt. Hierfür werden Box-Plot-Diagramme verwendet, da anhand dieser schnell ein Eindruck über die Verteilung der Stichproben vermittelt werden kann.

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Untersuchung der Messgenauigkeit am Meistermodell

Das Messmikroskop mit einer angegebenen Messgenauigkeit von 0,0005 mm ist hinreichend genau, da der zu erwartende Fehler mindestens eine Zehnerpotenz höher liegt. Zur Ermittlung des eigenen Messfehlers wird das Meistermodell mehrfach vermessen. Die hierbei verwendete Stichprobengröße liegt bei  $N = 20$ .

Für die Strecke des Umfangs [ABCD] werden die errechneten Einzelstrecken [AB], [BC], [CD] und [AD] addiert. Der daraus errechnete Mittelwert liegt bei  $x = 147,28652$  mm mit einer gerundeten Varianz von  $s^2 = 0,00018$  und einer gerundeten Standardabweichung von  $s = 0,01324$ .

Für die Diagonale [BD] ergab sich ein Mittelwert von  $x = 51,813625$  mm mit einer gerundeten Varianz von  $s^2 = 0,00019$  und einer gerundeten Standardabweichung von  $s = 0,01372$ .

## 5.2 Statistische Auswertung der Messergebnisse

In dem hier projizierten Versuchsdesign werden der Umfang [ABCD] und die Diagonale [BD] untersucht. Bei dem Umfang [ABCD] handelt es sich um die Summe der einzelnen Strecken [AB], [BC], [CD] und [AD]. Bei allen Einzelstrecken handelt es sich um nicht zahntragende Abschnitte von ähnlicher Länge. In den nicht zahntragenden Abschnitten ist trotz individuellem Löffel von der größten Materialdicke des Alginates auszugehen. Die Diagonale [BD] ist die längste Einzelstrecke und hat damit die größte Materialschichtstärke in der Distanz. Es werden also die Strecken untersucht, die durch Quellen und Schrumpfung die größten Abweichungen und somit auch die größte Signifikanz zeigen müssten.

Tabelle 7: Länge der Strecken (Mittelwerte aus Modellvermessung)

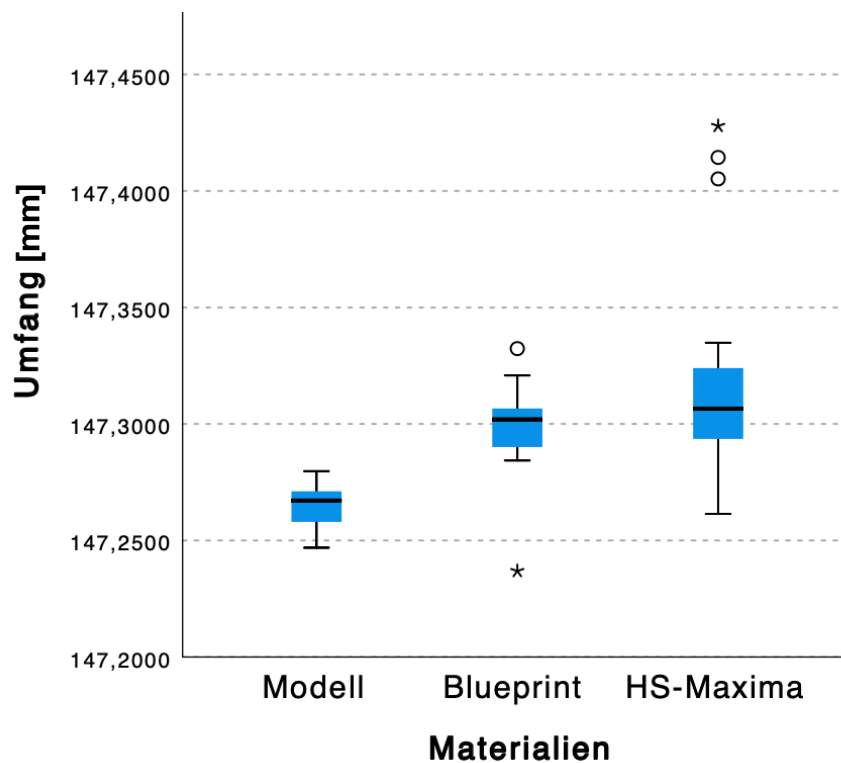
Strecken	Länge in mm
[AB]	43,48626
[BC]	34,27758
[CD]	34,269335
[AD]	35,253345
[BD]	51,813625

Für alle Stichproben, ausgenommen der Modellvermessung mit einem  $N = 20$ , wurde eine Stichprobengröße von  $N = 15$  gewählt.

## 5.2.1 Meistermodell gegen unbehandelte Alginat

### 5.2.1.1 Umfang [ABCD]

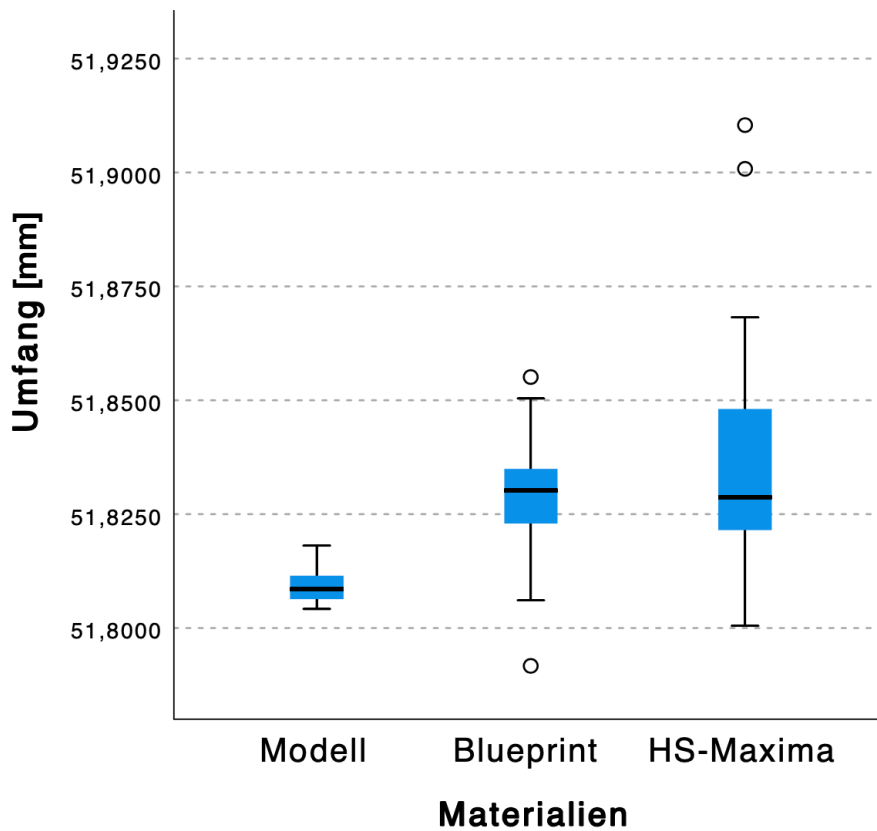
Abbildung 11: Boxplots Umfang Meistermodell gegen unbehandelte Alginat



Der Kruskal-Wallis-Test zeigt, dass die Nullhypothese  $H_{0a}$  bei einer asymptotischen Signifikanz von  $p < 0,001$  zu verwerfen ist. Eine statistische Aussage kann nicht getroffen werden. Im nachfolgenden paarweisen Vergleich zeigt sich, dass sich beide unbehandelte Alginat signifikant von dem Modell unterscheiden. Beide p-Werte sind kleiner als 0,001. Jedoch kann für den Vergleich der beiden unbehandelte Alginat miteinander kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Der p-Wert hierfür liegt bei 0,507.

### 5.2.1.2 Diagonale [BD]

Abbildung 12: Boxplots Diagonale Meistermodell gegen unbehandelte Alginat



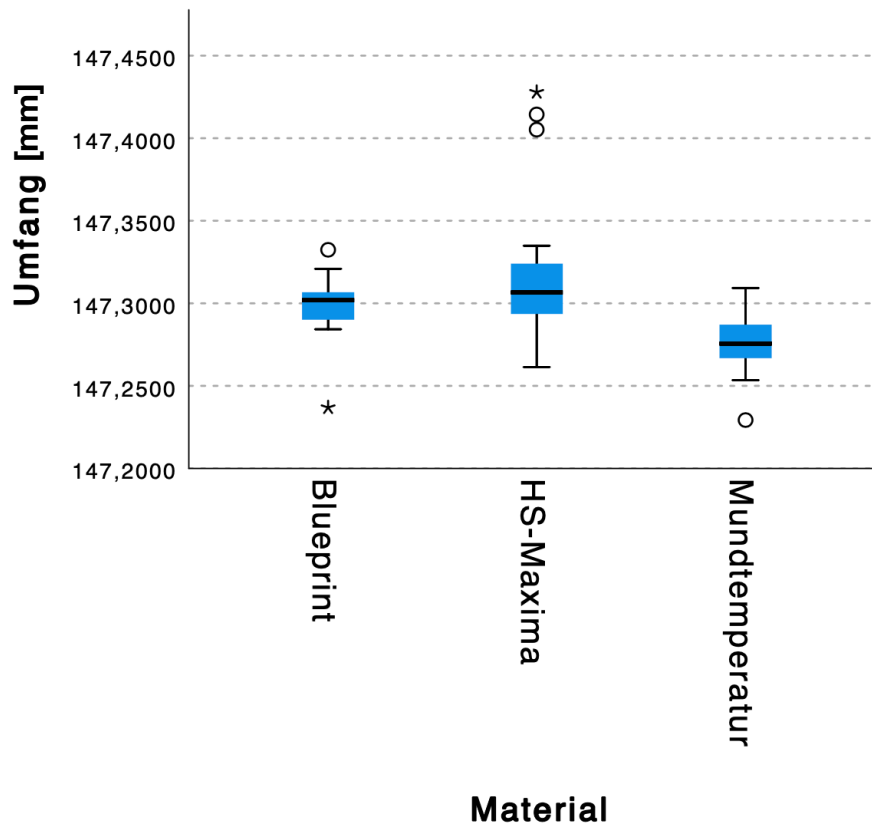
Bei der Auswertung der Diagonalen kommt man auf ein ähnliches Ergebnis. Auch hier zeigt der Kruskal-Wallis-Test, dass die Nullhypothese  $H_{0a}$  bei einer asymptotischen Signifikanz von  $p < 0,001$  zu verwerfen ist und keine statistische Aussage getroffen werden kann. Hier weist der paarweise Vergleich, wie schon beim Umfang mit einem  $p < 0,001$  einen signifikanten Unterschied der beiden Alginatstichproben im Vergleich zum Modell nach. Beim Vergleich der beiden Alginatate miteinander zeigt sich mit einem p-Wert von 0,582, dass keine statistische Aussage getroffen werden kann.



## 5.2.2 Meistermodell bei Mundtemperatur gegen unbehandelte Alginat

### 5.2.2.1 Umfang [ABCD]

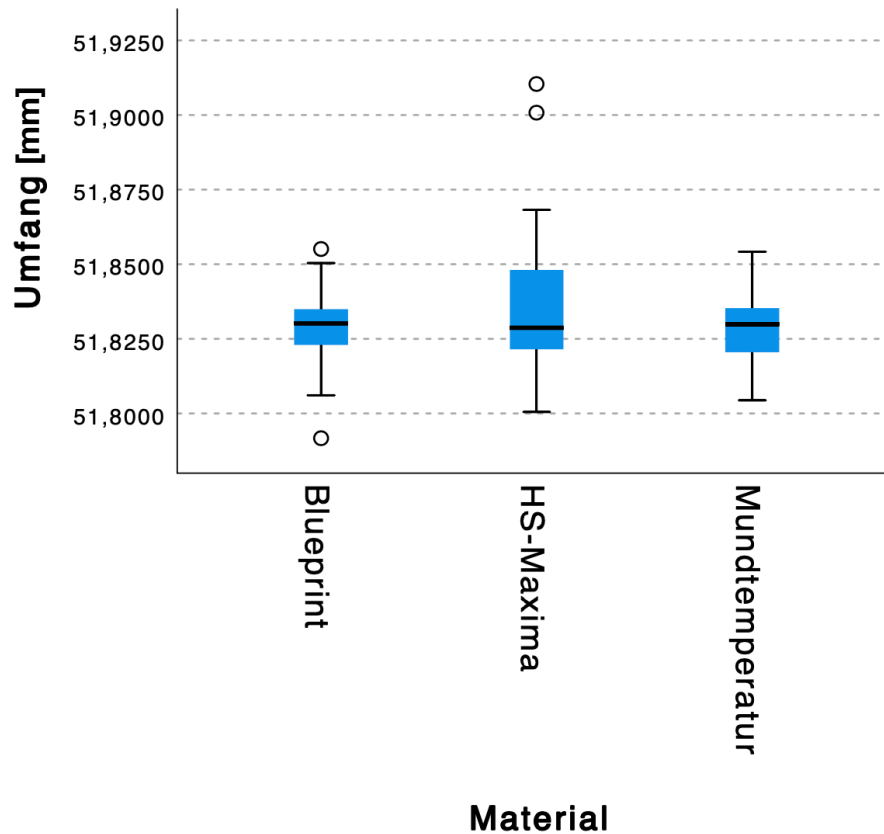
Abbildung 13: Boxplots Umfang Meistermodell bei Mundtemperatur gegen unbehandelte Alginat



Im Vergleich der Stichproben der unbehandelten Alginat mit den Abformungen, welche mit dem auf Mundtemperatur erwärmten Meistermodell gemacht wurden, weist der Kruskal-Wallis-Test signifikante Unterschiede nach. Mit einer asymptotischen Signifikanz von  $p = 0,001$  ist die Nullhypothese  $H_{0b}$  zu verwerfen. Zu den beiden unbehandelten Alginaten Blueprint Xcreme und HS-Maxima im paarweisen Vergleich mit  $p = 0,432$  kann keine statistische Aussage getroffen werden. Im Vergleich der beiden unbehandelten Alginat mit den Abformungen bei Mundtemperatur zeigen Blueprint Xcreme mit  $p = 0,007$ , sowie HS-Maxima mit  $p = 0,001$  signifikante Unterschiede.

### 5.2.2.2 Diagonale [BD]

Abbildung 14: Boxplots Diagonale Meistermodell bei Mundtemperatur gegen unbehandelte Alginat

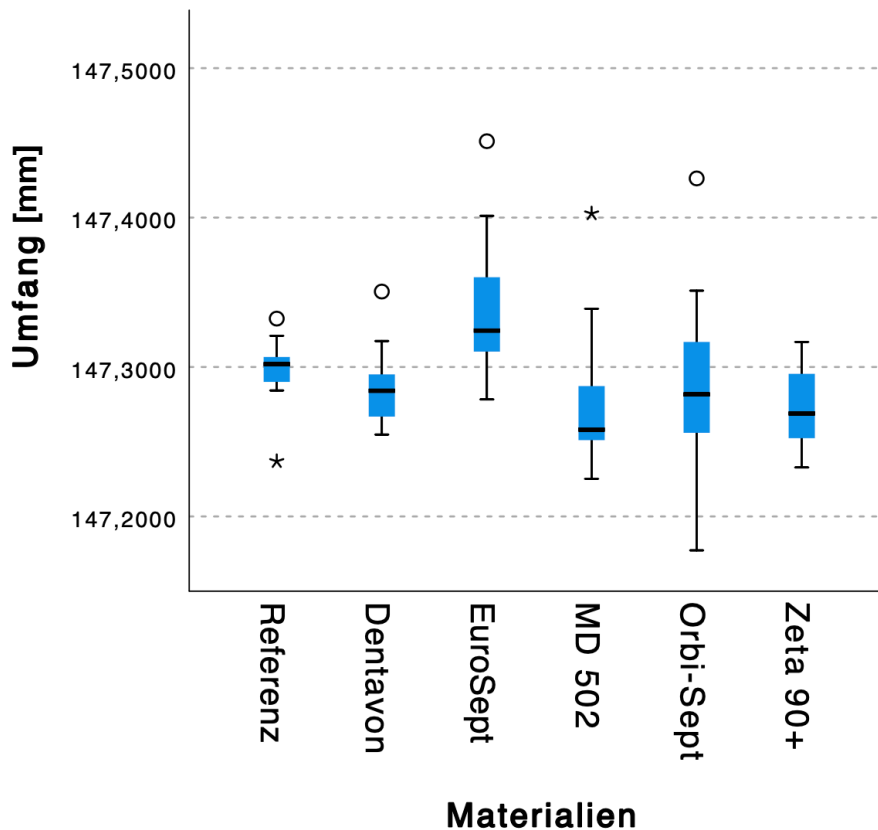


Zu den Stichproben der beiden unbehandelten Alginat und den Stichproben der Abformungen mit dem temperierten Meistermodell lassen sich im Kruskal-Wallis-Test keine statistischen Aussagen für die Strecke der Diagonalen [BD] treffen. Die asymptotische Signifikanz liegt mit  $p = 0,841$  deutlich über dem angegebenen Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$ . Die Nullhypothese  $H_{0b}$  ist somit nicht zu verwerfen.

## 5.2.3 Blueprint Xcreme unbehandelt gegen desinfiziert

### 5.2.3.1 Umfang [ABCD]

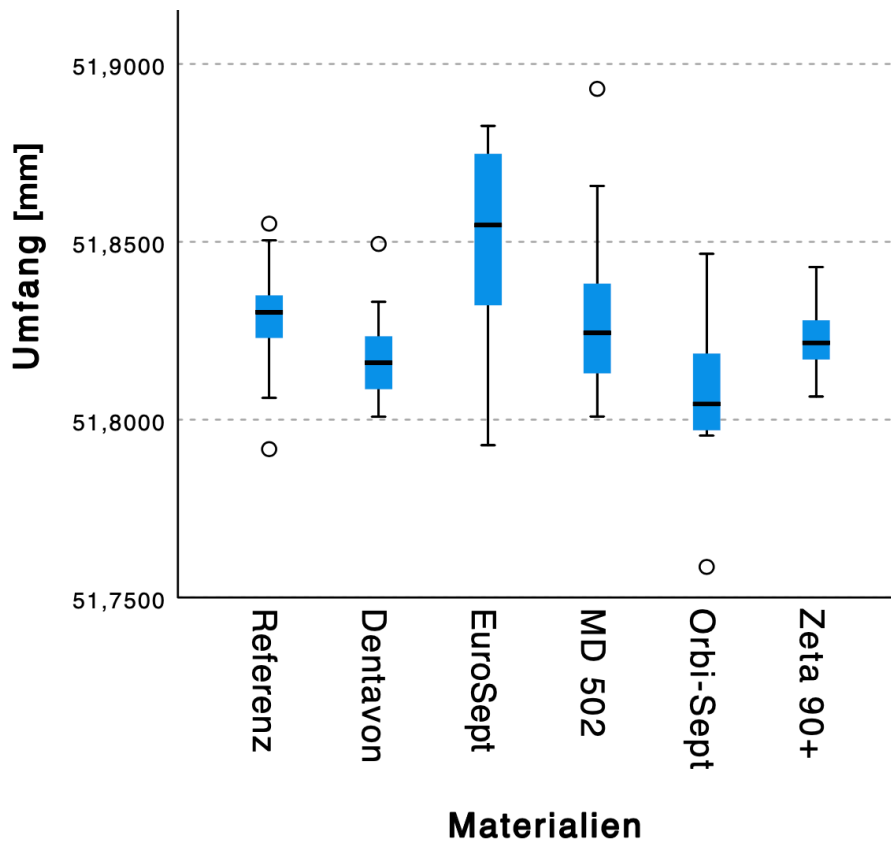
Abbildung 15: Boxplots Umfang Blueprint Xcreme unbehandelt gegen desinfiziert



In dieser Auswertung dienen die Stichproben der nicht desinfizierten Abformungen mit Blueprint Xcreme als Referenz. Der Kruskal-Wallis-Test zeigt mit einer asymptotischen Signifikanz von  $p < 0,001$ , dass die Nullhypothese  $H_{0c}$  zu verwerfen ist und signifikante Unterschiede vorliegen. Bei den paarweisen Vergleichen zeigen sich jedoch nur bei den Abformungen mit den Desinfizierern MD 520 mit  $p = 0,014$  und Zeta 90+ mit  $p = 0,017$  signifikante Unterschiede im Bezug auf die Referenzabformungen. Für die Abformungen, die mit Dentavon, EuroSept und ORBI-Sept desinfiziert wurden, liegt der p-Wert über dem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$ . Eine statistische Aussage kann somit nicht getroffen werden.

### 5.2.3.2 Diagonale [BD]

Abbildung 16: Boxplots Diagonale Blueprint Xcreme unbehandelt gegen desinfiziert

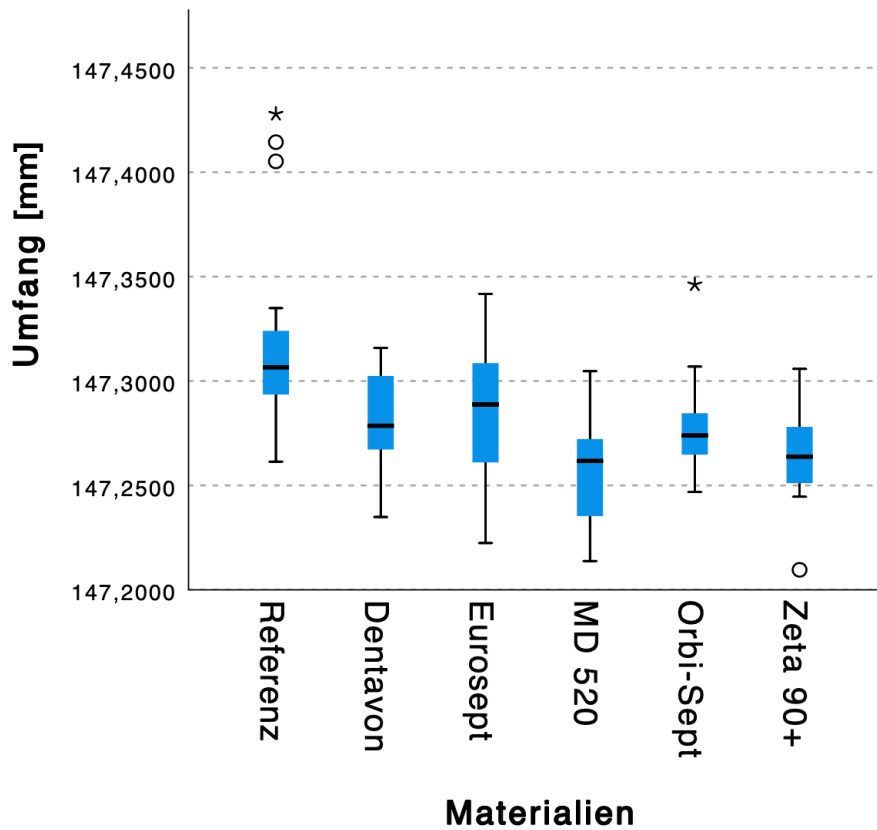


Auch beim Vergleich der Diagonalen lassen sich mit dem Kruskal-Wallis-Test signifikante Unterschiede nachweisen. Die asymptotischen Signifikanz liegt hier bei  $p < 0,001$ . Somit ist die Nullhypothese  $H_{0c}$  zu verwerfen. Mit einem  $p$ -Wert von 0,001 lassen sich in den paarweisen Vergleichen für die Abformungen, die mit ORBI-Sept desinfiziert wurden, signifikante Unterschiede nachweisen. Für die mit Dentavon desinfizierten Abformungen lässt sich mit einer asymptotischen Signifikanz von  $p = 0,056$  ein gewisser Trend beobachten. Bei allen weiteren Stichproben kann keine statistische Aussage getroffen werden.

## 5.2.4 HS-Maxima unbehandelt gegen desinfiziert

### 5.2.4.1 Umfang [ABCD]

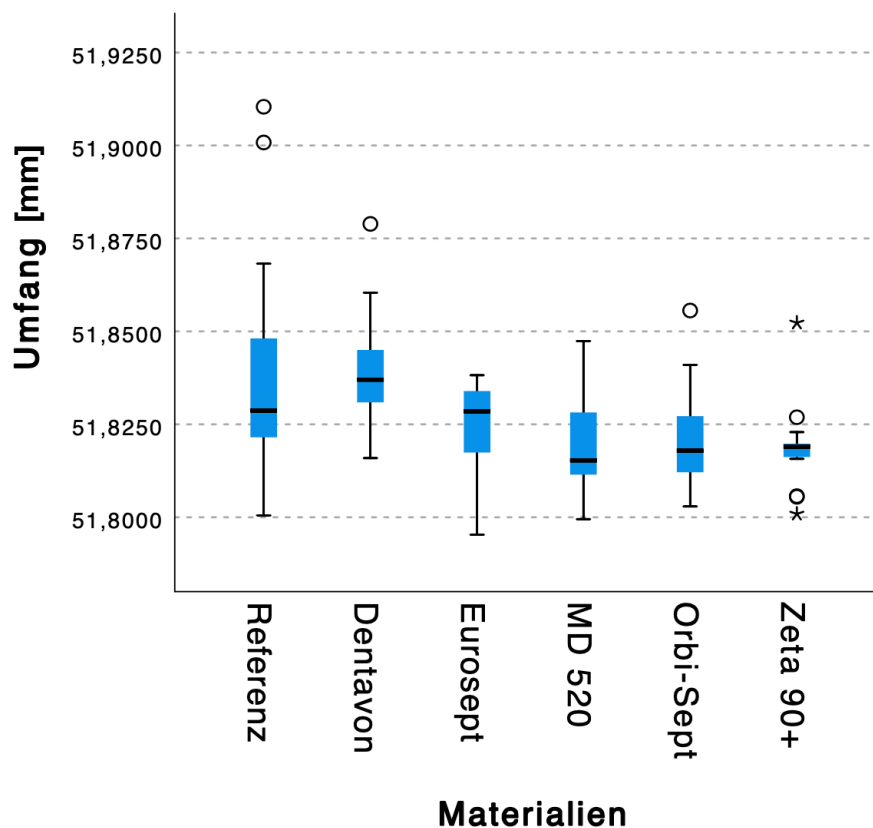
Abbildung 17: Boxplots Umfang HS-Maxima unbehandelt gegen desinfiziert



Hier liegen als Referenzen die Stichproben der unbehandelten HS-Maxima Abformungen vor. Auch hier ist beim Kruskal-Wallis-Test die Nullhypothese  $H_{0c}$  aufgrund der asymptotischen Signifikanz von  $p < 0,001$  zu verwerfen. Es sind signifikante Unterschiede erkennbar. Der paarweise Vergleich mit den nicht desinfizierten HS-Maxima Abformungen zeigt für EuroSept ( $p = 0,040$ ), MD 520 ( $p < 0,001$ ), ORBI-Sept ( $p = 0,007$ ) und Zeta 90+ ( $p < 0,001$ ) signifikante Abweichungen. Die asymptotische Signifikanz bei dem Vergleich von Dentavon mit den Referenzwerten liegt bei  $p = 0,054$ . Somit ist für diese Stichproben ein Trend zu erkennen.

## 5.2.4.2 Diagonale [BD]

Abbildung 18: Boxplots Diagonale HS-Maxima unbehandelt gegen desinfiziert



Für den Vergleich der Diagonalen zeigt der Kruskal-Wallis-Test mit einer asymptotischen Signifikanz von  $p < 0,001$  signifikante Unterschiede an. Die Nullhypothese  $H_{0c}$  ist zu verwerfen. Beim Vergleich mit den Referenzwerten liegen für Dentavon mit  $p = 0,282$  und EuroSept mit  $p = 0,212$  keine signifikanten Abweichungen vor. Für MD 520 ( $p = 0,021$ ), ORBI-Sept ( $p = 0,015$ ) und Zeta 90+ ( $p = 0,007$ ) liegen für den paarweisen Vergleich mit den Referenzen signifikante Unterschiede vor.

## 5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Aus den vorliegenden Ergebnissen lässt sich in Bezug auf die aufgestellten Hypothesen Folgendes schlußfolgern:

### 1. Es gibt in den Prüfgruppen Unterschiede in der Dimension zwischen dem Meistermodell und den unbehandelten, nicht desinfizierten Alginatabformungen.

Sowohl für Blueprint Xcreme, als auch für HS-Maxima können bei der Untersuchung des Umfangs [ABCD] und der Diagonalen [BD] höchstsignifikante Unterschiede festgestellt werden ( $p < 0,001$ ).

Die aufgestellte Nullhypothese  $H_{0a}$ : „Es gibt in den Prüfgruppen keine Unterschiede in den Dimensionen zwischen dem Meistermodell und unbehandelten, nicht desinfizierten Alginatabformungen.“ ist zu verwerfen.

### 2. Es gibt in den Prüfgruppen Unterschiede in der Dimension zwischen den Alginatabformungen des Meistermodells bei Raum- und Mundtemperatur.

Bei der Untersuchung des Umfangs [ABCD] zeigen die beiden Stichprobenreihen für Abformungen bei Raumtemperatur signifikante Unterschiede ( $p = 0,007$  und  $p = 0,001$ ) im Vergleich mit der Stichprobenreihe bei Mundtemperatur.

Bei der Untersuchung der Diagonalen [BD] kann keine statistische Aussage zu den verschiedenen Abformungen getroffen werden.

Insgesamt betrachtet, ist die Nullhypothese  $H_{0b}$ : „Es gibt in den Prüfgruppen keine Unterschiede in den Dimensionen zwischen den Alginatabformungen des Meistermodells bei Raum- und Mundtemperatur.“ zu verwerfen.

### 3. Es gibt in den Prüfgruppen Unterschiede in der Dimension zwischen den unbehandelten und desinfizierten Alginatabformungen.

Für das Alginat Blueprint Xcreme kann beim Umfang [ABCD] für die Desinfektion mit MD 520 ( $p = 0,014$ ) und Zeta 90+ ( $p = 0,017$ ) signifikante Unterschiede nachgewiesen werden. Bei der Auswertung der Diagonalen [BD] lässt sich bei der Desinfektion mit ORBI-Sept ( $p = 0,001$ ) eine signifikante Abweichung aufzeigen. Für die Desinfektion mit Dentavon ( $p = 0,056$ ) lässt sich ein Trend beobachten.

Bei dem Alginat HS-Maxima zeigt sich anhand des Umfangs [ABCD] signifikante Unterschiede bei den Desinfektionsmitteln EuroSept ( $p = 0,040$ ), MD 520 ( $p < 0,001$ ), ORBI-Sept ( $p = 0,007$ ) und Zeta 90+ ( $p < 0,001$ ).

Die Auswertung der Diagonalen [BD] zeigt für die Abformungen, die mit MD 520 ( $p = 0,021$ ), Orbi-Sept ( $p = 0,015$ ) und Zeta 90+ ( $p = 0,007$ ) desinfiziert wurden signifikante Unterschiede.

Auch hier zeigt sich durch die statistische Auswertung, dass die Nullhypothese  $H_{0c}$ : „Es gibt in den Prüfgruppen keine Unterschiede in den Dimensionen zwischen den unbehandelten und desinfizierten Alginatabformungen.“ im Bezug auf alle Prüfgruppen zu verwerfen ist.



## 6. Diskussion

### 6.1 Diskussion von Material und Methode

Ziel der vorliegenden Studie ist es zu zeigen, ob durch Desinfektionsmittel die Dimensionsstabilität von Alginatabformungen beeinflusst wird.

Für die Abformungen werden zwei am Markt etablierte Alginat verwendet. Blueprint Xcreme (Fa. Dentsply Sirona) als Vertreter eines namenhaften Markenherstellers und HS-Maxima (Fa. Henry Schein) als Vertreter einer Eigenmarke eines Dentaldepots. Als Desinfektionsmittel mit quartären Ammoniumverbindungen und Chlorhexidin werden ORBI-Sept (Fa. Orbis) als Eigenmarkenprodukt und Zeta 90+ (Fa. Zhermack) als Markenprodukt gewählt. MD 520 (Fa. Dürr Dental) beinhaltet zur Desinfektion Glutaraldehyde und quartäre Ammoniumverbindungen. Und aus der Kategorie der sauerstoffabspaltenden Desinfektionsmittel werden Dentavon (Fa. Schülke) als Markenprodukt und EuroSept Plus (Fa. Henry Schein) als Produkt einer Eigenmarke verwendet.

In dem vorliegenden Versuchsdesign werden die Angaben der Hersteller hinsichtlich der Anmisch-, Abbinde- und Desinfektionsdauer genau eingehalten. Dadurch werden alltägliche Unachtsamkeiten, wie zum Beispiel ungenau dosiertes Pulver-Wasser-Verhältnis, eine zu lange Anmischdauer beim Anmischen von Hand oder gar das Vergessen der Abformung in der Desinfektionslösung, in dieser Arbeit nicht beleuchtet. Der Prozess wurde für den Versuch hoch standardisiert.

In der Literatur lassen sich viele Angaben zur Dimensionsänderung von Alginaten finden und auch unterschiedlichste Werte, bis zu welcher Verformung sie noch als akzeptabel, beziehungsweise klinisch brauchbar zu betrachten sind. Man findet Grenzwerte von 0,1 bis 0,27 Prozent (Cohen et al., 1995). In anderen Arbeiten findet man einen Wert von 0,15 Prozent als obere Grenze (Hassa Babiker et al., 2018). Für Silikone gar Werte von bis zu 0,60 Prozent (Kulkarni und Thombare, 2015).

Als Meistermodell wird auf eine Prüfplatte, wie sie in der ADA- Verordnung Nr. 18 und Nr. 19 ("Council adopts American Dental Association Specification No. 18 (Alginate Impression Material)," 1968; "Revised American Dental Association Specification No. 19 for Non-Aqueous, Elastomeric Dental Impression Materials," 1977) zu finden sind, verzichtet und stattdessen ein in Nichtedelmetall gegossener Oberkiefer mit beidseitiger

Schaltlücke und nicht präparierten Zähnen verwendet. Dies geschah zur besseren Übertragbarkeit in die klinische Praxis, auch wenn ein einfacher Prüfkörper ein besser zu standardisierendes und reproduzierendes Objekt zum Abformen gewesen wäre. Auch in der Realität würde man eine solche Situation, wie durch das Meistermodell dargestellt, zur Versorgung mit Interimsersatz während der Implantateinheilung oder vor der Versorgung mit teleskopierendem Zahnersatz mit Alginat abformen. Dies gestattet direkt auf die klinischen Auswirkungen von Dimensionsveränderungen durch das Versuchsdesign rückschließen zu können.

Als Abformlöffel wird ein individueller, gedruckter Löffel zur besseren Passgenauigkeit und einheitlichen Materialstärke, sowohl des Abformmaterials, als auch der Löffelwandung, zur Steigerung der Reproduzierbarkeit verwendet. Aus diesem Grund wurde trotz der geringeren Verwindungssteifigkeit im Vergleich mit Rimlock Löffeln in diesem Versuchsaufbau ein individuell gedruckter Löffel verwendet. Zur Erhöhung der Retention und auf Grund der genaueren Ergebnisse wird ein perforierter Löffel verwendet (Woodward et al., 1985). Abformungen, die sich teilweise gelöst hatten, wurden verworfen.

Die benötigten Wasser- und Pulvermengen zum Anmischen der Alginate wurden vor dem Anmischen immer auf Zimmertemperatur temperiert. Für ein standardisiertes und reproduzierbares Vorgehen werden Wasser und Pulver vor dem Anmischen auf einer Waage abgewogen und in einem Mischgerät für Alginate (Fa. Mikrona) angemischt. Um auch das Befüllen des Abformlöffels so gut es geht zu standardisieren wird er immer von der gleichen Person nach der gleichen Art und Weise befüllt. Überstände werden mit einem Spatel entfernt und durch das durchsichtige Löffelmaterial kann sogar eine Überprüfung auf Luftblasen im Löffel erfolgen. Dennoch sind unterschiedliche Füllmengen und Blaseneinschlüsse im Alginat selbst nicht auszuschließen.

Mit der Abformung in der Material-Prüfmaschine (Fa. Zwick) kann gewährleistet werden, dass sowohl die Position des Abformlöffels, als auch die Kräfte, welche auf das Abformmaterial wirkten, immer reproduzierbar sind. Somit fallen auch individuelle Verformungen nach dem Abbinden durch lateralen Zug oder Druck durch händisches Lösen der Abformung, wie es in der Praxis der Fall ist, weg. Dies führt zwar zu veränderten Absolutwerten, gewährleistet aber ein standardisiertes Vorgehen, was wiederum zu einer besseren Vergleichbarkeit der Abformungen und deren Unterschiede führt.

Für die Vermessung der Abformungen werden diese in eine Halterung der Material-Prüfmaschine eingespannt, welche mit Laborsilikon auf dem beweglichen Tisch des

Messmikroskops befestigt ist. Eine gewisse Rotationsfreiheit der Abformung beim Einspannen in die Halterung blieb nicht aus, was jedoch vor dem Hintergrund der Berechnung der Strecken mit Hilfe des Satzes des Pythagoras zu vernachlässigen ist. Bei der optischen Vermessung der Abformungen mittels Messmikroskop geht man den Kompromiss ein, den räumlichen, dreidimensionalen Vorgang der Dimensionsänderung mit Hilfe einer zweidimensionalen Messmethode wiedergeben zu wollen.

An dieser Stelle sei auch nochmal die Beeinflussung der Messergebnisse durch die Überführung der Abformungen in Gips zu erwähnen. Die Expansion des Gipses hätte als beeinflussender Faktor weitestgehend reproduzierbar gehalten werden können. Vergleicht man jedoch die zu erwartende Expansion von maximal 0,15 Prozent bei Superhartgips (Ohlendorf, 2021) mit den unten aufgeführten Mittlereabweichungen in Prozent, so fällt auf, dass die zu erwartende Expansion des Gipses über den gemessenen Abweichungen liegt.

## 6.2 Diskussion der Ergebnisse

Grundlage der Diskussion sind die Daten aus dem vorangegangenen Kapitel.

### 6.2.1 Meistermodell gegen unbehandelte Alginat

In der ersten Versuchsreihe soll untersucht werden, ob sich die unbehandelten Alginat von dem Meistermodell unterscheiden. Diese Versuchsreihe wird auch vor dem Hintergrund gemacht, die Eigenverformung der Alginat mit der möglichen Dimensionsänderung durch Desinfektionsmittel in Relation zu setzen. Deshalb wird auch darauf verzichtet die desinfizierten Abformungen mit dem Meistermodell zu vergleichen, denn somit kann die Eigenverformung der Alginat als beeinflussender Faktor in den Versuchsreihen mit den desinfizierten Alginaten ausgeschlossen werden. In der Literatur (Ohlendorf, 2021; Weiler, 2015) findet man die Hinweise, Alginat innerhalb von 20 Minuten auszugießen, um exakte Modelle, ohne Dimensionsänderungen durch Verdunstung des enthaltenen Wassers zu erhalten. Des Weiteren wird die Abbindekontraktion von Alginaten mit null Prozent beschrieben. Die Rückstellkräfte des Alginats werden als schlecht beschrieben, weshalb gerade in unterschätzenden Bereichen für eine ausreichende Materialschichtstärke zu sorgen ist (Geis-Gerstorfer et al., 2008; Rosentritt et al., 2018). In der Versuchsreihe wurden die Abformung in der Zeitspanne von 20 Minuten nach Entformung vermessen. Es konnten jedoch signifikante Unterschiede zwischen den Abformungen und dem Meistermodell festgestellt werden. Die p-Werte von HS-Maxima und Blueprint Xcreme im Paarweisenvergleich mit dem Meistermodell liegen unter 0,001, und dies sowohl beim Umfang [ABCD], als auch bei der Diagonalen [BD]. Bei der deskriptiven Betrachtung der Mittelwerte zeigt sich die größte Differenz in der Diagonalen [BD] zwischen dem Meistermodell und der unbehandelten Abformung mit HS-Maxima. Der absolute Wert liegt gerundet bei 0,031 mm. Relativ betrachtet liegt der Unterschied bei 0,06 Prozent. Diese Dimensionsänderungen der nicht desinfizierten Alginat gegenüber dem Meistermodell stehen in Übereinstimmung mit den in der Literatur beschriebenen Genauigkeit für verschieden Abformmaterialien (Hassa Babiker et al., 2018; Kern et al., 1993). Schon bei schwachen Kräften von 0,1 Newton zeigt sich eine initiale Zahnbeweglichkeit von 0,05 - 0,10 mm durch die Kompression und Vorspannung einzelner Faserbündel des Zahnhalteapparates (Buchmann, 2011).

## **6.2.2 Meistermodell bei Mundtemperatur gegen unbehandelte Alginate**

In der zweiten Versuchsreihe soll gezeigt werden, ob es zu Veränderungen in der Dimension kommt, wenn das Meistermodell vor der Abformung von Zimmertemperatur auf Körper-, beziehungsweise auf Mundtemperatur erwärmt wird. Dies dient der Übertragbarkeit des Laborversuchs auf die klinische Praxis. Die Dimensionsänderungen der Alginate aus der ersten Versuchsreihe sind hier zu vernachlässigen, da man Abformungen mit Abformungen vergleicht und nicht mit dem Meistermodell. Bei der statistischen Untersuchung der Diagonalen [BD] können keine signifikanten Unterschiede zwischen den Abformungen bei Zimmertemperatur und denen bei Mundtemperatur festgestellt werden. Für den Umfang [ABCD] hingegen zeigen sich mit einem p-Wert von 0,007 für Blueprint Xcreme und 0,001 für HS-Maxima signifikante Abweichungen. Vergleicht man die Mittelwerte so zeigt sich die größte Differenz im Vergleich zwischen dem temperierten Meistermodell und der unbehandelten Abformung mit HS-Maxima. Sie liegt bei 0,046 mm, was einem relativen Unterschied von 0,031 Prozent entspricht. Metalle dehnen sich bei Erwärmung aus. So wäre es zu erwarten gewesen, dass die Strecken der Abformungen bei Mundtemperatur größer sind also die, die bei Zimmertemperatur genommen wurden. Das Meistermodell wurde aus dem Nichtedelmetall Biosil f der Firma Dentsply DeguDent gegossen. Es wäre zu erwarten gewesen, dass sich beim erwärmten Metall ein Längenzuwachs des Umfang [ABCD] zeigt. In dieser Versuchsreihe sind die Strecken der Abformungen bei Mundtemperatur jedoch kleiner als die unbehandelten Referenzabformungen. Die Mundtemperatur ist also ein beeinflussender Faktor. Die Abweichungen liegen dennoch im klinisch akzeptablen Bereich.

## **6.2.3 Blueprint Xcreme und HS-Maxima unbehandelt gegen desinfiziert**

In der dritten und vierten Versuchsreihe soll gezeigt werden, welche Auswirkung die Desinfektion auf die Dimensionsstabilität von Alginateabformungen hat. Auch hier werden die desinfizierten Abformungen nur mit den Referenzabformungen verglichen, um die in der ersten Versuchsreihe ermittelten Abweichungen vernachlässigen zu können. Für Blueprint Xcreme zeigt sich beim Umfang [ABCD] ein signifikanter Unterschied bei MD 520 und Zeta 90+. Der deskriptive Vergleich der Mittelwerte zeigt für MD 520 einen

um 0,023 mm kleineren Umfang, was relativ gesehen 0,015 Prozent entspricht. Der Mittelwert bei den Abformungen, die mit Zeta 90+ desinfiziert wurden, ist um 0,026 mm kleiner, was 0,018 Prozent entspricht. Für die Diagonale [BD] zeigen sich nur bei denen mit ORBI-Sept desinfizierten Abformungen signifikante Abweichungen. Hier ist der Mittelwert absolut gesehen um 0,022 mm kleiner, was einem relativen Wert von 0,042 Prozent entspricht.

Für die Untersuchungen mit HS-Maxima zeigen sich beim Umfang [ABCD] signifikante Abweichungen bei den Abformungen, die mit EuroSept, MD 520, ORBI-Sept und Zeta 90+ desinfiziert wurden. Die größte Differenz beim Vergleich der Mittelwerte zeigen hier die Abformungen, die mit MD 520 desinfiziert wurden. Der Mittelwert ist 0,066 mm kleiner, was 0,045 Prozent entspricht. Für die Diagonale [BD] lassen sich bei MD 520, ORBI-Sept und Zeta 90+ signifikante Unterschiede im Vergleich zur Referenz feststellen. Für die Mittelwerte zeigt sich hier die größte Differenz bei den mit Zeta 90+ desinfizierten Abformungen mit einem um 0,022 mm kleineren Wert, was einem relativen Unterschied von 0,042 Prozent entspricht.

Vergleicht man nun diese Werte mit bereits vorhandener Literatur, so stellt man fest, dass sich bei der korrekten Nutzung der Desinfektionsmittel ähnliche Werte für die Dimensionsänderung von Alginatabformungen im Bereich von 0,03 bis 0,75 Prozent finden. (Hassa Babiker et al., 2018; Hiraguchi et al., 2010; Martin et al., 2007).

Insgesamt erweist sich keine der Kombinationen aus Desinfektionsmittel und Abformmaterial als klinisch inakzeptabel. Die Abweichungen befinden sich alle im zu erwartenden und klinisch vertretbaren Bereich.

Warum die Werte der desinfizierten Abformungen jedoch teilweise kleiner waren, also die der Referenzabformungen, obwohl bei einer Tauchdesinfektion eher ein Aufquellen und eine dadurch bedingte Verlängerung der Strecken zu erwarten war. Dies kann einerseits auf leicht verdunstbare Bestandteile der Desinfektionsmittel, als auch auf mögliche dreidimensionale Verwindungen des Abformmaterials im starren Abformlöffels, die mit der zweidimensionalen Auswertungsmethode nicht erfasst werden, zurückzuführen sein. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass diese Ungenauigkeiten nur von akademischem Interesse sind, da die Abweichungen zwischen Modell und Abformungen alle im klinisch akzeptablen Bereich lagen.

## 6.3 Diskussion der Schlussfolgerung

Setzt man die Werte der vorliegenden Arbeit in Bezug zu den genannten Werten zur Akzeptanz der Verformung, wie sie oben erwähnt und in der Literatur zu finden sind, so zeigt sich, dass es durch keines der in dieser Studie verwendeten Desinfektionsmittel zu übermäßigen Ungenauigkeiten der Dimension kommt. Auch die sauerstoffabspaltenden Desinfektionsmittel Dentavon der Firma Schülke und EuroSept Plus des Herstellers Henry Schein sind hinsichtlich der Dimensionsänderung für den praktischen Alltag unbedenklich.

Zur Methode lässt sich zusammenfassend sagen, dass die gewählten Materialien und Geräte zur Herstellung und Vermessung der Abformungen hinreichend genau waren, um signifikante Unterschiede darzustellen. Eine weitergehende Analyse ist nicht mehr von klinischer Relevanz.

Betrachtet man die klinische Relevanz der dargestellten signifikanten Unterschiede kann man die ermittelten Werte der Dimensionsänderung mit der physiologischen Eigenbeweglichkeit der Zähne in Bezug setzen. Die initiale desmodontale Zahnbeweglichkeit jedes einzelnen Zahnes (Buchmann, 2011) übertrifft somit die in dieser Studie ermittelten absoluten Werte der Dimensionsänderung durch Desinfektionsmittel. Zusammenfassend lassen sich also Dimensionsänderungen durch Desinfektion von Algiantabformungen nachweisen, diese sind jedoch so gering, dass sich klinisch nicht von Relevanz sind. Somit kann eine Desinfektion von Alginatabformungen mit den hier untersuchten Desinfektionsmitteln bei sachgemäßer Anwendung empfohlen werden. Der Einsatz ist unter Einhaltung der Hygienebedingungen ohne Verlust der geforderten Präzisionen möglich.

## 7. Zusammenfassung

Ziel dieser Studie ist es, die Auswirkungen von verschiedenen Desinfektionsmittel auf die Dimensionsstabilität von dentalen Abformmaterialien zu zeigen.

Hierfür werden mit den Alginaten Blueprint Xcreme (Fa. Dentsply Sirona) und HS-Maxima (Fa. Henry Schein) unter Zuhilfenahme der Material- Prüfmaschine RetroLine Z050 TH (Fa. ZwickRoell) in einem standardisierten Verfahren Abformungen von einem in Nichtedelmetall gegossenen Meistermodell genommen. Diese unbehandelten Abformungen werden mit dem Meistermodell verglichen. In einer zweiten Versuchsreihe werden Abformungen mit den Desinfektionsmitteln ORBI-Sept (Fa. Orbis), Zeta 90+ (Fa. Zhermack), MD 520 (Fa. Dürr Dental), Dentavon (Fa. Schülke) und EuroSept Plus (Fa. Henry Schein) behandelt und mit den unbehandelten Referenzabformungen verglichen. Es wurde in einer dritten Versuchsreihe auch der Einfluss der Körpertemperatur getestet. Hierfür wurde das Meistermodell unmittelbar vor der Abformung in einem Wasserbad auf 36 Grad Celsius Mundtemperatur erwärmt. Für die Vermessung werden vier Messpunkte auf dem Meistermodell festgelegt und mit A, B, C und D bezeichnet. Mit dem Messmikroskop Measuring Microscope STM (Fa. Olympus) wurden die Strecken [AB], [BC], [CD], [AD] und [BD] in den Alginatabformungen unverzüglich nach Entformung, beziehungsweise nach der Behandlung mit Desinfektionsmittel, gemessen.

In den Ergebnissen zeigt sich, dass zwischen dem Meistermodell und den unbehandelten Referenzabformungen, den Abformungen bei Raum- und Mundtemperatur und im Vergleich der mit Desinfektionsmittel behandelten mit den nicht behandelten Abformungen signifikante Unterschiede nachzuweisen sind.

Bei Betrachtung der relativen, als auch der absoluten Werte der nachgewiesenen Unterschiede zeigt sich jedoch, dass alle Werte in einem klinisch akzeptablen Bereich liegen.

Die verwendeten Desinfektionsmittel haben einen Einfluss auf die Dimension der Alginat, diese sind jedoch so gering, dass sie im klinischen Alltag vernachlässigbar sind.



## 8. Literaturverzeichnis

1. Al Mortadi, N., Al-Khatib, A., Alzoubi, K.H., Khabour, O.F., 2019. Disinfection of dental impressions: knowledge and practice among dental technicians. *Clin Cosmet Investig Dent* 11, 103–108. <https://doi.org/10.2147/CCIDE.S205144>
2. Al Shikh, A., Milosevic, A., 2020. Effectiveness of Alcohol and Aldehyde Spray Disinfectants on Dental Impressions. *Clin Cosmet Investig Dent* 12, 25–30. <https://doi.org/10.2147/CCIDE.S233336>
3. Bambini, F., Giannetti, L., Memè, L., Pellecchia, M., Selvaggio, R., 2005. Comparative analysis of direct and indirect implant impression techniques an in vitro study. *An in vitro study. Minerva Stomatol* 54, 395–402.
4. Bergin, J.M., Rubenstein, J.E., Mancl, L., Brudvik, J.S., Raigrodski, A.J., 2013. An in vitro comparison of photogrammetric and conventional complete-arch implant impression techniques. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 110, 243–251. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(13\)60370-4](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(13)60370-4)
5. Bortz, J., Schuster, C., 2010. *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler: mit ... 163 Tabellen, 7., vollst. überarb. und erw. Aufl. ed, Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin Heidelberg New York, 70-73.*
6. British Dental Association, 2003. A12 Advice Sheet: Infection control in dentistry, 10. <https://universitydental.co.uk/resources/bda-cross-infection.pdf>
7. Buchmann, R., 2011. *Patientengerechte Parodontologie: 52 Tabellen, ZMK-Praxis. Thieme, Stuttgart, 13.*
8. Burawi, G., Houston, F., Byrne, D., Claffey, N., 1997. A comparison of the dimensional accuracy of the splinted and unsplinted impression techniques for the Bone-Lock implant system. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 77, 68–75. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(97\)70209-9](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(97)70209-9)
9. Cabral, L.M., Guedes, C.G., 2007. Comparative Analysis of 4 Impression Techniques for Implants. *Implant Dentistry* 16, 187–194. <https://doi.org/10.1097/ID.0b013e3180587b3f>
10. Carrotte, P.V., Johnson, A., Winstanley, R.B., 1998. The influence of the impression tray on the accuracy of impressions for crown and bridge work--an investigation and review. *Br Dent J* 185, 580–585. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4809870>
11. Cervino, G., Fiorillo, L., Herford, A., Laino, L., Troiano, G., Amoroso, G., Crimi, S., Matarese, M., D'Amico, C., Nastro Siniscalchi, E., Cicciù, M., 2018. Alginate Materials

- and Dental Impression Technique: A Current State of the Art and Application to Dental Practice. *Marine Drugs* 17, 18. <https://doi.org/10.3390/md17010018>
12. Chen, S.Y., Liang, W.M., Chen, F.N., 2004. Factors affecting the accuracy of elastometric impression materials. *Journal of Dentistry* 32, 603–609. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2004.04.002>
  13. Cohen, B.I., Pagnillo, M., Deutsch, A.S., Lee Musikant, B., 1995. Dimensional Accuracy of Three Different Alginate Impression Materials. *Journal of Prosthodontics* 4, 195–199. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.1995.tb00340.x>
  14. Council adopts American Dental Association Specification No. 18 (Alginate Impression Material), 1968. *The Journal of the American Dental Association* 77, 1354–1358. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1968.0369>
  15. Dalstra, M., Melsen, B., 2009. From Alginate Impressions to Digital Virtual Models: Accuracy and Reproducibility. *J Orthod* 36, 36–41. <https://doi.org/10.1179/14653120722905>
  16. Deutscher Arbeitskreis für Hygiene in der Zahnmedizin (Hrsg.), 2020. Hygieneleitfaden 40–41. [http://dahz.org/wp-content/uploads/2020/02/DAHZ-Hygieneleitfaden\\_2020.pdf](http://dahz.org/wp-content/uploads/2020/02/DAHZ-Hygieneleitfaden_2020.pdf)
  17. Eble, J., Mergelsberg, A. (Eds.), 2010. *Behandlungsassistenz in der Zahnarztpraxis*, 2. Aufl., 2. Dr. ed. Cornelsen, Berlin, 452-460.
  18. Eichner, K., Kappert, H.F. (Eds.), 2005. *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung*. 1: Grundlagen und Verarbeitung, 8., unveränd. Aufl. ed. Thieme, Stuttgart New York, 4-20.
  19. Garrofé, A.B., Ferrari, B.A., Picca, M., Kaplan, A.E., 2015. LINEAR DIMENSIONAL STABILITY OF IRREVERSIBLE HYDROCOLLOID MATERIALS OVER TIME. *Acta Odontol. Latinoam.* 28, 5.
  20. Geis-Gerstorfer, J., Marxkors, R., Meiners, H., 2008. *Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde: vom Defekt zur Restauration; mit 11 Tabellen*, 6., überarb. Aufl. ed. Dt. Zahnärzte-Verl, Köln, 85-86.
  21. Gernet, W., Biffar, R., Schwenger, N., Ehrenfeld, M. (Eds.), 2011. *Zahnärztliche Prothetik*, 4th ed. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 50-53. <https://doi.org/10.1055/b-002-19442>
  22. Hansson, O., Eklund, J., 1984. A historical review of hydrocolloids and an investigation of the dimensional accuracy of the new alginates for crown and bridge impressions when using stock trays. *Swed Dent J* 8, 81–95.

23. Hassa Babiker, G., Khalifa, N., Alhajj, M., 2018. Dimensional Accuracy of Alginate Impressions Using Different Methods of Disinfection With Varying Concentrations. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995)* 39, e17–e20.
24. Heartwell, C.M., Modjeski, P.J., Mullins, E.E., Strader, K.H., 1972. Comparison of impressions made in perforated and nonperforated rimlock trays. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 27, 494–500. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(72\)90261-2](https://doi.org/10.1016/0022-3913(72)90261-2)
25. Heudorf, U., Dehler, A., Klenner, W., Exner, M., 2006. Hygiene und Infektionsprävention in Zahnarztpraxen: Das Pilotprojekt Frankfurt 2005. *Bundesgesundheitsbl.* 49, 648–659. <https://doi.org/10.1007/s00103-006-1285-9>
26. Hiraguchi, H., Kaketani, M., Hirose, H., Yoneyama, T., 2012. Effect of immersion disinfection of alginate impressions in sodium hypochlorite solution on the dimensional changes of stone models. *Dent. Mater. J.* 31, 280–286. <https://doi.org/10.4012/dmj.2010-201>
27. Hiraguchi, H., Kaketani, M., Hirose, H., Yoneyama, T., 2010. The influence of storing alginate impressions sprayed with disinfectant on dimensional accuracy and deformation of maxillary edentulous stone models. *Dent. Mater. J.* 29, 309–315. <https://doi.org/10.4012/dmj.2009-083>
28. Hoffmann-Axthelm, W., 1978. *Lexikon der Zahnmedizin, 2., neubearb. Aufl. ed.* Buch- und Zeitschriften-Verl. Die Quintessenz, Berlin, 216–268.
29. Hsu, C.-C., Millstein, P.L., Stein, R.S., 1993. A comparative analysis of the accuracy of implant transfer techniques. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 69, 588–593. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(93\)90287-X](https://doi.org/10.1016/0022-3913(93)90287-X)
30. Ismail, H., Mahross, H., Shikho, S., 2017. Evaluation of dimensional accuracy for different complete edentulous impressions immersed in different disinfectant solutions. *European Journal of Dentistry* 11, 242. [https://doi.org/10.4103/ejd.ejd\\_268\\_16](https://doi.org/10.4103/ejd.ejd_268_16)
31. Jakstat, H., Klinke, T., 2008. *Zahnärztliche Werkstoffkunde - ein Arbeitsbuch, 2., überarb. Aufl. ed.* Books on Demand, Norderstedt, 10-24.
32. Johnson, G.H., Chellis, K.D., Gordon, G.E., Lepe, X., 1998. Dimensional stability and detail reproduction of irreversible hydrocolloid and elastomeric impressions disinfected by immersion. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 79, 446–453. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(98\)70160-X](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(98)70160-X)

33. Kern, M., Rathmer, R.M., Strub, J.R., 1993. Three-dimensional investigation of the accuracy of impression materials after disinfection. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 70, 449–456. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(93\)90084-2](https://doi.org/10.1016/0022-3913(93)90084-2)
34. Keul, C., Güth, J.-F., 2022. Influence of intraoral conditions on the accuracy of full-arch scans by Cerec Primescan AC: an in vitro and in vivo comparison. *Int J Comput Dent* 25, 17–25.
35. Kohn, W.G., Harte, J.A., Malvitz, D.M., Collins, A.S., Cleveland, J.L., Eklund, K.J., 2004. COVER STORY Guidelines for infection control in dental health care settings—2003. *The Journal of the American Dental Association* 135, 33–47. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2004.0019>
36. Kolyada, Yu.B., Korolev, Yu.S., Razgulin, V.G., Yanushkin, V.N., Krushnyak, N.T., 2005. Digital Measuring Microscope. *Meas Tech* 48, 445–449. <https://doi.org/10.1007/s11018-005-0162-5>
37. Kruskal, W.H., Wallis, W.A., 1952. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47, 583–621. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>
38. Kulkarni, M.M., Thombare, R.U., 2015. Dimensional Changes of Alginate Dental Impression Materials-An Invitro Study. *J Clin Diagn Res* 9, ZC98–ZC102. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/13627.6407>
39. Lehmann, K.M., Hellwig, E., Wenz, H.-J., 2012. Zahnärztliche Propädeutik: Einführung in die Zahnheilkunde; mit 32 Tabellen, 12., vollst. überarb. und erw. Aufl. ed. Dt. Zahnärzte-Verl, Köln, 197-203.
40. Ludwig, K., Biffar, R. (Eds.), 2005. Lexikon der zahnmedizinischen Werkstoffkunde, Quintessenz-Bibliothek. Quintessenz-Verl, Berlin, 18-19.
41. Mangano, F.G., Admakin, O., Bonacina, M., Biaggini, F., Farronato, D., Lerner, H., 2020. Accuracy of 6 Desktop 3D Printers in Dentistry: A Comparative In Vitro Study. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 28, 75–85. [https://doi.org/10.1922/EJPRD\\_2050Mangano11](https://doi.org/10.1922/EJPRD_2050Mangano11)
42. Martin, N., Martin, M.V., Jedyakiewicz, N.M., 2007. The dimensional stability of dental impression materials following immersion in disinfecting solutions. *Dental Materials* 23, 760–768. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2007.01.004>
43. Matalon, S., Eini, A., Gorfil, C., Ben-Amar, A., Slutzky, H., 2011. Do dental impression materials play a role in cross contamination? *Quintessence Int* 42, e124-130.

44. McCullagh, A., Sweet, C., Ashley, M., 2005. Making a Good Impression (A 'How to' Paper on Dental Alginate). *Dent Update* 32, 169–175. <https://doi.org/10.12968/denu.2005.32.3.169>
45. Moörmann, W.H., 2006. The evolution of the CEREC system. *The Journal of the American Dental Association* 137, 7S-13S. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0398>
46. Mushtaq, M.A., Khan, M.W.U., 2018. An Overview of Dental Impression Disinfection Techniques A Literature Review. *J Pak Dent Assoc* 27, 207–12. <https://doi.org/10.25301/JPDA.274.207>
47. Muzaffar, D., Ahsan, S.H., Afaq, A., 2011. Dimensional changes in alginate impression during immersion in a disinfectant solution. *J Pak Med Assoc* 61, 4.
48. Muzaffar, D., Braden, M., Parker, S., Patel, M.P., 2012. The effect of disinfecting solutions on the dimensional stability of dental alginate impression materials. *Dental Materials* 28, 749–755. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.03.013>
49. Nassar, U., Aziz, T., Flores-Mir, C., 2011. Dimensional stability of irreversible hydrocolloid impression materials as a function of pouring time: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 106, 126–133. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(11\)60108-X](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(11)60108-X)
50. Nestler, N., Wesemann, C., Spies, B.C., Beuer, F., Bumann, A., 2021. Dimensional accuracy of extrusion- and photopolymerization-based 3D printers: In vitro study comparing printed casts. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 125, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.11.011>
51. O'Brien, W.J. (Ed.), 2002. *Dental materials and their selection*, 3rd ed. ed. Quintessence Pub. Co, Chicago, 399-405.
52. Ohlendorf, K., 2021. Meisterkönnen für Zahntechniker, Band 2: Qualitätsziele, die an kombiniert festsitzend-herausnehmbaren Zahnersatz zu stellen sind. Verlag Neuer Merkur, 35-41.
53. Özdemir, H., Azlağ Pekince, K., 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, 67–74. <https://doi.org/10.17219/dmp/101649>
54. Porrelli, D., Berton, F., Camurri Piloni, A., Kobau, I., Stacchi, C., Di Lenarda, R., Rizzo, R., 2021. Evaluating the stability of extended-pour alginate impression materials by using an optical scanning and digital method. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 125, 189.e1-189.e7. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.06.022>

55. Rehberg, H.J., 1977. The impression tray--an important factor in impression precision. *Int Dent J* 27, 146–153.
56. Rentzia, A., Coleman, D.C., O'Donnell, M.J., Dowling, A.H., O'Sullivan, M., 2011. Disinfection procedures: Their efficacy and effect on dimensional accuracy and surface quality of an irreversible hydrocolloid impression material. *Journal of Dentistry* 39, 133–140. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.11.003>
57. Revised American Dental Association Specification No. 19 for Non-Aqueous, Elastomeric Dental Impression Materials, 1977. . *The Journal of the American Dental Association* 94, 733–741. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1977.0334>
58. Rosentritt, M., Ilie, N., Lohbauer, U., 2018. *Werkstoffkunde in der Zahnmedizin*, 1st ed. Thieme, Stuttgart New York, 23-49.
59. Schönfeld, R.H., 2005. *Das Prüfungswissen der zahnmedizinischen Fachangestellten: Bereich Behandlungsassistenz; Prüfungsvorbereitung und Repetitorium*, 10., vollst. neu bearb. Aufl. ed. Schlüter, Hannover, 165-170.
60. Schulz, H.H., Schwickerath, H., 1989. *Die Abformung in der Zahnheilkunde*. Dt. Ärzte-Verl, Köln, 2-37.
61. Schweiger, J., Edelhoff, D., Güth, J.-F., 2021. 3D Printing in Digital Prosthetic Dentistry: An Overview of Recent Developments in Additive Manufacturing. *JCM* 10, 2010. <https://doi.org/10.3390/jcm10092010>
62. Sedda, M., Casarotto, A., Raustia, A., Borracchini, A., 2008. Effect of storage time on the accuracy of casts made from different irreversible hydrocolloids. *J Contemp Dent Pract* 9, 59–66.
63. Shafa, S., Zaree, Z., Mosharraf, R., 2008. The effects of custom tray material on the accuracy of master casts. *J Contemp Dent Pract* 9, 49–56.
64. Strietzel, R., 2021. *Werkstoffkunde der zahntechnischen Materialien Band 2*, Band 2,.
65. Strübig, W., 1989. *Geschichte der Zahnheilkunde: eine Einführung für Studenten und Zahnärzte*. Dt. Ärzte-Verl, Köln, 119-122.
66. Thielke, S., Serrano, J.G., Lepe, X., 1998. A method for true coordinate three-dimensional measurement of casts using a measuring microscope. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 80, 506–510. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(98\)70020-4](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(98)70020-4)
67. Vigolo, P., Fonzi, F., Majzoub, Z., Cordioli, G., 2004. An evaluation of impression techniques for multiple internal connection implant prostheses. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 92, 470–476. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2004.08.015>

68. Vigolo, P., Majzoub, Z., Cordioli, G., 2003. Evaluation of the accuracy of three techniques used for multiple implant abutment impressions. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 89, 186–192. <https://doi.org/10.1067/mpr.2003.15>
69. Walker, M.P., Burckhard, J., Mitts, D.A., Williams, K.B., 2010. Dimensional change over time of extended-storage alginate impression materials. *The Angle Orthodontist* 80, 1110–1115. <https://doi.org/10.2319/031510-150.1>
70. Wang, J., Wan, Q., Chao, Y., Chen, Y., 2007. A Self-Disinfecting Irreversible Hydrocolloid Impression Material Mixed with Chlorhexidine Solution. *The Angle Orthodontist* 77, 894–900. <https://doi.org/10.2319/070606-277>
71. Weber, T., 2016. *Memorix Zahnmedizin, 4., unveränderte Auflage.* ed, Memorix. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, 464-465.
72. Weiler, T., 2015. *Symbiosis: Tipps und Tricks für den ambitionierten Zahntechniker, 1. Aufl.* ed. Verl. Neuer Merkur, München, 13-21.
73. Wirz, J., Jäger, K., Schmidli, F., 1993. *Abformung in der zahnärztlichen Praxis: der sichere Weg zum exakten Modell; 15 Tabellen.* G. Fischer, Stuttgart, 37-50.
74. Woodward, J.D., Morris, J.C., Khan, Z., 1985. Accuracy of stone casts produced by perforated trays and nonperforated trays. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 53, 347–350. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(85\)90508-6](https://doi.org/10.1016/0022-3913(85)90508-6)
75. Wöstmann, B., 2016. Abformung im Wandel der Zeit. *ZWR* 125, 366–371. <https://doi.org/10.1055/s-0042-110586>
76. Wöstmann, B., 1998. Zum derzeitigen Stand der Abformung in der Zahnheilkunde, *Habilitationsschriften der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.* Quintessenz-Verl, Berlin, 23-26, 89-100.

## 9. Anhang

Messwerte Modellvermessung

	[AB] in mm	[AD] in mm	[CD] in mm	[BC] in mm	[BD] in mm
1	43,4768	35,2537	34,2686	34,2697	51,8066
2	43,4879	35,2518	34,2575	34,2565	51,8091
3	43,4929	35,2519	34,2617	34,2701	51,8073
4	43,4811	35,2562	34,2558	34,2592	51,8126
5	43,4934	35,2529	34,2577	34,2662	51,8098
6	43,4888	35,2532	34,2617	34,2612	51,8048
7	43,4796	35,2541	34,2682	34,2647	51,8117
8	43,4922	35,2482	34,2705	34,2567	51,8069
9	43,4858	35,2504	34,2691	34,265	51,8052
10	43,479	35,2551	34,2664	34,2573	51,8042
11	43,4877	35,2505	34,2626	34,2686	51,8142
12	43,4823	35,2519	34,2606	34,2521	51,8073
13	43,4831	35,2554	34,2566	34,2599	51,8061
14	43,4883	35,2559	34,2606	34,2671	51,8104
15	43,4929	35,2539	34,2711	34,2594	51,808
16	43,4894	35,252	34,2622	34,2628	51,8122
17	43,49	35,2529	34,2671	34,2566	51,806
18	43,4843	35,2579	34,2721	34,2654	51,8109
19	43,4808	35,2567	34,2616	34,259	51,8181
20	43,4856	35,2485	34,2757	34,2681	51,8113



### Messwerte Blueprint Dentavon

	[AB] in mm	[AD] in mm	[CD] in mm	[BC] in mm	[BD] in mm
<b>1</b>	43,5051	35,2421	34,2452	34,2645	51,8038
<b>2</b>	43,509	35,2462	34,2411	34,2595	51,8092
<b>3</b>	43,5054	35,2387	34,2593	34,273	51,821
<b>4</b>	43,5221	35,2723	34,2614	34,2616	51,8259
<b>5</b>	43,5786	35,2566	34,254	34,2613	51,8116
<b>6</b>	43,4965	35,2607	34,2431	34,2545	51,8051
<b>7</b>	43,494	35,2595	34,2496	34,2626	51,821
<b>8</b>	43,4912	35,2627	34,2646	34,2677	51,816
<b>9</b>	43,537	35,2792	34,2195	34,2617	51,8185
<b>10</b>	43,5064	35,2514	34,241	34,2703	51,8008
<b>11</b>	43,5162	35,2551	34,2484	34,2644	51,8268
<b>12</b>	43,5124	35,2649	34,2587	34,2559	51,8148
<b>13</b>	43,5169	35,3037	34,2281	34,2441	51,8494
<b>14</b>	43,5308	35,2547	34,2539	34,2696	51,8331
<b>15</b>	43,4968	35,2511	34,2595	34,2605	51,8079

### Messwerte Blueprint EuroSept

	[AB] in mm	[AD] in mm	[CD] in mm	[BC] in mm	[BD] in mm
<b>1</b>	43,4951	35,2559	34,2437	34,2908	51,7928
<b>2</b>	43,5527	35,276	34,2266	34,2621	51,8712
<b>3</b>	43,5455	35,2847	34,2506	34,2801	51,832
<b>4</b>	43,5406	35,2605	34,2494	34,2737	51,8547
<b>5</b>	43,5215	35,2514	34,2514	34,254	51,8185
<b>6</b>	43,5218	35,2514	34,2445	34,2723	51,8394
<b>7</b>	43,5684	35,2515	34,2181	34,2652	51,8603
<b>8</b>	43,5696	35,3395	34,18	34,2496	51,8783
<b>9</b>	43,6239	35,3076	34,1988	34,2709	51,8826
<b>10</b>	43,5214	35,2721	34,2515	34,2794	51,8399
<b>11</b>	43,5657	35,3148	34,264	34,3066	51,858
<b>12</b>	43,5493	35,3053	34,2159	34,2888	51,8323
<b>13</b>	43,5279	35,3093	34,203	34,2779	51,8235
<b>14</b>	43,5773	35,2918	34,2138	34,3036	51,8808
<b>15</b>	43,5497	35,3114	34,2096	34,2752	51,8824

### Messwerte Blueprint MD 520

	[AB] in mm	[AD] in mm	[CD] in mm	[BC] in mm	[BD] in mm
<b>1</b>	43,4839	35,2359	34,2814	34,2559	51,8142
<b>2</b>	43,4787	35,233	34,2808	34,2582	51,8247
<b>3</b>	43,5037	35,2457	34,2845	34,2681	51,8292
<b>4</b>	43,5292	35,2377	34,2694	34,3027	51,8657
<b>5</b>	43,4858	35,2343	34,2719	34,2609	51,8244
<b>6</b>	43,4909	35,2294	34,2686	34,2692	51,808
<b>7</b>	43,4921	35,2387	34,2703	34,2615	51,8232
<b>8</b>	43,4785	35,2301	34,2702	34,2608	51,8136
<b>9</b>	43,4994	35,2446	34,2738	34,2622	51,8373
<b>10</b>	43,4846	35,2336	34,2791	34,2541	51,8124
<b>11</b>	43,4797	35,2342	34,268	34,2501	51,8089
<b>12</b>	43,4735	35,2345	34,2596	34,2576	51,8009
<b>13</b>	43,524	35,2616	34,2453	34,2636	51,85
<b>14</b>	43,5051	35,2383	34,2498	34,2752	51,8392
<b>15</b>	43,5448	35,2995	34,2405	34,3179	51,893

### Messwerte Blueprint Mundtemperatur

	[AB] in mm	[AD] in mm	[CD] in mm	[BC] in mm	[BD] in mm
<b>1</b>	43,5175	35,2549	34,243	34,2716	51,8397
<b>2</b>	43,5216	35,2647	34,2245	34,2648	51,8327
<b>3</b>	43,5218	35,2544	34,2552	34,2722	51,8241
<b>4</b>	43,4795	35,2465	34,2688	34,2769	51,8453
<b>5</b>	43,494	35,2559	34,2485	34,2696	51,8187
<b>6</b>	43,5072	35,2845	34,2416	34,276	51,8223
<b>7</b>	43,5175	35,2554	34,2527	34,2597	51,825
<b>8</b>	43,5233	35,2705	34,2365	34,2515	51,8044
<b>9</b>	43,5137	35,2762	34,2356	34,2692	51,8147
<b>10</b>	43,5059	35,2371	34,2503	34,2602	51,81
<b>11</b>	43,5052	35,2436	34,2625	34,2545	51,8364
<b>12</b>	43,506	35,2486	34,2495	34,2831	51,8299
<b>13</b>	43,506	35,256	34,2354	34,2651	51,8309
<b>14</b>	43,4788	35,2254	34,2681	34,257	51,8542
<b>15</b>	43,4785	35,2392	34,2665	34,2835	51,8342

Messwerte Blueprint ORBI-Sept

	[AB] in mm	[AD] in mm	[CD] in mm	[BC] in mm	[BD] in mm
<b>1</b>	43,4781	35,225	34,2381	34,2539	51,7955
<b>2</b>	43,4861	35,2226	34,2426	34,226	51,796
<b>3</b>	43,5192	35,2037	34,2524	34,2817	51,7976
<b>4</b>	43,4987	35,2335	34,2732	34,2717	51,825
<b>5</b>	43,5275	35,2379	34,2415	34,3442	51,7586
<b>6</b>	43,502	35,2083	34,2873	34,2702	51,8201
<b>7</b>	43,5542	35,2282	34,2669	34,2823	51,8466
<b>8</b>	43,4959	35,2253	34,2528	34,2809	51,7998
<b>9</b>	43,4938	35,192	34,2713	34,2804	51,7964
<b>10</b>	43,5221	35,2345	34,2141	34,3143	51,8171
<b>11</b>	43,5157	35,2472	34,2447	34,2741	51,8044
<b>12</b>	43,5286	35,2324	34,269	34,2704	51,8062
<b>13</b>	43,5379	35,2828	34,2478	34,2783	51,828
<b>14</b>	43,5141	35,2391	34,2471	34,3017	51,8031
<b>15</b>	43,4989	35,2485	34,2435	34,4353	51,8085

Messwerte Blueprint Referenz

	[AB] in mm	[AD] in mm	[CD] in mm	[BC] in mm	[BD] in mm
<b>1</b>	43,5412	35,2732	34,2464	34,2552	51,8175
<b>2</b>	43,5362	35,2504	34,2296	34,2739	51,8389
<b>3</b>	43,5297	35,2517	34,2588	34,2634	51,8459
<b>4</b>	43,503	35,2407	34,2488	34,2444	51,7917
<b>5</b>	43,511	35,2691	34,2529	34,2702	51,8298
<b>6</b>	43,5066	35,2496	34,2685	34,2653	51,8284
<b>7</b>	43,5212	35,2757	34,2319	34,2672	51,831
<b>8</b>	43,5258	35,2695	34,258	34,2791	51,8293
<b>9</b>	43,5139	35,2585	34,2363	34,2799	51,8504
<b>10</b>	43,5164	35,2542	34,2517	34,2836	51,8304
<b>11</b>	43,5232	35,222	34,275	34,2641	51,8307
<b>12</b>	43,5194	35,2535	34,2618	34,2555	51,8061
<b>13</b>	43,5216	35,2526	34,2517	34,276	51,8551
<b>14</b>	43,5159	35,2791	34,2684	34,2575	51,8109
<b>15</b>	43,5113	35,2554	34,2554	34,2854	51,8302

Messwerte Blueprint Zeta 90+

	[AB] in mm	[AD] in mm	[CD] in mm	[BC] in mm	[BD] in mm
<b>1</b>	43,5	35,2288	34,2756	34,2447	51,8166
<b>2</b>	43,5252	35,2348	34,2723	34,2638	51,8278
<b>3</b>	43,5125	35,2439	34,2741	34,2656	51,8113
<b>4</b>	43,491	35,2411	34,2631	34,2542	51,8201
<b>5</b>	43,493	35,2387	34,2532	34,2709	51,8156
<b>6</b>	43,5151	35,239	34,2888	34,2536	51,8281
<b>7</b>	43,5	35,2283	34,265	34,2535	51,8199
<b>8</b>	43,5083	35,2355	34,269	34,2425	51,8172
<b>9</b>	43,5304	35,2721	34,2467	34,2456	51,8429
<b>10</b>	43,509	35,2438	34,2537	34,2624	51,8268
<b>11</b>	43,5328	35,2535	34,269	34,2615	51,8315
<b>12</b>	43,5186	35,2577	34,1883	34,2682	51,8065
<b>13</b>	43,502	35,2332	34,2796	34,2611	51,8353
<b>14</b>	43,4966	35,2397	34,2749	34,2523	51,8216
<b>15</b>	43,4886	35,2371	34,2642	34,2849	51,8232

Messwerte HS Maxima Dentavon

	[AB] in mm	[AD] in mm	[CD] in mm	[BC] in mm	[BD] in mm
<b>1</b>	43,5031	35,2287	34,2787	34,2506	51,8159
<b>2</b>	43,5152	35,2421	34,2849	34,2654	51,8441
<b>3</b>	43,5114	35,2497	34,264	34,2721	51,8321
<b>4</b>	43,504	35,2541	34,2483	34,2941	51,8604
<b>5</b>	43,5081	35,2422	34,2669	34,2587	51,8308
<b>6</b>	43,5144	35,2619	34,2426	34,2969	51,833
<b>7</b>	43,4997	35,2458	34,267	34,2835	51,8448
<b>8</b>	43,5235	35,2624	34,2698	34,2487	51,8567
<b>9</b>	43,5432	35,2595	34,2576	34,1746	51,8789
<b>10</b>	43,5085	35,2473	34,2529	34,2697	51,8433
<b>11</b>	43,4917	35,2468	34,2657	34,2673	51,831
<b>12</b>	43,5029	35,2356	34,249	34,2754	51,837
<b>13</b>	43,4996	35,2465	34,2649	34,2676	51,8257
<b>14</b>	43,4894	35,2439	34,2651	34,2606	51,8279
<b>15</b>	43,5146	35,2458	34,2584	34,2928	51,8452



Messwerte HS Maxima EuroSept

	[AB] in mm	[AD] in mm	[CD] in mm	[BC] in mm	[BD] in mm
<b>1</b>	43,4865	35,2342	34,2512	34,2505	51,8081
<b>2</b>	43,5015	35,2431	34,2695	34,2747	51,8336
<b>3</b>	43,4943	35,2415	34,2631	34,2631	51,8084
<b>4</b>	43,4957	35,2455	34,2704	34,2485	51,829
<b>5</b>	43,4901	35,2378	34,2645	34,2752	51,8182
<b>6</b>	43,5024	35,2554	34,2864	34,2582	51,8382
<b>7</b>	43,5166	35,2589	34,2569	34,26	51,8189
<b>8</b>	43,5034	35,2643	34,2345	34,2534	51,7953
<b>9</b>	43,4908	35,2529	34,2663	34,2805	51,8341
<b>10</b>	43,4906	35,2541	34,254	34,2789	51,8166
<b>11</b>	43,4869	35,2348	34,2781	34,2592	51,8249
<b>12</b>	43,5042	35,2587	34,2753	34,2858	51,8377
<b>13</b>	43,5105	35,2665	34,2863	34,2784	51,8285
<b>14</b>	43,515	35,2726	34,2582	34,2736	51,8338
<b>15</b>	43,5196	35,2432	34,2743	34,2777	51,8355

Messwerte HS Maxima MD 520

	[AB] in mm	[AD] in mm	[CD] in mm	[BC] in mm	[BD] in mm
<b>1</b>	43,47	35,218	34,2668	34,259	51,814
<b>2</b>	43,4792	35,226	34,2729	34,262	51,8099
<b>3</b>	43,4961	35,2266	34,2901	34,2817	51,8474
<b>4</b>	43,4929	35,2401	34,2581	34,2488	51,8153
<b>5</b>	43,4925	35,2339	34,2702	34,2771	51,8381
<b>6</b>	43,4903	35,2153	34,2596	34,2579	51,8152
<b>7</b>	43,485	35,2321	34,2833	34,2677	51,8288
<b>8</b>	43,505	35,2296	34,2756	34,2605	51,8248
<b>9</b>	43,5053	35,2353	34,2634	34,2629	51,8225
<b>10</b>	43,4871	35,2361	34,2683	34,2622	51,8276
<b>11</b>	43,4898	35,2124	34,2531	34,2642	51,7995
<b>12</b>	43,4788	35,2255	34,2678	34,2586	51,8071
<b>13</b>	43,4898	35,2616	34,2649	34,262	51,813
<b>14</b>	43,5011	35,2381	34,2852	34,2803	51,8352
<b>15</b>	43,4794	35,2387	34,2755	34,2681	51,8061

Messwerte HS Maxima ORBI-Sept

	[AB] in mm	[AD] in mm	[CD] in mm	[BC] in mm	[BD] in mm
<b>1</b>	43,5086	35,2436	34,2635	34,2625	51,8123
<b>2</b>	43,4978	35,231	34,2713	34,2634	51,8117
<b>3</b>	43,5147	35,2662	34,2783	34,287	51,8556
<b>4</b>	43,4899	35,25	34,2735	34,2667	51,8259
<b>5</b>	43,5009	35,2397	34,2819	34,2599	51,8285
<b>6</b>	43,5116	35,2552	34,2564	34,2636	51,8142
<b>7</b>	43,5166	35,2413	34,2634	34,2752	51,841
<b>8</b>	43,5004	35,2371	34,2705	34,2659	51,8122
<b>9</b>	43,4924	35,2512	34,2656	34,2585	51,8083
<b>10</b>	43,5054	35,236	34,2729	34,2583	51,8198
<b>11</b>	43,4943	35,2384	34,2679	34,2654	51,818
<b>12</b>	43,4912	35,2464	34,2547	34,2662	51,812
<b>13</b>	43,4981	35,2408	34,2543	34,2537	51,829
<b>14</b>	43,5096	35,2754	34,2563	34,2656	51,8179
<b>15</b>	43,4982	35,2432	34,2533	34,2559	51,8029

Messwerte HS Maxima Referenz

	[AB] in mm	[AD] in mm	[CD] in mm	[BC] in mm	[BD] in mm
<b>1</b>	43,5369	35,2489	34,248	34,2728	51,8005
<b>2</b>	43,5187	35,2483	34,2464	34,2792	51,822
<b>3</b>	43,5414	35,2432	34,2442	34,2741	51,821
<b>4</b>	43,5449	35,2575	34,2543	34,2782	51,8209
<b>5</b>	43,4997	35,2189	34,277	34,2658	51,8682
<b>6</b>	43,5045	35,253	34,2465	34,2697	51,8221
<b>7</b>	43,5359	35,2626	34,2216	34,2744	51,8193
<b>8</b>	43,5125	35,2526	34,2543	34,2779	51,837
<b>9</b>	43,526	35,2531	34,2644	34,2697	51,8316
<b>10</b>	43,531	35,2762	34,2447	34,2591	51,8251
<b>11</b>	43,5532	35,3291	34,2507	34,2722	51,8592
<b>12</b>	43,5363	35,273	34,2146	34,2635	51,8356
<b>13</b>	43,587	35,3219	34,2452	34,2738	51,9104
<b>14</b>	43,5271	35,2607	34,2413	34,2801	51,8287
<b>15</b>	43,581	35,3099	34,2566	34,2669	51,9008

Messwerte HS Maxima Zeta 90+

	[AB] in mm	[AD] in mm	[CD] in mm	[BC] in mm	[BD] in mm
<b>1</b>	43,505	35,2424	34,2531	34,2444	51,8055
<b>2</b>	43,5052	35,2433	34,2422	34,2574	51,819
<b>3</b>	43,5105	35,244	34,2574	34,26	51,8269
<b>4</b>	43,5144	35,2384	34,2394	34,2619	51,8229
<b>5</b>	43,4971	35,2532	34,2536	34,2616	51,8192
<b>6</b>	43,5126	35,2404	34,2721	34,251	51,8195
<b>7</b>	43,5052	35,23	34,2711	34,2383	51,8057
<b>8</b>	43,5155	35,2431	34,2611	34,275	51,8191
<b>9</b>	43,51	35,2366	34,2593	34,2579	51,8172
<b>10</b>	43,5013	35,2427	34,2569	34,2616	51,8009
<b>11</b>	43,4903	35,2292	34,234	34,2561	51,8187
<b>12</b>	43,5152	35,248	34,257	34,2598	51,8167
<b>13</b>	43,4989	35,2396	34,2663	34,2547	51,8157
<b>14</b>	43,5163	35,2546	34,269	34,2659	51,8201
<b>15</b>	43,5139	35,2227	34,2493	34,3025	51,8523

## 10. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med. dent. Reiner Biffar, für die Überlassung des Promotionsthemas, die exzellente Betreuung, sowie die stetige Motivation bei der Durchführung der Arbeit.

Frau Dipl.-Ing. Alexandra Amlang und Herrn Dipl.-Math. Dr. rer. med. Sebastian Ruge aus dem Funktionsbereich für Digitale Zahnmedizin – Okklusions- und Kaufunktionstherapie der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik danke ich für die Hilfsbereitschaft und fachliche Unterstützung bei den Laborarbeiten und Durchführung der Versuche.

Herrn Kilian Alexander Wietschel danke ich für die Beratung bei der Auswertung der statistischen Daten.

Ebenfalls danke ich Frau Dr. med. dent. Anne Sophie Engel für das Korrekturlesen der Arbeit.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern für ihre Hilfe und emotionale Unterstützung, die maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.