

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

Direktor: Professor Dr. med. dent. Marc Schmitter

**Die „Malen nach Zahlen“ Methode zur Lehre der Präparation einer
einflügeligen Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik**

Inauguraldissertation

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

vorgelegt von

Greta Behr
aus Tauberbischofsheim

Würzburg, März 2021



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

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

Dekan: Prof. Dr. med. Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 4. März 2021

Die Promovendin ist Zahnärztin

In Liebe und Dankbarkeit meiner Familie gewidmet.

„Es gibt in der Welt selten ein schöneres Übermaß
als das in der Dankbarkeit.“
Jean de La Bruyère

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Notwendigkeit der Weiterentwicklung der zahnärztlichen praktischen Ausbildung	1
1.2 3D-Druck	4
1.3 Adhäsivflügelpräparation für einflügelige Adhäsivbrücken aus Zirkoniumdioxidkeramik im Frontzahnbereich	5
1.4 Zielsetzung dieser Arbeit	7
2 Material und Methoden	8
2.1 Herstellung der Übungszähne	8
2.1.1 Präparation einer Klebebrücke als Vorlage	8
2.1.2 Die „Malen nach Zahlen“ Methode	9
2.1.3 Design des gedruckten Zahnes und des Modells	9
2.1.4 Produktion der Zähne	10
2.1.5 Fertigstellung der Zähne nach dem Druck	12
2.1.6 Herstellungskosten	12
2.2 Präparationsübung	13
2.2.1 Teilnehmer	13
2.2.2 Übung am Zahnmodell	13
2.2.3 Fragebogen nach der Präparationsübung	15
2.3 Auswertung der präparierten Zähne	17
2.3.1 Scan	17
2.3.2 Ausrichtung	17
2.3.3 Auswertung	18
2.4 Statistische Auswertung	20
3 Ergebnisse	22
3.1 Auswertung des Fragebogens	22
3.1.1 Personenbezogene Daten der Teilnehmer	22
3.1.2 Vergleich zu Standardmodellzähnen	22
3.1.3 Bewertung der Übungszähne	23
3.1.4 Bewertung des Anschauungsmodells mit präpariertem Zahn	23
3.1.5 Bewertung des Lernergebnisses	23
3.1.6 Bewertung des Lernprozesses	23
3.1.7 Offene Fragen	24

Verzeichnisse

3.2	Auswertung der präparierten Zähne.....	26
3.2.1	Statistische Analyse der Daten.....	26
3.2.1.1	Test auf Normalverteilung.....	26
3.2.1.2	Kruskal-Wallis-Test.....	26
3.2.2	Übungsphase	27
3.2.3	Kontrollphase.....	29
3.2.4	Gesamtvergleich Zahn 1 bis 4.....	32
3.3	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	34
4	Diskussion	35
4.1	Diskussion der Methodik	35
4.1.1	Fallzahl	35
4.1.2	Studiendesign.....	36
4.1.3	Notwendigkeit der praktischen Ausbildung in der Zahnmedizin	38
4.1.4	Diskussion der Lehrmethode.....	39
4.1.5	Diskussion der Herstellung der Übungszähne	43
4.1.6	Diskussion der Inhalte der Präparationsübung.....	45
4.2	Diskussion der Ergebnisse.....	47
4.3	Vergleich zu anderen 3D-gedruckten Übungsmodellen	51
4.4	Schlussfolgerung.....	52
5	Zusammenfassung	54
6	Literaturverzeichnis.....	55
7	Appendix.....	63
7.1	Herstellerverzeichnis	63
7.2	Fragebogen	66
7.2.1	Musterfragebogen	66
7.2.2	Ergebnisse des Fragebogens.....	69
7.3	Auswertung der präparierten Zähne.....	73
7.4	Statistische Tests	78
7.4.1	Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests	78
7.4.2	Ergebnisse des Dunn-Bonferroni-Tests	79

Danksagung

Lebenslauf

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Schematische Darstellung der empfohlenen Präparation an Frontzähnen für vollkeramische Adhäsivflügel.....	8
Abbildung 2	Fertige Druckobjekte	11
Abbildung 3	Fertigstellung der Übungszähne	12
Abbildung 4	Schematische Darstellung der Präparationsübung	14
Abbildung 5	Scandateien dreier präparierter Zähne	17
Abbildung 6	CAD-Elemente des ideal präparierten Zahnes für den anschließenden Flächenvergleich.....	18
Abbildung 7	Flächenvergleiche präparierter Zähne zur „Gesamtfläche“	19
Abbildung 8	Auswertung des Fragebogens: Frage 2.6 bis 7.5	24
Abbildung 9	Vergleich der Abweichungen von der idealen Zielpräparation von Zahn 1 der Gruppe I und II	28
Abbildung 10	Vergleich der Abweichungen von der idealen Zielpräparation von Zahn 2 der Gruppe I und II	29
Abbildung 11	Vergleich der Abweichungen von der idealen Zielpräparation von Zahn 3 der Gruppe I und II	31
Abbildung 12	Vergleich der Abweichungen von der idealen Zielpräparation von Zahn 4 der Gruppe I und II	32
Abbildung 13	Abweichungen der Gesamtfläche der präparierten Zähne der Gruppe I von der Zielpräparation	33
Abbildung 14	Abweichungen der Gesamtfläche der präparierten Zähne der Gruppe II von der Zielpräparation	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Druckeigenschaften Form 2 3D-Drucker.....	10
Tabelle 2	Tabellarische Darstellung der mittleren Abweichung der Gesamtfläche der Gruppe I und II von der Zielpräparation.....	33
Tabelle 3	Ergebnisse der Fragen 2.2 bis 3.4 des Fragebogens.....	69
Tabelle 4	Ergebnisse der Fragen 4.1 bis 7.5 des Fragebogens.....	70
Tabelle 5	Ergebnisse der Fragen 8.1 und 8.2 des Fragebogens.....	71
Tabelle 6	Ergebnisse der Auswertung der präparierten Zähne der Gruppe I.....	73
Tabelle 7	Ergebnisse der Auswertung der präparierten Zähne der Gruppe II.....	75
Tabelle 8	Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests für die Daten der Gruppe I.....	78
Tabelle 9	Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests für die Daten der Gruppe II.....	78
Tabelle 10	Ergebnisse des Dunn-Tests mit Bonferroni-Korrektur.....	79

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
AM ₊	arithmetisches Mittel der positiven Abweichungswerte
AM ₋	arithmetisches Mittel der negativen Abweichungswerte
AMW ₊	arithmetisches Mittel der positiven Abweichungswerte in Bezug auf die Fläche
AMW ₋	arithmetisches Mittel der negativen Abweichungswerte in Bezug auf die Fläche
BEMA	Bewertungsmaßstab zahnärztlicher Leistungen in Deutschland
CAD	Computer Aided Design
CAL	Computer-Assisted Learning
CAS	Computer-Assisted Simulation
FDM	Fused Deposition Modeling
GMW _{+/-}	arithmetisches Mittel in Bezug auf die gesamte auszuwertende Fläche
H ₀	Nullhypothese
IPA	Isopropylalkohol
n	Stichprobengröße
p	Signifikanz
P ₁	Anzahl der Punkte im positiven Bereich
P ₂	Anzahl der Punkte im negativen Bereich
r	Korrelationskoeffizient von Pearson
RBFDP	Resin-bonded fixed dental protheses
STL	Stereolithographie
VRBT	Virtual Reality-Based Simulation
z	Standardteststatistik

1 Einleitung

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird in der folgenden Arbeit bewusst auf die genderkonforme Formulierung von Patienten und Patientinnen, Teilnehmer und Teilnehmerinnen, Behandler und Behandlerinnen, Zahnärzten und Zahnärztinnen verzichtet. Die Begriffe Patienten, Teilnehmer, Behandler und Zahnärzte werden verallgemeinernd verwendet.

1.1 Notwendigkeit der Weiterentwicklung der zahnärztlichen praktischen Ausbildung

Mit stetigen Verbesserungen der zahnmedizinischen Praktiken, Materialien und Forschungsfortschritten entsteht auch ein wachsender Anspruch an die Weiterentwicklung der zahnmedizinischen Ausbildung. Lehrinhalte müssen immer wieder an den neuesten Stand der Wissenschaft angepasst werden, um die Studierenden auf die Ausübung ihres späteren Berufes vorzubereiten. Der zahnmedizinischen Ausbildung, die nun Jahrzehnte lang auf den Grundlagen der 1955 beschlossenen Approbationsordnung basierte, steht mit der Einführung der neuen Approbationsordnung ein Wandel bevor. Laut der Verordnung des Bundesministeriums für Gesundheit sollen Universitäten „den Studierenden ermöglich[en], die erforderlichen Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten zu erwerben“. „Theoretische[s] und klinische[s] Wissen [...] soll während der gesamten Ausbildung [...] miteinander verknüpft werden.“ Zudem sind neben Vorlesungen und Seminaren auch praktische Übungen anzubieten (Bundesministerium für Gesundheit, 2019). Bis zum sechsten Fachsemester „sollen die Studierenden in Simulationskursen aller zahnmedizinischen Fachbereiche intensiv auf den Patientenkontakt vorbereitet“ werden (Hugger et al., 2011). Dass vor allem die praktische Ausbildung in der Zahnmedizin von großer Bedeutung ist, zeigten bereits Luck et al. (Luck et al., 2000), die die motorischen Fähigkeiten von Studierenden der Zahnmedizin untersuchten. Auch laut Dunne et al. (Dunne, 1993) sei die Qualität einer zahnmedizinischen Arbeit vor allem von den Erfahrungen, der Ausbildung und der manuellen Geschicklichkeit des Behandlers abhängig. Diese manuelle Geschicklichkeit

verbessert sich signifikant durch die zahnmedizinische Ausbildung in präklinischer und klinischer Praxis (Giuliani et al., 2007).

Diese praktischen Fertigkeiten sollten aus ethischen Gründen nicht direkt an Patienten erlernt werden, da dies dem Grundsatz der medizinischen Praxis „Primum non nocere“ („Zuerst einmal nicht schaden“) widersprechen würde (C. M. Smith, 2005). In der zahnmedizinischen Ausbildung üben Anfänger das in Vorlesungen vermittelte handwerkliche Vorgehen deshalb an Phantompuppen und Kunststoffmodellzähnen. Mit der Digitalisierung und zunehmenden Entwicklung von neuen Lernkonzepten kamen Forderungen nach Verbesserungen der zahnmedizinischen Lehre auf (Kneebone et al., 2004; Sweet et al., 2008). Zu finden sind zahlreiche Diskussionen über den Vergleich von Lernvideos und Live-Demonstrationen (Aragon et al., 2008; W. Smith et al., 2012; Thilakumara et al., 2018). Virtual Reality-Based Simulation (VRBT) Systeme, wie der DentSim Simulator, die IGI (Image Guided Implantology) Einheit (DenX Ltd, Jerusalem, Israel) oder das VRDTS (Virtual Reality Dental Training System) (Novint Technologies Inc., Albuquerque, Vereinigte Staaten), die zur realitätsnahen Vorbereitung der Studierenden auf Patientenbehandlungen dienen, sind in verschiedenen Varianten auf dem Markt zu finden (Buchanan, 2001). Mit diesen Techniken können die Studierenden unter Bedingungen, die es ihnen erlauben, Fehler zu machen, Neues erlernen und Praktiken üben. Eine simulationsbasierte Ausbildung zielt darauf ab, die Behandlung von Patienten durch unerfahrene Studierende zu verhindern (Aggarwal et al., 2010). Zudem soll durch eine fundierte Ausbildung der Erfahrungsschatz der Studierenden erweitert und deren Selbstbewusstsein gestärkt werden (Jeffries et al., 2008). Der Einsatz solcher Systeme ist auch in anderen Fachgebieten zu finden. So verringerte das simulierte Legen eines zentralvenösen Katheters die spätere Komplikationsrate am Patienten (Barsuk et al., 2012). Das simulationsbasierte Lernen einer Lumbalpunktion in der Studie von Barsuk et al. verbesserte das Geschick des Operateurs (Barsuk et al., 2009). Neben den Verbesserungen zum Erlernen und Üben von Präparationen wurden auch Systeme entwickelt, die es den Studierenden ermöglichen sollen, die fertige Präparation selbstständig auf Richtigkeit zu kontrollieren. Derzeit wird diese

Kontrolle im Kurs von ausgebildeten Zahnärztinnen und Zahnärzten durchgeführt. Von ihnen erhalten die Studierenden kritische Verbesserungsvorschläge für ihre durchgeführte Präparation. Im Zuge der Digitalisierung und Entwicklung von computergesteuerten Auswertungssystemen kamen Produkte wie E4D (Richardson, TX, USA), prepCheck (DentsplySirona, Wals, Österreich) oder PREPassistent (KaVo, Biberach, Deutschland) auf den Markt. Diese vergleichen den präparierten Zahn mit einer idealen Musterlösung und zeigen den Studierenden die davon abweichenden Stellen der Präparation an. Die eigene Präparation bewerten zu können, sollte zu den Kompetenzen eines Zahnarztes gehören und muss im Laufe der Ausbildung erlernt werden. Die Selbsteinschätzung der eigenen Arbeit verbessere laut McDonald et al. (McDonald et al., 2003) auch die Lernmotivation und trage zum Lernergebnis bei. Ein großer Nachteil der VRBT Systeme und der digitalen Kontrollsysteme sind jedoch die hohen Anschaffungskosten und damit die schwierige Finanzierbarkeit für die breite Anwendung in der zahnmedizinischen Ausbildung (Welk et al., 2005).

Aus diesem Grund arbeiten die meisten Fakultäten immer noch mit den Phantomköpfen und Übungsmodellen der Firmen KaVo (KaVo, Biberach an der Riß, Deutschland) oder Frasaco (Frasaco, Tettngang, Deutschland). Ein Übungszahn, welcher im Modell montiert werden kann, kostet circa zwei Euro. Im Laufe der Ausbildung präparieren Studierende mehrere hundert solcher Zähne, die in der Regel selbst gekauft werden müssen. Dieser hohe Kostenaufwand im Zahnmedizinstudium ist von den Studierenden zu tragen und ist ein immer wiederkehrendes Diskussionsthema über die zahnmedizinische Ausbildung. Eine vor über 20 Jahren vor Gericht geforderte Kostenübernahme wurde jedoch abgelehnt und wird nicht im Landeshochschulgesetz vorgeschrieben (Bundesverwaltungsgericht, 1996; www.zm-online.de, 2017).

Diese Forschungsarbeit soll eine neue Methode für die zahnmedizinische Ausbildung erproben, mit der neue Lehrinhalte effizient und kostengünstig den Studierenden beigebracht werden können. Dabei soll nicht nur das Erlernen neuer Präparationen und die Kontrolle des Lernergebnisses verbessert werden, sondern auch neue Materialien getestet werden.

1.2 3D-Druck

Der 3D-Druck, auch bekannt unter additiver Fertigung oder Rapid prototyping, hat „das Stadium der Forschung verlassen“ (Oppermann, 2018) und sich bereits in vielen Branchen etabliert. So finden sich 3D-Drucker bereits in Schulen, öffentlichen Bibliotheken, Universitäten und Laboren. Oft wird der 3D-Druck als nächste „industrielle Revolution“ betitelt (Stansbury et al., 2016). Drucker sind vom „günstigen Einsteigermodell für zirka 1.500 EUR bis zum Hochpräzisionsgerät für 100.000 EUR“ erhältlich (Kieschnick et al., 2019).

Die additive Fertigung hat eine große Auswahl an 3D-Druck-Verfahren, welche grundsätzlich im Vergleich zu subtraktiven Fertigungen weniger verschwenderisch und wettbewerbsfähiger bezüglich ihres Preises und ihrer Geschwindigkeit sind. Die zur Verfügung stehenden Verfahren sind mit ihren Vor- und Nachteilen in einigen Studien genau beschrieben worden (Stansbury et al., 2016; van Noort, 2012). Die in dieser Studie angewandte Stereolithographie (STL) wurde erstmals in den 1980er Jahren benutzt. Der Namensgeber der Methode, Charles W. Hull, entwickelte eine Methode, bei der durch „sukzessives aufeinanderdrucken dünner Schichten“ dreidimensionale Modelle entstehen. Die Plattform, auf der das Druckelement entsteht, wird nach und nach abgesenkt, wodurch flüssiges Harz, welches sich in einem Tank befindet, nachfließen kann. Dieses wird von einem ultravioletten Laser Schicht für Schicht belichtet, wodurch es polymerisiert (van Noort, 2012).

Wie in vielen Branchen haben auch in der Medizin 3D-gedruckte Produkte ihren Einzug gefunden. Diese werden genutzt, um die präoperative Planung zu optimieren (Jiang et al., 2020), Behandlungsansätze im Vorfeld der Operation ex vivo zu erproben (Kfir et al., 2013) oder während der Operation den Operateur zu unterstützen (Cohen et al., 2009). Erste Prototypen eines gedruckten herausnehmbaren Zahnersatzes wie die Valplast-Prothese oder Ästhetik-Try-in-Kronen/Brücken sind bereits auf dem Markt zu finden (Kieschnick et al., 2019). Durch die große Bandbreite an Kunstharzen ist es möglich, Kronen- und Brückenmodelle, transparente Aligner-Modelle, Bohrschablonen oder Schienen speziell für die Zahnmedizin herzustellen (Formlabs Inc.).

Auch die zahnmedizinische Lehre, in der viel Wert auf praktische Übungen gelegt wird, soll durch den 3D-Druck verbessert werden. Kröger et al. entwickelten 3D-Simulationsmodelle basierend auf echten Patientensituationen zum Erlernen verschiedener Arbeitsabläufe (Kröger et al., 2017). Marty et al. entwarfen Übungsmodelle für die Ausbildung in der Kinderzahnheilkunde (Marty et al., 2019). Als Alternative zu Leichenmodellen entwickelten Seifert et al. 3D-Modelle für einen praktischen Kurs in der Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie (Seifert et al., 2020). Um die Lehre der Endodontie zu verbessern, wurden Wurzelkanalsysteme 3D-gedruckt (Reymus et al., 2019), (Robberecht et al., 2017) und Übungsmethoden zum Erlernen einer auf eine Wurzelkanalbehandlung folgende Stiftpräparation und -setzung entwickelt (Höhne et al., 2020a). Der Einsatz 3D-gedruckter Zähne in der zahnmedizinischen Ausbildung wurde von den Studierenden gut angenommen und die Zähne positiv bewertet. Die Anwendung der 3D-Technologie in der zahnmedizinischen Ausbildung ist demnach ein aktuelles und sich schnell weiterentwickelndes Thema. Neu auf dem Markt erscheinende Materialien und Verfahren können mit alten Lehrmethoden kombiniert oder dazu genutzt werden, neue Lehransätze zu entwickeln.

Mit der vorliegenden Studie sollte eine weitere Anwendung 3D-gedruckter Zähne erprobt werden. Hergestellt wurden 3D-gedruckte Zähne mit einer farblich markierten internen Adhäsivflügelpräparation für eine einflügelige Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik. Die Studierenden sollten selbstständig diese neue, von ihnen noch nicht durchgeführte Präparation erlernen und ihre Fortschritte kontrollieren.

1.3 Adhäsivflügelpräparation für einflügelige Adhäsivbrücken aus Zirkoniumdioxidkeramik im Frontzahnbereich

Ein fehlender Schneidezahn, unabhängig vom Alter des Patienten, beeinflusst die Funktionalität des Kauorgans, das Selbstwertgefühl und das Erscheinungsbild (Arandi et al., 2018; Kavadia et al., 2011; Zitzmann et al., 2015). Bei der Planung der erforderlichen Therapie spielen Faktoren wie das Alter, die Ursache des Zahnverlustes, die Beschaffenheit der Nachbarzähne und des Restgebisses, das Knochenniveau und das Budget des Patienten eine Rolle. Das

Fehlen eines Schneidezahnes kann verschiedene Ursachen haben. Entweder der bleibende Zahn ist von Geburt an nicht angelegt (Shimizu et al., 2009) oder er geht durch ein Trauma (Borum et al., 2001), Karies oder eine parodontale Erkrankung verloren. Je nach Ursache und Patient werden unterschiedliche Therapiekonzepte bevorzugt. Zur Auswahl stehen unter anderem konventionelle prothetische Versorgungen, der kieferorthopädische Lückenschluss, Implantate und einflügelige Adhäsivbrücken. Neben Einzelzahnimplantaten (Pjetursson et al., 2014; Pjetursson et al., 2015) und kieferorthopädischem Lückenschluss (Silveira et al., 2016) stellen einflügelige Adhäsivbrücken eine minimalinvasive, altersunabhängige und preiswerte Alternative zur Versorgung von Frontzahnücken dar (Kern et al., 2017).

Die 2016 neu eingeführte Bema-Nummer 93a steht für „Adhäsivbrücken mit Metallgerüst im Frontzahnbereich mit einem Flügel“. Die davor bestehende Altersbegrenzung, die einspannige Adhäsivbrücken nur bei Patienten im Alter von 14 bis 21 Jahren abrechnen ließ, wurde aufgehoben (Bristle, 2016). Die einflügelige Adhäsivbrücke mit Metallgerüst gilt seit 2016 als altersunabhängige Regelversorgung für fehlende Schneidezähne. Dieser Entscheidung gingen einige Studien voraus, welche die Überlebensraten ein- und zweiflügeliger Adhäsivbrücken untersuchten (Botelho et al., 2016; Mourshed et al., 2018). Die Geschichte, Planung, Präparation und Vorteile der einflügeligen Gestaltung der Adhäsivbrücken wurden von Matthias Kern in seinem Buch „Adhäsivbrücken“ detailliert beschrieben (Kern, 2017). Die Vorteile der einflügeligen Adhäsivbrücke seien unter anderem der geringe Zahnhartsubstanzverlust und das Bestehenbleiben anderer Versorgungsalternativen. Mit wachsender Anwendung vollkeramischer Systeme in der Zahnmedizin wurden diese auch zur Herstellung einflügeliger Adhäsivbrücken genutzt. Die einflügeligen „Resin-bonded fixed dental prostheses (RBFDPs)“ aus Zirkoniumdioxidkeramik sind von Kern et al. (Kern et al., 2017) und Sasse et al. (Sasse et al., 2014) als empfehlenswerter und langlebiger Zahnersatz beschrieben. Nach Kern können „einflügelige vollkeramische Adhäsivbrücken [...] als gleichartige Versorgung angewandt werden“ (Kern, 2017). Es ist also vorteilhaft, diese Präparation neben vielen anderen in die zahnmedizinische Ausbildung aufzunehmen.

Die für einen Patienten beste Therapieoption ergibt sich aus der vorliegenden Ausgangssituation und den Fähigkeiten des Behandlers. Eine Therapie ist für den Patienten nur empfehlenswert, wenn diese vom Behandler theoretisch studiert und zumindest am Phantompatienten praktisch angewandt wurde. Demzufolge ist es notwendig, in der zahnmedizinischen Ausbildung ein breites Spektrum an Therapieoptionen für verschiedenen Situationen zu erlernen.

1.4 Zielsetzung dieser Arbeit

Die Studie, die dieser Dissertation zugrunde liegt, verfolgte das Ziel 3D-gedruckte Zähne mit integrierter farblich markierter Präparation in der zahnärztlichen Ausbildung zu erproben. Die Studierenden sollten mit Hilfe der Übungszähne die für sie neue Präparation einer einflügeligen Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik selbstständig und besser erlernen als mit Standardmodellzähnen. Ein Anschauungs- und Kontrollmodell sollte ihnen zur Selbsteinschätzung ihres Lernerfolgs dienen.

Mit dieser Lehrmethode sollten die Studierenden effektiv, kostengünstig und selbstständig neue Präparationen erlernen.

Hauptzielkriterium

Die „Malen nach Zahlen“ Methode soll Studierenden helfen, die Präparation einer einflügeligen Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik selbstständig zu erlernen.

Nebenzielkriterien

- Die 3D-gedruckten Zähne sollen für die Studierenden realitätsnäher, kostengünstiger und individualisierbarer als Standardmodellzähne sein.*
- Die „Malen nach Zahlen“ Methode kann etablierte Lehrmethoden unterstützen oder ersetzen.*
- Die Anwendung des 3D-Drucks in der zahnärztlichen Ausbildung soll neue Möglichkeiten für Lehrende und Lernende bieten, effizient und effektiv zu arbeiten.*

2 Material und Methoden

Die durchgeführte Studie fand in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit des Universitätsklinikums Würzburg statt. Die Studie wurde von der Ethikkommission geprüft und erhielt eine Ausnahmegenehmigung (Genehmigungsdatum 03.12.2018). Die Studierenden unterzeichneten eine Einwilligung zur freiwilligen Teilnahme am praktischen Kurs. Im folgenden Kapitel werden die Abläufe, die verwendeten Materialien, der Fragebogen und die jeweiligen Programme beschrieben.

2.1 Herstellung der Übungszähne

In Vorbereitung auf die Präparationsübung wurden die zu testenden Übungszähne, Standardmodellzähne und Modelle hergestellt.

2.1.1 Präparation einer Klebebrücke als Vorlage

Um den Studierenden eine Vorlage für ihre Zielpräparation geben zu können, wurde ein Standardmodellzahn eines ersten Inzisiven der Firma KaVo (KaVo, Biberach an der Riß, Deutschland) präpariert. Der Modellzahn wurde in einem Standard KaVo-Modell gesteckt, welches im KaVo-Phantomkopf befestigt wurde. Die Präparation erfolgte nach dem Schema von Matthias Kern, welcher im Buch „Adhäsivbrücken“ die Herangehensweise ausführlich beschreibt (Kern, 2017), und ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

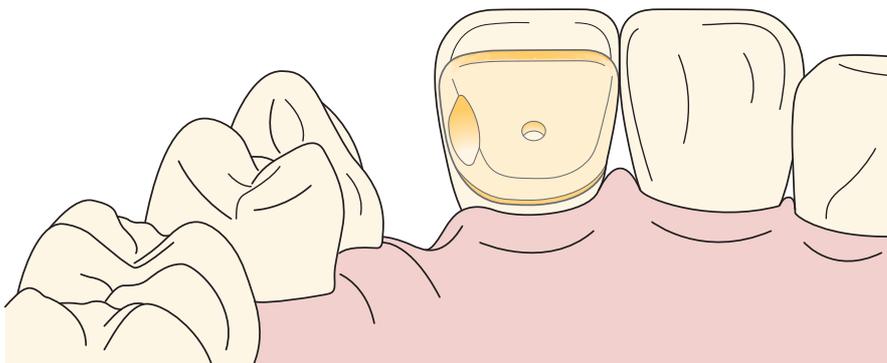


Abbildung 1 Schematische Darstellung der empfohlenen Präparation an Frontzähnen für vollkeramische Adhäsivflügel
Die Präparation besteht aus einer leichten Hohlkehle, einem flachen approximalen Kasten (0,5 mm tief, 2x2 mm breit), einer Mulde und einer leichten Stufe. Die Schichtstärke beträgt mindestens 0,5 mm. (Kern, 2017) (Nutzung mit Erlaubnis des Quintessenz Verlags)

Bei der Präparation wurden ein Torpedo, ein Kugeldiamant und ein knospenförmiger Diamant benutzt. Die fertige Präparation beinhaltete eine zervikale Hohlkehle, eine inzisale Abschlussstufe, einen approximalen Kasten und eine kleine Mulde. Die Fläche wurde mit Finierinstrumenten geglättet.

2.1.2 Die „Malen nach Zahlen“ Methode

Inspiziert von Leonardo da Vinci, der nummerierte Muster zum Unterrichten des Malens verwendete, entwickelte Dan Robbins „Malen nach Zahlen“ in den 1940er Jahren (Klette, 2019). Durch das Ausmalen gekennzeichnete Felder machte „Malen nach Zahlen“ es selbst Laien möglich, aufwändige und anspruchsvolle Bilder zu erschaffen. Angelehnt an die Methodik der Malvorlage sollten auch die Übungszähne mit integrierter Präparationsvorlage zum Erlernen einer einflügeligen Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik dienen. Diese Herangehensweise wurde bereits von Höhne et al. (Höhne et al., 2020b) zum Erlernen von Vollgusskronen beschrieben.

Der für die Studie hergestellte Übungszahn bestand aus einem ideal präparierten Standardmodellzahn, welcher um das Ausmaß der Präparation mit einem andersfarbigen Harz wieder vervollständigt wurde. Die Studierenden sollten, um ein Gefühl für die neue Präparationsform zu erlangen, das farbig markierte Feld wegpräparieren. Dabei handelt es sich bei den Zähnen um eine dreidimensionale Lehrmethode. Dies unterscheidet sich zum „Malen nach Zahlen“ Prinzip von Dan Robbins, bei dem nummerierte Felder im Zweidimensionalen bemalt werden sollen.

2.1.3 Design des gedruckten Zahnes und des Modells

Nach der Präparation wurde der ideal präparierte Zahn mit einem InEos X5 Scanner (Dentsply Sirona, Pennsylvania, USA) eingescannt. Daraufhin wurde die Präparation mit Hilfe der Autodesk Inventor Software 2019, einer 3D-CAD-Software für Produktentwicklung und Konstruktionen, idealisiert (Autodesk, San Rafael, USA). Der Zahn sollte später zum einen als Anschauungsmodell im Vorfeld und zum anderen als Kontrollzahn während der Präparation dienen. Zudem war dieser der Grundbaustein des Übungszahnes für die „Malen nach Zahlen“ Methode. Es wurde auch ein Modell eines

Oberkieferabschnitts angefertigt, in welches der gedruckte ideal präparierte Zahn zur besseren Darstellung eingebaut werden konnte. Zusätzlich wurde ein Standardmodellzahn des ersten Inzisiven mit dem InEos X5 eingescannt.

Die Daten des Standardmodellzahnes und des ideal präparierten Zahnes wurden im nächsten Schritt genutzt, um das Negativ der Präparation zu berechnen. Die so entstandene Schale sollte später separat in einer anderen Farbe gedruckt werden, um an den gedruckten präparierten Zahn geklebt zu werden. Die Oberfläche des beklebten Zahnes sollte dann wieder der Oberfläche des Standardmodellzahnes entsprechen.

2.1.4 Produktion der Zähne

Der computerunterstützt konstruierte (Computer Aided Design, CAD) Zahn wurde als Wavefront Objektdatei in PreForm 2.19.3 (Formlabs Inc., Somerville, Massachusetts, USA), die Druckvorbereitungs-Software von Formlabs, importiert und für den 3D-Druck in einem Form2 3D-Drucker (Formlabs Inc.) bereitgestellt. Der Form 2 ist ein Stereolithographie (STL) Desktop Drucker mit einem Druckvolumen von 14,5 x 14,5 x 17,5 cm. Er druckt mit einer Schichtdicke von 25-300 μm und hat einen 250mW-Laser der Wellenlänge 405 nm, welche eine Spotgröße von 140 μm hat. Die Druckeigenschaften sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1 Druckeigenschaften Form 2 3D-Drucker (Formlabs Inc.)

Technologie	Stereolithographie (STL)
Laserauflösung	n/a
Laserspotgröße	140 μm
Laserleistung	250-mW-Laser
Druckvolumen	14,5 x 14,5 x 17,5 cm
Schichtdicke	25-300 μm
Biokompatible Materialien	Ja

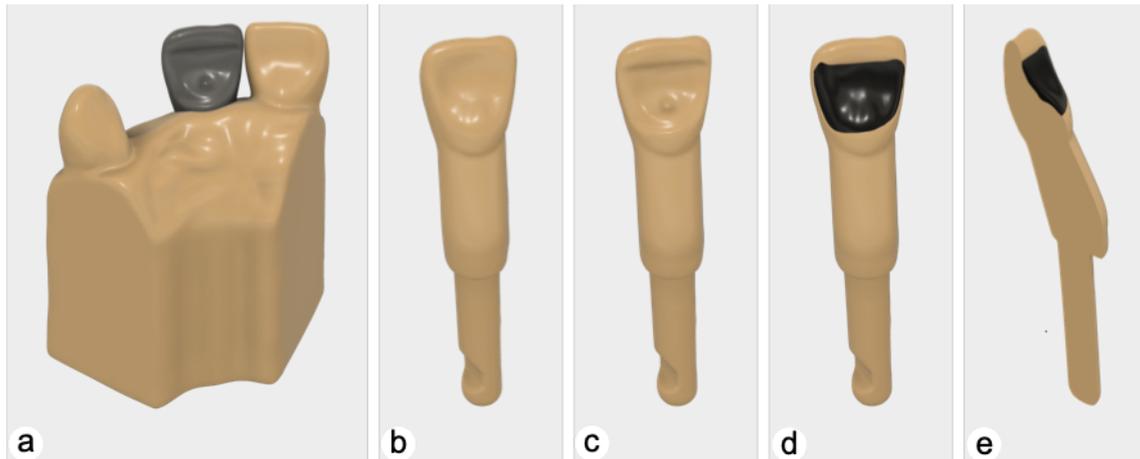


Abbildung 2 Fertige Druckobjekte
a – Anschauungsmodell mit ideal präpariertem Zahn in grau
b – Standardmodellzahn
c – unfertiger Übungszahn ohne Schale zur Komplettierung
d – Übungszahn
e – Querschnitt des Übungszahnes

Als Druckmaterial für den späteren Übungszahn, den Standardmodellzahn und das Modell wurde Dental Model photopolymer resin (RS-F2-DMBE-02, Formlabs Inc.) ausgewählt (Abbildung 2). Dabei handelt es sich um „ein hochpräzises, hochgenaues Kunstharz mit einer glatten, matten Oberflächenbeschaffenheit“. Es eignet sich „ideal für den allgemeinen Modellbau und die Anfertigung von Zahnmodellen“. Mit diesem Kunstharz kann man mit einer Genauigkeit von $\pm 35 \mu\text{m}$ drucken (Formlabs Inc.). Für den ideal präparierten Zahn wurde Grey photopolymer resin (RS-F2-GPGR-04, Formlabs Inc.) benutzt (Abbildung 2, a). Dieses Harz ist geeignet, kleine Details hervorragend wiederzugeben, weshalb es für die Darstellung der Präparation ausgewählt wurde. So sollten die präzisen Details der Präparationsgrenze und der Präparation wiedergegeben werden. Black photopolymer resin (RS-F2-GPBK-04, Formlabs Inc.) wurde für die Schale der Präparation gewählt (Abbildung 2, d und e), da es besonders für „Modelle mit sehr kleinen und filigranen Details“ geeignet ist (Formlabs Inc.). Die zu druckende Schale hatte eine Schichtdicke von ca. 0,6 mm.

Innerhalb von 5 Stunden und 42 Minuten wurden 70 Zähne auf einer Bauplatzform des Druckers produziert. Die Druckzeit eines kompletten Zahnes betrug demnach etwa 5 Minuten. Das Drucken einer Schale betrug ungefähr 2 Minuten. Die ungefähre Produktionszeit eines Modells betrug 22 Minuten und die eines ideal präparierten Zahnes rund 5 Minuten. Die Produktion wurde nach

20-minütigem Waschen der Drucke mit 100% Isopropanol im Form Wash (Formlabs Inc.) abgeschlossen. Isopropylalkohol (IPA) ist ein Löser von Kunstharz und diente dem Entfernen von flüssigem Harz von den gedruckten Zähnen (Formlabs Inc.). Im Form Wash wurden die Teile von selbst geschwenkt, sodass auch schwer zugängliche Bereiche gereinigt wurden. Im Anschluss trockneten die Drucke an der Luft und der IPA verflüchtigte sich.

2.1.5 Fertigstellung der Zähne nach dem Druck

Nach dem Druck aller Teile wurde die Schale mit schwarzem Harz (RS-F2-GPBK-04) auf den unfertigen Übungszahn geklebt. Um optimale Materialeigenschaften zu erhalten, wurde der Zahn im Form Cure (Formlabs Inc.) 60 Minuten lang auf 60°C nachgehärtet. Der Form Cure beinhaltet 13 multi-direktionale LEDs mit 405 nm. Ein Heizsystem ist für die optimale Aushärtungstemperatur verantwortlich. Die Druckteile wurden auf dem Drehtisch platziert, welcher sich einmal pro Minute drehte, um eine gleichmäßige Bestrahlung aller Flächen zu gewährleisten (Formlabs Inc.).

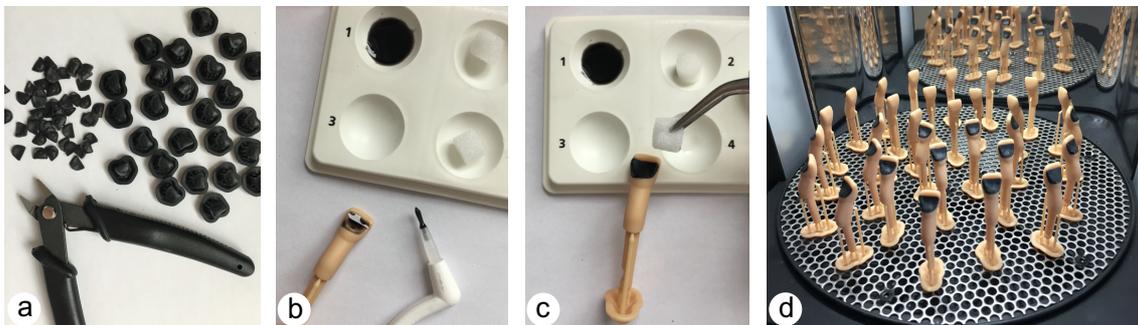


Abbildung 3 Fertigstellung der Übungszähne
a - Entfernung der Stützelemente der Schalen
b - Verklebung von Schale und Zahn mit schwarzem Harz
c - Entfernung der Überschüsse
d - Nachhärtung im Form Cure

Die Fertigstellung jedes Übungszahnes dauerte etwa eine Minute.

2.1.6 Herstellungskosten

Das verwendete Material für einen Übungszahn kostete 0,21 €, für einen Standardmodellzahn 0,16 €. Die Anschaffungskosten für die Druckausrüstung betragen insgesamt 3598 €. Die Herstellung des Zahnmodells kostete 0,99 €. Die Herstellung war somit nicht teuer.

2.2 Präparationsübung

Um die hergestellten Zähne zu testen, wurde den Studierenden ein freiwilliger praktischer Kurs angeboten. An dieser Präparationsübung nahmen 42 Studierende der Zahnmedizin der Julius-Maximilians-Universität Würzburg teil. Alle Studierenden befanden sich im achten oder höheren Fachsemester. Das bedeutete, dass jeder Studierende bereits mindestens dreieinhalb Jahre studierte. In diesen Jahren hatte jeder Studierende viele Standardmodellzähne der Firma KaVo oder Frasco präpariert, mit extrahierten Echtzähnen geübt und bereits Füllungen und endodontische Therapien an Patienten durchgeführt.

2.2.1 Teilnehmer

Die 42 Teilnehmer setzten sich aus 23 weiblichen (54,8 %) und 19 männlichen (45,2 %) Studierende zusammen. Im Mittel waren die Studierenden 26 Jahre alt (Mittelwert = 26,2). Der jüngste Teilnehmer war zum Zeitpunkt der Präparationsübung 22 Jahre, der älteste 50 Jahre alt.

Vier der 42 Teilnehmer hatten vor dem Zahnmedizinstudium bereits eine Ausbildung im zahnmedizinischen Bereich (Zahntechniker/in, Zahnmedizinische/r Fachangestellte/r) abgeschlossen.

2.2.2 Übung am Zahnmodell

Das Ziel des Kurses war es, dass die Studierenden lernten, die Präparation eines Zahnes für eine einflügelig verankerte Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik durchzuführen. Diese Präparation wurde weder in den vorherigen vorklinischen noch in den klinischen Kursen gelehrt.

Bereits in der vorklinischen Ausbildung arbeiteten die Studierenden mit Übungsmodellen der Firma KaVo, in welche auch die gedruckten Zähne passten. Jeder Studierende erhielt ein gedrucktes Modell des Oberkieferabschnitts mit einem grauen Modellzahn (Abbildung 2, a). Dieses diente als Anschauungs- und Kontrollmodell während der Präparation. Der präparierte Zahn konnte nach Belieben aus dem Modell genommen und näher betrachtet werden. Vor Beginn der Präparation wurde allen Studierenden erläutert, welche Instrumente sie für die Präparation benötigten und wie sie vorgehen sollten.

Die Studierenden wurden bei der Anmeldung zufällig in zwei Gruppen aufgeteilt. Gruppe I (n = 21) sollte mit der „Malen nach Zahlen“-Methode die neue Präparationsform erlernen. Gruppe II (n = 21) erhielt ausschließlich gedruckte Standardmodellzähne ohne die farbliche Markierung als Hilfestellung. Jeder Studierende sollte in einer bestimmten Abfolge vier Zähne präparieren. Im besten Fall sollte die Lernkurve mit stetiger Annäherung an die ideale Präparation von Zahn zu Zahn steigen. Der Ablauf der Präparationsübung war in eine Übungsphase und eine Kontrollphase unterteilt und ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

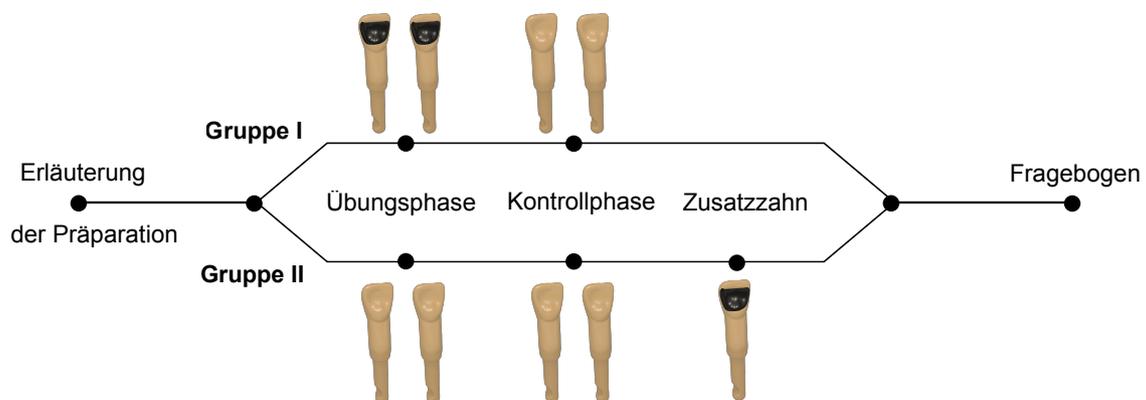


Abbildung 4 Schematische Darstellung der Präparationsübung

Für die Präparationsübung wurden insgesamt 189 Zähne vorbereitet. Bei der „Malen nach Zahlen“-Methode war das Ziel, das schwarze Harz gänzlich zu entfernen und dabei innerhalb der Grenzen zu bleiben, ohne das braune Harz zu beschädigen. So sollten die Studierenden ein Gefühl für die Bewegungen zum Durchführen der Präparation und deren Tiefe bekommen. Nach dieser Übung sollten sie anschließend zwei gedruckte Standardmodellzähne beschleifen, denen die farbliche Hilfestellung fehlte. Bei der Kontrollgruppe II, die mit herkömmlichen Lehrmethoden, hier mit Anschauungsmodell und Präparationsanleitung, an den gedruckten Standardmodellzähnen übte, wurde eine flachere Lernkurve erwartet. Um die „Malen nach Zahlen“ Methode testen und bewerten zu können, bekam auch Gruppe II im Anschluss der Präparationsübung einen Übungszahn zum Präparieren.

2.2.3 Fragebogen nach der Präparationsübung

Um den Nutzen der gedruckten Zähne für die zahnmedizinische Lehre zu evaluieren, sollten die Studierenden diese nach der Präparationsübung bewerten. Hierfür wurde ein Fragebogen vorbereitet, in dem die Studierenden unter anderem die Härte, die Realitätsnähe und die praktische Relevanz der Druckzähne bewerten sollten. Der Fragebogen ist im Anhang beigefügt. Aufgrund ihrer Erfahrungen mit anderen Übungsmodellen, Materialien und echten Zähnen sollten sie das Harz der Druckzähne mit diesen vergleichen. Ihre Bewertung gaben sie in Form von Schulnoten ab (1 = sehr gut, 2 = gut, 3 = befriedigend, 4 = ausreichend, 5 = mangelhaft, 6 = ungenügend) oder konnten ihre Meinung bei offenen Textfragen kundtun. Um den digitalen Fragebogen zu erstellen, wurde EvaSys (Electric Paper Evaluationssysteme GmbH, Lüneburg, Germany), eine Software zur Erstellung, automatisierten Durchführung und Auswertung von Fragebögen oder Prüfungen, benutzt. Diese Art von Fragebogen wurde bereits in anderen Studien mit 3D-gedruckten Zähnen verwendet. Für die vorliegende Studie wurde der Fragebogen angepasst. Jeder Studierende erhielt nach der Präparationsübung einen QR-Code, der einen einmaligen Zugang zum digitalen Fragebogen gewährleistete.

Der Fragebogen wurde in acht Abschnitte unterteilt.

Nach einer kurzen Einleitung mussten die Teilnehmer im zweiten Teil personenbezogene Daten wie Alter und Geschlecht angeben. Zusätzlich wurde gefragt, ob vor dem Zahnmedizinstudium bereits eine Ausbildung im zahnmedizinischen Bereich abgeschlossen worden ist und wenn ja, welche.

Die nächsten Fragen waren, ob ihnen die praktischen Inhalte des Studiums der Zahnmedizin leicht fielen, ob sie Freude daran hätten und wie sie ihre manuellen Fertigkeiten einschätzten. Zuletzt folgte die Frage, ob im Verlauf der vorklinischen Kurse genügend Gelegenheit bestand KaVo-Zähne zu beschleifen. Darauf folgte der dritte Teil, in dem die Studierenden die Übungszähne mit den Standardmodellzähnen aus vorherigen Kursen vergleichen sollten. Sie sollten die Härte der gedruckten Zähne bewerten und ob diese ihrer Meinung nach geeignete Übungsmöglichkeiten, faire Prüfungsbedingungen und eine einfache Handhabung boten.

In der folgenden vierten Kategorie wurde der zweifarbige 3D-gedruckte Übungszahn bewertet. Hier wurde gefragt, ob die Präparation farblich gut zu erkennen war und ob es den Studierenden durch die eingebaute farblich gekennzeichnete Präparation leichter fiel ein Gefühl für die richtige Präparation zu erlangen.

Der fünfte Teil des Fragebogens beschäftigte sich mit dem Anschauungsmodell des Oberkieferabschnitts und dem darin integrierten Zahn mit der idealen Präparation. Zuerst wurde gefragt, ob der Farbkontrast zwischen Modell und Modellzahn das Erkennen der Präparation erleichterte. Dann kam die Frage, ob der Modellzahn für die Studierenden optisch eine ideale Präparation veranschauliche und ob es ihnen durch den Modellzahn leichter falle, ihre eigene Präparation zu kontrollieren.

Die Beurteilung des Lernerfolgs wurde im sechsten Abschnitt ausgewertet. Die Fragen sollten ermitteln wie der Lernerfolg mit KaVo-Standardmodellzähnen und wie dieser mit den Druckzähnen mit eingebauter farblich gekennzeichnete Präparation war. Auch wurde gefragt, ob die Studierenden sich durch die Präparationsübung mit den Druckzähnen gut vorbereitet fühlten, eine einflügelige Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik zu präparieren.

Die siebte Kategorie betraf den Lernprozess. Die erste Frage war, ob die gedruckten Übungszähne in den Studierenden Enthusiasmus geweckt hatten, ihre Fähigkeiten in der Präparation von Zähnen zu verbessern. Darauf folgte die Frage, ob sie sich durch den Druckzahn mit eingebauter Präparation beim Präparieren verbessern konnten. Dann sollten sie bewerten, ob sie das Gefühl hatten, durch KaVo-Standardmodellzähne das Präparieren besser und schneller zu lernen oder in der darauffolgenden Frage, ob dies mit den gedruckten Zähnen mit der eingebauten Präparation der Fall sei. Die letzte Frage dieser Kategorie war, ob sich die Studierenden mehr Übungen mit gedruckten Zähnen in ihrem Studium wünschten.

Der Fragebogen endete mit dem achten und letzten Abschnitt, welcher offene Fragen beinhaltete. Hier konnten die Studierenden sich kritisch über das gedruckte Material und seine Verwendung in Lehrveranstaltungen äußern. Sie wurden gefragt, was an den gedruckten Zähnen verbessert werden könnte. In

der letzten Frage wurden sie gebeten aufzuschreiben, welchen Vorteil ihrer Meinung nach gedruckte Zähne in der zahnärztlichen Ausbildung boten.

2.3 Auswertung der präparierten Zähne

Im folgenden Abschnitt soll der Ablauf der Auswertung der von den Studierenden präparierten Zähne beschrieben werden.

2.3.1 Scan

Die präparierten Zähne der Studierenden wurden nach der Präparationsübung in der Präparationsreihenfolge nummeriert, um später den Lernprozess nachverfolgen zu können. Um den Substanzabtrag und die Abweichung zur idealen Präparation genau messen zu können, wurden die präparierten Zähne mit einem InEos X5 Scanner (Dentsply Sirona, Pennsylvania, USA) eingescannt. Vor dem Scanvorgang der einzelnen Zähne wurden diese mit 3D-Laserscanning Entspiegelungsspray (Helling GmbH, Heidgraben, Deutschland) eingesprüht, welches sich aufgrund der feinkörnigen Struktur in geringen Schichten auf die Oberflächen auftragen ließ.

Generated with GOM Inspect

gom



Abbildung 5 Scandateien dreier präparierter Zähne

2.3.2 Ausrichtung

Die gewonnenen Dateien wurden in GOM Inspect 2019 (GOM GmbH, Braunschweig, Deutschland), eine Auswertesoftware für 3D-Messdaten, als IST-Elemente importiert. Um die präparierten Zähne im folgenden Schritt auswerten und miteinander vergleichen zu können, mussten diese identisch

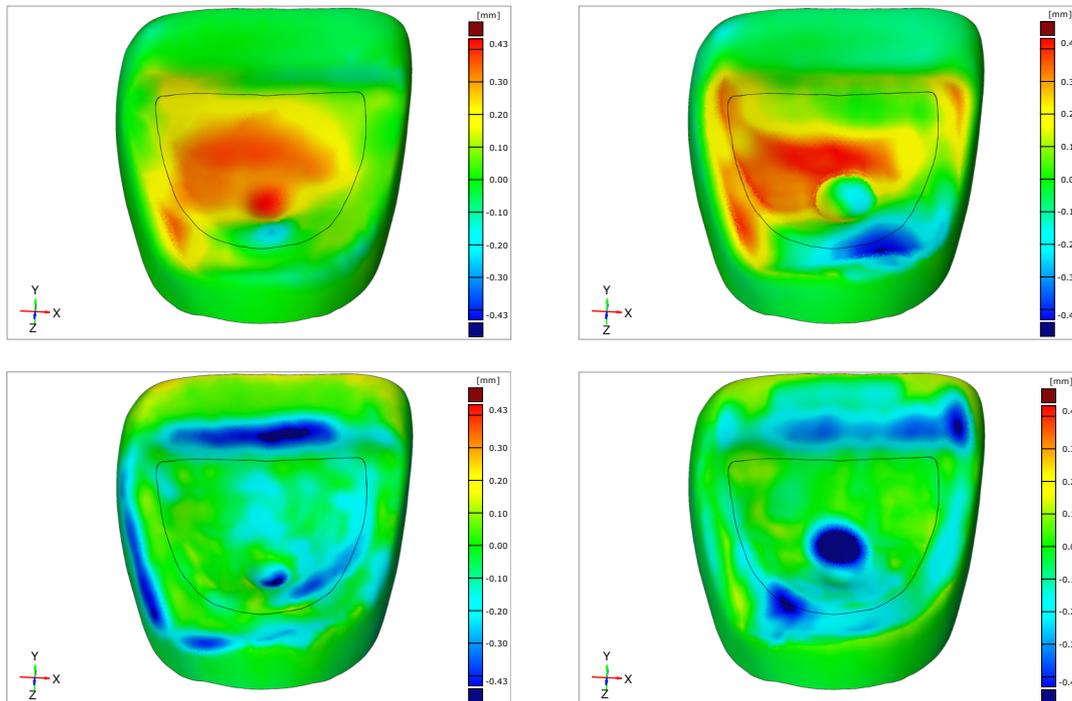


Abbildung 7 Flächenvergleiche präparierter Zähne zur „Gesamtfläche“
 Flächenvergleich vier präparierter Zähne mit der Zielpräparation mit GOM Inspect. Die Abweichungen der IST-Elemente von den CAD-Elementen ist farblich skaliert und in Millimetern angegeben.

Daraufhin wurden die Punkte im Wertebereich 0-5 mm markiert. Dies waren die Punkte, an denen der jeweilige Studierende zu wenig Substanz wegpräpariert hatte. Die farbliche Markierung zeigt die Abweichung der Punkte von der Zielpräparation in mm an. Der arithmetische Mittelwert der Abweichungen wurde berechnet. So erhielt man das arithmetische Mittel der positiven Werte „AM+“. Zusätzlich wurde die Anzahl der Punkte „P₁“ notiert, die im positiven Bereich lagen. Darauf wurde der Wertebereich invertiert und die Punkte markiert, an denen zu viel Substanz entfernt wurde. Das arithmetische Mittel der negativen Abweichungswerte „AM-“ wurde ermittelt und wieder die Anzahl der Punkte „P₂“ notiert, die im negativen Bereich lagen. Diese Analyse wurde sowohl für die CAD-Elemente „Präparationsgrenze“ und „Innenfläche“ als auch für beide Elemente zusammen, der „Gesamtfläche“, durchgeführt.

Um den arithmetischen Mittelwert der positiven und negativen Abweichungswerte in Bezug auf die Fläche „AMW+“ und „AMW-“ zu erhalten, wurde das arithmetische Mittel mit dem Verhältnis der jeweiligen Anzahl der Punkte zur Gesamtpunktzahl multipliziert.

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

Das gesamte arithmetische Mittel in Bezug auf die Fläche „GMW+/-“ wurde mit folgender Formel berechnet.

$$GMW_{+/-} = AM_+ \times \frac{P_1}{P_1 + P_2} - AM_- \times \frac{P_2}{P_1 + P_2}$$

GMW+/- beschreibt das gesamte Ausmaß der Präparation in positiver und negativer Richtung. Je kleiner der GMW+/-, desto näher ist die Präparation an der Zielpräparation.

2.4 Statistische Auswertung

Das Studienkollektiv bestand aus 42 Studierenden, welche für die Präparationsübung in zwei Gruppen unterteilt wurden. Insgesamt wurden 168 präparierte Zähne eingescannt und ausgewertet. Bei metrisch skalierten Daten wurde das arithmetische Mittel, der Median, das Minimum und das Maximum berechnet.

Um die ordinal skalierten Daten des Fragebogens zu veranschaulichen, wurde ein gestapeltes Balkendiagramm erstellt. Jeder Balken eines Standardbalkendiagramms ist in Balkenabschnitte untergliedert, welche End zu End aufeinandergestapelt sind. Die Notenverteilung wurde, um die Zahlenverhältnisse besser zu veranschaulichen, prozentual dargestellt.

Zur Veranschaulichung der GMW+/-Werte der ausgewerteten Zähne wurden Box-Whisker-Plots erstellt. Dabei befinden sich die mittleren 50 % der Daten innerhalb der Box, welche vom Median, dargestellt als Linie, in ein oberes und unteres Quartil unterteilt werden. Der Interquartilsabstand gilt als Maß der Streuung der Daten. Die Whiskers stellen die außerhalb der Box liegenden Werte dar. Deren maximale Länge ist das 1,5-Fache des Interquartilsabstandes. Ausreißer, welche sich außerhalb des 1,5-fachen Interquartilsabstandes befinden, wurden in der Grafik als Kreise veranschaulicht (Diaz-Bone, 2018).

Die statistische Analyse wurde mit Microsoft Excel 2020 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) und SPSS 25 (IBM Corp, Armonk, USA) durchgeführt.

Um die interne Konsistenz des angewandten Fragebogens zu überprüfen, wurde der Cronbachs Alpha berechnet. Dieser misst den Grad an Übereinstimmung zwischen mehreren Fragen eines Fragebogens.

Um die Variable bei der Auswertung der präparierten Zähne auf Normalverteilung zu testen, wurde eine explorative Analyse durchgeführt und Histogramme zur visuellen Inspektion erstellt. Zusätzlich wurden zur Prüfung der Normalverteilung der Kolmogorov-Smirnov-Test durchgeführt, dessen Nullhypothese besagt, dass die zu testenden Daten einer Normalverteilung entsprechen (Weiß, 2019, p. 145). Zur Unterschiedsprüfung der Präparationsergebnisse der Gruppen und Flächen wurde der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Dieses parameterfreie statistische Verfahren dient zur Überprüfung der zentralen Tendenzen zweier unabhängigen Gruppen auf Unterschiede. Eine Normalverteilung wird dabei nicht vorausgesetzt.

Zur Ermittlung, welche Subgruppenvergleiche für die Signifikanz verantwortlich waren, wurde als Post-hoc-Test der Dunn-Bonferroni-Test angewandt. Hierbei wurden paarweise Einzelvergleiche durchgeführt. Dabei handelt es sich „um Mann-Whitney-U-Tests mit Bonferroni-Korrektur“ (Weiß, 2019, p. 183).

Um die Effektstärke der einzelnen Vergleiche des Kruskal-Wallis-Tests zu ermitteln, wurde der Korrelationskoeffizient r von Pearson des jeweiligen Dunn-Bonferroni-Tests berechnet. Dazu wurde der z -Wert und die Stichprobengröße n benötigt.

$$r = \left| \frac{z}{\sqrt{n}} \right|$$

Zur Beurteilung der Effektstärke wurde die Einteilung nach Cohen herangezogen (ab $r = 0,5$ – mittlerer Effekt; ab $r = 0,8$ – starker Effekt) (Weiß, 2019, p. 135).

Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests auf $p < 0,05$ festgelegt.

3 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden sowohl die Ergebnisse des Fragebogens als auch der Auswertung der präparierten Zähne beschrieben. Die Gesamtheit der Daten und Ergebnisse der statistischen Tests sind im Anhang (Kapitel 7) beigefügt.

3.1 Auswertung des Fragebogens

Der digitale Fragebogen wurde von der in Kapitel 2.2.3 beschriebenen Software EvaSys ausgewertet. Die Bewertung erfolgte in Form von Schulnoten (1 = sehr gut, 2 = gut, 3 = befriedigend, 4 = ausreichend, 5 = mangelhaft, 6 = ungenügend). Zur Analyse der internen Konsistenz des Fragebogens wurde Cronbachs Alpha berechnet. Der Wert für die Items betrug 0,87. Die Reliabilität des Fragebogens war demnach sehr gut.

Die Ergebnisse des Fragebogens sind in Abbildung 8 zusammenfassend dargestellt.

3.1.1 Personenbezogene Daten der Teilnehmer

Die 42 Kursteilnehmer (23 weibliche und 19 männliche) beantworteten allgemeine Fragen zu den praktischen Inhalten des Zahnmedizinstudiums.

Die zahntechnische Arbeit in den vorklinischen Kursen fiel nur fünf Studierenden sehr leicht. Im Durchschnitt wurde diese Frage mit befriedigend (\bar{x} 2,8) beantwortet. Die Frage 2.7, ob die Studierenden Freude an den praktischen Inhalten des Studiums haben, wurde insgesamt mit 2,0 beantwortet. Die Studierenden schätzten ihre manuellen Fertigkeiten durchschnittlich mit der Note 2,6 ein. Die Frage, ob sie in den vorklinischen Kursen ausreichend Gelegenheit hatten KaVo-Zähne zu beschleifen, wurde mit 2,3 beantwortet.

3.1.2 Vergleich zu Standardmodellzähnen

Im dritten Teil des Fragebogens wurden die Eigenschaften der Druckzähne im Vergleich zu KaVo-Zähnen bewertet. Insgesamt wurden die Druckzähne im Vergleich zu den Standardmodellzähnen von KaVo mit der Note 2,0 bewertet. Die Härte der Zähne fanden die Studierenden befriedigend (\bar{x} 3,0). Die Druckzähne stellten für sie gute Übungsmöglichkeiten (\bar{x} 1,9) und

Prüfungsbedingungen dar (\bar{x} 1,8). Die Handhabung empfanden die Studierenden als einfach und bewerteten diese insgesamt mit der Note 1,5.

3.1.3 Bewertung der Übungszähne

Im nächsten Teil des Fragebogens wurden die 3D-gedruckten Übungszähne allgemein bewertet. Die Präparation war für die Studierenden farblich gut zu erkennen (\bar{x} 1,7). Die eingebaute Präparation erleichterte es den Teilnehmern, ein Gefühl für die richtige Präparation zu erlangen (\bar{x} 1,9).

3.1.4 Bewertung des Anschauungsmodells mit präpariertem Zahn

Jeder Studierende erhielt ein Anschauungs- und Kontrollmodell, welches im fünften Abschnitt des Fragebogens bewertet wurde. Der Farbkontrast zwischen Modell und Modellzahn wurde als gut empfunden (\bar{x} 2,0) und erleichterte somit das Erkennen der Präparation. Der graue Modellzahn veranschaulichte für die Studierenden optisch eine ideale Präparation (\bar{x} 1,8). Durch den Modellzahn fiel es ihnen leichter, ihre eigene Präparation zu kontrollieren (\bar{x} 1,8).

3.1.5 Bewertung des Lernergebnisses

Im sechsten Teil sollten die Studierenden ihr Lernergebnis einschätzen. Sie bewerteten die Aussage, dass der subjektive Lernerfolg mit KaVo-Zähnen am größten war mit befriedigend (\bar{x} 3,0). Die Aussage, dass der subjektive Lernerfolg mit den Druckzähnen mit eingebauter Präparation am größten war, bewerteten sie durchschnittlich mit der Note 2,1. Nach dem veranstalteten Kurs fühlten sich die Studierenden insgesamt gut vorbereitet auf das Präparieren einer Klebebrücke (\bar{x} 2,3).

3.1.6 Bewertung des Lernprozesses

Der Lernprozess wurde im siebten Teil des Fragebogens analysiert. Allgemein weckten die Druckzähne Enthusiasmus bei den Studierenden, ihre Fähigkeiten in der Präparation von Zähnen zu verbessern (\bar{x} 2,0). Durch den Druckzahn mit eingebauter Präparation konnten sich die Studierenden ihrer Meinung nach beim Präparieren verbessern (\bar{x} 2,0). Darauf folgte die Frage, mit welchem Zahn sie das Gefühl hatten, das Präparieren besser und schneller zu erlernen. Der

Ergebnisse

KaVo-Zahn erhielt die Note befriedigend (\bar{x} 3,0). Der Zahn mit der eingebauten Präparation wurde durchschnittlich mit der Note 2,2 bewertet. Insgesamt wünschten sich die Studierenden mehr Übungen mit gedruckten Zähnen für ihr Studium (\bar{x} 1,7).

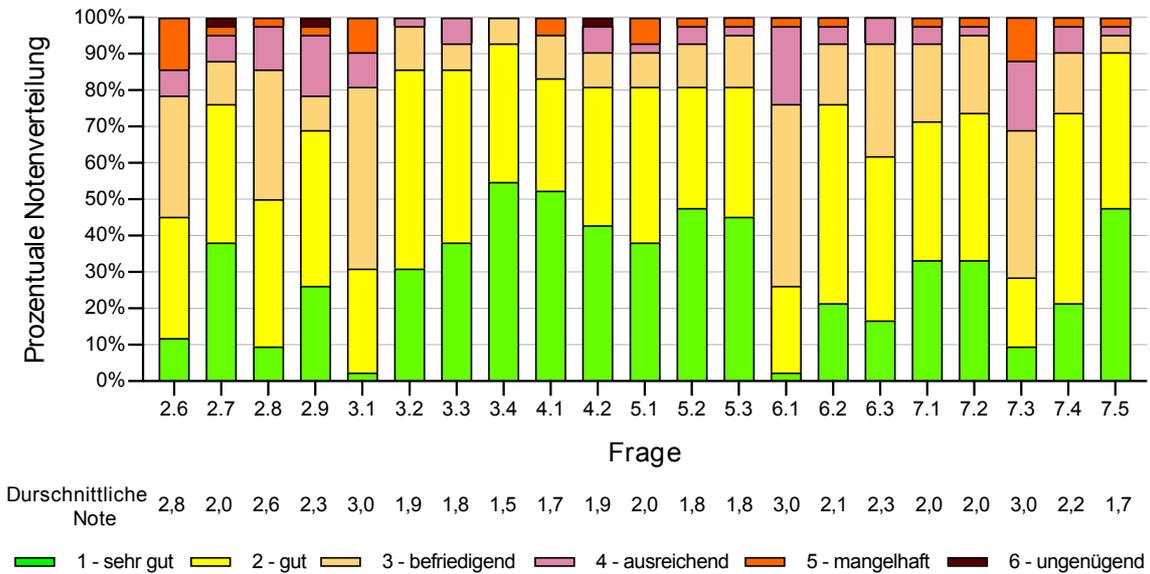


Abbildung 8 Auswertung des Fragebogens: Frage 2.6 bis 7.5
Gestapeltes Balkendiagramm mit der prozentualen Notenverteilung für die jeweilige Frage mit Angabe der durchschnittlichen Note darunter.
Die Bewertung erfolgte in Form von Schulnoten.

3.1.7 Offene Fragen

Die offene Frage nach Verbesserungsvorschlägen wurde von 27 der 42 Teilnehmer beantwortet. Am häufigsten wurde die Härte der Druckzähne angesprochen. Die Studierenden wünschten sich ein härteres Material, welches mehr der Härte des Zahnschmelzes nachempfunden sein sollte. Auch der Wunsch nach verschiedenen Härtegraden entsprechend der Zahnhartsubstanzen innerhalb des Druckzahnes wurde geäußert. Das Harz solle sich zudem auch leichter finieren lassen. Einige Studierende fanden, das schwarze Harz würde durch die Präparation eine klebrige bis teerartige Konsistenz annehmen. Einige Teilnehmer wünschten sich eine andere Farbe der Druckzähne, die ähnlicher zu echten Zähnen, bzw. weiß sein sollte. Auch der Wunsch nach Farbverläufen wie bei echten Zähnen wurde geäußert. Ein

Studierender meinte sich mehr auf die farbliche Markierung konzentriert zu haben als auf die eigentliche Präparation. Zuletzt bemängelten die Studierenden teilweise noch den Verbund zwischen schwarzem und braunem Harz. Sie meinten, das schwarze Harz würde, je dünner man es präparierte, sich am Ende von selbst lösen.

Dennoch sahen die Studierenden einige Vorteile bei dem Einsatz von 3D-gedruckten Zähnen in der zahnärztlichen Ausbildung. Auch wenn die Härte bei der ersten Frage teilweise kritisiert wurde, so empfanden einige Studierende die Druckzähne zwar weicher, aber ähnlicher und angepasster an die Härte von Echtzähnen. Dabei sei die Präparation vor allem an den Zähnen ohne farbliche Komponente leichter gewesen. Mit der farblich markierten integrierten Präparation der Übungszähne bekomme man ein besseres Gefühl für die abzutragende Schichtstärke. Der nötige Substanzabtrag sei demnach besser einzuschätzen. Die Studierenden sahen die Druckzähne als gute Übung zum Präparieren. Man habe eine gute Übersicht über die Präparation. Auch das gedruckte Übungsmodell sei eine gute Abbildung einer idealen Präparation gewesen und diene zur besseren Visualisierung und Vorstellung der Zielpräparation. Damit habe man eine gewisse Unabhängigkeit von Erklärungen und Meinungen der Assistenzärzte wie die fertige Präparation auszusehen habe. Dies schaffe nach Meinung der Studierenden eine gewisse Chancengleichheit und Fairness. Einige Studierende meinten, dass so ein Erlernen neuer Präparationen ohne lange Erklärungen und Anschauungsvideos möglich sei und sie den damit verbundenen geringeren Zeitaufwand schätzten. Zusätzlich seien die Druckzähne günstiger, da die Verwendung von Zähnen der Firma KaVo mit hohen Kosten verbunden sei. In der zahnärztlichen Ausbildung würden Druckzähne optimale Simulationsübungen für verschiedene Präparationsarten ermöglichen. Dies ermögliche eine höhere Variabilität an Zahnformen und Präparationen. Die Studierenden sahen in den Druckzähnen eine Möglichkeit sich besser auf patientenähnliche Situationen vorzubereiten. Zum Beispiel könne man Zähne der Patienten drucken und zum Üben vor der Behandlung bereitstellen.

3.2 Auswertung der präparierten Zähne

Die gewonnenen Daten der 168 für die Studie präparierten Zähne wurden ausgewertet und im folgenden Abschnitt analysiert. Für die Auswertung der Präparation wurde diese in drei Flächen unterteilt. Verglichen wurden jeweils die gesamte Fläche (G) der Präparation, die Innenfläche (I) und die Präparationsgrenze (P). Betrachtet wurden jeweils die Werte AMW_+ , AMW_- und $GMW_{+/-}$. Der Vergleich der $GMW_{+/-}$ -Werte diente der Analyse des Präparationserfolges der Studierenden der jeweiligen Gruppe.

3.2.1 Statistische Analyse der Daten

3.2.1.1 Test auf Normalverteilung

Um die jeweiligen Gruppen von Daten auf Normalverteilung zu testen, wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test durchgeführt. Dieser wurde für jede Gruppe von Variablen durchgeführt. Die Daten der Gruppen entsprachen nicht alle einer Normalverteilung. Die Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests wurden im Anhang (Kapitel 7.4.1, Tabelle 8 und Tabelle 9) beigefügt.

3.2.1.2 Kruskal-Wallis-Test

Da die Daten der Auswertung der präparierten Zähne nicht normalverteilt waren, wurde zur weiteren statistischen Auswertung der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Dieser ergab signifikante Unterschiede zwischen den zu testenden Datengruppen ($p \leq 0,001$). Der anschließend durchgeführte Dunn-Bonferroni-Test sollte zeigen, welcher paarweise Vergleiche für den statistisch signifikanten Unterschied verantwortlich war. Dies ermöglichte eine detaillierte Auswertung der Präparationsergebnisse. Zum einen konnten die Zähne innerhalb einer Gruppe miteinander verglichen werden, um eine Verbesserung oder Verschlechterung von Zahn zu Zahn analysieren zu können. Zum anderen konnten die Zähne der beiden Gruppen der Studierenden untereinander verglichen werden, um die verschiedenen Lehrmethoden miteinander zu messen. Um die Ergebnisse übersichtlich darzustellen, wurden diese dem Ablauf der Präparationsübung nach sortiert.

3.2.2 Übungsphase

Alle Studierenden präparierten erstmals in ihrer zahnmedizinischen Ausbildung eine einflügelige Adhäsivbrücke. Beide Gruppen erhielten im Vorfeld eine Erklärung zur Durchführung der Präparation sowie das Anschauungs- und Kontrollmodell (Abbildung 2, a). Gruppe I hatte zusätzlich die Hilfestellung der internen Präparation.

Zahn 1

Bei der Präparation des ersten Zahnes ergaben sich folgende Ergebnisse. Die positiven Punkte P_1 der Gesamtfläche betrachtend trugen die Studierenden der Gruppe I im Mittel 0,01 mm zu wenig Substanz ab. Die negativen Punkte P_2 der Gesamtfläche betrachtend trugen die Studierenden 0,07 mm zu viel Substanz ab. Gruppe II entfernte bei den Punkten P_1 im Mittel 0,07 mm zu wenig und bei den Punkten P_2 0,05 mm zu viel Substanz. Der mittlere $GMW_{+/-}$ -Wert für die gesamte Fläche betrug für Gruppe I 0,08 mm, für Gruppe II 0,13 mm. Der beste Studierende in Gruppe I erreichte einen $GMW_{+/-}$ von 0,03 mm, der schlechteste einen $GMW_{+/-}$ von 0,25 mm. Die $GMW_{+/-}$ -Werte der Gruppe II erreichten ein Minimum von 0,08 mm und ein Maximum 0,19 mm.

Der Dunn-Bonferroni-Test wurde durchgeführt, um zu überprüfen, ob sich die einzelnen Flächen des ersten Zahnes der beiden Gruppen unterschieden. Bei dem ersten Präparationsversuch schnitt Gruppe I lediglich bei der Innenfläche ($p \leq 0,001$; $r = 1,2$) signifikant besser ab als Gruppe II. Die Präparation der Innenfläche hatte eine geringere Abweichung von der idealen Zielpräparation.

Die vorgegebene Präparationsgrenze nachzuahmen stellte beim ersten Versuch trotz Hilfestellung für einige Studierende der Gruppe I eine Herausforderung dar ($p = 1,000$; $r = 0,2$). So ergab sich die Gesamtfläche betrachtend auch kein signifikanter Unterschied im Vergleich der ersten Zähne der beiden Gruppen ($p \geq 0,05$; $r = 0,7$). Die Verteilung der Abweichungen von der idealen Zielpräparation ist im Box-Whisker-Plot (Abbildung 9) dargestellt.

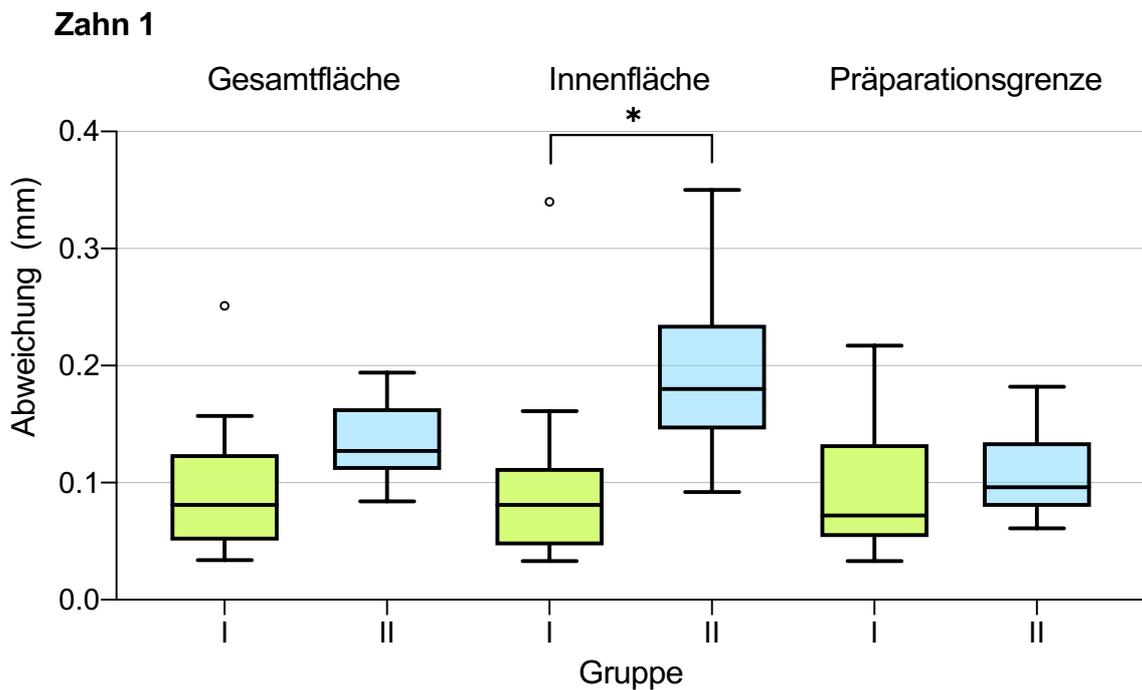


Abbildung 9 Vergleich der Abweichungen von der idealen Zielpräparation von Zahn 1 der Gruppe I und II
* $p \leq 0,05$

Zahn 2

Bei der Präparation des zweiten Zahnes ergaben sich folgende Ergebnisse. Die positiven Punkte P_1 der Gesamtfläche betrachtend trugen die Studierenden der Gruppe I im Mittel 0,01 mm zu wenig Substanz ab. Die negativen Punkte P_2 der Gesamtfläche betrachtend trugen die Studierenden 0,05 mm zu viel Substanz ab. Gruppe II entfernte bei den Punkten P_1 im Mittel 0,08 mm zu wenig und bei den Punkten P_2 0,05 mm zu viel Substanz. Der mittlere $GMW_{+/-}$ -Wert für die gesamte Fläche betrug für Gruppe I 0,07 mm, für Gruppe II 0,13 mm.

Der Dunn-Bonferroni-Test wurde durchgeführt, um zu überprüfen, ob sich die einzelnen Flächen des zweiten Zahnes der beiden Gruppen unterschieden. Beim zweiten Versuch war Gruppe I wieder bei der Innenfläche der Präparation signifikant besser als die Vergleichsgruppe II ($p \leq 0,001$; $r = 1,4$). Bei der Analyse der Präparationsgrenze ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Zähnen der Gruppen ($p = 1,000$; $r = 0,3$). Der Dunn-Bonferroni-Test ergab für den Vergleich der Gesamtfläche der Zähne der beiden Gruppen einen

signifikanten Unterschied ($p \leq 0,05$; $r = 0,8$). Die Verteilung der Abweichungen von der idealen Zielpräparation ist im Box-Whisker-Plot (Abbildung 10) dargestellt.

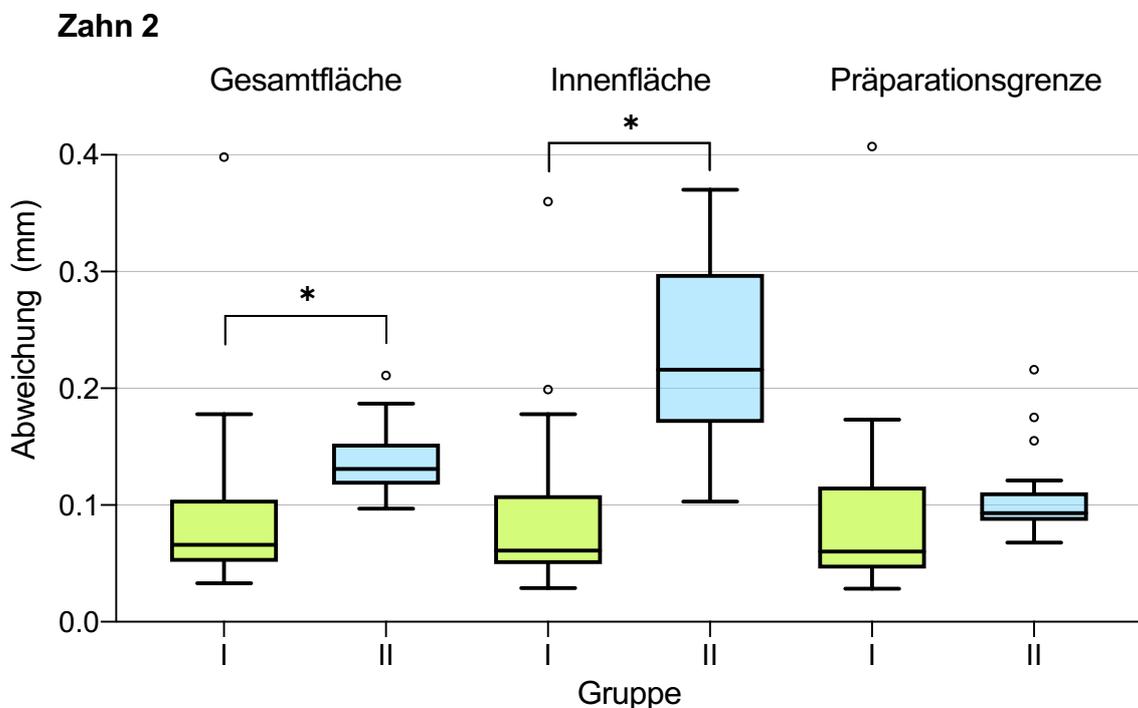


Abbildung 10 Vergleich der Abweichungen von der idealen Zielpräparation von Zahn 2 der Gruppe I und II
* $p \leq 0,05$

Vergleich Zahn 1 mit Zahn 2 innerhalb einer Gruppe

Beim Vergleich der GMW_{\pm} -Werte der Präparation des Zahnes 1 und 2 innerhalb der jeweiligen Gruppe ist bei Gruppe I eine leichte Tendenz der Verbesserung zu erkennen. Die Werte der Gruppe II blieben annähernd gleich oder verschlechterten sich tendenziell ein wenig. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Abweichungen des Zahnes 1 und 2 innerhalb der jeweiligen Gruppe ($p = 1,000$).

3.2.3 Kontrollphase

Vergleichend wurden die Präparationen nach der Übungsphase von Gruppe I und II betrachtet. Diese Zähne waren für beide Gruppen Standardmodellzähne ohne interne Präparation. Gruppe I hatte in der Übungsphase mit zwei

Ergebnisse

Übungszähnen mit integrierter Präparation und Gruppe II mit zwei Standardmodellzähnen trainiert. In der darauffolgenden Kontrollphase sollte ein möglicher Lernerfolg der Gruppen verglichen werden. Auch hier wurden jeweils die Werte AMW_+ , AMW_- und $GMW_{+/-}$ betrachtet.

Zahn 3

Bei der Präparation des dritten Zahnes ergaben sich folgende Ergebnisse. Die positiven Punkte P_1 der Gesamtfläche betrachtend trugen die Studierenden der Gruppe I im Mittel 0,07 mm zu wenig Substanz ab. Die negativen Punkte P_2 der Gesamtfläche betrachtend trugen die Studierenden 0,06 mm zu viel Substanz ab. Gruppe II entfernte bei den Punkten P_1 im Mittel 0,08 mm zu wenig und bei den Punkten P_2 0,05 mm zu viel Substanz. Der mittlere $GMW_{+/-}$ -Wert für die gesamte Fläche betrug für Gruppe I 0,12 mm, für Gruppe II 0,14 mm.

Der Dunn-Bonferroni-Test wurde durchgeführt, um zu überprüfen, ob sich die einzelnen Flächen des dritten Zahnes der beiden Gruppen unterschieden. Bei der Auswertung der Präparation des dritten Zahnes gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ($p = 1,000$). Es sind minimale Tendenzen zu erkennen, dass Gruppe I durchschnittlich besser die Zielpräparation erreichen konnte. Diese Tendenzen bewegen sich jedoch in Bereichen von weniger als einem hundertstel Millimeter. Die Verteilung der Abweichungen von der idealen Zielpräparation ist im Box-Whisker-Plot (Abbildung 11) dargestellt.

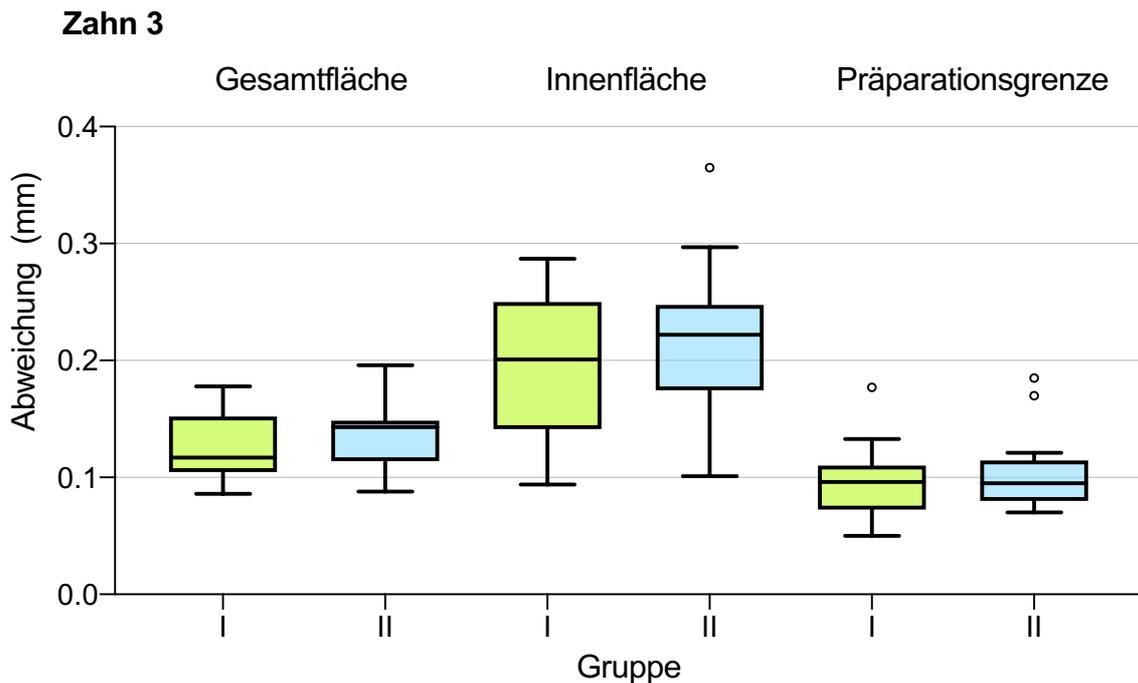


Abbildung 11 Vergleich der Abweichungen von der idealen Zielpräparation von Zahn 3 der Gruppe I und II

Zahn 4

Bei der Präparation des vierten Zahnes ergaben sich folgende Ergebnisse. Die positiven Punkte P_1 der Gesamtfläche betrachtend trugen die Studierenden der Gruppe I im Mittel 0,07 mm zu wenig Substanz ab. Die negativen Punkte P_2 der Gesamtfläche betrachtend trugen die Studierenden 0,05 mm zu viel Substanz ab. Gruppe II entfernte bei den Punkten P_1 im Mittel 0,07 mm zu wenig und bei den Punkten P_2 0,06 mm zu viel Substanz. Der mittlere GMW_{+/-}-Wert für die gesamte Fläche betrug für Gruppe I 0,12 mm, für Gruppe II 0,13 mm.

Der Dunn-Bonferroni-Test wurde durchgeführt, um zu überprüfen, ob sich die einzelnen Flächen des vierten Zahnes der beiden Gruppen unterschieden. Die Auswertung des letzten Zahnes der Versuchsreihe ergab ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen Gruppe I und II ($p = 1,000$). Zum Ende der Präparationsübung hatten beide Gruppen demnach annähernd die gleichen Abweichungen von der Zielpräparation erreicht. Die Verteilung der Abweichungen von der idealen Zielpräparation ist im Box-Whisker-Plot (Abbildung 12) dargestellt.

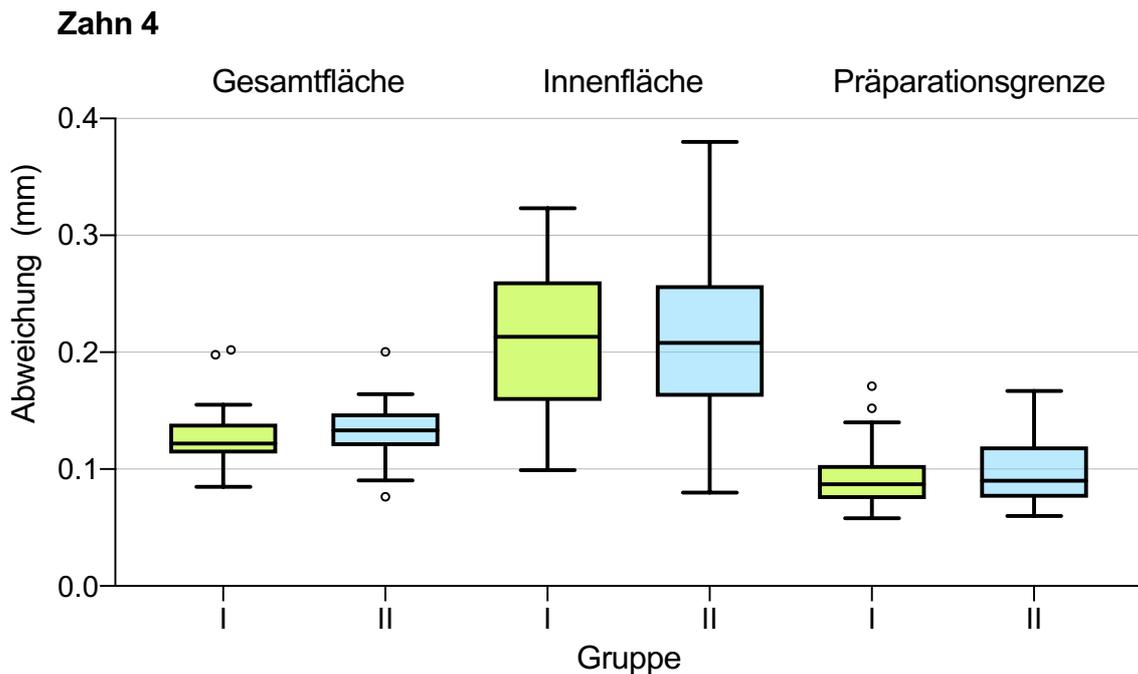


Abbildung 12 Vergleich der Abweichungen von der idealen Zielpräparation von Zahn 4 der Gruppe I und II

Vergleich Zahn 3 mit Zahn 4 innerhalb einer Gruppe

Beim Vergleich der $GMW_{+/-}$ -Werte der Präparation des Zahnes 3 und 4 innerhalb der jeweiligen Gruppe gab es keine signifikanten Unterschiede ($p = 1,000$).

3.2.4 Gesamtvergleich Zahn 1 bis 4

Die gesamte Präparationsübung betrachtend kamen die Studierenden der Gruppe I in der Übungsphase mit Zahn 1 und 2 näher an die ideale Zielpräparation heran als in der darauffolgenden Kontrollphase (Abbildung 13). Ohne die integrierte Präparation als Hilfestellung entfernte sich ihre Präparation wieder von der Zielpräparation. Der Dunn-Bonferroni-Test ergab signifikante Unterschiede zwischen den Innenflächen der Zähne der Übungs- und Kontrollphase von Gruppe I ($p \leq 0,001$). Die gleichermaßen durchgeführte Analyse der Präparationsgrenze ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen Übungs- und Kontrollphase ($p = 1,000$). Die Abweichungen der Präparationen der Gruppe II stagnierten während der insgesamt vier Präparationsdurchgänge (Abbildung 14) und ergaben so im Vergleich keine signifikanten Unterschiede ($p = 1,000$).

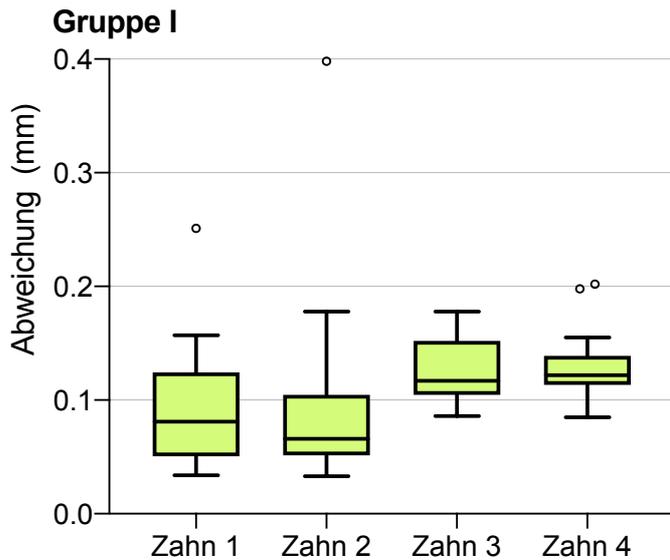


Abbildung 13 Abweichungen der Gesamtfläche der präparierten Zähne der Gruppe I von der Zielpräparation

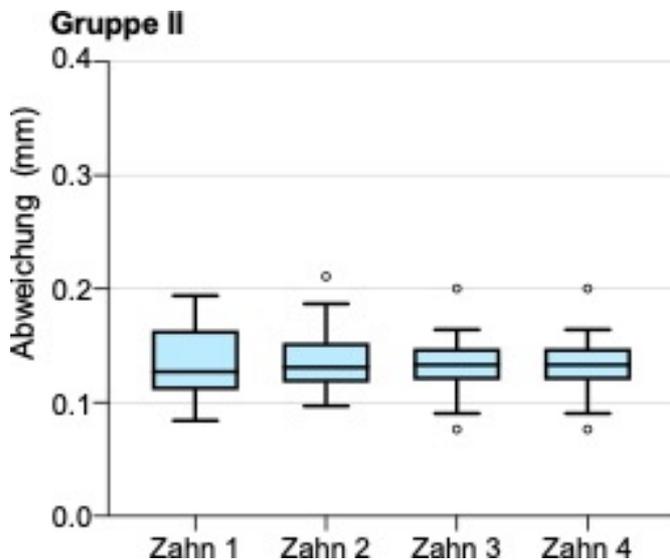


Abbildung 14 Abweichungen der Gesamtfläche der präparierten Zähne der Gruppe II von der Zielpräparation

Tabelle 2 Tabellarische Darstellung der mittleren Abweichung der Gesamtfläche der Gruppe I und II von der Zielpräparation

		AMW+		AMW-		GMW _{+/-}	
		Gruppe		Gruppe		Gruppe	
		I	II	I	II	I	II
Zahn	1	0,01	0,07	0,07	0,05	0,08	0,13
	2	0,01	0,08	0,05	0,05	0,07	0,13
	3	0,07	0,08	0,06	0,05	0,12	0,14
	4	0,07	0,07	0,05	0,06	0,12	0,13

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Sowohl die 3D-gedruckten Übungszähne als auch das Anschauungs- und Kontrollmodell wurden von den Studierenden positiv bewertet und erhielten die durchschnittlichen Noten 1,8 und 1,9. Die Härte des verwendeten Druckmaterials erhielt lediglich die Note 3,0. Der Übungszahn erleichterte den Studierenden dennoch das Erlernen der neuen Präparation (Ø 1,9). Ihren subjektiven Lernerfolg bewerteten die Studierenden mit den 3D-gedruckten Übungszähnen um eine Note besser als mit den Standardmodellzähnen. Allgemein wurden sie durch die „Malen nach Zahlen“ Methode motiviert, neue Präparationen zu erlernen und wünschten sich mehr Übungen mit 3D-gedruckten Zähnen.

Die detaillierte Auswertung der präparierten Zähne ergab signifikante Unterschiede beim Vergleich der beiden Gruppen in der Übungsphase. Die Studierenden der Gruppe I kamen bei Teilflächen oder der Gesamtfläche näher an die zu erreichende Zielpräparation als Gruppe II. Diese Verbesserung konnte in der darauffolgende Kontrollphase nicht beibehalten werden.

4 Diskussion

Beschrieben wurde eine Methode, die zur vielfachen Herstellung von Übungszähnen mit Hilfe der 3D-Drucktechnologie für die zahnärztliche Ausbildung genutzt werden kann. Durch die Druckzähne sollen Studierende selbstständig und effizient die Präparation einer einflügeligen Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik erlernen. Ein 3D-gedrucktes Anschauungs- bzw. Kontrollmodell soll die Studierenden während der Präparation unterstützen.

4.1 Diskussion der Methodik

Vor der Interpretation der gewonnenen Ergebnisse sollen im folgenden Abschnitt kritische Anmerkungen über die angewandte Methodik des Ablaufs der Präparationsübung, des Fragebogens und des Auswertungssystems vorgenommen werden. Dadurch soll auf mögliche Einschränkungen und Fehlerquellen der Studie aufmerksam gemacht werden. Auf dieser Basis können die gewonnenen Ergebnisse besser beurteilt werden.

4.1.1 Fallzahl

42 Studierende nahmen freiwillig an der angebotenen Präparationsübung zum Erlernen der Präparation einer einflügeligen Adhäsivbrücke teil. Studien, die ebenfalls Lehrmethoden mit Studierenden der Zahnmedizin erprobten, wurden mit ähnlichen Fallzahlen durchgeführt. Kröger et al. erprobten 3D-Simulationen mit 22 Studierenden (Kröger et al., 2017). Thilakumara et al. verglichen die Effektivität von Live-Demonstrationen mit Lehrvideos mit Hilfe von 79 Studierenden (Thilakumara et al., 2018). Smith et al. ließen den Nutzen von Videosequenzen als Lehrmethode von 26 Studierenden bewerten (W. Smith et al., 2012). Virtuelle 3D-Modelle für die Lehre der Zahnmedizin von Soares et al. wurden von 40 Studierenden bewertet (Soares et al., 2013). Seifert et al. verglichen mit Hilfe von 38 Studierenden 3D-gedruckte Modelle mit Kadavermodellen für die Lehre in der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie (Seifert et al., 2020).

Um repräsentativere Ergebnisse zu erlangen, wäre es wünschenswert gewesen, mehr Teilnehmer für die Präparationsübung rekrutieren zu können. Eine

Möglichkeit mehr Teilnehmer für die Präparationsübung zu finden, wäre die Veranstaltung für die Studierenden verpflichtend zu machen oder mehrere Termine über das Semester verteilt anzubieten. Um die Studierenden zu motivieren an Forschungsarbeiten teilzunehmen, könnte in Erwägung gezogen werden, die Teilnahme auf eine Art und Weise zu deren Kursleistung anzurechnen.

Um ein gewisses Maß an Vorkenntnissen zu Präparationen und Materialien erwarten zu können, war die Teilnahme an dieser Studie erst ab dem 8. Semester möglich. Im Allgemeinen sind Studien mit Studierenden der Zahnmedizin auch deshalb in ihrer Teilnehmerzahl begrenzt, da die Semestergröße circa zwischen 30 und 60 Studierenden liegt. Da der angebotene Kurs auf freiwilliger Basis und während des Semesters an einem freien Nachmittag stattfand, beschränkte sich die Zahl der teilnehmenden Studierenden auf 42.

4.1.2 Studiendesign

Die Methode, zwei unterschiedliche Lernmethoden untereinander mit Studierenden zu vergleichen, wurde bereits von Gadbury-Amyot et al. (Gadbury-Amyot et al., 2014) und Nikzad et al. (Nikzad et al., 2012) durchgeführt. Einige, wie zum Beispiel Thilakumara et al. (Thilakumara et al., 2018), Smith et al. (W. Smith et al., 2012) und Seifert et al. (Seifert et al., 2020), führten zusätzlich auch eine Evaluation der Lehrmethode mit Hilfe eines Fragebogens durch. Auch in diesen Studien wurden entweder Multiple Choice Fragen genutzt, um den Studierenden die Möglichkeit zu geben, die angewandten Lehrmethoden zu bewerten, oder es wurden offene Fragen gestellt, bei denen die Teilnehmer ihre Meinung über die Auswirkung der Lehrmethoden äußern konnten.

Die Umstände, unter denen die Studie durchgeführt wurde, könnten Auswirkungen auf die Ergebnisse gehabt haben. Zum einen sollte der bei einigen neuen Lehrmethoden auftretende „Neuigkeitseffekt“ auch bei dieser Studie in Betracht gezogen werden. So werden Medien oder Methoden, mit denen Lernende erstmals konfrontiert werden, oft anders bewertet als regelmäßig angewandte. Zum anderen sind Probanden bei der Teilnahme eines Experiments oft besonders motiviert (Hawthorne-Effekt) und geben sich mehr Mühe als im

regulären Universitätsalltag (Prechelt, 1999). Dieser Effekt kann auch umgekehrt beobachtet werden, da bei einem freiwilligen praktischen Kurs der Erfolgsdruck im Vergleich zu regulären praktischen Zahnmedizinkursen fehlen kann (Prechelt, 1999). In den universitären Kursen wird die durchgeführte Präparation oft von einem Kursleiter kontrolliert und kritisch bewertet.

Während der Übung präparierte jeder Studierende mindestens vier Zähne. Eine Präparation viermal hintereinander durchzuführen stellt hohe Anforderungen an die Konzentration und Motivation der Studierenden. Alle Teilnehmer hatten die Möglichkeit in ihrem eigenen Tempo zu arbeiten und Pausen zwischen den Präparationen einzulegen. Dennoch sollten alle vier Präparationen hintereinander an einem Nachmittag durchgeführt werden. Dieser Ablauf der Präparationsübung könnte einen Verlust der Motivation mit steigender Anzahl der Präparationen zur Folge gehabt haben.

Alle Ergebnisse sollten auch vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass die Anmeldung zu dem praktischen Kurs freiwillig war. So ist die Motivation neue Lehrmethoden auszuprobieren und neue Präparationsformen zu erlernen bei den sich freiwillig angemeldeten Studierenden unter Umständen besonders hoch gewesen.

Das Studiendesign war nur auf die Messung des Kurzlernerfolges ausgelegt. So stellt sich die Frage, ob die erlernte Präparation und die damit verbundenen Bewegungsabläufe nach Tagen, Wochen oder Monaten noch von den Studierenden reproduzierbar wären.

Auch in Erwägung gezogen wurde, die Studie mit einer zusätzlichen Kontrollgruppe durchzuführen, die ohne individuelles Anschauungsmodell und mit KaVo-Zähnen die neue Präparationsform erlernen sollte. Die Studierenden hatten mit dieser Lehrmethode bereits in ihrer vergangenen universitären Laufbahn Erfahrungen gemacht und konnte sie deshalb mit der neuen Lehrmethode vergleichen. Auch hätte man dann noch mehr Teilnehmer akquirieren müssen, um die Anzahl der Studierenden pro Gruppe nicht weiter zu verringern.

4.1.3 Notwendigkeit der praktischen Ausbildung in der Zahnmedizin

Das Zahnmedizinstudium besteht aus der theoretischen und praktischen Lehre verschiedener Therapiekonzepte. Die „Malen nach Zahlen“ Methode zielt auf die Verbesserung der praktischen Fertigkeiten der Studierenden ab, welche in Übungskursen trainiert werden können.

Heinzl et al. zeigten, dass „wiederholtes Training und Erfahrung“ notwendig seien „handwerkliche Fertigkeiten“ zu beherrschen. Die dabei zu sehende „chirurgische Lernkurve“, welche die „Verbesserung einer chirurgischen Leistung im Zeitablauf“ beschreibt, habe einen anfänglich steilen Anstieg und werde dann asymptotisch. Diese Kurve steige bei jedem unterschiedlich an, je nach Fingerfertigkeit, Risikobereitschaft und Motivation (Heinzl et al., 2007). Das von Heinzl et al. beschriebene notwendige Training und Sammeln von Erfahrungen sollte aus ethischen Gründen nicht an Patienten stattfinden. Methoden wie „See one, Do one, Teach one“ werden von Speirs et al. stark kritisiert und als nicht mehr vertretbar bezeichnet. Klinische Erfahrungen an Patienten zu sammeln, sei wie außerhalb der Kompetenz zu üben und mit Stress und Vertrauensverlust verbunden (Speirs et al., 2018). Auch ist es nicht möglich, jedem Studierenden die Möglichkeit zu geben, jede Präparationsform im Laufe der Ausbildung am Patienten unter Supervision durchzuführen. Aus diesem Grund finden Präparationsübungen sowohl im vorklinischen als auch im klinischen Abschnitt des Zahnmedizinstudiums an Phantompatienten mit Kunststoffzähnen statt. So können im großen Maß auch Präparationsformen ausprobiert werden, welche am Patienten zu selten vorkommen. Die Studierenden können auf diese Weise praktische Erfahrungen sammeln. Giuliani et al. zeigten, dass die manuelle Geschicklichkeit von Studierenden der Zahnmedizin sich durch die präklinische und klinische Ausbildung verbesserte (Giuliani et al., 2007). Ihre manuellen Fertigkeiten bewerteten die 42 Teilnehmer der Präparationsübung mit befriedigend (\bar{x} 2,6) und waren der Meinung, sich durch die Übung mit den 3D-gedruckten Zähnen verbessern zu können (\bar{x} 2,0). Eine gute manuelle Geschicklichkeit ist besonders für die zahnärztliche Tätigkeit wichtig. Dunne et al. waren der Meinung, dass die Qualität der Arbeit eines Zahnarztes neben den Erfahrungen und der Ausbildung von der manuellen Geschicklichkeit abhängt

(Dunne, 1993). Auch andere Kurse wie zum Beispiel in der allgemeinen Chirurgie zielen auf eine Verbesserung des manuellen Geschicks und des Selbstvertrauens ab (Coleman et al., 2019). An dieser Geschicklichkeit sollen die Studierenden in praktischen Kursen ihrer zahnmedizinischen Ausbildung üben.

4.1.4 Diskussion der Lehrmethode

Zur Visualisierung der Präparation als auch zur eigenen Kontrolle und zur Selbsteinschätzung ihrer Präparation bekam jeder Studierende ein 3D-gedrucktes Modell (Abbildung 2a). Dieses erhielt von den Studierenden insgesamt die Note 1,9 und wurde als hilfreich bewertet. Auch die Übungszähne schnitten bei der auf die Präparation folgenden Befragung gut ab. Die Auswertung der Übungszähne in Gruppe I zeigte, dass die Studierenden durch die integrierte Präparation eine ideale Präparation vermittelt bekamen. Somit stellt sich die Frage, ob das Lehrkonzept von Anschauungsmodell und Übungszähnen etablierte Lehrmethoden unterstützen oder sogar ersetzen könnte.

Anschauungs- und Kontrollmodell

Zur Lehre neuer Präparationsformen wurden in den letzten Jahren Live-Demonstrationen durchgeführt. Mit zunehmender Digitalisierung wurden zur Einführung neuer Präparationen Lernvideos erstellt. Diese beiden Lehrmethoden wurden bereits in einigen Studien miteinander verglichen (Aragon et al., 2008; W. Smith et al., 2012; Thilakumara et al., 2018). Die Video-Demonstration wurde allgemein besser bewertet als die Live-Demonstration neuer Präparationen. Vorteile der Lernvideos zur Vermittlung des Lerninhaltes waren unter anderem, dass die Studierenden wiederholt auf das Lehrmaterial zurückgreifen konnten und eine bessere Sicht auf die Präparation hatten (Aragon et al., 2008). Die Live-Demonstrationen wurden aufgrund des kleinen Sichtfeldes und der einmaligen Durchführung schlechter bewertet als die Lernvideos. Dennoch sollte laut Thilakumara et al. eine Interaktion zwischen Studierenden und Lehrenden für eine bessere Lernerfahrung stattfinden (Thilakumara et al., 2018).

Das 3D-gedruckte Anschauungsmodell zeigt nicht die einzelnen Schritte der Präparation, bietet den Studierenden aber die Möglichkeit wiederholt die neue Präparationsform aus der Nähe zu betrachten. Fehler zu erkennen und aus diesen zu lernen, ist für die Weiterentwicklung von Lernenden und den Lernprozess von großer Bedeutung (Bobby et al., 2019; Kornell et al., 2009; Metcalfe et al., 2018). Dabei ist es notwendig, die eigene Arbeit kritisch zu hinterfragen und stetig zu kontrollieren. So ist es sehr wichtig, dass Studierende eine Rückmeldung über ihre durchgeführte Präparation erhalten, um bei einer folgenden Präparation ein besseres Ergebnis zu erzielen (Swinnen et al., 1997). Die in Kapitel 2.3 beschriebene Analyse der präparierten und anschließend eingescannten Zähne erfolgte zur Veranschaulichung und Ermittlung der quantitativen Abweichung der Präparation der Studierenden von der idealen Vorgabepreparation für die durchgeführte Studie. Dieses Auswertungssystem ist jedoch nicht für Studierende als allgemeine Kontrolle der eigenen Präparation zu sehen. Als limitierende Faktoren sind hier die Zeit, die aufgewendet werden muss, um die Präparation auszuwerten und die Anschaffungskosten für den Scanvorgang und eine Computereinheit zu sehen. Vergleichbare Produkte zur Kontrolle der eigenen Präparation, wie E4D (Richardson, TX, USA), prepCeck (DentsplySirona, Wals, Österreich) und PREPassistent (KaVo, Biberach, Deutschland), sind bereits in einigen Studien untersucht und diskutiert worden (Buchanan, 2001; Gratton et al., 2017; Renne et al., 2013; Wolgin et al., 2018). Welk et al. (Welk et al., 2005), die 32 deutsche zahnmedizinische Fakultäten zu computergestütztem Lernen befragten, kamen zu dem Schluss, dass diese „Computer-Assisted Simulation (CAS)“ bzw. „Computer-Assisted Learning (CAL)“ Systeme schwer finanzierbar seien und ein schlechtes Kosten-Nutzen-Verhältnis hätten.

Bei der durchgeführten Präparationsübung sollten die Studierenden ihren präparierten Zahn selbstständig mit dem ideal präparierten Zahn des Anschauungsmodells vergleichen, welches demnach auch als Kontrollmodell diene. Die damit verbundene Ausbildung in der Selbsteinschätzung ihrer Präparation kann als zusätzliches Lernergebnis gesehen werden (McDonald et al., 2003). Sharma et al. waren der Meinung, dass die Selbsteinschätzung auch

das Interesse und die Motivation der Studierenden erhöhen kann (Sharma et al., 2016).

Sweet et al., die sich mit der Verbesserung der zahnmedizinischen Lehre beschäftigten, fassten ihre Ergebnisse in fünf Empfehlungen zusammen. Eine davon war, dass zahnmedizinischen Fakultäten „reflective practice“ (reflektierende Praxis) fördern sollten (Sweet et al., 2008). „Reflective Practice“ wurde bereits 1983 von Schön beschrieben (Schön, 1983). Der Praktiker solle durch die Reflexion seiner Erfahrungen daraus lernen und in einen kontinuierlichen Lernmodus gelangen. Schön war der Meinung, dass besonders diese Art des selbstangeeigneten Lernens für die Weiterentwicklung des Praktikers von Bedeutung sei. Boud et al. sahen in der Selbsteinschätzung eine „Beteiligung der Studierenden an der Identifizierung von Standards und/oder Kriterien, die auf ihre Arbeit anzuwenden sind und an der Beurteilung, inwieweit sie diese Standards erfüllt haben“ (Boud, 1999). Dieser Prozess hat als Voraussetzung, dass die Studierenden die Kriterien für eine gute Arbeit kennen und, dass sie diese auf ihre eigene Arbeit übertragen können. Dabei ist das Ziel nicht die Arbeit des Lehrers zu übernehmen, sondern viel mehr zu lernen wie man lernt. Die Selbstbewertung wird von Boud et al. als entscheidender Faktor für den Erfolg gesehen (Boud, 1999). Eva et al. thematisierten die Selbsteinschätzung in Berufen des Gesundheitswesens. Demnach sei es für den Lernenden wichtig, seine eigenen Kompetenzen zu kennen und den Punkt zu realisieren, an dem Unterstützung geholt werden solle. Die Kenntnis über eigene Schwächen und Stärken fördere das Selbstvertrauen. Die Selbsteinschätzung fungiere daher als „Beobachter, Mentor und Motivator“ (Eva et al., 2005).

Das zur Visualisierung der Präparation hergestellte Anschauungsmodell sollte den Studierenden zusätzlich als Kontrollmodell für die eigene Präparation dienen. Die selbstständige Kontrolle sollte ihnen eine Selbstbewertung und Einschätzung ihrer Präparation ermöglichen und die von Schön et al, Boud et al. und Eva et al. genannten Effekte zum Ziel haben (Boud, 1999; Eva et al., 2005; Schön, 1983).

Das Anschauungs- und Kontrollmodell kann durch den 3D-Druck in hoher Stückzahl für jeden Studierenden schnell und preiswert hergestellt werden.

Übungszähne mit integrierter Präparation

Die zum Erlernen der Präparation hergestellten Übungszähne mit integrierter Präparation ermöglichen den Studierenden die Grenzen und die Tiefe der Präparation selbstständig zu erlernen. Die Studierenden der Gruppe I erzielten in den Übungsdurchgängen signifikant bessere Ergebnisse als diejenigen der Gruppe II. Die „Malen nach Zahlen“ Methode vermittelte den Studierenden gut die ideale Präparation einer einflügeligen Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik. Von Zahn 1 auf Zahn 2 ist in Gruppe I eine Tendenz zur Verbesserung zu sehen. In der darauffolgenden Kontrollphase, in der die Studierenden der Gruppe I 3D-gedruckte Standardmodellzähne präparierten, sind die Ergebnisse jedoch annähernd gleich zu denen der Gruppe II. Dies könnte an einer zu kurzen Übungsphase mit den Übungszähnen mit integrierter Präparation liegen. Es könnten Studien folgen, bei denen die Studierenden länger mit den Übungszähnen trainieren. Im Allgemeinen könnte der Lernerfolg von Präparationsübungen in Bezug auf die Dauer der Übungsphase untersucht werden. Denn auch bei Gruppe II war keine Verbesserung der Leistung nach vier Präparationsdurchgängen zu sehen. Ericsson et al. zeigten, dass bewusstes intensives Üben motorischer Fähigkeiten, wie zum Beispiel in der Musik, unabdingbar ist, um herausragende Leistungen zu erzielen (Ericsson, 1993).

Eine mögliche Ursache des Ausbleibens des erhofften Lernerfolges könnte auch die zeitliche Komponente zwischen den Zähnen innerhalb der Übungsphase und zwischen der Übungs- und Kontrollphase sein. Die sogenannte Konsolidierungsphase, die Phase, in der Gelerntes gefestigt wird, könnte zu kurz gewesen sein. Einzelne kürzere Lernsequenzen auf mehrere Tage zu verteilen ist laut Rutenfranz et al. besser als lange Lernperioden an einem Tag zu bewältigen (Rutenfranz et al., 1966). Die Übung motorischer Fähigkeiten ist laut Robertson et al. unerlässlich. Die Verbesserung der Fähigkeiten gehe jedoch über die Übungsphase hinaus im Gehirn weiter (E. M. Robertson et al., 2004a). Der Prozess des „Offline-Lernens“ und die damit verbundene Verbesserung der Fähigkeiten beginnt. Eine solche Konsolidierung findet oft während des Schlafes

statt. So kam es beispielsweise bei Fischer et al. über Nacht zu Offline-Verbesserungen in der Ausführung motorischer Fingerübungen (Fischer et al., 2002). Andere Studien zeigten auch, dass eine Offline-Verbesserung bereits im Laufe des Tages möglich ist. Es reiche allerdings nicht aus, zwischen den Übungssitzungen eine 15-minütige Pause einzulegen. Eine Pause solle mindestens vier Stunden betragen (Press et al., 2003; E. M. Robertson et al., 2004b). Die Konsolidierung erlernter motorischer Fähigkeiten kann demnach sowohl schlafabhängig als auch zeitabhängig sein. Interessant wäre deshalb zu untersuchen, ob es Unterschiede zwischen den Gruppen nach mehreren Tagen oder Wochen gibt. Auch ein Vergleich verschiedener Zeitintervalle zwischen Präparationsübungen könnte durchgeführt werden, um eine optimale Zeitspanne zwischen Übungs- und Kontrollphase zu ermitteln.

Zusammenfassend kann die „Malen nach Zahlen“ Methode zumindest als gleichwertige Lehrmethode für einen kurzen Lehrzeitraum betrachtet werden, welche von den Studierenden positiv angenommen und bewertet wurde. Zusätzlich ist der finanzielle Aspekt der 3D-gedruckten Zähne ein großer Vorteil zur breiten Anwendung in der zahnmedizinischen Ausbildung. Die Kombination von Anschauungs-/ Kontrollmodell und den Übungszähnen mit integrierter Präparation stellt eine Möglichkeit dar, die zahnmedizinische Ausbildung zu modernisieren.

4.1.5 Diskussion der Herstellung der Übungszähne

Der 3D-Druck, auch die nächste „industrielle Revolution“ genannt, hat schon viele Anwendungsgebiete in zahnmedizinischen Bereichen. So lassen sich individuelle und komplexe Produkte schnell und kosteneffizient herstellen (Stansbury et al., 2016). Für die in der vorliegenden Studie verwendeten Modelle und Zähne wurde wie in anderen Studien (Höhne et al., 2019a; Reymus et al., 2019; Robberecht et al., 2017) das additive Fertigungsverfahren mit dem Stereolithographie-Drucker gewählt. Additive Verfahren haben im Vergleich zu subtraktiven den Vorteil, dass es zu keinem Materialverlust kommt und eine Massenproduktion mehrerer Teile gleichzeitig möglich ist (van Noort, 2012). Unter den additiven Verfahren wurde

die Stereolithographie aufgrund der hohen Auflösung und der glatten Oberflächen gewählt. Die STL-Drucker von Formlabs Inc. erzeugen mit einer großen Genauigkeit und Präzision homogene Druckteile. Es sei möglich, „filigrane Details“ und eine „makellose Oberflächenbeschaffenheit“ zu drucken (Formlabs Inc.). Durch die chemische Bindung zwischen einzelnen Schichten war es möglich, die schwarze Schale der Übungszähne nachträglich mit dem braunen Harz zu verbinden (Stansbury et al., 2016). Dieser Verbund hatte im Verlauf der Studie seine Schwächen. So ist nach Alternativen zu suchen, die Übungszähne zweifarbig zu gestalten.

Beim „Fused deposition modeling (FDM)“, welches auch Seifert et al. (Seifert et al., 2020) zur Herstellung ihrer 3D-Modelle nutzten, kann man beispielsweise das Filament wechseln und so zweifarbig drucken. Hierbei sollte es sich aber um Filamente ähnlicher Materialeigenschaften handeln, da sonst die Druckeinstellungen mitgeändert werden müssen (3Druck.com, 2019). Dieser manuelle Filamentwechsel wäre für die Massenproduktion von Übungszähnen sehr zeitaufwändig.

Eine weitere Alternative ist das Polygraphie-Verfahren. Diese Technologie überzeugt mit einer hohen Auflösung und ist aktuell die einzige, die es ermöglicht, Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften und Farben zu drucken (van Noort, 2012). Polyjet-Drucker können „im Druckprozess Materialien unterschiedlicher ästhetischer, haptischer und physikalischer Eigenschaften [verarbeiten] – formstabil und ohne Klebestellen“ (rapidobject.com). Diese Technik wurde auch von Kröger et al. (Kröger et al., 2017) zur Herstellung von 3D-Simulationsmodellen benutzt. Dabei wurde jedoch nicht zweifarbig gedruckt. Die Polygraphie ist mit viel höheren Anschaffungskosten verbunden als der Druck mittels Stereolithographie. Da nach einer kostengünstigen Methode zur Herstellung von Übungszähnen gesucht wurde, die von anderen Universitäten genutzt werden kann, wurde der Stereolithographiedrucker Form 2 in dieser Studie verwendet.

4.1.6 Diskussion der Inhalte der Präparationsübung

Im Laufe der zahnmedizinischen Ausbildung lernten die Studierenden zahlreiche Therapiekonzepte und Präparationsformen kennen. Dazu zählten die Präparationen von Vollkronen, Teilkronen und Inlays aus Gold oder Keramik. Auch die Präparation von Pfeilerzähnen für Brücken oder Teleskoparbeiten standen auf dem Lehrplan. Die Studierenden führten endodontische und Füllungstherapien durch. Im ersten Kurs der Zahnerhaltung arbeiteten sie bereits an Patienten.

Die Präparation einer einflügeligen Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik war nicht Teil ihrer Ausbildung. Je nach Literatur findet man diese Art von Zahnersatz unter den Namen „*zirconia ceramic cantilever resin-bonded fixed dental prostheses (RBFDP)*“ oder „*two-unit zirconia-based RBFDP*“. Da diese Präparationsform in den vergangenen Kursen nicht gelehrt wurde, wurde sie als Lernziel für die Präparationsübung ausgewählt. Bislang wurden keine Studien durchgeführt, die die Lehre der Präparation einflügeliger Adhäsivbrücken untersuchten. Die Präparation des Adhäsivflügels wie in Kapitel 2.1.1 beschrieben unterscheidet sich von Präparationen für Vollkronen oder Brücken stark und stellt für das manuelle Geschick des Behandlers eine Herausforderung dar. Die Zahnärzteschaft sei laut Matthias Kern gegenüber den einflügeligen Adhäsivbrücken noch skeptisch, was er mit seinem Buch über Adhäsivbrücken zu ändern versuche (Kern, 2017).

So stellt sich die Frage warum ein solches Therapiekonzept, welches selbst in den Praxen selten Anwendung findet, in der zahnmedizinischen Ausbildung gelehrt werden sollte. Dem Verlust eines Frontzahnes können verschiedene Ursachen zu Grunde liegen. Neben Karies und parodontalen Erkrankungen ist besonders in jungen Jahren die Nichtanlage oder ein Trauma der Grund für den Verlust bzw. das Nichtvorhandensein eines Frontzahnes. Je nach Studie ist die Nichtanlage des lateralen Schneidezahnes die häufigste oder zweithäufigste Entwicklungsanomalie bei Ausschluss der dritten Molaren (Arandi et al., 2018; Gracco et al., 2017; Kavadia et al., 2011; Shimizu et al., 2009). Auch ein Trauma kann die Ursache für das Fehlen eines Frontzahnes sein. Eine epidemiologische Studie von Schatz et al. ergab, dass 94,6 % der untersuchten verletzten Zähne

Oberkieferschneidezähne waren (Schatz et al., 1994). Trotz zahlreicher möglicher Therapiekonzepte nach Zahntraumata ist der Verlust des betroffenen Zahnes nicht gänzlich auszuschließen (Andreasen et al., 2019). Eine solche Lücke unabhängig der Ursache ist aus Gründen der Funktionalität und Ästhetik zu therapieren. Mit der Frage, welche Therapieoption in welcher Situation zu wählen ist, haben sich zahlreiche Studien beschäftigt (Botelho et al., 2016; Kern, 2018; Silveira et al., 2016). Kern et al. stellen in ihren Studien den Fokus besonders auf „resin-bonded fixed dental prostheses (RBFDP)“ aus Zirkoniumdioxidkeramik (Kern et al., 2017). Die einflügelige Adhäsivbrücke kann „in vielen Fällen eine echte minimalinvasive Alternative zum Einzelzahnimplantat oder anderen konventionellen Methoden“ sein (Kern, 2017). Diese kann sowohl als Interimsversorgung oder als definitive Therapie eingesetzt werden. Einflügelige Adhäsivbrücken können eingesetzt werden, wenn die Therapie mit einem Implantat oder eine kieferorthopädische Therapie aufgrund des Alters, der anatomischen Situation oder der Kosten nicht durchgeführt werden kann. Adhäsivbrücken aus Zirkoniumdioxidkeramik überzeugen mit ihrer Ästhetik und Biokompatibilität (Andreasen et al., 2019). Für Silveira et al. ist der kieferorthopädische Lückenschluss die Therapie der Wahl (Silveira et al., 2016). Jimilian et al. verglichen den kieferorthopädischen Lückenschluss mit der Versorgung der Lücke mit einem Implantat und kamen zu vergleichbaren ästhetischen Ergebnissen (Jamilian et al., 2015).

Laut Heinzl et al., welche die Chirurgie mit einem Handwerk vergleichen, „besteht die Tätigkeit eines erfolgreichen Handwerkers aus zwei Komponenten: richtige Entscheidungen zu treffen und diese fingerfertig umzusetzen“ (Heinzl et al., 2007). Um sich für die richtige Therapie für die jeweilige klinische Situation zu entscheiden, ist es unabdingbar zahlreiche Therapiekonzepte zu kennen und zu beherrschen. Die einflügelige Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik ist nur eine mögliche Therapieoption einer Frontzahnücke neben vielen anderen. Die Lehre dieser Präparation ist ein Bruchteil der in der zahnmedizinischen Ausbildung zu lehrenden Therapien. Die hier angewandte Lehrmethode soll das Therapiespektrum der Studierenden erweitern und kann beispielhaft auf andere Präparationsformen übertragen werden.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

Die im Fragebogen gewonnenen Meinungen der Studierenden über die Druckzähne und den persönlichen Lernerfolg, sowie die bei der Auswertung der präparierten Zähne gewonnenen Ergebnisse, sollen im folgenden Abschnitt diskutiert werden. Der Übersichtlichkeit wegen werden die gewonnenen Ergebnisse nach Themen sortiert diskutiert.

Härte und Design der Druckzähne

Ein Kritikpunkt der Studierenden an den Druckzähnen war deren Härte. Diese wurde im Fragebogen mit der Note 3,0 bewertet. Die Studierenden wünschten sich ein härteres Material, welches den Zahnhartsubstanzen nachempfunden sein sollte. Diesen Nachteil der konventionellen Kunstharze beschrieben auch Reymus et al. (Reymus et al., 2019), die 3D-Nachbildungen für endodontische Übungen herstellten. Um die natürliche Zahnhartsubstanz für Übungen nachzuahmen, erstellten beispielsweise Robberecht et al. Wurzelkanalsimulatoren im Schlickergussverfahren aus einem Hydroxylapatitschlicker (Robberecht et al., 2017). Dieses Herstellungsverfahren von Übungszähnen scheint vielversprechend bezüglich der Materialeigenschaften, ist jedoch weit aufwändiger als der 3D-Druck mittels Stereolithographie. Trotz der Kritik an der Härte der Druckzähne empfanden einige Studierende diese besser im Vergleich zu der Härte der KaVo-Standardmodellzähne, welche aus Melamin 152.7 hergestellt werden. Die 3D-gedruckten Zähne können demnach als eine gute Alternative zu derzeit genutzten Standardmodellzähnen angesehen werden.

Die Studierenden, die an der Präparationsübung teilnahmen, hatten bis zu diesem Zeitpunkt ihre praktische Ausbildung an Standardmodellzähnen der Firmen KaVo und Frasaco. Sie waren an deren Härte und Haptik gewohnt. Zu untersuchen wäre demnach wie Studierende, die keinerlei Präparationserfahrungen mit Kunststoff- oder Echtzähnen haben, über die 3D-gedruckten Zähne urteilen würden. Dies könnte man durch eine Präparationsübung im ersten Semester herausfinden.

Die Teilnehmer hatten auch einige Wünsche und Vorstellung, die Farbe und Design der Übungszähne betrafen. Die Zähne mit einem andersfarbigen Kunstharz, beispielsweise in weiß der natürlichen Zahnhartsubstanz ähnelnd (White Resin, RS-F2-GPWH-04, Formlabs Inc.) zu drucken, wäre eine Möglichkeit den Wünschen gerecht zu werden, ohne die Kosten der Zähne zu erhöhen. Die Zähne mit den Zahnhartsubstanzen entsprechenden Farbverläufen herzustellen ist eine aufwändigere Veränderung des Designs der Druckzähne.

Lernerfolg und Lernprozess

Besonders in der Zahnmedizin ist die praktische Ausbildung sehr wichtig. Dies wurde in Kapitel 4.1.3 diskutiert. Ihre manuellen Fertigkeiten bewerteten die Studierenden mit der Note 2,6. Diese sollten durch die durchgeführte Übung auf dem Gebiet der Präparation einer einflügeligen Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik verbessert werden. Ihren subjektiven Lernerfolg bewerteten die Studierenden bei den Druckzähnen mit der Note 2,1. Auch waren sie der Meinung mit den Druckzähnen mit integrierter Präparation besser und schneller die Präparation erlernen zu können. Tatsächlich lag die durchgeführte Präparation der Gruppe I in der Übungsphase signifikant näher an der idealen Zielpräparation als bei Gruppe II. In der Kontrollphase ergab die Auswertung aller präparierten Zähne jedoch keinen signifikanten Unterschied. Die „Malen nach Zahlen“ Methode unterstützte die Studierenden beim Durchführen der ersten Präparationen, ein Lernerfolg im Laufe der Präparationsübung konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.

Trotz ausbleibenden Lernerfolges wurden die Studierenden durch die 3D-gedruckten Zähne motiviert, ihr manuelles Geschick zu verbessern. Sie sahen diese als gute Übung und in der Lehrmethode eine Verbesserung der Unabhängigkeit von Assistenzärzten, der Chancengleichheit und Fairness. Diese Verbesserung könnte auch dem Stress und der Angst, unter der laut Basudan et al. eine Vielzahl von Studierenden der Zahnmedizin leiden, entgegenwirken (Basudan et al., 2017). Nguyen et al. zeigten, dass die Art der Lehre und die Wahl der Lehrmethoden einen Einfluss auf das Stresslevel von Studierenden der Zahnmedizin hat (Nguyen et al., 2018). Lugassy et al. kamen zu dem Schluss,

dass 3D-gedruckte mehrfarbige Modelle das Selbstlernen der Studierenden fördere und ihre Abhängigkeit zu ihren Ausbildern reduzieren würde (Lugassy et al., 2020).

Kosten der Druckzähne

Ein wichtiger Vorteil der Druckzähne für die Anwendung in der zahnmedizinischen Ausbildung ist deren Preis. Studierende der Zahnmedizin müssen im Laufe des Studiums mehrere Tausend Euro für ihr Instrumentarium und Material ausgeben. Zur Übung von Präparationen finanzieren die Studierenden in vorklinischen und klinischen Phantomkursen ihre Übungszähne selbst. Ein Standardmodellzahn der Firma KaVo ist für ca. 2,20 €, der Firma Frasaco für 1,85 € in Dentaldepots für Studierende zu erwerben.

Nach Schätzungen des Dentaldepots Gerl verbrauchen Studierende im Laufe ihres Studiums durchschnittlich zwischen 200 und 300 Standardmodellzähne.

Die Materialkosten für einen 3D-gedruckten Übungszahn betragen 0,21 €, für einen gedruckten Standardmodellzahn 0,16 €. Hierbei sind die Anschaffungskosten des Druckers noch nicht miteinbezogen worden. Der zum einmaligen Erstellen der Druckdatei benötigte InEos X5 Scanner muss nicht zwingend erworben werden. Einem mit diesem Gerät ausgestatteten Dentallabor könnte der Scan in Auftrag gegeben werden. Die Autodesk Inventor Software zum Bearbeiten des Scans ist kostenlos erhältlich. Auch die Drucksoftware PreForm wird von Formlabs Inc. frei zur Verfügung gestellt.

Eine Beispielrechnung soll den Preisvorteil der gedruckten Standardmodellzähne verdeutlichen:

<i>Maximale Anzahl von Zähnen pro Druckvorgang</i>	<i>70 Stück</i>
<i>Dauer eines Druckvorgangs</i>	<i>342 min</i>
<i>Mögliche Druckdurchläufe pro Arbeitstag (8 Stunden)</i>	<i>2</i>
<i>Mögliche Produktionsstückzahl von Zähnen pro Tag</i>	<i>140 Stück</i>
<i>Mögliche Produktionsstückzahl von Zähnen pro Woche (5-Tage-Woche)</i>	<i>700 Stück</i>
<i>Materialkosten pro gedrucktem Standardmodellzahn (ohne Anschaffungskosten der Druckausrüstung und Erstellen der Druckdatei)</i>	<i>0,16 €</i>
<i>Möglicher Preis pro Druckzahn für Studierende</i>	<i>0,50 €</i>
<i>Anschaffungskosten der Druckausrüstung (Form 2, Form Wash, Form Cure, PreForm)</i>	<i>3600 €</i>

$$\frac{3600 \text{ €}}{(0,50 \text{ €} \times 700 \text{ Zähne/Woche}) - (0,16 \text{ €} \times 700 \text{ Zähne/Woche})} = 15,1 \text{ Wochen}$$

Die geringen Kosten würden es den Universitäten ermöglichen, den Studierenden Standardmodellzähne zu Übungszwecken kostenfrei zur Verfügung zu stellen. Bei einem möglichen Verkaufspreis von 0,50 € für Standardmodellzähne würden sich die Anschaffungskosten der Druckausrüstung bereits nach ca. 15 Wochen amortisieren. Die Studierenden hätten auch bei dieser Variante eine deutliche finanzielle Entlastung im Vergleich zum Erwerb von Standardmodellzähnen der Firma KaVo oder Frasaco.

Bei der Herstellung der Übungszähne für die „Malen nach Zahlen“ Methode wurde der Zahn mit integrierter Präparation und die Schale separat gedruckt. Die Dauer der Druckvorgänge und die Verklebung müssten bei einer Beispielrechnung für die Übungszähne miteinbezogen werden. Der für diese Studie verwendete Form 2 Drucker wurde durch den Form 3 Drucker abgelöst. Dieser ist als Komplettpaket mit der Form Wash und Form Cure Einheit inklusive der Drucksoftware PreForm für 4799 € erhältlich.

Übungszähne für Studierende zu erschwinglichen Preisen anzubieten, würde nicht nur zur geringeren finanziellen Belastung führen, sondern auch die Übungsmöglichkeiten der Studierenden verbessern. Übungszähne werden in großer Stückzahl für das Erlernen und Üben von Präparationen benötigt. Deren Preis sollte kein Hindernis für die Studierenden darstellen, eine zu erlernende Präparation ein weiteres Mal zu üben.

4.3 Vergleich zu anderen 3D-gedruckten Übungsmodellen

Es wurden schon 3D-gedruckte Zähne entwickelt, um die Lehre anderer Verfahren und Präparationsformen zu verbessern. Kröger et al. stellten mittels 3D-Druck drei Modelle für Studierende her, welche verschiedene Lernziele verfolgten. Ein Modell diente zum Erlernen der Veneerpräparation, ein weiteres für die Lehre der Zahnerhaltung und ein drittes Modell zum Üben verschiedener interdisziplinärer Maßnahmen, welches Karies und insuffiziente Kronen beinhaltete. Das Unterrichten mit Modellen basierend auf Patientensituationen wurde von den Studierenden sehr positiv angenommen. Sie wünschten sich dennoch Verbesserungen der Modelle bezüglich deren Farbe und Haptik (Kröger et al., 2017). Marty et al. entwickelten ein gedrucktes 3D-Modell zu Ausbildung in der Kinderzahnheilkunde. Hier sollte die Durchführung einer Pulpotomie und einer Kinderkrone gelehrt werden. Auch hier befürworteten die Studierenden die Realitätsnähe der hergestellten Modelle, vermissten jedoch simulierte Kontaktpunkte, Zahnfleischgewebe und die Austauschbarkeit der einzelnen Zähne (Marty et al., 2019). Beide Studien druckten ihre Übungsmodelle als ganze Kiefermodelle. Die Produktion einzelner Zähne ermöglicht das Austauschen und wiederholte Üben eines Verfahrens, ohne ein ganzes Modell zu verwerfen. Zusätzlich sind dabei der Zeitaufwand und die Herstellungskosten geringer.

Am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit des Universitätsklinikums Würzburg wurden bereits Übungszähne zum Erlernen der Präparation einer Vollgusskrone hergestellt. Diese unterscheiden sich sowohl in Design, Herstellung und Zielsetzung der Lehrübung. Höhne und Schmitter designten einen 3D-gedruckten Zahn, an dem Studierende die Kariesexkavation, Pulpaüberkappung und Aufbaufüllung üben konnten. Anschließend sollten sie

die Kronenpräparation durchführen (Höhne et al., 2019a). Darauf folgte ein 3D-gedruckter Zahn, welcher den natürlichen Zahnhartsubstanzen ähnelnd aus verschiedenen farbigen Schichten erstellt wurde. Um den Zahn noch realitätsnäher zu gestalten, wurde in die designte Pulpakavität ein farbiger Polyether eingebracht. Nach der Kronenpräparation konnten die Studierenden in dieser Studie zusätzlich die Trepanation des Zahnes üben (Höhne et al., 2019b). Um die Herstellung der 3D-gedruckten Zähne zum Erlernen einer Kronenpräparation zu vereinfachen, wurde ein weiterer Zahn desigt. Dessen Herstellung war einfacher, schneller und kostengünstiger als die der zuvor beschriebenen Zähne. Die Studierenden der Vorklinik sollten mit der angewandten „Malen nach Zahlen“ Methode durch das Entfernen des farblich markierten Harzes die Präparation einer Vollgusskrone erlernen (Höhne et al., 2020b).

Da sich diese Studien ausschließlich mit der Lehre von Vollgusskronen beschäftigt hatten, sollte die „Malen nach Zahlen“ Methode auch für andere Präparationen erprobt werden. Aus diesem Grund wurde die Studie zum Erlernen einer einflügeligen Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik durchgeführt.

4.4 Schlussfolgerung

Die praktischen Kurse im Studium der Zahnmedizin stellen einen wichtigen Teil der Ausbildung dar und sind zur Verbesserung des manuellen Geschicks der Studierenden unentbehrlich. Die in dieser Studie erprobte Lehrmethode, bestehend aus 3D-gedruckten Übungszähnen mit integrierter farblich markierter Präparation in Kombination mit einem 3D-gedruckten Anschauungs- und Kontrollmodell, kann im Vergleich zu herkömmlichen Lehrmethoden zum Erlernen von Präparationen als gleichwertig angesehen werden. Das Anschauungs- und Kontrollmodell sollte die Studierenden zusätzlich in der Selbsteinschätzung und -kontrolle ihrer Präparation ausbilden, was als zusätzliche erstrebenswerte Kompetenz angesehen werden kann. Das Erlernen der Präparation einer einflügeligen Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik und vieler weiterer Präparationen ist wünschenswert und erweitert das spätere Therapiespektrum von sich in der Ausbildung befindenden Studierenden.

Diskussion

Im Allgemeinen wurde die „Malen nach Zahlen“ Methode von den Studierenden sehr positiv bewertet. Im Vergleich der beiden Gruppen konnte durch diese jedoch kein Lernerfolg nachgewiesen werden. Limitierende Faktoren bezüglich der Teilnehmerzahl, der Übungszeit und des verwendeten Materials wurden diskutiert und können in zukünftigen Studien umgesetzt und erprobt werden.

5 Zusammenfassung

3D-gedruckte Zähne mit integrierter farblich markierter Präparation wurden zur Lehre der Präparation einer einflügeligen Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik für Studierende hergestellt. Diese sollten in Kombination mit einem 3D-gedruckten Anschauungs- und Kontrollmodell als neue praktische Lehrmethode in einer Präparationsübung erprobt und bewertet werden.

Die 3D-gedruckten Zähne zum Erlernen der Präparation wurden von den Studierenden sehr positiv bewertet (Note Ø 1,8). Im auf die Präparationsübung folgenden Fragebogen schnitten diese aufgrund ihrer Effizienz, Individualisierbarkeit und Kosten positiv ab. Nach einer Lösung zur realitätsnäheren Härte der Zähne (Note Ø 3,0) ist zu suchen. Die „Malen nach Zahlen“ Methode half den Studierenden bei den ersten Versuchen näher an die Zielpräparation zu gelangen. Auch wenn die Studierenden ihren Lernerfolg (Note Ø 2,1) und Lernprozess (Note Ø 2,2) mit den 3D-gedruckten Zähnen für besser einschätzten, konnte in der im Nachhinein durchgeführten Auswertung der präparierten Zähne im Vergleich der beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied der Präparationsergebnisse nachgewiesen werden. Die erprobte Methode unterstützt dennoch die Studierenden beim selbstständigen Erlernen der Präparation. Dazu trug auch das angefertigte Anschauungs- und Kontrollmodell bei. Lehrmethoden, welche den Studierenden ein selbstständiges Arbeiten und eine gute eigenständige Kontrolle ihrer Arbeit ermöglichen, sind für deren Motivation und Selbstvertrauen wichtig. Die „Malen nach Zahlen“ Methode kann mit etablierten Lehrmethoden wie Lehrvideos, Live-Demonstrationen und schriftlichen Leitfäden kombiniert werden.

Der 3D-Druck bietet der zahnmedizinischen Ausbildung die Möglichkeit, individuelle Lehrmethoden für die Studierenden zu entwickeln, diese im großen Maße zu Übungszwecken anzubieten und die Kosten für Präparationsübungen zu senken.

6 Literaturverzeichnis

- 3Druck.com. (2019). Mehrfarbig 3D-Drucken mit nur einem Extruder und dem Prusa Slicer. Retrieved 09.06.2020 from <https://3druck.com/diy/mehrfarbig-3d-drucken-mit-nur-einem-extruder-und-dem-prusa-slicer-3086893/>
- Aggarwal, R., Mytton, O. T., Derbrew, M., Hananel, D., Heydenburg, M., Issenberg, B., . . . Reznick, R. (2010). Training and simulation for patient safety. *Qual Saf Health Care, 19 Suppl 2*, i34-43. doi:10.1136/qshc.2009.038562
- Andreasen, J. O., Andreasen, F. M., & Andersson, L. (2019). Traumatic Injuries to the Teeth. 824-833.
- Aragon, C. E., & Zibrowski, E. M. (2008). Does exposure to a procedural video enhance preclinical dental student performance in fixed prosthodontics? *J Dent Educ, 72*(1), 67-71.
- Arandi, N. Z., & Mustafa, S. (2018). Maxillary lateral incisor agenesis; a retrospective cross-sectional study. *Saudi Dent J, 30*(2), 155-160. doi:10.1016/j.sdentj.2017.12.006
- Barsuk, J. H., Cohen, E. R., Caprio, T., McGaghie, W. C., Simuni, T., & Wayne, D. B. (2012). Simulation-based education with mastery learning improves residents' lumbar puncture skills. *Neurology, 79*(2), 132-137. doi:10.1212/WNL.0b013e31825dd39d
- Barsuk, J. H., McGaghie, W. C., Cohen, E. R., O'Leary, K. J., & Wayne, D. B. (2009). Simulation-based mastery learning reduces complications during central venous catheter insertion in a medical intensive care unit. *Crit Care Med, 37*(10), 2697-2701.
- Basudan, S., Binanzan, N., & Alhassan, A. (2017). Depression, anxiety and stress in dental students. *Int J Med Educ, 8*, 179-186. doi:10.5116/ijme.5910.b961
- Bobby, Z., Radhika, M. R., Srilatha, K., Nithin Kumar, U., & Kavitha, S. (2019). Individual identification and correction of mistakes in statements of biochemical significance: An effective learning process for graduate medical students. *Biochem Mol Biol Educ, 47*(4), 476-480. doi:10.1002/bmb.21241
- Borum, M. K., & Andreasen, J. O. (2001). Therapeutic and economic implications of traumatic dental injuries in Denmark: an estimate based on 7549 patients treated at a major trauma centre. *Int J Paediatr Dent, 11*(4), 249-258. doi:10.1046/j.1365-263x.2001.00277.x

- Botelho, M. G., Chan, A. W., Leung, N. C., & Lam, W. Y. (2016). Long-term evaluation of cantilevered versus fixed-fixed resin-bonded fixed partial dentures for missing maxillary incisors. *J Dent*, *45*, 59-66. doi:10.1016/j.jdent.2015.12.006
- Boud, D. (1999). Avoiding the traps: Seeking good practice in the use of self assessment and reflection in professional courses. *Social Work Education*, *18*(2), 121-132.
- Bristle, T. (2016). Adhäsivbrücken mit Metallgerüst im Frontzahnbereich - Neue Bema-Leistungen. *Zahnärztliche Mitteilungen*, *106*.
- Buchanan, J. A. (2001). Use of simulation technology in dental education. *J Dent Educ*, *65*(11), 1225-1231.
- Bundesministerium für Gesundheit. (2019). Verordnung zur Neuregelung der zahnärztlichen Ausbildung. Retrieved 05.06.2020 from https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/Gesetze_und_Verordnungen/GuV/Z/VO_Neuregelung_zahnaerztliche_Ausbildung.pdf
- Erstattung der Kosten für Verbrauchsmaterialien für ein Medizinstudium; Bundesverwaltungsgericht Ur. v. 23.10.1996, Az.: BVerwG 6 C 1.94, (1996).
- Cohen, A., Laviv, A., Berman, P., Nashef, R., & Abu-Tair, J. (2009). Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, *108*(5), 661-666. doi:10.1016/j.tripleo.2009.05.023
- Coleman, J. R., Lin, Y., Shaw, B., & Kuwayama, D. (2019). A Cadaver-Based Course for Humanitarian Surgery Improves Manual Skill in Powerless External Fixation. *J Surg Res*, *242*, 270-275. doi:10.1016/j.jss.2019.04.061
- Diaz-Bone, R. (2018). *Statistik für Soziologen* (Vol. 3). München: UVK/Lucius.
- Dunne, S. M. (1993). The limitation of visual perception in restorative dentistry. *Dental update*, *20*(5), 198-201.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, *100*(3), 363-406.
- Eva, K. W., & Regehr, G. (2005). Self-Assessment in the Health Professions: A Reformulation and Research Agenda. *Academic Medicine*, *80*(10), S46-S54. Retrieved from https://journals.lww.com/academicmedicine/Fulltext/2005/10001/Self_Assessment_in_the_Health_Professions__A.15.aspx

- Fischer, S., Hallschmid, M., Elsner, A. L., & Born, J. (2002). Sleep forms memory for finger skills. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(18), 11987-11991.
- Formlabs Inc. 3D-Drucker, Technische Daten Retrieved 05.06.2020 from <https://formlabs.com/de/3d-printers/form-3/tech-specs/>
- Formlabs Inc. Artikel. Retrieved 05.06.2020 from <https://support.formlabs.com/s/article/Isopropyl-Alcohol-IPA?language=de>
- Formlabs Inc. Dentale Indikationen. Retrieved 09.06.2020 from <https://dental.formlabs.com/de/indications/>
- Formlabs Inc. Druckmaterialien. Retrieved 05.06.2020 from <https://dental.formlabs.com/de/shop/materials/>
- Formlabs Inc. Leitfaden für den 3D-Druck im Stereolithographieverfahren (SLA). Retrieved 09.06.2020 from <https://formlabs.com/de/blog/leitfaden-stereolithografie-sla-3d-druck/>
- Formlabs Inc. Wash and Cure. Retrieved 05.06.2020 from <https://formlabs.com/de/wash-cure/>
- Gadbury-Amyot, C. C., Purk, J. H., Williams, B. J., & Van Ness, C. J. (2014). Using tablet technology and instructional videos to enhance preclinical dental laboratory learning. *J Dent Educ*, 78(2), 250-258.
- Giuliani, M., Lajolo, C., Clemente, L., Querqui, A., Viotti, R., Boari, A., & Miani, C. M. (2007). Is manual dexterity essential in the selection of dental students? *Br Dent J*, 203(3), 149-155. doi:10.1038/bdj.2007.688
- Gracco, A. L. T., Zanatta, S., Forin Valvecchi, F., Bignotti, D., Perri, A., & Baciliero, F. (2017). Prevalence of dental agenesis in a sample of Italian orthodontic patients: an epidemiological study. *Prog Orthod*, 18(1), 33. doi:10.1186/s40510-017-0186-9
- Gratton, D. G., Kwon, S. R., Blanchette, D. R., & Aquilino, S. A. (2017). Performance of two different digital evaluation systems used for assessing pre-clinical dental students' prosthodontic technical skills. *Eur J Dent Educ*, 21(4), 252-260. doi:10.1111/eje.12231
- Heinzl, H., & Mittlböck, M. (2007). Eine Einführung zu chirurgischen Lernkurvenstudien. *Forum der Medizin_Dokumentation und Medizin_Informatik*.
- Höhne, C., Dickhaut, N., & Schmitter, M. (2020a). Introduction of a new teaching concept for dentin post preparation with 3D printed teeth. *Eur J Dent Educ*. doi:10.1111/eje.12528

- Höhne, C., Jentsch, A., & Schmitter, M. (2020b). The „Painting by Numbers Method“ for Education of Students in Crown Preparation. *Eur J Dent Educ.*
- Höhne, C., & Schmitter, M. (2019a). 3D Printed Teeth for the Preclinical Education of Dental Students. *J Dent Educ*, 83(9), 1100-1106. doi:10.21815/jde.019.103
- Höhne, C., Schwarzbauer, R., & Schmitter, M. (2019b). 3D Printed Teeth with Enamel and Dentin Layer for Educating Dental Students in Crown Preparation. *J Dent Educ*, 83(12), 1457-1463. doi:10.21815/jde.019.146
- Hugger, A., Hugger, S., & Kordass, B. (2011). [Dental education in Germany: new concepts for the dental curriculum]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, 54(9), 1046-1051. doi:10.1007/s00103-011-1328-8
- Jamilian, A., Perillo, L., & Rosa, M. (2015). Missing upper incisors: a retrospective study of orthodontic space closure versus implant. *Prog Orthod*, 16, 2. doi:10.1186/s40510-015-0072-2
- Jeffries, P. R., McNelis, A. M., & Wheeler, C. A. (2008). Simulation as a vehicle for enhancing collaborative practice models. *Crit Care Nurs Clin North Am*, 20(4), 471-480. doi:10.1016/j.ccell.2008.08.005
- Jiang, W. L., Niu, G. Q., Zhou, G., Chen, H., Liu, T., Nie, H., . . . Zhou, Q. K. (2020). [3D printing technology assisted the preoperative planning and application value in adult kyphoscoliosis deformity]. *Zhongguo Gu Shang*, 33(2), 99-105. doi:10.12200/j.issn.1003-0034.2020.02.0021
- Kavadia, S., Papadiochou, S., Papadiochos, I., & Zafiriadis, L. (2011). Agenesis of maxillary lateral incisors: a global overview of the clinical problem. *Orthodontics (Chic.)*, 12(4), 296-317.
- Kern, M. (2017). *Adhäsivbrücken. Minimalinvasiv - ästhetisch - bewährt*. Berlin: Quintessenz Publishing.
- Kern, M. (2018). Single-retainer resin-bonded fixed dental prostheses as an alternative to orthodontic space closure (and to single-tooth implants). *Quintessence Int*, 49(10), 789-798. doi:10.3290/j.qi.a41158
- Kern, M., Passia, N., Sasse, M., & Yazigi, C. (2017). Ten-year outcome of zirconia ceramic cantilever resin-bonded fixed dental prostheses and the influence of the reasons for missing incisors. *J Dent*, 65, 51-55. doi:10.1016/j.jdent.2017.07.003
- Kfir, A., Telishevsky-Strauss, Y., Leitner, A., & Metzger, Z. (2013). The diagnosis and conservative treatment of a complex type 3 dens invaginatus using cone beam computed tomography (CBCT) and 3D plastic models. *Int Endod J*, 46(3), 275-288. doi:10.1111/iej.12013

- Kieschnick, A., Reymus, M., & Stawarczyk, B. (2019). Schnittstelle Zahnmedizin - Zahnrechnik
Dentaler 3-D-Druck im Jahr 2019. *Dentista*, 19-29.
- Klette, K. (2019). „Malen nach Zahlen“-Erfinder Dan Robbins gestorben. 05.04.2019. Retrieved 06.06.2020 from <https://www.nzz.ch/panorama/malen-nach-zahlen-erfinder-dan-robbins-gestorben-nzz-ld.1473071>
- Kneebone, R. L., Scott, W., Darzi, A., & Horrocks, M. (2004). Simulation and clinical practice: strengthening the relationship. *Med Educ*, 38(10), 1095-1102. doi:10.1111/j.1365-2929.2004.01959.x
- Kornell, N., Hays, M. J., & Bjork, R. A. (2009). Unsuccessful retrieval attempts enhance subsequent learning. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 35(4), 989-998. doi:10.1037/a0015729
- Kröger, E., Dekiff, M., & Dirksen, D. (2017). 3D printed simulation models based on real patient situations for hands-on practice. *Eur J Dent Educ*, 21(4), e119-e125. doi:10.1111/eje.12229
- Luck, O., Reitemeier, B., & Scheuch, K. (2000). Testing of fine motor skills in dental students. *Eur J Dent Educ*, 4(1), 10-14. doi:10.1034/j.1600-0579.2000.040103.x
- Lugassy, D., Levanon, Y., Rosen, G., Livne, S., Fridenberg, N., Pilo, R., & Brosh, T. (2020). Does Augmented Visual Feedback from Novel, Multicolored, Three-Dimensional-Printed Teeth Affect Dental Students' Acquisition of Manual Skills? *Anat Sci Educ*. doi:10.1002/ase.2014
- Marty, M., Broutin, A., Vergnes, J. N., & Vaysse, F. (2019). Comparison of student's perceptions between 3D printed models versus series models in paediatric dentistry hands-on session. *Eur J Dent Educ*, 23(1), 68-72. doi:10.1111/eje.12404
- McDonald, B., & Boud, D. (2003). The Impact of Self-assessment on Achievement: The effects of self-assessment training on performance in external examinations. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 10(2), 209-220.
- Metcalfe, J., & Xu, J. (2018). Learning from one's own errors and those of others. *Psychon Bull Rev*, 25(1), 402-408. doi:10.3758/s13423-017-1287-7
- Mourshed, B., Samran, A., Alfagih, A., Samran, A., Abdulrab, S., & Kern, M. (2018). Anterior Cantilever Resin-Bonded Fixed Dental Prosthesis: A Review of the Literature. *J Prosthodont*, 27(3), 266-275. doi:10.1111/jopr.12555

- Nguyen, T. T. T., Seki, N., & Morio, I. (2018). Stress predictors in two Asian dental schools with an integrated curriculum and traditional curriculum. *Eur J Dent Educ*, 22(3), e594-e601. doi:10.1111/eje.12358
- Nikzad, S., Azari, A., Mahgoli, H., & Akhoundi, N. (2012). Effect of a procedural video CD and study guide on the practical fixed prosthodontic performance of Iranian dental students. *J Dent Educ*, 76(3), 354-359.
- Oppermann, D. B. (2018). Bald geht 3D-Druck jedes Unternehmen an
Retrieved 05.06.2020 from <https://medizin-und-technik.industrie.de/3d-druck/bald-geht-3d-druck-jedes-unternehmen-an/>
- Pjetursson, B. E., Asgeirsson, A. G., Zwahlen, M., & Sailer, I. (2014). Improvements in implant dentistry over the last decade: comparison of survival and complication rates in older and newer publications. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 29 Suppl, 308-324. doi:10.11607/jomi.2014suppl.g5.2
- Pjetursson, B. E., Sailer, I., Makarov, N. A., Zwahlen, M., & Thoma, D. S. (2015). All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part II: Multiple-unit FDPs. *Dent Mater*, 31(6), 624-639. doi:10.1016/j.dental.2015.02.013
- Prechelt, L. (1999). Experimentelles Arbeiten. Retrieved 06.06.2020 from <http://page.mi.fu-berlin.de/prechelt/swt2/node27.html>
- Press, D., Robertson, E., Casement, M., & Pascual-Leone, A. (2003). *Increasing skill without awareness or practice*. Paper presented at the Soc. Neurosci. Abstr.
- rapidobject.com. Polygraphie/ Polyjet-/ Inkjet-Verfahren. Retrieved 09.06.2020 from https://www.rapidobject.com/de/Wissenswertes/3D-Druckverfahren/Polygrafie_1270.html?gclid=EAlaIqobChMIlqbE_Kv06QlVjbTtCh3eJwuJEAAAYASAAEglFBPD_BwE
- Renne, W. G., McGill, S. T., Mennito, A. S., Wolf, B. J., Marlow, N. M., Shaftman, S., & Holmes, J. R. (2013). E4D compare software: an alternative to faculty grading in dental education. *J Dent Educ*, 77(2), 168-175.
- Reymus, M., Fotiadou, C., Kessler, A., Heck, K., Hickel, R., & Diegritz, C. (2019). 3D printed replicas for endodontic education. *Int Endod J*, 52(1), 123-130. doi:10.1111/iej.12964
- Robberecht, L., Chai, F., Dehurtevent, M., Marchandise, P., Becavin, T., Hornez, J. C., & Deveaux, E. (2017). A novel anatomical ceramic root canal simulator for endodontic training. *Eur J Dent Educ*, 21(4), e1-e6. doi:10.1111/eje.12207

- Robertson, E. M., Pascual-Leone, A., & Miall, R. C. (2004a). Current concepts in procedural consolidation. *Nat Rev Neurosci*, 5(7), 576-582. doi:10.1038/nrn1426
- Robertson, E. M., Pascual-Leone, A., & Press, D. Z. (2004b). Awareness modifies the skill-learning benefits of sleep. *Curr Biol*, 14(3), 208-212. doi:10.1016/j.cub.2004.01.027
- Rutenfranz, J., & Iskander, A. (1966). Über den Einfluß von Pausen auf das Erlernen einer einfachen sensumotorischen Fertigkeit. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie*, 22(3), 207-235. doi:10.1007/BF00695009
- Sasse, M., & Kern, M. (2014). Survival of anterior cantilevered all-ceramic resin-bonded fixed dental prostheses made from zirconia ceramic. *J Dent*, 42(6), 660-663. doi:10.1016/j.jdent.2014.02.021
- Schatz, J. P., & Joho, J. P. (1994). A retrospective study of dento-alveolar injuries. *Endod Dent Traumatol*, 10(1), 11-14. doi:10.1111/j.1600-9657.1994.tb00591.x
- Schön, D. (1983). *The Reflective Practitioner, How Professionals Think In Action.*
- Seifert, L. B., Schnurr, B., Herrera-Vizcaino, C., Begic, A., Thieringer, F., Schwarz, F., & Sader, R. (2020). 3D printed patient individualized models versus cadaveric models in an undergraduate Oral and Maxillofacial Surgery curriculum. *Eur J Dent Educ*. doi:10.1111/eje.12522
- Sharma, R., Jain, A., Gupta, N., Garg, S., Batta, M., & Dhir, S. (2016). Impact of self-assessment by students on their learning. *International Journal of Applied and Basic Medical Research*, 6(3), 226.
- Shimizu, T., & Maeda, T. (2009). Prevalence and genetic basis of tooth agenesis. *Japanese Dental Science Review*, 45(1), 52-58.
- Silveira, G. S., de Almeida, N. V., Pereira, D. M., Mattos, C. T., & Mucha, J. N. (2016). Prosthetic replacement vs space closure for maxillary lateral incisor agenesis: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 150(2), 228-237. doi:10.1016/j.ajodo.2016.01.018
- Smith, C. M. (2005). Origin and uses of primum non nocere--above all, do no harm! *J Clin Pharmacol*, 45(4), 371-377. doi:10.1177/0091270004273680
- Smith, W., Rafeek, R., Marchan, S., & Paryag, A. (2012). The use of video-clips as a teaching aide. *Eur J Dent Educ*, 16(2), 91-96. doi:10.1111/j.1600-0579.2011.00724.x

- Soares, P. V., de Almeida Milito, G., Pereira, F. A., Reis, B. R., Soares, C. J., de Sousa Menezes, M., & de Freitas Santos-Filho, P. C. (2013). Rapid prototyping and 3D-virtual models for operative dentistry education in Brazil. *J Dent Educ*, 77(3), 358-363.
- Speirs, C., & Brazil, V. (2018). See one, do one, teach one: Is it enough? No. *Emerg Med Australas*, 30(1), 109-110. doi:10.1111/1742-6723.12927
- Stansbury, J. W., & Idacavage, M. J. (2016). 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dent Mater*, 32(1), 54-64. doi:10.1016/j.dental.2015.09.018
- Sweet, J., Wilson, J., & Pugsley, L. (2008). Chairside teaching and the perceptions of dental teachers in the UK. *Br Dent J*, 205(10), 565-569. doi:10.1038/sj.bdj.2008.983
- Swinnen, S., Lee, T., Verschueren, S., Serrien, D., & Bogaerts, H. (1997). Interlimb Coordination: Learning and Transfer under Different Feedback Conditions. *Human Movement Science* 16(6), 749-785.
- Thilakumara, I. P., Jayasinghe, R. M., Rasnayaka, S. K., Jayasinghe, V. P., & Abeysundara, S. (2018). Effectiveness of Procedural Video Versus Live Demonstrations in Teaching Laboratory Techniques to Dental Students. *J Dent Educ*, 82(8), 898-904. doi:10.21815/jde.018.086
- van Noort, R. (2012). The future of dental devices is digital. *Dent Mater*, 28(1), 3-12. doi:10.1016/j.dental.2011.10.014
- Weiß, C. (2019). *Basiswissen Medizinischen Statistik*: Springer-Verlag GmbH.
- Welk, A., Rosin, M., Seyer, D., Splieth, C., Siemer, M., & Meyer, G. (2005). German dental faculty attitudes towards computer-assisted learning and their correlation with personal and professional profiles. *Eur J Dent Educ*, 9(3), 123-130. doi:10.1111/j.1600-0579.2005.00370.x
- Wolgin, M., Grabowski, S., Elhadad, S., Frank, W., & Kielbassa, A. M. (2018). Comparison of a prepCheck-supported self-assessment concept with conventional faculty supervision in a pre-clinical simulation environment. *Eur J Dent Educ*, 22(3), e522-e529. doi:10.1111/eje.12337
- www.zm-online.de. (2017). Wer zahlt mir den Instrumentenkoffer? Retrieved 11.06.2020 from <https://www.zm-online.de/zm-starter/studium/wer-zahlt-mir-den-instrumentenkoffer/>
- Zitzmann, N. U., Ozcan, M., Scherrer, S. S., Buhler, J. M., Weiger, R., & Krastl, G. (2015). Resin-bonded restorations: a strategy for managing anterior tooth loss in adolescence. *J Prosthet Dent*, 113(4), 270-276. doi:10.1016/j.prosdent.2014.09.028

7 Appendix

7.1 Herstellerverzeichnis

3D-Analysesoftware	GOM Inspect (Version 2019) GOM GmbH 38122 Braunschweig, Deutschland
3D-CAD-Software	Autodesk Inventor (Version 2019) Autodesk Inc. San Rafael, CA 94903, USA
3D-Drucker	Form 2 Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Aushärtegerät	Form Cure Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Drucksoftware	PreForm (Version 2.19.3) Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Entspiegelungsspray	Helling 3D-Laserscanning Entspiegelungsspray Helling GmbH Spökerdamm 2 25436 Heidgraben

Appendix

Harze	Dental Model photopolymer resin (RS-F2-DMBE-02), Grey photopolymer resin (RS-F2-GPGR-04), Black photopolymer resin (RS-F2-GPBK-04) Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Phantomköpfe	DSE kompakt KaVo Dental 88400 Biberach an der Riß, Deutschland
Reinigungsalkohol	100 % Isopropanol VWR International 19087 Radnor, PA, USA
Reinigungsgerät	Form Wash Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Scanner	inEos X5 Scanner Dentsply Sirona York, PA 17404, USA
Scansoftware	inLab SW (Version 18.0) Dentsply Sirona York, PA 17404, USA

Appendix

Statistikprogramm	IBM SPSS Statistics (Version 25) IBM Corp Armonk, NY 10504-1722, USA
Tabellenkalkulationsprogramm	Microsoft Excel, (Version 16.38) Microsoft Corporation Redmond, WA 98052-6399, USA
Übungsmodelle	Studienmodell KaVo Dental 88400 Biberach an der Riß, Deutschland Studienmodell Frasaco 88069 Tettnang, Deutschland
Umfragesoftware	EvaSys Electric Paper Evaluationssysteme GmbH 21337, Lüneburg, Deutschland

7.2 Fragebogen

7.2.1 Musterfragebogen

EvaSys	Klebebrücke	
Universitätsklinikum Würzburg	Dr. Christian Höhne	
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik	Klebebrücke 11	

Bitte so markieren: Bitte verwenden Sie einen Kugelschreiber oder nicht zu starken Filzstift. Dieser Fragebogen wird maschinell erfasst.
 Korrektur: Bitte beachten Sie im Interesse einer optimalen Datenerfassung die links gegebenen Hinweise beim Ausfüllen.

1. Einleitung

Sehr geehrte Studierende,
 im Rahmen einer Studie, die sich mit der Verwendung von Druckzähnen in der prothetischen Ausbildung beschäftigt, möchten wir gerne von Ihnen erfahren, wie Sie die Arbeit mit diesen Zähnen einschätzen. Bitte beantworten Sie sorgfältig die nachfolgenden Fragen.

2. Personenbezogene Daten

2.1 Bitte geben Sie Ihre Nummer (Testatzettel) an.

2.2 Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an. weiblich männlich

2.3 Bitte geben Sie Ihr Alter an.

2.4 Haben Sie vor dem Zahnmedizinstudium eine Ausbildung im zahntechnischen Bereich abgeschlossen? Ja Nein

2.5 Wenn ja, welche?

Bewerten Sie die Zähne in Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend)

2.6 Die zahntechnische Arbeit im vorklinischen Kurs fällt mir leicht.

2.7 Ich habe große Freude an den praktischen Inhalten des Studiums der Zahnmedizin.

2.8 So schätze ich meine manuellen Fertigkeiten ein.

2.9 Ich hatte im Verlauf des vorklinischen Kurses genügend Gelegenheit KaVo Zähne zu beschleifen.

3. Eigenschaften von Druckzähnen im Vergleich zu KaVo Zähnen

Bitte schätzen Sie folgende Eigenschaften der Druckzähne im Vergleich zu KaVo Zähnen ein. Bewerten Sie die Zähne in Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend)

	1	2	3	4	5	6
3.1 Härte der Zähne	<input type="checkbox"/>					
3.2 geeignete Übungsmöglichkeit	<input type="checkbox"/>					
3.3 faire Prüfungsbedingungen	<input type="checkbox"/>					
3.4 einfache Handhabung	<input type="checkbox"/>					

MUSTER

EvaSys

Klebebrücke


 Electric Paper
EVALUATIONSSYSTEME

4. Eigenschaften der Druckzähne mit Präparation [Fortsetzung]

Bewerten Sie die Zähne in Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend)

	1	2	3	4	5	6
4.1 Die Präparation ist farblich gut zu erkennen.	<input type="checkbox"/>					
4.2 Durch die eingebaute Präparation fällt es mir leicht ein Gefühl für die richtige Präparation zu erlangen.	<input type="checkbox"/>					

5. Eigenschaften des Anschauungsmodells mit präpariertem Zahn

Bewerten Sie die Zähne in Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend)

	1	2	3	4	5	6
5.1 Der Farbkontrast zwischen Modell und Modellzahn erleichtert das Erkennen der Präparation	<input type="checkbox"/>					
5.2 Der Modellzahn veranschaulicht mir optisch eine ideale Präparation.	<input type="checkbox"/>					
5.3 Durch den Modellzahn fällt es mir leichter meine eigene Präparation zu kontrollieren.	<input type="checkbox"/>					

6. Einschätzung zum Lernergebnis

Bewerten Sie die Zähne in Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend)

	1	2	3	4	5	6
Mein subjektiver Lernerfolg ...						
6.1 ... war mit KaVo Zähnen am größten.	<input type="checkbox"/>					
6.2 ... war mit den Druckzähnen mit eingebauter Präparation am größten.	<input type="checkbox"/>					
Nach dem Kurs fühle ich mich ...						
6.3 ... gut vorbereitet auf das Präparieren von Zähnen.	<input type="checkbox"/>					

7. Einschätzung zum Lernprozess

Bewerten Sie die Zähne in Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend)

	1	2	3	4	5	6
7.1 Die Druckzähne haben in mir Enthusiasmus geweckt, meine Fähigkeiten in der Präparation von Zähnen zu verbessern.	<input type="checkbox"/>					
7.2 Durch den Druckzahn mit eingebauter Präparation konnte ich mich beim Präparieren verbessern.	<input type="checkbox"/>					
7.3 Ich hatte das Gefühl durch den KaVo Zahn das Präparieren besser und schneller zu lernen.	<input type="checkbox"/>					
7.4 Ich hatte das Gefühl durch den Zahn mit eingebauter Präparation das Präparieren besser und schneller zu lernen.	<input type="checkbox"/>					
7.5 Für mein Studium wünsche ich mir mehr Übungen mit gedruckten Zähnen.	<input type="checkbox"/>					

MUSTER

EvaSys

Klebebrücke



8. Offene Fragen [Fortsetzung]

8.1 Was könnte man an den Druckzähnen noch verbessern?

8.2 Welche Vorteile bieten Ihrer Meinung nach die Druckzähne in der zahnärztlichen Ausbildung?

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

7.2.2 Ergebnisse des Fragebogens

Tabelle 3 Ergebnisse der Fragen 2.2 bis 3.4 des Fragebogens
 Frage 2.2: w – weiblich, m – männlich
 Frage 2.3: Alter der Teilnehmer in Jahren
 Frage 2.6-3.4: Bewertung in Form von Schulnoten (1 = sehr gut, 2 = gut,
 3 = befriedigend, 4 = ausreichend, 5 = mangelhaft, 6 = ungenügend)

	Frage	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.4
Bogen													
1	w	25	nein			5	5	3	2	4	2	2	2
2	w	27	nein			5	2	5	2	3	2	2	1
3	m	29	nein			2	2	3	3	2	3	2	2
4	m	30	nein			2	1	2	2	2	1	2	2
5	w	24	nein			5	4	4	2	5	3	4	2
6	w	24	nein			4	4	4	4	2	1	2	1
7	w	26	ja	Zahntechnik		1	1	1	1	3	1	1	1
8	m	24	nein			5	4	4	4	3	2	2	2
9	m	27	ja	Zahntechnik		1	1	2	2	2	2	1	1
10	m	32	nein			4	1	2	6	4	2	3	3
11	w	25	nein			5	3	3	4	2	2	2	1
12	m	23	nein			3	3	3	1	3	1	1	2
13	w	25	nein			3	2	2	4	2	1	2	1
14	w	26	nein			3	1	3	1	2	2	1	1
15	m	50	nein			2	2	2	2	3	2	2	2
16	m	25	nein			2	1	1	1	3	2	1	1
17	w	23	nein			2	1	2	2	5	3	3	3
18	m	32	nein			2	2	2	2	4	2	2	2
19	w	23	nein			3	2	2	3	5	4	4	2
20	w	26	nein			1	2	1	1	2	1	1	1
21	m	23	nein			3	1	2	1	1	1	1	1
22	m	30	nein			2	1	2	1	2	2	1	1
23	w	22	nein			2	3	3	2	3	1	1	1
24	w	22	nein			3	2	3	4	3	2	1	1
25	m	46	nein			3	2	2	4	3	2	2	2
26	w	22	nein			3	2	2	2	3	3	4	1
27	w	23	nein			1	1	2	1	4	2	3	2
28	w	26	ja	ZFA		2	1	2	2	3	2	2	2
29	m	24	nein			3	2	4	2	3	1	1	2
30	m	25	nein			3	1	2	1	3	1	1	1
31	m	23	nein			1	2	1	3	3	2	2	1
32	m	32	nein			2	1	2	1	2	1	1	1
33	w	23	nein			2	1	3	2	3	2	2	1
34	w	24	nein			3	2	3	4	3	2	2	3
35	w	25	nein			3	2	3	2	3	1	1	1
36	w	22	nein			5	6	4	5	5	2	2	1
37	m	29	ja	Zahntechnik		2	1	3	2	2	3	2	2
38	w	22	nein			4	3	3	2	2	2	1	2
39	w	23	nein			3	2	3	2	3	2	1	1
40	w	22	nein			2	2	2	3	3	2	2	1
41	m	22	nein			2	1	3	2	3	2	2	2
42	m	26	nein			3	3	3	1	3	1	2	1

Appendix

Tabelle 4 Ergebnisse der Fragen 4.1 bis 7.5 des Fragebogens
 Frage 4.1-7.5: Bewertung in Form von Schulnoten (1 = sehr gut, 2 = gut, 3 = befriedigend, 4 = ausreichend, 5 = mangelhaft, 6 = ungenügend)

<u>Bogen</u>	<u>Frage</u>	4.1	4.2	5.1	5.2	5.3	6.1	6.2	6.3	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5
1		3	2	2	2	2	4	3	3	3	2	3	3	2
2		2	2	2	2	1	3	2	2	2	1	4	2	1
3		5	1	5	5	4	3	2	4	1	3	5	2	1
4		2	1	3	3	2	3	1	1	1	1	3	2	1
5		1	6	2	4	5	2	4	4	5	5	2	5	5
6		1	2	2	1	1	3	2	2	1	1	3	2	1
7		1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1
8		2	2	2	1	1	4	2	2	3	1	5	2	2
9		1	3	1	1	1	3	2	3	3	2	3	2	2
10		2	2	3	3	2	3	2	3	4	2	4	2	2
11		2	2	1	1	2	4	2	2	2	2	2	2	2
12		1	1	2	2	2	4	2	2	4	1	4	2	1
13		1	2	2	1	1	3	2	2	1	1	2	2	1
14		1	4	3	1	1	3	5	3	1	4	5	4	2
15		2	3	2	3	3	2	2	3	3	2	2	2	2
16		1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
17		3	2	4	3	2	3	2	3	2	1	4	2	2
18		1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3	1	1
19		5	2	5	4	3	3	2	3	2	2	4	2	2
20		1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3	1	1
21		2	1	2	2	1	4	1	1	1	2	1	1	1
22		2	2	1	2	2	4	3	2	3	3	2	2	1
23		1	1	1	1	1	3	1	2	2	1	3	2	1
24		1	2	2	1	2	3	2	3	2	2	3	4	1
25		1	1	1	2	3	1	1	2	1	1	1	1	1
26		2	4	5	1	1	2	4	2	3	3	1	3	2
27		1	1	1	1	1	4	2	2	2	2	4	3	2
28		2	4	3	2	2	2	3	2	3	3	2	4	3
29		3	1	1	2	3	3	2	2	1	2	3	2	1
30		2	2	1	1	1	5	3	2	1	2	3	2	1
31		1	2	1	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2
32		1	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2
33		1	1	1	1	1	4	1	4	2	2	5	1	2
34		3	3	2	3	2	3	2	3	3	3	4	3	4
35		1	1	1	1	1	4	3	3	2	2	5	1	1
36		2	1	2	2	1	3	2	3	2	2	3	2	2
37		1	3	2	2	2	2	3	3	1	3	3	3	2
38		1	2	2	1	3	3	2	1	3	2	4	3	2
39		2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	3	2	1
40		3	1	2	1	1	3	3	2	2	3	3	2	2
41		1	1	1	2	3	2	2	3	2	2	3	2	3
42		1	1	2	1	2	2	2	1	2	3	3	3	1

Tabelle 5 Ergebnisse der Fragen 8.1 und 8.2 des Fragebogens

<u>Bogen</u>	<u>Frage</u>	8.1	8.2
1			
2			
3		Farbgebung	Abbildung einer guten Präparation
4		Farbe weiß wie KaVo	Super Simulationsübung für verschiedene Präparten
5		schwarzes Zeug ist schmierig	
6		Eventuell noch etwas härteres Material wählen?	Günstiger, zahnähnlich
7		Festeres Material	
8		Härteres Material	Besseres Gefühl für die Schichtstärke
9			
10		Sie müssen härter sein.	
11			
12		Alles tip top, Danke	
13			Man lernt, den nötigen Substanzabtrag besser einzuschätzen!
14			
15			
16		Höhere Härte	Bessere Visualisierungen
17			Weicher als Kavo-Zähne, kommt mehr an Echtzähne ran.
18		Härte	super gute Übung fürs Präparieren
19		Die Farbe. Die Präp ist für mich nicht so gut zu erkennen und ich würde mir wünschen, dass der Druckzahn auch die Farbe eines echten Zahnes hat.	Die vorgedruckte Präp ist gut. Sie könnte aber besser erkennbar sein.
20		Härte	Übung
21			
22			
23			Weniger unnötiger KaVo-Zahn Verschleiß. Einheitlichere Präparationen.
24		Etwas härteres Material	Mit eingebauter Präparation bekommt man gerade am Anfang ein besseres Gefühl für den nötigen Substanzabtrag.
25		Nichts	Große Vorteile, wenn man die Zähne von Patienten original druckt.
26		Konsistenz des schwarzen Kunststoffes: klebrig/teer-artig im Vergleich zum Rest des Druckzahn. Durch farbliche Markierung konzentriert man sich mehr darauf den schwarzen Kunststoff zu entfernen anstelle auf die eigentliche Präparation selbst.	Individueller, die Idee mit der idealen Präparation darunter gut, aber ansteckender Kunststoff etwas zu ungewohnt
27		Die Härte dem Zahnschmelz noch etwas besser anpassen.	Man bekommt eine Vorstellung wie die Präparation auszusehen hat.
28		Sie sollten leichter zu finieren sein. Keine Klebeschicht zwischen den zwei Farben, da sonst Stücke abplatzen.	Günstiger.
29			

30		Mehr Variabilität bzgl. Zahnform, mehr Fallsimulationen möglich
31	Härter	
32	Der Verbund zwischen der schwarzen Farbe und des KaVo-Zahnes war etwas fest... Ist abgeblättert	Man hat weniger Verschleiß an den Zähnen... Man sieht besser, wie es ideal aussehen muss und hat keine verschiedenen Ansätze, wie es aussehen muss von Assistent zu Assistent
33	Etwas härter	Chancengleichheit
34		
35	Sind noch etwas weich	Fairness, Günstiger, Bessere Übung
36	Konsistenz des Druckzahnes ohne eingebaute Präparation ist zu weich.	
37	Die Schwarze Komponente bröckelt teilweise heraus. Sodass an manchen Orten kleine Stellen zurück bleiben oder die Mulde z.B. einfach frei lag, obwohl man bisher erst palatinal reduziert hatte	Die Härte war angepasster an die Härte natürlicher Zähne. Durch die eingebaute Präparation hat man eine gute Übersicht erlangt, aber leichter präpen ließen sich die gedruckten Zähne, die keine eingefärbte Komponente hatten
38	Härte	Weniger Zeitaufwand eine Präparation erklärt zu bekommen.
39	Verschiedene Härten innerhalb des Druckzahnes entsprechend der versch. Zahnhartsubstanzen; Farbverläufe echten Zähnen anpassen	Schaffen klinisch ähnlicher Situationen - zB verschiedene Wurzelkanalanatomie in äußerlich dem gleichen Druckzahn. Somit bessere Vorbereitung auf patientenähnliche Situationen.
40	Härte, Farbe	
41	gerne auch weiße Zähne	Flexibilität im Erlernen neuer Präparationen, Erlernen neuer Präparationen ohne lange Erklärungen/Anschauungsvideos
42		

7.3 Auswertung der präparierten Zähne

Tabelle 6 Ergebnisse der Auswertung der präparierten Zähne der Gruppe I
 P₁ – Anzahl der Punkte im positiven Bereich
 P₂ – Anzahl der Punkte im negativen Bereich
 MW₊, MW₋, AMW₊, AMW₋, GMW_{+/-} in mm

Studierende/r	Zahn	P ₁	P ₂	MW ₊	MW ₋	AMW ₊	AMW ₋	GMW _{+/-}
1	1	55845	197388	0,020	-0,080	0,004	-0,062	0,067
1	2	55368	197871	0,010	-0,040	0,002	-0,031	0,033
1	3	112223	141007	0,180	-0,070	0,080	-0,039	0,119
1	4	102529	150696	0,150	-0,090	0,061	-0,054	0,114
3	1	89617	163619	0,030	-0,060	0,011	-0,039	0,049
3	2	87959	165266	0,030	-0,060	0,010	-0,039	0,050
3	3	127263	125965	0,140	-0,070	0,070	-0,035	0,105
3	4	123785	129438	0,130	-0,120	0,064	-0,061	0,125
5	1	64048	189182	0,030	-0,060	0,008	-0,045	0,052
5	2	94610	158614	0,050	-0,090	0,019	-0,056	0,075
5	3	108348	144873	0,110	-0,100	0,047	-0,057	0,104
5	4	103311	149913	0,170	-0,110	0,069	-0,065	0,134
7	1	61242	191996	0,050	-0,150	0,012	-0,114	0,126
7	2	49350	203885	0,040	-0,120	0,008	-0,097	0,104
7	3	119747	133486	0,210	-0,120	0,099	-0,063	0,163
7	4	102365	150851	0,210	-0,190	0,085	-0,113	0,198
9	1	111506	141722	0,060	-0,200	0,026	-0,112	0,138
9	2	55581	197659	0,030	-0,080	0,007	-0,062	0,069
9	3	120900	132313	0,110	-0,130	0,053	-0,068	0,120
9	4	111109	142109	0,130	-0,110	0,057	-0,062	0,119
11	1	81560	171671	0,040	-0,100	0,013	-0,068	0,081
11	2	91152	162076	0,040	-0,080	0,014	-0,051	0,066
11	3	129229	124003	0,180	-0,130	0,092	-0,064	0,156
11	4	134473	118752	0,200	-0,080	0,106	-0,038	0,144
13	1	35291	217940	0,050	-0,140	0,007	-0,120	0,127
13	2	44615	208625	0,030	-0,120	0,005	-0,099	0,104
13	3	141782	111446	0,170	-0,050	0,095	-0,022	0,117
13	4	138496	114731	0,170	-0,050	0,093	-0,023	0,116
15	1	77289	175947	0,020	-0,040	0,006	-0,028	0,034
15	2	133046	120193	0,040	-0,070	0,021	-0,033	0,054
15	3	115985	137250	0,100	-0,100	0,046	-0,054	0,100
15	4	129533	123701	0,110	-0,080	0,056	-0,039	0,095
17	1	19533	233457	0,030	-0,270	0,002	-0,249	0,251
17	2	64	251963	0,00	-0,400	0,000	-0,398	0,398
17	3	79883	173335	0,140	-0,190	0,044	-0,130	0,174
17	4	117283	135946	0,180	-0,080	0,083	-0,043	0,126
19	1	77145	176090	0,040	-0,100	0,012	-0,070	0,082
19	2	89897	163329	0,040	-0,080	0,014	-0,052	0,066

Appendix

Studierende/r	Zahn	P ₁	P ₂	MW ₊	MW ₋	AMW ₊	AMW ₋	GMW _{+/.}
19	3	123921	129306	0,210	-0,100	0,103	-0,051	0,154
19	4	75304	177922	0,260	-0,110	0,077	-0,077	0,155
21	1	60907	192332	0,020	-0,060	0,005	-0,046	0,050
21	2	44190	209050	0,020	-0,050	0,003	-0,041	0,045
21	3	128938	124297	0,120	-0,070	0,061	-0,034	0,095
21	4	99443	153787	0,100	-0,080	0,039	-0,049	0,088
23	1	61992	191238	0,040	-0,100	0,010	-0,076	0,085
23	2	76477	176750	0,060	-0,150	0,018	-0,105	0,123
23	3	123004	130218	0,150	-0,090	0,073	-0,046	0,119
23	4	117097	136131	0,220	-0,080	0,102	-0,043	0,145
25	1	64888	188349	0,040	-0,100	0,010	-0,074	0,085
25	2	55615	197617	0,040	-0,070	0,009	-0,055	0,063
25	3	118289	134945	0,070	-0,110	0,033	-0,059	0,091
25	4	96513	156717	0,110	-0,070	0,042	-0,043	0,085
27	1	72182	181049	0,020	-0,080	0,006	-0,057	0,063
27	2	91104	162136	0,020	-0,050	0,007	-0,032	0,039
27	3	118127	135095	0,130	-0,100	0,061	-0,053	0,114
27	4	122694	130529	0,170	-0,100	0,082	-0,052	0,134
29	1	83491	169729	0,110	-0,130	0,036	-0,087	0,123
29	2	55668	197563	0,030	-0,080	0,007	-0,062	0,069
29	3	87481	165745	0,080	-0,120	0,028	-0,079	0,106
29	4	83432	169798	0,060	-0,160	0,020	-0,107	0,127
31	1	98308	154929	0,010	-0,050	0,004	-0,031	0,034
31	2	62801	190431	0,010	-0,050	0,002	-0,038	0,040
31	3	121957	131268	0,180	-0,110	0,087	-0,057	0,144
31	4	116121	137096	0,160	-0,060	0,073	-0,032	0,106
33	1	75937	177299	0,020	-0,040	0,006	-0,028	0,034
33	2	59327	193911	0,030	-0,060	0,007	-0,046	0,053
33	3	127833	125394	0,130	-0,080	0,066	-0,040	0,105
33	4	94209	159026	0,170	-0,080	0,063	-0,050	0,113
35	1	63900	189338	0,050	-0,140	0,013	-0,105	0,117
35	2	65817	187410	0,060	-0,220	0,016	-0,163	0,178
35	3	119151	134078	0,160	-0,070	0,075	-0,037	0,112
35	4	126866	126367	0,150	-0,090	0,075	-0,045	0,120
37	1	73414	179826	0,050	-0,200	0,014	-0,142	0,157
37	2	79412	173803	0,050	-0,130	0,016	-0,089	0,105
37	3	92806	160424	0,210	-0,160	0,077	-0,101	0,178
37	4	112676	140544	0,230	-0,180	0,102	-0,100	0,202
39	1	57467	195768	0,030	-0,090	0,007	-0,070	0,076
39	2	57907	195323	0,010	-0,070	0,002	-0,054	0,056
39	3	122029	131195	0,160	-0,140	0,077	-0,073	0,150
39	4	114136	139090	0,160	-0,090	0,072	-0,049	0,122
41	1	74514	178718	0,030	-0,060	0,009	-0,042	0,051

Appendix

Studierende/r	Zahn	P ₁	P ₂	MW ₊	MW ₋	AMW ₊	AMW ₋	GMW _{+/-}
41	2	118059	135172	0,120	-0,140	0,056	-0,075	0,131
41	3	58114	195116	0,040	-0,100	0,009	-0,077	0,086
41	4	144201	109036	0,140	-0,080	0,080	-0,034	0,114

Tabelle 7 Ergebnisse der Auswertung der präparierten Zähne der Gruppe II
P₁ – Anzahl der Punkte im positiven Bereich
P₂ – Anzahl der Punkte im negativen Bereich
MW₊, MW₋, AMW₊, AMW₋, GMW_{+/-} in mm

Studierende/r	Zahn	P ₁	P ₂	MW ₊	MW ₋	AMW ₊	AMW ₋	GMW _{+/-}
2	1	124949	128283	0,100	-0,080	0,049	-0,041	0,090
2	2	146361	106862	0,210	-0,080	0,121	-0,034	0,155
2	3	110853	142364	0,200	-0,100	0,088	-0,056	0,144
2	4	134581	118647	0,180	-0,080	0,096	-0,037	0,133
4	1	112270	140957	0,150	-0,120	0,067	-0,067	0,133
4	2	153575	99649	0,190	-0,080	0,115	-0,031	0,147
4	3	156767	96465	0,180	-0,070	0,111	-0,027	0,138
4	4	121597	131633	0,160	-0,110	0,077	-0,057	0,134
6	1	114959	138263	0,210	-0,170	0,095	-0,093	0,188
6	2	148138	105085	0,200	-0,060	0,117	-0,025	0,142
6	3	118040	135195	0,130	-0,090	0,061	-0,048	0,109
6	4	107578	145647	0,180	-0,090	0,076	-0,052	0,128
8	1	104785	148448	0,160	-0,080	0,066	-0,047	0,113
8	2	115457	137777	0,170	-0,090	0,078	-0,049	0,126
8	3	115718	137520	0,180	-0,120	0,082	-0,065	0,147
8	4	130362	122886	0,180	-0,120	0,093	-0,058	0,151
10	1	87873	165357	0,140	-0,120	0,049	-0,078	0,127
10	2	126557	126672	0,160	-0,190	0,080	-0,095	0,175
10	3	127686	125549	0,170	-0,130	0,086	-0,064	0,150
10	4	170489	82717	0,200	-0,090	0,135	-0,029	0,164
12	1	99622	153605	0,090	-0,080	0,035	-0,049	0,084
12	2	123279	129944	0,150	-0,100	0,073	-0,051	0,124
12	3	143691	109532	0,150	-0,120	0,085	-0,052	0,137
12	4	120518	132715	0,180	-0,060	0,086	-0,031	0,117
14	1	139863	113367	0,120	-0,080	0,066	-0,036	0,102
14	2	165297	87939	0,190	-0,070	0,124	-0,024	0,148
14	3	97777	155454	0,100	-0,080	0,039	-0,049	0,088
14	4	113731	139495	0,130	-0,070	0,058	-0,039	0,097
16	1	87048	166173	0,090	-0,150	0,031	-0,098	0,129
16	2	82224	170987	0,100	-0,130	0,032	-0,088	0,120
16	3	116641	136576	0,130	-0,110	0,060	-0,059	0,119
16	4	89073	164140	0,130	-0,130	0,046	-0,084	0,130
18	1	86066	167134	0,060	-0,180	0,020	-0,119	0,139
18	2	67769	185453	0,070	-0,230	0,019	-0,168	0,187

Appendix

Studierende/r	Zahn	P ₁	P ₂	MW ₊	MW ₋	AMW ₊	AMW ₋	GMW _{+/-}
18	3	91565	161664	0,120	-0,190	0,043	-0,121	0,165
18	4	122999	130239	0,120	-0,140	0,058	-0,072	0,130
20	1	142314	110924	0,160	-0,070	0,090	-0,031	0,121
20	2	127923	125305	0,120	-0,100	0,061	-0,049	0,110
20	3	106371	146858	0,140	-0,080	0,059	-0,046	0,105
20	4	96646	156584	0,070	-0,080	0,027	-0,049	0,076
22	1	101962	151250	0,200	-0,190	0,081	-0,113	0,194
22	2	130115	123117	0,230	-0,190	0,118	-0,092	0,211
22	3	115299	137918	0,180	-0,210	0,082	-0,114	0,196
22	4	128690	124534	0,200	-0,200	0,102	-0,098	0,200
24	1	113120	140086	0,200	-0,150	0,089	-0,083	0,172
24	2	130535	122691	0,160	-0,140	0,082	-0,068	0,150
24	3	107438	145787	0,160	-0,130	0,068	-0,075	0,143
24	4	86023	167193	0,140	-0,130	0,048	-0,086	0,133
26	1	117771	135447	0,140	-0,100	0,065	-0,053	0,119
26	2	121449	131767	0,160	-0,090	0,077	-0,047	0,124
26	3	128030	125198	0,180	-0,110	0,091	-0,054	0,145
26	4	114087	139140	0,160	-0,090	0,072	-0,049	0,122
28	1	117762	135470	0,160	-0,070	0,074	-0,037	0,112
28	2	113483	139737	0,170	-0,070	0,076	-0,039	0,115
28	3	111756	141466	0,120	-0,090	0,053	-0,050	0,103
28	4	87508	165708	0,110	-0,130	0,038	-0,085	0,123
30	1	122815	130411	0,120	-0,100	0,058	-0,051	0,110
30	2	125320	127909	0,160	-0,100	0,079	-0,051	0,130
30	3	127046	126184	0,180	-0,110	0,090	-0,055	0,145
30	4	119780	133456	0,150	-0,080	0,071	-0,042	0,113
32	1	75921	177311	0,130	-0,200	0,039	-0,140	0,179
32	2	122702	130527	0,110	-0,110	0,053	-0,057	0,110
32	3	104704	148518	0,170	-0,140	0,070	-0,082	0,152
32	4	87260	165966	0,190	-0,140	0,065	-0,092	0,157
34	1	102214	151022	0,130	-0,090	0,052	-0,054	0,106
34	2	96052	157179	0,090	-0,110	0,034	-0,068	0,102
34	3	107302	145933	0,100	-0,090	0,042	-0,052	0,094
34	4	97343	155886	0,090	-0,090	0,035	-0,055	0,090
36	1	137432	115802	0,230	-0,070	0,125	-0,032	0,157
36	2	135889	117346	0,210	-0,080	0,113	-0,037	0,150
36	3	124358	128865	0,160	-0,130	0,079	-0,066	0,145
36	4	118802	134426	0,170	-0,150	0,080	-0,080	0,159
38	1	119789	133441	0,160	-0,070	0,076	-0,037	0,113
38	2	83884	169347	0,110	-0,090	0,036	-0,060	0,097
38	3	122232	130995	0,180	-0,090	0,087	-0,047	0,133
38	4	107147	146084	0,200	-0,100	0,085	-0,058	0,142
40	1	154514	98722	0,240	-0,060	0,146	-0,023	0,170

Appendix

Studierende/r	Zahn	P ₁	P ₂	MW ₊	MW ₋	AMW ₊	AMW ₋	GMW _{+/-}
40	2	135650	117578	0,250	-0,100	0,134	-0,046	0,180
40	3	146930	106300	0,160	-0,090	0,093	-0,038	0,131
40	4	109434	143795	0,150	-0,140	0,065	-0,079	0,144
42	1	153021	100206	0,190	-0,090	0,115	-0,036	0,150
42	2	112723	140499	0,120	-0,140	0,053	-0,078	0,131
42	3	160623	92612	0,230	-0,080	0,146	-0,029	0,175
42	4	161301	91924	0,190	-0,050	0,121	-0,018	0,139

7.4 Statistische Tests

7.4.1 Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests

Tabelle 8 Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests für die Daten der Gruppe I
(H_0 = die zu testenden Daten sind normalverteilt; Asymptotische Signifikanz $\leq 0,05$ – Ablehnung der Nullhypothese)
G – Gesamtfläche; I – Innenfläche, P – Präparationsgrenze
* normalverteilte Daten

Gruppe I

	Zahn 1			Zahn 2		
Fläche	G	I	P	G	I	P
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,027	0.017	0,000	0,001	0,001	0,005
	Zahn 3			Zahn 4		
Fläche	G	I	P	G	I	P
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,007	0.200*	0,091*	0,090*	0,200*	0,026

Tabelle 9 Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests für die Daten der Gruppe II
(H_0 = die zu testenden Daten sind normalverteilt; Asymptotische Signifikanz $\leq 0,05$ – Ablehnung der Nullhypothese)
G – Gesamtfläche; I – Innenfläche, P – Präparationsgrenze
* normalverteilte Daten

Gruppe II

	Zahn 1			Zahn 2		
Fläche	G	I	P	G	I	P
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,200*	0.200*	0,026	0,200*	0,200*	0,006
	Zahn 3			Zahn 4		
Fläche	G	I	P	G	I	P
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,200*	0.200*	0,125*	0,200*	0,200*	0,200*

7.4.2 Ergebnisse des Dunn-Bonferroni-Tests

Tabelle 10 Ergebnisse des Dunn-Tests mit Bonferroni-Korrektur
G – Gesamtfläche, I – Innenfläche, P – Präggenze

Vergleich von (ZahnFlächeGruppe – ZahnFlächeGruppe)	Standardteststatistik (z-Wert)	Signifikanz	Korrigierte Signifikanz (Bonferroni-Korrektur)
1G1 – 1G2	-3,040	0,002	0,654
1I1 – 1I2	-5,624	0,000	0,000
1P1 – 1P2	-0,799	0,424	1,000
2G1 – 2G2	-3,873	0,000	0,030
2I1 – 2I2	-6,320	0,000	0,000
2P1 – 2P2	-1,400	0,162	1,000
3G1 – 3G2	-0,876	0,381	1,000
3I1 – 3I2	-0,822	0,411	1,000
3P1 – 3P2	-0,375	0,708	1,000
4G1 – 4G2	-0,412	0,680	1,000
4I1 – 4I2	0,153	0,879	1,000
4P1 – 4P2	-0,422	0,673	1,000
1G1 – 2G1	0,384	0,701	1,000
1G1 – 3G1	-2,494	0,013	1,000
1G1 – 4G1	-2,728	0,006	1,000
2G1 – 3G1	-2,878	0,004	1,000
2G1 – 4G1	-3,112	0,002	0,513
3G1 – 4G1	-0,234	0,815	1,000
1I1 – 2I1	0,177	0,860	1,000
1I1 – 3I1	-5,438	0,000	0,000
1I1 – 4I1	-5,990	0,000	0,000
2I1 – 3I1	-5,615	0,000	0,000
2I1 – 4I1	-6,167	0,000	0,000
3I1 – 4I1	-0,552	0,581	1,000

Appendix

Vergleich von (ZahnFlächeGruppe – ZahnFlächeGruppe)	Standardteststatistik (z-Wert)	Signifikanz	Korrigierte Signifikanz (Bonferroni-Korrektur)
1P1 – 3P1	-0,088	0,930	1,000
1P1 – 4P1	0,127	0,899	1,000
2P1 – 3P1	-0,902	0,367	1,000
2P1 – 4P1	-0,687	0,492	1,000
3P1 – 4P1	0,215	0,830	1,000
1G2 – 2G2	-0,449	0,653	1,000
1G2 – 3G2	-0,331	0,741	1,000
1G2 – 4G2	-0,101	0,920	1,000
2G2 – 3G2	0,119	0,906	1,000
2G2 – 4G2	0,349	0,727	1,000
3G2 – 4G2	0,230	0,818	1,000
1I2 – 2I2	-0,519	0,604	1,000
1I2 – 3I2	-0,637	0,524	1,000
1I2 – 4I2	-0,273	0,785	1,000
2I2 – 3I2	-0,118	0,906	1,000
2I2 – 4I2	0,246	0,806	1,000
3I2 – 4I2	0,363	0,716	1,000
1P2 – 2P2	0,213	0,831	1,000
1P2 – 3P2	0,336	0,737	1,000
1P2 – 4P2	0,504	0,614	1,000
2P2 – 3P2	0,123	0,902	1,000
2P2 – 4P2	0,291	0,771	1,000
3P2 – 4P2	0,168	0,866	1,000