

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

Direktor: Professor Dr. med. dent. Marc Schmitter

**Die „Malen nach Zahlen“ Methode zur Verbesserung der Präparation einer
Vollgusskrone der Studenten**

Inauguraldissertation

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

vorgelegt von

Antonio Jentsch
aus Regensburg

Würzburg, Oktober 2020



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

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

Dekan: Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 1. März 2021

Der Promovend ist Zahnarzt

Meiner Großmutter, Annemarie Beer, gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Industrie 4.0 revolutioniert Medizin und Zahnmedizin	1
1.2 Überblick über 3D-Übungszähne.....	2
1.3 Ziel der einheitlichen Bewertung.....	6
1.4 Zielsetzung.....	9
2 Material und Methoden	10
2.1 „Malen nach Zahlen“ Methode.....	11
2.2 Herstellung der Druckzähne	11
2.2.1 Gestaltung der Druckzähne und des Anschauungsmodells	11
2.2.2 Druck der Zähne.....	13
2.2.3 Fertigstellung der Übungszähne mit integrierter Präparation.....	14
2.3 Übungsseminar	15
2.4 Fragebogen.....	17
2.5 Auswertung der Übungszähne	19
2.5.1 Vermessung der präparierten Zähne.....	19
2.5.2 Überlagerung der Dateien	20
2.5.3 Berechnung der Abweichung von Ist- zu Soll-Element	21
2.5.4 Berechnung der mittleren Abweichungswerte.....	23
2.5.5 Berechnung der mittleren flächenbezogenen Abweichungswerte	24
2.5.6 Berechnung der mittleren absoluten Abweichungswerte	24
2.5.7 Weiterverarbeitung der Inspektionswerte	25
2.6 Statistik.....	26
2.6.1 Auswertung des Fragebogens.....	26
2.6.2 Auswertung der präparierten Zähne.....	26
2.6.3 Grafische Darstellung	27
3 Ergebnisse	28
3.1 Fragebogen.....	28
3.1.1 Vergleich des gedruckten Standardübungszahns mit dem KaVo-Modellzahn	29
3.1.2 Bewertung des Übungszahns mit integrierter Präparation.....	29
3.1.3 Bewertung der Eigenschaften des 3D-Anschauungsmodells	29
3.1.4 Bewertung des Lernprozesses	30

Verzeichnisse

3.1.5	Verbesserungsvorschläge und Kritikpunkte	30
3.1.6	Vorteile des Druckzahns im Studium.....	31
3.2	Ergebnisse der präparierten Zähne	31
3.2.1	Abweichungswerte der Gesamtfläche	32
3.2.2	Ermittlung eines Lernerfolges.....	33
3.2.3	Bewertung der integrierten Präparation.....	36
4	Diskussion.....	39
4.1	Diskussion der Methodik	39
4.1.1	Übungsseminar.....	39
4.1.2	Fallzahl	40
4.1.3	Herstellung der Übungszähne	41
4.2	Diskussion der Auswertung	45
4.2.1	Dimension.....	45
4.2.2	Auswertungssoftware	45
4.3	Diskussion der Ergebnisse	47
4.3.1	Fragebogen	47
4.3.2	Kosten.....	51
4.3.3	Lernerfolg.....	52
4.3.4	„Malen nach Zahlen“ Methode.....	54
4.4	Schlussfolgerung.....	57
5	Zusammenfassung.....	58
6	Literaturverzeichnis	60
7	Anhang.....	66
7.1	Herstellerverzeichnis	66
7.2	Fragebogen.....	69
7.3	Fallbeispiel	71
7.4	Box-Whisker-Plot Diagramm	73
7.5	Ergebnisse der Präparationsübung	74
7.6	Vergleich zwischen Zahn 1 und Zahn 4.....	77
7.7	Vergleich zwischen Zahn 1 und Zahn 3.....	80
7.8	Kosten für einen Zahnmedizinstudenten.....	83

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Überblick über den Ablauf der Studie	10
Abbildung 2	Darstellung der Druckzähne.....	13
Abbildung 3	Ablauf des Übungsseminars	16
Abbildung 4	Präparationsstadien des Übungszahns.....	17
Abbildung 5	Beispielgraph zur Berechnung der Abweichung einer Präparation von der idealen Präparation.....	22
Abbildung 6	Auswertung der Präparationen	22
Abbildung 7	Ermittlung der negativen bzw. positiven mittleren Abweichungswerte	23
Abbildung 8	Auswertung des Fragebogens	28
Abbildung 9	Ergebnisse des Vergleichs der Gesamtfläche von Zahn 1 und Zahn 4.....	34
Abbildung 10	Differenzen der mittleren absoluten Abweichungen von Zahn 1 und Zahn 4.....	36
Abbildung 11	Ergebnisse des Vergleichs der Gesamtfläche von Zahn 1 und Zahn 3.....	37
Abbildung 12	Differenzen der mittleren absoluten Abweichungen von Zahn 1 und Zahn 3.....	38
Abbildung 13	Vergleich der Druckzähne.....	49
Abbildung 14	Fallbeispiel	71
Abbildung 15	Box-Whisker-Plot Diagramm.....	73
Abbildung 16	Flächenvergleich zwischen Zahn 1 und Zahn 4	79
Abbildung 17	Flächenvergleich zwischen Zahn 1 und Zahn 3	82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Abweichungen der Gesamtfläche von der idealen Präparation von Zahn 1 bis 4 der Gruppen I und II.....	33
Tabelle 2	Prozentuale Verteilung des Lernerfolges	35
Tabelle 3	Abweichungswerte des Fallbeispiels.....	71
Tabelle 4	Ergebnisse Gruppe I	74
Tabelle 5	Ergebnisse Gruppe II	75
Tabelle 6	Kosten für einen Zahnmedizinstudenten.....	83

Abkürzungsverzeichnis

2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional
AM	Additives Manufacturing
AMW-	Flächenbezogener Mittelwert negativer Abweichungen
AMW+	Flächenbezogener Mittelwert positiver Abweichungen
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CSV	Comma Separated Values
CT	Computertomografie
GMW _(+/-)	Mittlere absolute Abweichung
GMW _{(+/-)x}	Mittlere absolute Abweichung des Zahns x
IMLA	Institut für Medizinische Lehre und Ausbildungsforschung
IQR	Interquartilsabstand
MPA	Megapascal
MW-	Mittelwert negativer Abweichungen
MW+	Mittelwert positiver Abweichungen
n	Fallzahl
p	Signifikanzwert
P ₁	Anzahl der positiven Abweichungswerte
P ₂	Anzahl der negativen Abweichungswerte
P ₃	Anzahl der Abweichungswerte gleich 0
P _{gesamt}	Gesamtzahl der gebildeten Abweichungswerte
SLA	Stereolithografie
STL	Standard Tessellation Language
TPK	Technisches Propädeutikum
α	Signifikanzniveau

1 Einleitung

Der Übersichtlichkeit wegen wurde in dieser Arbeit bewusst auf die gendergerechte Formulierung verzichtet. Die Begriffe Patienten, Studenten, Teilnehmer, Zahntechniker und Zahnärzte wurden stellvertretend für alle Geschlechter verwendet.

1.1 Industrie 4.0 revolutioniert Medizin und Zahnmedizin

Durch den technologischen Fortschritt werden bestehende Lehrmethoden an Universitäten fortlaufend neu überdacht. Diese können durch neue Methoden und Materialien effizienter und effektiver gestaltet werden. Die Industrie 4.0, die vierte industrielle Revolution, basierend auf der Entwicklung von intelligenten technischen Systemen zur Verbesserung des Produktionsflusses (Steinhoff, 2016), hat auch die Lehre der Medizin und Zahnmedizin erreicht. Das Voranschreiten der Industrie 4.0 ist neuen Fertigungsverfahren in der 3D-Drucktechnologie mit zu verdanken (Feldmann, Schulz, & Fernströning, 2019, s. 17). Additives Manufacturing (AM) ermöglicht es, dreidimensional (3D) generierte Computer Aided Designed (CAD) Modelle ohne weitere aufwendige Prozessplanung herzustellen (Gibson, Rosen, & Stucker, 2014, s. 2). Kleinste Mengen individuell designer Produkte mit komplexesten Geometrien können in wenigen Produktionsschritten produziert werden (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2017, s. 38). Dies wird als die Revolution der Produktentwicklung und -herstellung bezeichnet. Dieser Fortschritt ermöglicht, Produkte nach dem Motto „What You See Is What You Build“ zu entwickeln. Designänderungen sind mit geringstem Aufwand möglich und die Produktfertigung kann auf einen einzigen Produktionsschritt reduziert werden (Gibson et al., 2014, s. 9-10). So können individuelle Produkte schneller, kostengünstiger und ressourcenschonender hergestellt werden (Feldmann et al., 2019, s. 20).

Seit 2007 ist ein nahezu exponentieller Zuwachs an Forschungsarbeiten über die 3D-Drucktechnologie zu verzeichnen. Dabei spielen sowohl Anwendungen in der Medizin als auch in der Zahnmedizin eine große Rolle. Der 3D-Druck wird derzeit in der Zahnmedizin besonders in den Fachgebieten der Oralchirurgie und

Prothetik angewandt. Unter anderem werden bereits Bohrschablonen für Implantate mittels des 3D-Drucks hergestellt. Auch bei der Herstellung von Gesichtsprothesen und kieferorthopädischen Geräten findet der 3D-Druck seine Anwendung (Dawood, Marti Marti, Sauret-Jackson, & Darwood, 2015). Dieser Fortschritt wird nicht nur für die Versorgung der Patienten, sondern auch für die Verbesserung der universitären Lehre genutzt (Oberoi et al., 2018).

Am 1. Oktober 2021 wird die neue Approbationsordnung für Zahnärzte in Kraft treten. Mit dieser wird sich das Studium der Zahnmedizin verändern. Zahlreiche Verbesserungsvorschläge und Reforminitiativen für die zahnmedizinische Lehre gab es jedoch bereits in den letzten Jahrzehnten (Hugger, Hugger, & Kordaß, 2011, s. 1047).

1.2 Überblick über 3D-Übungszähne

Das Erlernen der Präparation einer Krone an Kunststoffübungszähnen ist ein wichtiger Teil der vorklinischen Ausbildung. In der Regel beginnen die Studenten mit der Präparation einer Vollgusskrone. Ist die Zahnhartsubstanz eines Zahnes so stark zerstört, dass keine Füllungstherapie mehr angewandt werden kann, muss dieser Zahn überkront werden. Auch einige Zahnfehlstellungen können mittels einer Überkronung korrigiert werden und sich somit positiv auf die Bisslage sowie Ästhetik auswirken (Gernet W., Biffar R., Schwenger N., & Ehrenfeld M., 2007, s. 36). Desweiteren werden bei Zahnverlust oder Zahnnichtanlagen sogenannte Pfeilerzähne präpariert, um den neuen Zahnersatz zu verankern. In Ausnahmefällen wird die Überkronung sogar für die Behandlung von starken Zahnverfärbungen angewandt (Gernet W. et al., 2007, s. 36). Aus diesem Grund ist es für zahnmedizinische Studenten wichtig, die Präparation von Kronen zu erlernen. Bereits in den ersten Kursen des vorklinischen Abschnitts des Zahnmedizinistudiums wird damit begonnen. Es gibt verschiedene Methoden der Lehre von Präparationen.

Es gibt sowohl zweidimensionale (2D) als auch 3D-Anschauungsobjekte zum Erlernen einer korrekten Kronenpräparation. Die alleinige Verwendung von 2D-Anschauungsobjekten erschwert das Erlernen einer korrekten Kronenpräparation (Boonsiriphant, Al-Salihi, Holloway, & Schneider, 2019;

Soares et al., 2013). Präparationen können mit Hilfe von Lernvideos oder Live-Demonstrationen unterrichtet werden (Smith, Rafeek, Marchan, & Paryag, 2012). 3D-Simulationsübungen werden sowohl in der Medizin als auch in der Zahnmedizin, besonders zum Üben irreversibler Operationen und Behandlungen, immer bedeutender (Buchanan, 2001).

Die meist verbreitete Methode ist das Üben von Präparationen an Kunststoffmodellzähnen. Derzeit gibt es nur sehr wenige 3D-Zahnmodelle für die Grundlagenlehre an den Universitäten. Die Studenten haben die Möglichkeit, in Dentaldepots Modellzähne der Firma KaVo (KaVo, Biberach an der Riß, Deutschland) und Frasaco (Frasaco, Tettang, Deutschland) zu erwerben. Diese Zähne ergeben ein intaktes idealisiertes Gebiss und sind entfernt von der klinischen Realität. Der Student findet am Patienten meist keine Euginathie vor, sondern wird mit rotierten und gekippten Zahnfehlstellungen konfrontiert (Hanafi, Donnermeyer, Schäfer, & Bürklein, 2020; Kröger, Dekiff, & Dirksen, 2017, s. 119). In der Vorklinik üben die Studenten ihre Präparationen immer an derselben Patientensituation. Sie werden erst im klinischen Lehrabschnitt mit der Wirklichkeit am Patienten konfrontiert und fühlen sich dabei oft überfordert. Aus diesem Grund wurde nach Verbesserungen der Lehre gesucht, die Studenten im vorklinischen Studienabschnitt bestmöglich auf diese Situation vorzubereiten (Höhne & Schmitter, 2019).

Viele der benötigten Übungsmaterialien sowie Instrumente müssen an den meisten Universitäten von den Studenten selbst finanziert werden. Hier spielen die grundlegenden Übungsmaterialien, wie kostspielige Ober- und Unterkiefermodelle sowie Übungszähne, eine entscheidende Rolle. Die 3D-Drucktechnologie hat das Potenzial dazu beizutragen, kostengünstige und individuelle Übungsmöglichkeiten für Studenten herzustellen, wie zum Beispiel 3D-gedruckte Modellzähne. Es ist bereits möglich, diese über 3D-Scan Verfahren, CAD und der AM Technologie zu produzieren (Hanafi et al., 2020; Höhne, Schwarzbauer, & Schmitter, 2019; Kamio et al., 2018; Kröger et al., 2017). Das AM könnte den hohen Anforderungen an das individuelle Design des benötigten Übungsmaterials nachkommen und es gleichzeitig ermöglichen, das

1 Einleitung

Spektrum der Übungszähne zu erweitern (Feldmann C., Schulz C., & Fernströning S., 2019, s. 20; Marty, Broutin, Vergnes, & Vaysse, 2019, s. 71).

In der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit des Universitätsklinikums Würzburg wurden bereits vier Übungszähne mittels AM entwickelt. An diesen sollten den Studenten die Grundlagen der prothetischen Versorgung beigebracht werden. Die ersten 3D-gedruckten Übungszähne stellten eine prothetische Standardsituation dar. Studenten der Vorklinik konnten die Kariesexkavation, die Pulpaabdeckung, das Legen einer Aufbaufüllung und die Kronenpräparation an nur einem Zahn üben. Die einzelnen Übungsschritte konnten mittels blauem LED-Licht (395 nm) von den Studenten eigenständig kontrolliert werden (Höhne & Schmitter, 2019). Da diese Übungsmöglichkeit von den Studenten viel Zuspruch bekam, wurde ein weiteres Übungsmodul für den klinischen Studienabschnitt entworfen. Hier sollten die Studenten neben einer klassischen Kronenpräparation sowohl die Trepanation als auch die indirekte und direkte Pulpaüberkappung üben. Dieser 3D-gedruckte Zahn bestand aus drei dem natürlichen Zahnaufbau (Schmelz, Dentin und Pulpa) nachgeahmten Schichten, die sich in ihrer Farbe und Härte unterschieden. Wurde zu viel Substanz abgetragen, erschien zuerst eine gelbliche, weichere Dentinschicht und dann die rote Pulpa. Dadurch sollten die Studenten ein Gefühl für die unterschiedlichen Zahnhartsubstanzen und vor allem für die Tiefe der Präparation bekommen. Dieser Zahn wurde ebenfalls von den Studenten als gut bewertet (Höhne et al., 2019). Ein weiterer, dritter Übungszahn mit mehreren Schichten wurde entwickelt. Hier wurde in dem Übungszahn eine schwarze Schicht integriert, die eine ideale Präparation vorgab. Die Studenten mussten die Schmelz- und Dentinschicht soweit abtragen bis nur noch die schwarze Präparationsschicht vorhanden war. Somit hatten die Studenten sofort eine Kontrolle ihrer eigenen Präparation (Höhne, Schwarzbauer, & Schmitter, 2020). Der vierte 3D-gedruckte Zahn sollte die prothetische Therapie von stark zerstörten Zahnkronen, welche nicht genügend Retention für eine Krone bieten, lehren. Mittels eines im Wurzelkanal verankerten Stiftaufbaus sollte die spätere Kronenversorgung stabilisiert werden. Den

1 Einleitung

Studenten wurde mit diesem Übungszahn zum ersten Mal die Gelegenheit gegeben, einen prothetischen Stift am Phantommodell realitätsnah zu setzen. Dafür wurde ein extrahierter Zahn mittels mikro-Computertomografie (CT) eingescannt und über AM hergestellt. Bei diesem Zahn wurden nach dem Druckvorgang die Wurzelkanäle mit Guttapercha gefüllt. Jeder Student hatte vier Versuche in den endodontisch behandelten Zahn einen Stift zu setzen. Im Laufe der Übung konnte ein positiver Lerneffekt nachgewiesen werden. Die Anzahl an Wurzelperforationen nahmen mit jedem gesetzten Stift signifikant ab (Höhne, Dickhaut, & Schmitter, 2020).

Neben den Übungszähnen der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit des Universitätsklinikums Würzburg gab es bereits weitere 3D-gedruckte Modellzähne, die die Lehre in der Zahnmedizin verbessern sollten. An der Universität München wurden mittels CT menschliche extrahierte Zähne über AM in 3D-Übungszähne umgewandelt. Die Studenten konnten an diesen erfolgreich endodontische Behandlungen üben (Reymus et al., 2019). Reymus et al. entwickelten auf dieselbe Art und Weise ein 3D-Übungsmodell für Traumata. Die Studenten sollten schriftlich einen Trauma Fall bearbeiten, wobei dieser mittels dem Übungsmodell plastisch unterstützt wurde (Reymus, Fotiadou, Hickel, & Diegritz, 2018). An der Universität von Iowa wurde ein Anschauungsmodell entwickelt. In der Annahme, dass 2D-Lehrmittel nicht ausreichen, um den Studenten eine ideale Kronenpräparation zu vermitteln, wurden ideal präparierte 3D-Zähne hergestellt. Die Zähne passten in die Übungsmodelle und dienten den Studenten als visuelle Vorlage einer idealen Präparation (Boonsiriphant et al., 2019). Ein weiteres 3D-Modell kommt aus der Fachrichtung der Kinderzahnheilkunde. Bei diesem wurde ein Übungsmodell aus einer CT Aufnahme eines Kindergebisses hergestellt. Die Studenten übten daran die Präparation einer Milchzahnkrone. Dabei wurden Frasaco Übungszähne mit den selbst hergestellten Zähnen verglichen (Marty et al., 2019). An der Universität Münster wurden weitere 3D-Modelle entworfen, an denen die Studenten interdisziplinär verschiedene Therapien üben konnten. Aus Patientendaten wurden drei Gebissmodelle erstellt. An dem ersten Modell

konnten alle nötigen Schritte zur Behandlung eines abgebrochenen Frontzahnes, von der Abformung bis hin zum Einsetzen eines Veneers, geübt werden. An dem zweiten Modell konnten die Studenten ihre Fähigkeit verbessern, eine kaputte Füllung auszutauschen. Das dritte Modell beinhaltete kariöse Läsionen sowie eine defekte Vollgusskrone. Die Studenten mussten die Läsionen behandeln sowie eine neue Vollgusskrone präparieren. Die Modelle wurden von den Studenten in einem Fragebogen als gut bewertet (Kröger et al., 2017). An einer zahnmedizinischen Fakultät in Chile wurden anhand von extrahierten Zähnen Modellzähne gedruckt, die die Studenten beim Erlernen der anatomischen Morphologie der Zähne unterstützen sollten. Diese stellten eine gute Alternative zu den Standardmodellzähnen dar (Cantín, Muñoz, & Olate, 2015). Eine weitere Studie aus Südamerika befasste sich bereits 2010 damit, Anschauungsmodelle verschiedener Kavitätenpräparationen für Erstsemesterstudenten sowohl virtuell als auch plastisch zu designen. Es wurden Prämolaren mit verschiedenen Kavitäten hergestellt. Zusätzlich konnten die Studenten virtuell die Kavitäten in 3D betrachten. Sowohl die Studenten als auch die Lehrer bewerteten die virtuellen Zähne und die hergestellten Zähne sehr gut (Soares et al., 2013).

1.3 Ziel der einheitlichen Bewertung

Die Theorie und Praxis einer korrekten Kronenpräparation zu vermitteln beziehungsweise zu erlernen, stellt für Lehrende und Studenten eine große Herausforderung dar. Die Lehrenden müssen sich an die vorgegebene Lehrmeinung halten und diese einheitlich vertreten. Für Studenten ist es in der Praxis anfangs schwierig, das vermittelte Wissen, wie die Zahnhartsubstanz für eine Vollgusskrone abgetragen werden muss, umzusetzen (Höhne et al., 2019, s. 5). In der Lehre spielt die Fähigkeit der Selbsteinschätzung eine entscheidende Rolle, da sie die Motivation positiv beeinflussen kann (Sharma et al., 2016). Besonders Studenten der Medizin müssen einschätzen können, wie weit ihre Fähigkeiten reichen und in welchen Bereichen sie sich zukünftig verbessern müssen (Taylor, Grey, & Satterthwaite, 2013, s. 25). Eine fehlerhafte Selbsteinschätzung kann dazu führen, dass Ärzte die Motivation verlieren, ihre Methodik zu hinterfragen (Duffy & Holmboe, 2006). Zahnmedizinstudenten können durch eine korrekte Selbsteinschätzung ihre eigene Leistung im

vorklinischen Studienabschnitt verbessern. Dafür müssen Studenten lernen, dass es zu ihrer Ausbildung gehört, Fehler zu begehen. Diese müssen jedoch von ihnen erst einmal erkannt werden. Dann erst können sie aus ihren eigenen Fehlern lernen und ihre Fähigkeiten verbessern (Curtis, Lind, Dellinges, Setia, & Finzen, 2008, s. 273).

Die Lehre der idealen Präparation einer Vollgusskrone im vorklinischen Kurs ist komplex, da sich objektive Kriterien zur Präparation, wie zum Beispiel der notwendige Substanzabtrag, mit subjektiven Kriterien der Lehrenden, wie zum Beispiel die Ausprägung von Ansträgungen, vermischen. Die Präparationen werden oft von verschiedenen Ausbildern bewertet (Grabowski, 2019, s. 11). Bei mehrfacher Bewertung durch denselben Ausbilder zu unterschiedlichen Zeitpunkten können die Bewertungsergebnisse stark variieren (Felber, 2014). Eine alleinige visuelle Bewertung der Präparation ist somit nicht immer objektiv (Schepke et al., 2020). Dies führt dazu, dass markante Unterschiede in der Bewertung vorzufinden sind und die Lehre nicht einheitlich ist. Den Studenten fällt es dadurch schwer, die ideale Präparation zu erlernen und ihre eigenen Fehler zu erkennen.

Um die Lehre zu verbessern, sollten demnach auch die bestehenden Bewertungssysteme verbessert werden. Ein ideales Bewertungssystem in der zahnmedizinischen Lehre müsste folgende Kriterien erfüllen: Zuverlässigkeit, Gültigkeit, Verantwortlichkeit, Flexibilität, Vollständigkeit, Durchführbarkeit, Aktualität und Relevanz (Turnbull, Gray, & MacFadyen, 1998). Eine zuverlässige Bewertung sollte beispielsweise unabhängig von der ausführenden Person oder dem Zeitpunkt immer die gleichen Ergebnisse erzielen. Die Gültigkeit bezieht sich darauf, das zu bewerten, was auch bewertet werden sollte (Taylor et al., 2013). Für die Lehre und anschließende Kontrolle der eigenen Präparation sind bereits mehrere Analysesoftware entwickelt worden. CEREC PrepCheck (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, USA), eine Lernsoftware, die über CAD/CAM funktioniert, wurde schon mehrfach in Studien getestet (Wolgin, Grabowski, Elhadad, Frank, & Kielbassa, 2018). Den Studenten wird es ermöglicht, über einen 3D-Scanner ihre Kronenpräparationen objektiv bewerten

zu lassen. Es kann zwischen fünf Bewertungskriterien gewählt werden. Als besonders nützlich erwies sich, dass Prepcheck die Präparationswinkel auf eine Konizität von drei Grad überprüfen konnte und präparierte Unterschnitte erkannte (Park et al., 2017). Der größte Lerneffekt wurde durch die Kombination aus Prepcheck und einem Betreuer erreicht. Die Software unterstützte den Lehrenden dabei objektiv zu bleiben (Schepke et al., 2020). Die Studenten schätzten die Tipps und das persönliche Feedback durch einen Zahnarzt. Nachteile an PrepCheck waren die Anschaffungskosten des Equipments und der hohe Zeitaufwand zur Einführung der Software (Schepke et al., 2020; Schlenz, Michel, et al., 2020). Durch das wiederholte Einscannen der Präparationen kam es trotz eines Scanner- und Studentenverhältnisses von eins zu zehn zu Wartezeiten (Gratton, Kwon, Blanchette, & Aquilino, 2016). Ein weiterer Schritt in Richtung digitalisierter zahnmedizinischer Lehre ist die Entwicklung virtueller unterstützter Behandlungseinheiten. Sie ermöglichen den Studenten das Üben verschiedener Behandlungssituationen mit sofortigem Feedback und animierten Übungszähnen. Die Betreuer können mehrere Präparationen gleichzeitig mitverfolgen und anschließend bewerten (Roy, Bakr, & George, 2017). Die Weiterentwicklung von digitalen Simulatoren kann laut Huang et al. dazu beitragen, dass Zahnmedizinstudenten Präparationen eigenständig üben können (Huang, Yang, Hsieh, Wang, & Hung, 2018). Diese virtuellen Behandlungseinheiten sind jedoch sehr kostenintensiv und können dadurch nicht jedem Studenten zur Verfügung gestellt werden. In der von Kim et al. durchgeführten Studie konnten Studenten mittels drei Bewertungsmethoden (visuell; digital; konventionell) eigenständig ihre Präparation überprüfen. Die konventionelle Methodik, bei der ein einfacher Silikonschlüssel benutzt wurde, eignete sich am besten, die eigene Präparation zu überprüfen. Die digitale Kontrolle ergab keine signifikante Verbesserung (Kim, Son, & Lee, 2019). Eine digitale Bewertungsmethode ist nicht zwingend erforderlich. Um die Studenten bei der Selbsteinschätzung ihrer Präparationen zu unterstützen, ist eine einfach gehaltene Hilfestellung ausreichend. Deshalb wurde zur selbstständigen Kontrolle ein Übungszahn mit integrierter Präparation und ein 3D-Anschauungsmodell hergestellt.

1.4 Zielsetzung

Das Ziel dieser Studie war es, die „Malen nach Zahlen“ Methode zur Lehre der Präparation einer Vollgusskrone zu erproben. Dafür wurden 3D-gedruckte Übungszähne mit integrierter Präparation entwickelt, die das Spektrum der konventionellen Übungszähne erweitern und den Studenten das eigenständige Erlernen der Kronenpräparation ermöglichen sollten. Für diesen Übungszahn wurde ein ideal präparierter Zahnstumpf mit einer Krone aus demselben Material verklebt. Zusätzlich wurde ein 3D-Anschauungsmodell hergestellt, welches die ideale Präparationsform darstellte. Studenten des dritten Semesters nahmen an einem Übungsseminar teil, an dem sie die „Malen nach Zahlen“ Methode erprobten. Im Anschluss bewerteten sie die gedruckten Übungszähne, KaVo-Modellzähne und das 3D-Anschauungsmodell. Zur Ermittlung eines Lernerfolges wurden die Präparationen im Anschluss mit einer 3D-Analysesoftware ausgewertet. Die Bewertung der studentischen Präparationen durch die Betreuer sollte vereinfacht und vereinheitlicht werden. Um die Universitäten und Studenten finanziell zu entlasten, wurde bei der Herstellung nach einer kostengünstigen Lösung gesucht. Mit Hilfe des 3D-Drucks könnte diese Lehrmethode an jeder zahnmedizinischen Fakultät kostengünstig umgesetzt werden.

Mit der dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie sollten folgende Haupt- und Nebenzielkriterien geprüft werden.

Hauptzielkriterium

- Erhöhung des Lerneffektes bei der Präparation einer Vollkrone durch 3D-gedruckte zweischichtige Übungszähne mit integrierter Präparation im Vergleich zu etablierten Lehrmethoden

Nebenzielkriterien

- Entwicklung von Druckzähnen als kostengünstige Alternative zu Standardmodellzähnen
- Nutzen eines Anschauungsmodells zur Erleichterung der Selbsteinschätzung der eigenen Präparation für Studenten

2 Material und Methoden

Diese Studie wurde in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit des Universitätsklinikums Würzburg durchgeführt. Die Herstellung der Übungszähne sowie der Ablauf des Übungsseminars und der Auswertung wurden in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1 Überblick über den Ablauf der Studie

A) Herstellung der Druckzähne

B) Ablauf des Übungsseminars und der Auswertung der präparierten Zahnstümpfe

(Die Abbildungen des Scanners, Winkelstücks und Druckers wurden von Dentsply Sirona, KaVo und Formlabs Inc. genehmigt)

2.1 „Malen nach Zahlen“ Methode

Für die dieser Dissertation zugrundeliegende Studie wurde ein 3D-gedruckter Übungszahn mit integrierter Präparation hergestellt, der die Studenten unterstützen sollte, die Präparation einer Vollgusskrone zu erlernen. Die Hilfestellung, die sie dabei bekamen, beruhte auf dem von Dan Robbins erfundenen System „Malen nach Zahlen“. Der Amerikaner entwarf Zeichnungen und teilte diese in nummerierte Umriss ein. Jeder Nummer wurde eine Farbe zugeordnet. Inspiriert wurde er von Leonardo da Vinci, der bereits seinen Schülern nummerierte Muster verteilte, um ihnen das Malen beizubringen. Somit ermöglichte Dan Robbins Hobbykünstlern selbstbewusster Kunstwerke zu erschaffen (Paint by number museum, 2019). Im Gegensatz zu den 2D-Malvorlagen von Robbins wurde den Studenten über eine schwarze Zahnkrone ein 3D-Umriss vorgegeben. Präparierten sie nur die farblich vorgegebene Substanz, so erreichten sie die zu erlernende ideale Präparationsform einer Vollgusskrone.

2.2 Herstellung der Druckzähne

In Abbildung 1A wurde die Herstellung der Standardübungszähne und der Übungszähne mit integrierter Präparation dargestellt.

2.2.1 Gestaltung der Druckzähne und des Anschauungsmodells

Diese Studie nutzte die Datei für den Druckzahn aus der Versuchsreihe von Höhne et al. (Höhne et al., 2019). Die Druckzähne wurden so gestaltet, dass diese in die klassischen KaVo-Studienmodelle passten (Abbildung 2b). Das Unterkiefermodell wurde von einem Extraoralscanner (InEos X5, Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, USA) eingescannt. Dieses Unterkiefermodell lieferte die gesamten Daten, um Anschauungsmodelle und Druckzähne herzustellen. Der InEos X5 Scanner hat eine Genauigkeit von $1,3 \mu\text{m} \pm 0,4$ (DIN EN ISO12836:2015). Die Scan Technologie beruht auf dem sogenannten Streifenlichtscanverfahren (Dentsply Sirona, 2020). Dieses Verfahren funktioniert durch eine Kombination aus Kamerabildern und einem Projektor. Der Projektor projiziert ein Streifenmuster rundum auf das zu scannende Objekt. Diese Muster

werden immer wieder über eine Kamera aufgenommen. Die Scansoftware wandelt diese Bilder in ein 3D-Modell um (Kotz, 2018).

Für die Studie wurde der Zahn 36 ausgewählt, der für eine Vollgusskrone präpariert wurde. Es wurden sowohl ein vollständiger KaVo-Modellzahn als auch ein ideal präparierter KaVo-Modellzahn eingescannt (Abbildung 1B, Modellzahn). Die ideale Präparation orientierte sich an dem vorklinischen Lehrskript des Kurses der zahnärztlichen Propädeutik, das den Zahnmedizinstudenten der medizinischen Fakultät der Universität Würzburg als Leitfaden diente. Dieses Skript verfolgte die Lehrmeinung aus dem Lehrbuch „Einführung in die restaurative Zahnheilkunde“ (Hellwig & Lehmann, 1997). Es wurde eine Hohlkehlpräparation durchgeführt. Diese umfasste einen okklusalen Substanzabtrag von 1,5 mm und einen zirkulären von 0,5 mm. Der Präparationswinkel betrug drei Grad, die Konizität des Zahnstumpfs sechs Grad. Das Programm Autodesk Inventor 2019 (Autodesk, San Rafael, USA) diente dazu, die Datei für den ideal präparierten Übungszahn zu modellieren (Abbildung 2c). Diese Datei wurde auch in der Studie von Höhne et al. für eine andere Übungszahnart verwendet (Höhne et al., 2019). Daraufhin wurde der ideal präparierte Zahnstumpf mit dem KaVo-Modellzahn überlagert und eine passgenaue Zahnkrone für den präparierten Übungszahn designt. Daraus wurde eine standard tessellation language (STL) Datei für den 3D-Druck erstellt. Die Zahnkrone und der präparierte Zahnstumpf wurden in zwei verschiedenen Farben (schwarz, braun) aus Materialien derselben Eigenschaften gedruckt und vereint (Abbildung 2d). Der farbliche Unterschied der beiden Materialien wird im Querschnitt deutlich sichtbar (Abbildung 2e). Sobald der Student die farbige Schicht nach der „Malen nach Zahlen“ Methode abtrug, wurde die ideale Präparation sichtbar. Dadurch sollten die Studierenden den korrekten Winkel und Substanzabtrag der Vollgusskronenpräparation erlernen.

Auch ein 3D-Anschauungsmodell wurde für die Studenten designt (Abbildung 2a). Dieses wurde auch in einer Studie von Höhne et al. verwendet (Höhne et al., 2019). Es stellte einen ideal präparierten Zahnstumpf dar, der sich in eine

Zahnreihe von zwei Zähnen eingliederte. Die dargestellte Zahnreihe umfasste den ideal präparierten Zahn 36 und die Nachbarzähne 35 und 37. Die ideale Präparation diente den Studenten als Anschauungsobjekt, um ihr Auge für eine korrekte Präparation zu schulen und konnte während der Präparation betrachtet werden. Der ideal präparierte Zahnstumpf konnte nicht nur aus dem Anschauungsmodell herausgenommen werden, sondern passte auch in das KaVo-Studienmodell.

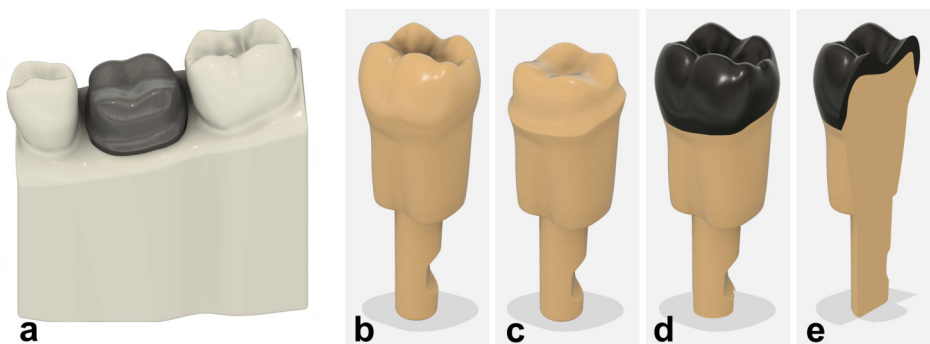


Abbildung 2 Darstellung der Druckzähne

- a) Anschauungsmodell
- b) Standardübungszahn
- c) Druckzahn mit idealer Präparation
- d) Zweisechichtiger Übungszahn mit integrierter Präparation
- e) Querschnitt des zweisechichtigen Übungszahns

2.2.2 Druck der Zähne

Nach dem CAD-Verfahren wurden die STL-Dateien der Druckzähne in das Programm PreForm 2.19.3 (Formlabs Inc., Somerville, Massachusetts, USA) als Wavefront OBJ-Datei importiert und für den 3D-Druck vorbereitet. Für die Herstellung wurde der Stereolithografie (SLA) 3D-Drucker Form2 (Formlabs Inc., Somerville, Massachusetts, USA, Abbildung 1A) genutzt. Die SLA beruht darauf, dass ein UV-Laser flüssiges Harz durch Photopolymerisation aushärtet. Es ist möglich, Harze mit den unterschiedlichsten Materialeigenschaften zu verwenden. Diese Technologie war bereits die Grundlage für die ersten 3D-Drucker weltweit (Formlabs Inc., 2020a). Das Material, das für die Druckzähne benutzt wurde, war ein funktionelles Harz. Dies ist ein photopolymer Resin namens Dental Model Resin (RS-F2-DMBE-02, Formlabs Inc., Somerville, Massachusetts, USA). Das Harz stammte aus der Kategorie der Dentalmodelle. Für den Druck wurde eine

Materialschichtdicke von 25 µm verwendet. 70 Zähne wurden innerhalb von vier Stunden und 45 Minuten auf einer Druckplattform hergestellt. Daraus ergab sich eine Produktionszeit pro Zahn von ungefähr vier Minuten. Wie in Abbildung 1A zu sehen ist, wurden sowohl Standardübungszähne als auch ideal präparierte Zahnstümpfe gedruckt. Die Krone aus dem schwarzen photopolymer Resin (RS-F2-GPBK-04) wurde auf dieselbe Art und Weise hergestellt. Deren Druckzeit betrug viereinhalb Minuten. Das Anschauungsmodell wurde aus weißem photopolymer Resin (RS-F2-GPWH-04) und der darin enthaltene präparierte Zahn aus grauem photopolymer Resin (RS-F2-GPGR-04) gedruckt. Die Produktionszeit betrug 30 Minuten für ein Anschauungsmodell und fünf Minuten für einen präparierten Zahn. Die gedruckten Objekte wurden nach der Herstellung mit 100% Isopropanol (VWR International, Radnor, Pennsylvania, USA) in einem dafür vorgesehenen Form Wash Reinigungsgerät (Formlabs Inc., Somerville, Massachusetts, USA) für 20 Minuten durch einen automatischen Waschzyklus gereinigt. Danach wurden die fertigen Übungszähne mit integrierter Präparation an der Luft getrocknet. Die Zähne wurden mit einer Stützstruktur gedruckt, aus der sie leicht zu lösen waren. Überschüsse wurden mit dem Skalpell entfernt.

2.2.3 Fertigstellung der Übungszähne mit integrierter Präparation

Um den Übungszahn mit integrierter Präparation zu vervollständigen, wurden die gedruckten Zahnstümpfe und die passende Krone mit flüssigem schwarzen photopolymer Resin (RS-F2-GPBK-04) verklebt. Dafür wurde eine Mischschale mit Lichtschutzabdeckung (Vivapad, ivoclar vivadent GmbH, Ellwangen, Deutschland) und ein feiner Einwegmicroapplikator benutzt. Das Resin wurde in das Vivapad appliziert, um es vor der vorzeitigen Lichtaushärtung zu schützen. Mittels des feinen Applikators wurde das Resin auf die Zahnkrone sowie auf den Zahnstumpf aufgetragen. Diese beiden Teile wurden passgenau aufeinandergesetzt (Abbildung 1A). Entstandene Resinüberstände konnten mit kleinen Schaumstoffpellets und einer Pinzette entfernt werden. Die verklebten Übungszähne wurden für 60 Minuten in dem Form Cure Aushärtegerät (Formlabs Inc., Somerville, Massachusetts, USA) ausgehärtet. 20 Übungszähne konnten auf dem Drehtisch mit gleichmäßigen Abständen für einen

Aushärtungsvorgang platziert werden. Der Nachhärtungsprozess fand bei 60°C statt. Für diesen Vorgang sind in dem Gerät 13 multi-direktionale LEDs eingebaut. Durch diese wird blaues Licht mit einer Wellenlänge von 405 nm erzeugt. Der Drehtisch ermöglicht, dass die Übungszähne während des Aushärtungsprogramms von allen Seiten mit Licht bestrahlt werden. Pro Minute dreht sich der Tisch einmal um 360° (Formlabs Inc., 2019). Die Herstellung der Übungszähne mit integrierter Präparation war nach diesem Vorgang abgeschlossen.

Für die Präparationsübung wurden 180 Standardübungszähne, 70 Übungszähne mit integrierter Präparation und 35 Anschauungsmodelle hergestellt. Insgesamt betrug die Zeit für die Fertigstellung eines Übungszahnes mit integrierter Präparation eine Minute. Die Materialkosten für einen fertigen Übungszahn mit integrierter Präparation betrugen 0,35 € und für das größere Anschauungsmodell 1,34 €. Die benötigte Ausstattung, um die Druckzähne zu fertigen, kostete im Jahr 2019 insgesamt 4.400 €.

2.3 Übungsseminar

Die Studie wurde von der Ethik-Kommission der Universität Würzburg geprüft und erhielt eine Unbedenklichkeitsbescheinigung (Genehmigungsdatum 03.12.2018). An der Studie mit den produzierten Druckzähnen durften Studenten aus dem vorklinischen Studienabschnitt teilnehmen. Dafür unterzeichneten die Studenten eine Einwilligung zur Freiwilligenteilnahme an dem Übungsseminar. Alle teilnehmenden Studenten hatten das erste Ausbildungsjahr erfolgreich bestanden und den Kursus der technischen Propädeutik (TPK) erfolgreich absolviert. Dadurch hatten alle die Möglichkeit, Erfahrungen mit dem Phantomkopf und den nötigen Präparationsinstrumenten zu sammeln. Insgesamt nahmen 35 Zahnmedizinische Studierende am Übungsseminar teil (21 Frauen und 14 Männer). Sie waren zwischen 19 und 34 Jahre alt, das Durchschnittsalter betrug 23 Jahre. Die Studenten wurden zufällig in zwei Gruppen eingeteilt. Jede Gruppe sollte innerhalb von drei Stunden insgesamt vier Druckzähne präparieren (Abbildung 3).

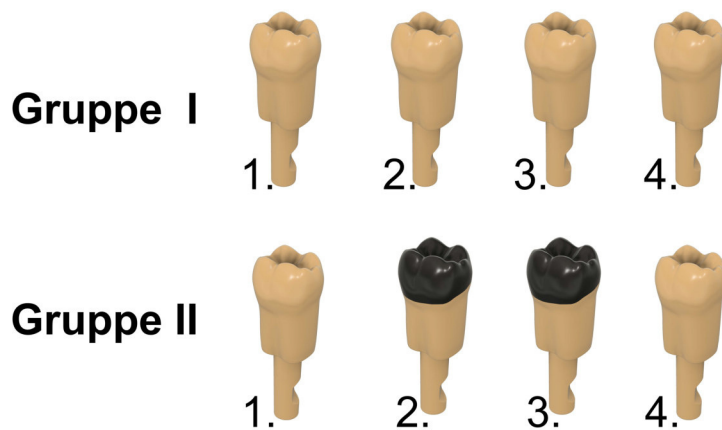


Abbildung 3 Ablauf des Übungsseminars

Dargestellt sind die Reihenfolge und die Art der Druckzähne, die von den Gruppen präpariert worden sind.

Gruppe I präparierte vier Standardübungsdrückzähne. Gruppe II präparierte als erstes einen normalen Standardübungsdrückzahn und daraufhin zwei Übungsdrückzähne mit integrierter Präparation. Der vierte Druckzahn war wiederum ein Standardübungsdrückzahn (Abbildung 3). Gruppe II sollte den zweiten und dritten Druckzahn so präparieren, dass keine schwarze Farbe mehr zu sehen war und der ideal präparierte braune Zahnstumpf zum Vorschein kam (Abbildung 4d). Für die Präparation benutzten die Studenten die ihnen zur Verfügung gestellten Phantomköpfe (DSE Kompakt, KaVo, Biberach an der Riß, Deutschland) und ihr vorklinisches Präparationsset (Komet, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland). Beide Gruppen hatten jeweils die 3D-Anschauungsmodelle zur Verfügung, um ihre Präparation während der Übung selbstständig zu überprüfen. Die Studenten erhielten während des Seminars kein weiteres Feedback zu ihrer Präparation. Die Druckzähne wurden in der Präparationsreihenfolge nummeriert und den einzelnen Phantomplatznummern zugeteilt.

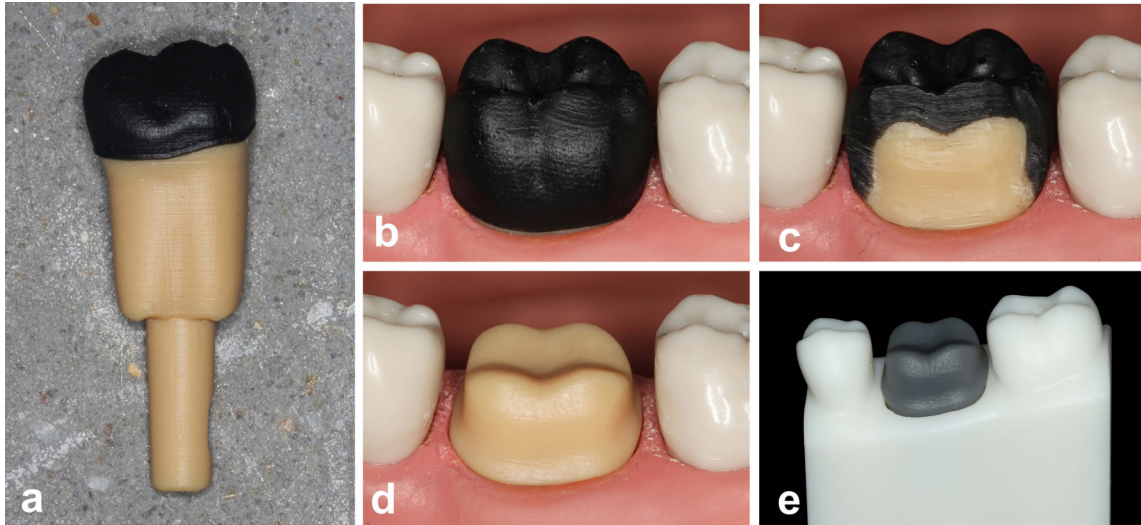


Abbildung 4 Präparationsstadien des Übungszahns

- a) Übungszahn mit integrierter Präparation außerhalb des Modells
- b) Übungszahn mit integrierter Präparation im Modell
- c) Vestibulär präparierter Übungszahn mit integrierter Präparation
- d) Ideal präparierter Übungszahn mit integrierter Präparation
- e) Anschauungsmodell mit herausnehmbarer Präparationsvorlage

2.4 Fragebogen

Es wurde ein digitaler Fragebogen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Lehre und Ausbildungsforschung (IMLA) der Universität Würzburg entwickelt. Der Fragebogen wurde mit EvaSys (Electric Paper Evaluationssysteme GmbH, Lüneburg, Deutschland) erstellt und ist im Anhang beigefügt (Kapitel 7.2). Der Musterfragebogen wurde bereits für vorherige Studien mit 3D-gedruckten Übungszähnen angewandt und jeweils den genauen Studieninhalten angepasst (Höhne, Dickhaut, et al., 2020; Höhne & Schmitter, 2019; Höhne et al., 2019). Nach erfolgtem Übungsseminar bekam jeder der 35 Studenten einen QR-Code als einmaligen Zugangsschlüssel für den Fragebogen. Damit auch die Studenten der Gruppe I die „Malen nach Zahlen“ Methode bewerten und am Fragebogen teilnehmen konnten, präparierten diese nach den vier Standardübungszähnen noch zwei Übungszähne mit integrierter Präparation. Die Studenten konnten sowohl die Übungszähne mit integrierter Präparation als auch die gedruckten Standardübungszähne bewerten. Dazu vergaben sie Schulnoten von 1 bis 6 (Note 1 (sehr gut); Note 2 (gut); Note 3 (befriedigend); Note 4 (ausreichend); Note 5 (mangelhaft); Note 6 (ungenügend)). Der Fragenkatalog bestand aus fünf skalierenden Frageblöcken

sowie einem offen gestellten Frageblock. Insgesamt beinhaltete der Katalog 11 Kreuzfragen und zwei offene Fragen.

Der erste Frageblock bezog sich auf die personenbezogenen Daten. Es wurde nach Alter, Geschlecht und einer zahntechnischen Ausbildung gefragt (Fragen 2.1 - 2.3).

Im darauffolgenden Abschnitt sollten die Studenten bewerten, ob der gedruckte Standardübungszahn eine genauso gute Präparationsmöglichkeit darstellte wie der KaVo-Modellzahn (Frage 3.1). Des Weiteren wurde bewertet, ob die Standardübungszähne dieselben fairen Prüfungsbedingungen lieferten wie die KaVo-Modellzähne (Frage 3.2). Zudem wurde die Handhabung der gedruckten Standardübungszähne mit denen von KaVo verglichen (Frage 3.3).

Im nächsten Abschnitt wurden die Eigenschaften der Übungszähne mit integrierter Präparation bewertet. Die Studenten vergaben Schulnoten für die farbliche Darstellung der Präparation (Frage 4.1). Als nächstes wurde eruiert, in wie weit die Studenten das Gefühl hatten, ihre Präparationsfähigkeiten mit den Übungszähnen mit integrierter Präparation verbessern zu können (Frage 4.2).

Der darauffolgende Frageblock bezog sich auf das Anschauungsmodell. Es wurde ermittelt, wie gut die ideale Präparation des Zahnes 36 im Modell zu erkennen war. Dafür sollte der farbliche Unterschied mitberücksichtigt werden (Frage 5.1). In der darauffolgenden Frage sollte die ideale Präparation bewertet werden (Frage 5.2). Zuletzt sollten die Studenten bewerten, in welchem Maße das Anschauungsmodell geeignet war, die eigene Präparation zu kontrollieren (Frage 5.3).

Darauf folgten Fragen zur Beurteilung des Lernprozesses mit den Übungszähnen mit integrierter Präparation. Die Studenten sollten beurteilen, ob die Übungszähne sie motiviert hätten, ihre Präparationsfähigkeiten zu verbessern (Frage 6.1). Darüber hinaus bewerteten die Studenten, ob sie ihre Fähigkeiten durch das Übungsseminar mit dem Druckzahn verbessern konnten (Frage 6.2). Die Studenten sollten angeben, wie wichtig es ihnen wäre, im weiteren Studienverlauf Übungen mit 3D-gedruckten Zähnen angeboten zu bekommen (Frage 6.3).

Zum Abschluss wurden zwei offene Fragen gestellt. Bei der ersten Frage sollten die Studenten angeben, was man an den Druckzähnen noch verbessern könnte (Frage 7.1). Bei der zweiten Frage wurden die Studenten gefragt, welche Vorteile die Druckzähne in der zahnärztlichen Ausbildung bieten würden (Frage 7.2).

2.5 Auswertung der Übungszähne

In Abbildung 1B wurde der Ablauf der Auswertung grafisch dargestellt. Für die Auswertung der präparierten Übungszähne wurden diese eingescannt und mit der idealen Präparationsform verglichen. Für eine qualitative Analyse sollte die absolute mittlere Abweichung ermittelt werden. Dafür wurde jedem Bildpunkt der Zahnkrone ein Abweichungswert zugeordnet. Die auszuwertende Oberfläche wurde in positive und negative Abweichungswerte unterteilt. Ein positiver beziehungsweise negativer Mittelwert, MW_{+}/MW_{-} , wurde gebildet. Dieser wurde dann in ein Verhältnis zu den Bildpunkten gesetzt, AMW_{+}/AMW_{-} . Aus der Summe der absoluten Beträge der AMW -Werten konnten die mittleren absoluten Abweichungswerte, $GMW_{(+/-)}$, gebildet werden.

2.5.1 Vermessung der präparierten Zähne

Zum Einscannen der präparierten Übungszähne diente der Extraoralscanner InEos X5 (Abbildung 1B, Scan). Als Software wurde InLab SW 18.0 (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, USA) verwendet. Die Zähne wurden in einen passenden zylinderförmigen Träger gesetzt, auch Modelltopf genannt. Für die Fixierung der einzelnen Zähne wurde der Hohlzylinder mit Füllmaterial Blue (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, USA) gefüllt. Diese Füllmasse bedeckte nur einen minimalen Abschnitt des Zahnstumpfes, der für die Verankerung im Zahnmodell diente. Jeder Zahnstumpf wurde einzeln eingescannt. Um die Messgenauigkeit zu verbessern, wurde die Zahnoberfläche mit einer dünnen Schicht Cercon eye Scanspray (DeguDent GmbH, Hanau, Deutschland) eingesprüht. Der Träger wurde mittig auf die magnetische Modellhalteplatte des Rotationsarms gesetzt. Es erfolgte eine rotierende Einzelzahnaufnahme mit einem Anstellwinkel von 65° . Diese Einstellung in der Software InLab erwies sich als optimal, da hiermit alle Flächen des Zahnes vollständig erfasst werden konnten und keine Scanartefakte auftraten. Das Programm scannte den

jeweiligen präparierten Zahn und errechnete mittels dieser Daten ein 3D-Modell. Diese wurden in Form von hochauflösenden STL-Dateien abgespeichert.

2.5.2 Überlagerung der Dateien

Die STL-Dateien wurden mit dem nicht präparierten Übungszahn, dem Referenzkörper, überlagert (Abbildung 1B, Überlagerung; Abbildung 2b). Dafür wurde GOM Inspect 2019 (GOM, Braunschweig, Deutschland) verwendet, eine Software zur Analyse von 3D-Messdaten. Zuerst wurde die STL-Datei des Referenzkörpers als CAD Körper in ein neues Projekt importiert. Daraufhin wurden die Zahnstümpfe, die von den Studenten präpariert wurden, als STL-Dateien in das Projekt eingefügt. Diese stellten die Ist-Elemente dar. Die Importparameter wurden festgelegt. Als Einheit wurde *Millimeter* und als Elementtyp *Netz* ausgewählt. Um die Präparation für den anschließenden Vergleich überlagern zu können, mussten die gescannten Zähne im 3D-Koordinatensystem gleich ausgerichtet sein. Über die Programmfunktion *Vorausrichtung* wurde das Ist-Element nach dem Referenzkörper ausgerichtet. Um eine möglichst genaue Überlagerung zu erlangen, wurde eine *lange Suchzeit* eingestellt. Es wurden die Bildpunkte des Ist-Elements gesucht, die mit denen des Referenzkörpers übereinstimmten. Dadurch konnte das Ist-Element mit diesem überlagert werden. Bei zu großen Abweichungswerten wurde die weitere Funktion *Lokales Best-Fit*, die unter *Hauptausrichtung* zu finden ist, angewandt. Dabei wurden nur die Abschnitte des Ist-Elements selektiert, die nicht präpariert worden sind. Die Abweichungswerte konnten somit reduziert werden. Waren die Abweichungswerte immer noch zu groß, konnte der Zahnstumpf mittels der *3-Punkt-Ausrichtung* ausgerichtet werden. Es wurden drei Punkte auf dem Referenzkörper ausgewählt und dazu drei dazugehörige auf dem Ist-Element. Daraufhin wurde erneut die *Lokales Best-Fit* Funktion angewandt und die Elemente wurden anhand dieser Punkte zueinander ausgerichtet.

2.5.3 Berechnung der Abweichung von Ist- zu Soll-Element

Die ursprüngliche STL-Datei der ideal präparierten Zahnkrone wurde als CAD-Körper in GOM Inspect eingefügt und stellte das Soll-Element dar. Die STL-Datei umfasste alle Kronenabschnitte. Diese bestand aus der mesialen, distalen, vestibulären, lingualen und okklusalen Fläche sowie aus der marginalen Präparationsgrenze (Abbildung 6a). Die ideal präparierte Zahnkrone bestand somit aus sechs einzelnen Feldern, sogenannten Patches. Die präparierten Zahnstümpfe wurden darauf mit der ideal präparierten Zahnkrone verglichen. Über den Menüpunkt *Inspektion* konnte der Unterpunkt *CAD-Vergleich* ausgewählt werden. Dann wurden mit der Funktion *Flächenvergleich auf CAD* die beiden Oberflächen der präparierten Zähne verglichen. Als Vergleichsparameter wurde ein maximaler Abstand von 2,00 mm ausgewählt. Bei den Parametern wurden der Winkel der *Maximalen Normalenabweichung* von $80,00^\circ$ und der *Maximale Öffnungswinkel* von $60,00^\circ$ zwischen den Ist- und Soll-Daten eingestellt. Die Software berechnete den senkrechten Abstand von allen Bildpunkten des Ist-Elementes zu den Bildpunkten des Soll-Elementes.

In Abbildung 5 ist die Berechnung der Abweichungswerte mit einem 2D-Beispielgraphen dargestellt. Die rote Linie stellt die Kontur der idealen Präparation dar, die blaue einen präparierten Beispielzahn. Der jeweilige senkrechte Abstand eines blauen Punktes auf den dazugehörigen roten Punkt ergibt die Abweichung zur idealen Präparation. Zu jedem dieser Punkte wurde ein Abweichungswert ermittelt. Hatte der Student zu wenig Zahnhartsubstanz abgetragen, ergab sich ein positiver Abweichungswert. Dieser blaue Punkt liegt außerhalb der roten Kontur. Analog dazu ergab sich ein negativer Abweichungswert, sobald der Student zu viel abgetragen hatte. Der dazugehörige blaue Punkt liegt innerhalb der Kontur. Bei absolut korrekter Präparation liegt der blaue Punkt auf der roten Präparationsform. Der dazugehörige Abweichungswert ist gleich null.

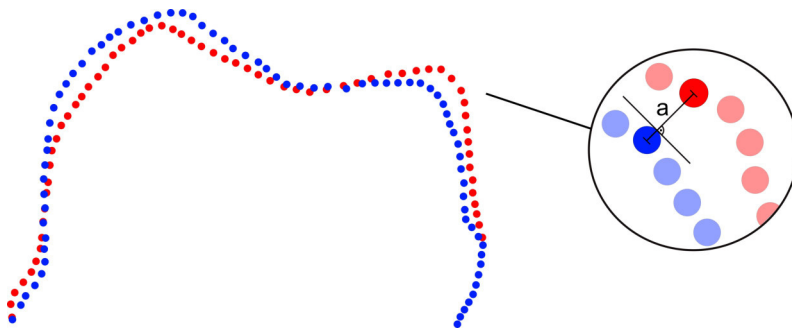


Abbildung 5 Beispielgraph zur Berechnung der Abweichung einer Präparation von der idealen Präparation

Die blau gepunktete Linie stellt einen präparierten Druckzahn und die rot gepunktete Linie die Kontur der idealen Präparation dar. Die Abweichung (a ; (mm)) ergibt sich aus dem Betrag der kürzesten Strecke zwischen den Mittelpunkten der korrelierenden Bildpunkte. Diese wurde mittels der Orthogonalen zur Tangente konstruiert.

Diese positiven und negativen Abweichungswerte wurden in Form eines Farbplots auf die sechs einzelnen Oberflächen des Soll-Elements projiziert (Abbildung 6). Die Farblegende reichte von grün über blau bis rot. Die grünen Farbtöne visualisierten, dass zwischen Soll-Element und Ist-Element nahezu keine Abweichung vorlag. Bereiche mit zu hohem Substanzabtrag wurden von GOM Inspect in blauen Farbtönen markiert. Flächen mit zu geringem Substanzabtrag wurden in Rottönen dargestellt.

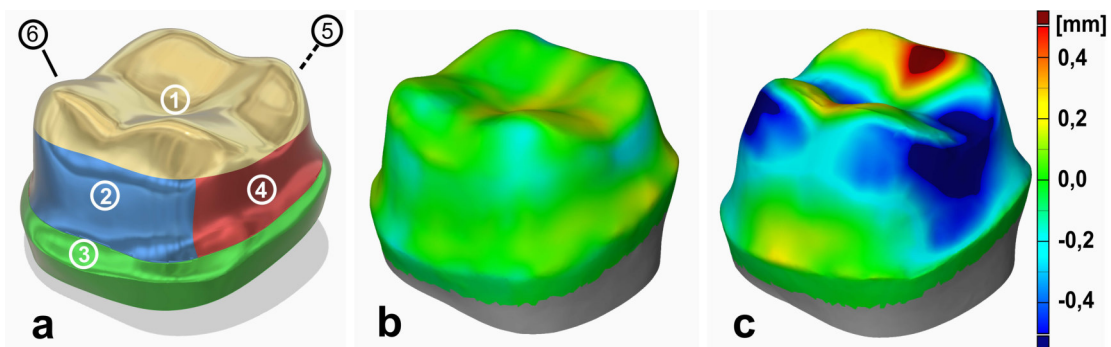


Abbildung 6 Auswertung der Präparationen

- Die Aufteilung der ideal präparierten Zahnkrone in sechs Einzelflächen (okklusal (1), vestibulär (2), marginale Präparationsgrenze (3), distal (4), lingual (5), mesial (6))
- Ein Zahnstumpf, der von einem Studenten sehr gut präpariert wurde (grün)
- Ein Zahnstumpf, an dem größtenteils zu viel abgetragen wurde (blau)

2.5.4 Berechnung der mittleren Abweichungswerte

Jedem Bildpunkt auf der ideal präparierten Zahnkrone konnte ein Abweichungswert zugeordnet werden. Für die Bewertung der Präparation der Studenten wurde zuerst das arithmetische Mittel der Abweichungen gebildet (= Summe der ausgewählten Werte geteilt durch die Anzahl, MW-Werte). Diese wurden separat für die positiven und negativen Abweichungen, MW_+/MW_- , berechnet.

Mit Hilfe von GOM Inspect wurden über die Programmfunktion *Nach Wert selektieren* definierte Wertebereiche auf der jeweiligen Zahnoberfläche selektiert. Es wurde ein Wertebereich für die positiven Abweichungswerte ($x > 0$), für die negativen Abweichungswerte ($x < 0$) und für übereinstimmende Punkte ($x = 0$) erstellt. Die selektierten Wertebereiche erschienen grau hinterlegt. Die Berechnung der positiven und negativen Mittelwerte wurde sowohl für jede einzelne Fläche der ideal präparierten Zahnkrone als auch für die gesamte Oberfläche durchgeführt (Abbildung 7).

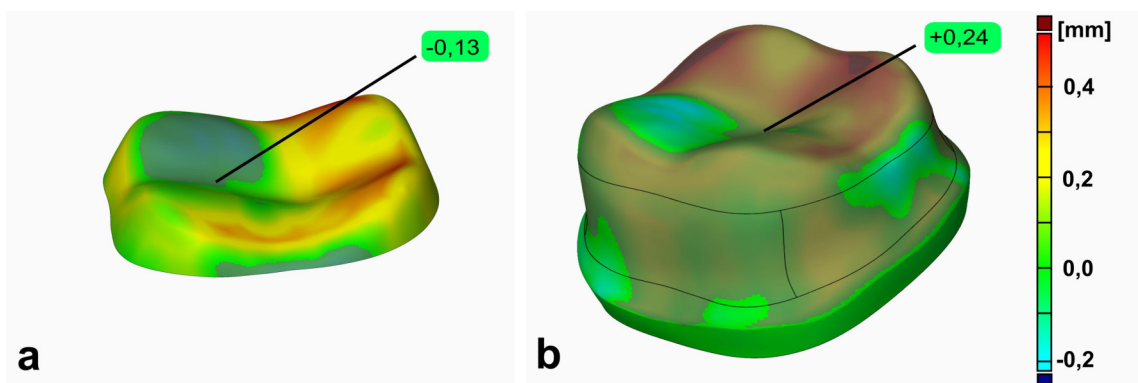


Abbildung 7 Ermittlung der negativen bzw. positiven mittleren Abweichungswerte

- a) Selektion des negativen Wertebereichs ($x < 0$) auf der okklusalen Zahnoberfläche und Berechnung des mittleren negativen Abweichungswerts ($MW_- = -0,13$) durch GOM Inspect
- b) Selektion des positiven Wertebereichs ($x > 0$) auf der gesamten Zahnoberfläche und Berechnung des mittleren positiven Abweichungswerts ($MW_+ = +0,24$) durch GOM Inspect

2.5.5 Berechnung der mittleren flächenbezogenen Abweichungswerte

Um die Präparation der Studenten genauer auswerten zu können, mussten die ermittelten Abweichungswerte (MW_+/MW_-) auf die Anzahl der Bildpunkte bezogen werden. So sollte dargestellt werden, in welchem Verhältnis zu den Bildpunkten zu viel oder zu wenig abgetragen wurde.

Für das in Abbildung 5 aufgeführte 2D-Beispiel bedeutet dies, dass die Anzahl der blauen Bildpunkte ermittelt werden musste, welche außerhalb ($x > 0$; P_1), innerhalb ($x < 0$; P_2) oder auf ($x = 0$; P_3) der roten Linie lagen. Anschließend wurde auch die gesamte Anzahl der Punkte ermittelt (P_{gesamt}). Dieses Prinzip wurde in 3D für die Zahnkrone angewandt. GOM Inspect ermittelte für die gesamte auszuwertende Zahnkrone insgesamt 84037 Bildpunkte. Es ergab sich, dass kein Bildpunkt der Präparation der Studenten eine Abweichung von 0,000 mm zur idealen Präparation hatte. Somit galt: $P_3 = 0$. Mit den ermittelten Werten konnte das Verhältnis der jeweiligen Wertebereiche P_1 und P_2 zu P_{gesamt} berechnet werden. Dies wurde wiederum genutzt, um die positiven und negativen Mittelwerte in Bezug auf die Fläche, AMW_+/AMW_- , zu berechnen (Formel 1).

Formel 1: Positiver und negativer Mittelwert in Bezug auf die Fläche

$$AMW_+ = MW_+ \times \frac{P_1}{P_{gesamt}}$$

$$AMW_- = MW_- \times \frac{P_2}{P_{gesamt}}$$

2.5.6 Berechnung der mittleren absoluten Abweichungswerte

Zur qualitativen Bewertung der Übungszähne wurde die mittlere absolute Abweichung berechnet. Die mittlere absolute Abweichung ist als Durchschnitt der absoluten Abweichung von einem zentralen Punkt definiert, in diesem Fall von der idealen Präparationsform ($GMW_{(+/-)} = 0$). Der Wert gibt an, inwieweit eine Präparation der idealen Präparationsform ähnelt. Dieser setzt sich aus den Beträgen der flächenbezogenen positiven und negativen Mittelwerte zusammen, AMW_+/AMW_- (Formel 2). Je kleiner der $GMW_{(+/-)}$ -Wert, desto mehr gleicht der präparierte Übungszahn der idealen Präparationsform. Wäre der $GMW_{(+/-)}$ -Wert gleich Null, hätte der Student ideal präpariert.

Formel 2: Mittlere absolute Abweichung

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

Eine direkte Bestimmung des Mittelwerts mit Hilfe von GOM Inspect war nicht möglich, da dies zu verfälschten Präparationsergebnissen geführt hätte. Bei der Berechnung des Mittelwertes durch GOM Inspect würden sich positive und negative Abweichungswerte gegenseitig aufheben. So ist es nicht möglich, die Übungszähne qualitativ zu bewerten und alle falsch präparierten Übungszähne zu erkennen. Denn sowohl die positive als auch die negative Abweichung von der Zielpräparation stellen Fehler des Studenten dar, welche sich nicht gegenseitig aufheben. Für die mittlere absolute Abweichung müssen die absoluten Beträge der AMW-Werte verwendet werden. Die Beträge müssen addiert werden, um die mittlere absolute Abweichung von der idealen Präparation zu erhalten. Auf diese Weise wurde der $GMW_{(+/-)}$ -Wert (Formel 2) ermittelt. Um einen Lerneffekt zu untersuchen, konnte der absolute Mittelwert, $GMW_{(+/-)}$, der einzelnen Zähne verglichen werden.

Im Anhang (Kapitel 7.3) wurde ein Fallbeispiel beigefügt, welches die Analysewerte detailliert und grafisch erklärt.

2.5.7 Weiterverarbeitung der Inspektionswerte

Die erhobenen Werte wurden aus GOM Inspect als comma separated values (CSV) Datei exportiert. Diese Daten wurden mit dem CSV Editor (v2.5.2a 2017, Sam Francke) und dem Programm Notepad++ (v7.8.1, Don Ho, Paris, Frankreich) geordnet. Der Datensatz wurde in Excel importiert (Excel, Office 365 MSO 64-Bit).

2.6 Statistik

Für die Auswertung der Ergebnisse der Studie wurden das Statistikprogramm SPSS (SPSS 25, IBM Corp., NY, USA) und das Tabellenkalkulationsprogramm Excel (Excel, Office 365 MSO 64-Bit) verwendet.

2.6.1 Auswertung des Fragebogens

Die Ergebnisse der ordinal skalierten Fragen wurde in Abbildung 8 in einem gestapelten Säulendiagramm dargestellt. Die Notenverteilung wurde prozentual angegeben und deren Mittelwerte berechnet. Die Reliabilität des Fragebogens wurde mit dem Cronbachschen Alpha überprüft. Dieses „ist ein Maß für die interne Konsistenz der Antworten auf die zur Einstellungsmessung verwendeten Items“ (Krebs & Menold, 2019, s. 495). Der Alpha Wert ist normiert auf den Bereich von 0 (keine Übereinstimmung) bis 1 (vollständige Übereinstimmung). Ab einem Alpha Wert von 0,8 wird die interne Konsistenz als gut bewertet (Jacob, Heinz, Décieux, & Eirimbter, 2011, s. 40). Für den vorliegenden Fragebogen ergab sich ein Cronbachsches Alpha von 0,87.

2.6.2 Auswertung der präparierten Zähne

Die Ergebnisse der metrischen Analyse der präparierten Zähne wurden in Form von Mittelwerten und den dazugehörigen Standardabweichungen sowie Medianwerten angegeben. Für die Auswertung der präparierten Zähne wurden die mittleren absoluten Abweichungen gebildet. Deren Differenzen wurden für einen Vergleich zwischen den Zähnen gebildet. Die Differenzen der jeweiligen Gruppe wurden mit denen der anderen Gruppe verglichen und auf Unterschiedlichkeit geprüft.

Für die Analyse der Stichproben auf Unterschiedlichkeit wurde der sogenannte U-Test von Mann und Whitney verwendet. Dieser Rangsummentest kann für unabhängige Stichproben angewandt werden. Zudem durfte die Stichprobenanzahl ($n = n_1 + n_2$) voneinander variieren ($n_1 = 15$; $n_2 = 13$). Mit dem nichtparametrischen U-Test können nicht normalverteilte Daten verglichen werden. Dieser Test stellt eine Alternative zu dem t-Test für zwei unverbundene Stichproben dar (Weiß, 2019, s. 149 - 151). Der Kolmogorow-Smirnow Test ergab eine freie Verteilung der Abweichungsdaten. Daher wurde für die Analyse

der nichtparametrische U-Test angewandt. Die Nullhypothese, die mittleren Ränge der Stichproben seien gleich, sollte überprüft werden. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt.

2.6.3 Grafische Darstellung

Um die Ergebnisse der Auswertung der präparierten Zähne zu veranschaulichen, wurden diese auf verschiedene Art und Weise grafisch dargestellt. Die Mittelwerte der positiven und negativen mittleren Abweichungen von der idealen Präparation wurden in Form von Säulendiagrammen (AMW₊, blau; AMW₋, orange) dargestellt. Die Standardabweichung wurde der Übersicht wegen nur in die jeweils positive beziehungsweise negative Richtung angezeigt. Da die jeweiligen positiven und negativen mittleren Abweichungen sich auf ein und denselben Zahn beziehen, wurden diese übereinander gestapelten und mittels einer horizontalen Achse durch den Wert Null getrennt. So konnten die Präparationsergebnisse detailliert verglichen werden. Auf die gleiche Art und Weise wurden die GMW_(+/-)-Werte, bei denen es sich nur um positive Werte handelt, veranschaulicht (Gruppe I grau, Gruppe II magenta).

Zum grafischen Vergleich des Lernerfolges der Gruppen wurden die Differenzen der GMW_(+/-)-Werte in Box-Whisker-Plot Diagrammen dargestellt (Gruppe I blau, Gruppe II magenta). Eine Erläuterung des Box-Whisker-Plot befindet sich im Anhang (Kapitel 7.4).

3 Ergebnisse

Im Folgenden wurden die Ergebnisse des Fragebogens und der Auswertung der einzelnen Präparationen dargestellt.

3.1 Fragebogen

Bei der Auswertung des Fragebogens ergab sich eine Durchschnittsnote von gut (\bar{x} 2,0 \pm 0,22). Sowohl die männlichen Studenten (\bar{x} 2,2 \pm 0,23) als auch die weiblichen Studenten (\bar{x} 1,9 \pm 0,10) bewerteten die Druckzähne insgesamt mit der Note gut. Die Ergebnisse des Fragebogens wurden für jede Frage in Form eines gestapelten Säulendiagramms dargestellt (Abbildung 8).

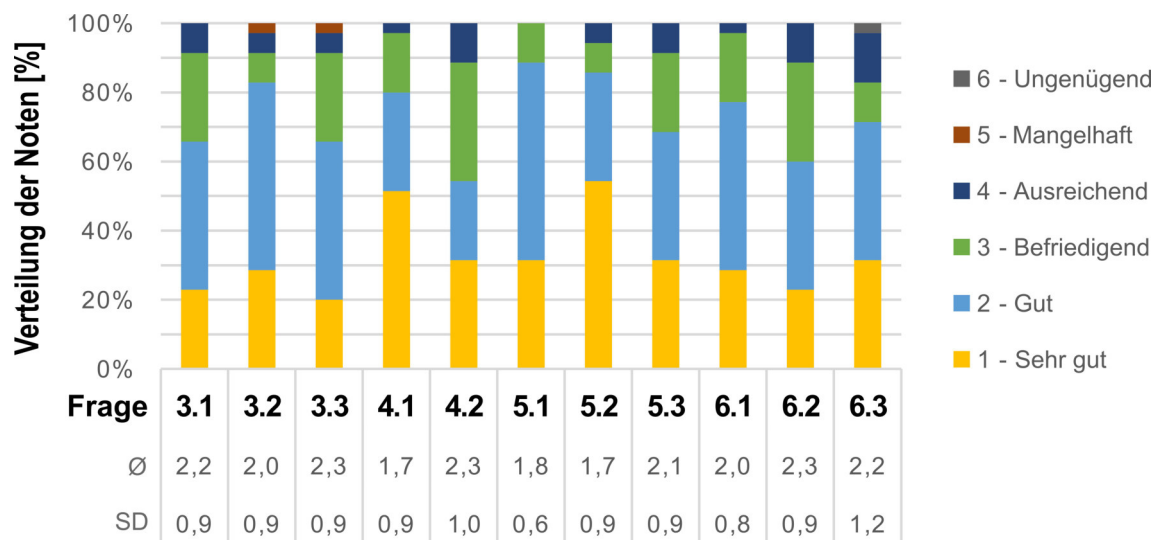


Abbildung 8 Auswertung des Fragebogens

Die y-Achse gibt die prozentuale Vergabe der Noten an. Die x-Achse reiht die gestellten Fragen auf. Darunter wurden die vergebenen Durchschnittsnoten (\bar{x}) sowie die dazugehörigen Standardabweichungen der einzelnen Fragen angezeigt. Die Legende ordnet der Farbskala Schulnoten zu.

Die skalierenden Frageblöcke wurden von allen 35 Studenten vollständig ausgefüllt. Die erste offene Frage, Frage 7.1, wurde von 77,1% der Befragten wahrgenommen. Die zweite, Frage 7.2, wurde von 71,4% der Teilnehmer beantwortet. Die Antworten wurden ausgewertet, ähnliche Antwortsätze zusammengefasst und gezählt.

3.1.1 Vergleich des gedruckten Standardübungszahns mit dem KaVo-Modellzahn

Der erste Frageblock zielte auf einen Vergleich des gedruckten Standardübungszahns mit dem klassischen KaVo-Modellzahn ab, den die Studenten im vorklinischen Studienabschnitt für Übungen und Prüfungen am Phantomkopf präparieren. Somit hatten alle teilnehmenden Studenten Erfahrungen mit Präparationen an KaVo-Modellzähnen. Die Frage 3.1, inwieweit der gedruckte Standardübungszahn die gleiche Übungsmöglichkeit darstellte wie der KaVo-Modellzahn, wurde mit gut ($\bar{x} 2,2 \pm 0,89$) bewertet. Die Frage 3.2, ob der gedruckte Standardübungszahn gleiche faire Prüfungsbedingungen bot, wurde im Schnitt mit gut ($\bar{x} 2,0 \pm 0,93$) angekreuzt. Die Handhabung der gedruckten Standardübungszähne im Vergleich zu den KaVo-Modellzähnen wurde ebenfalls mit gut eingestuft ($\bar{x} 2,3 \pm 0,94$; Frage 3.3). Zusammenfassend erhielt der gedruckte Standardübungszahn im Vergleich zu den KaVo-Modellzähnen die Durchschnittsnote gut ($\bar{x} 2,2 \pm 0,11$).

3.1.2 Bewertung des Übungszahns mit integrierter Präparation

In diesem Abschnitt wurde eruiert, wie die Studenten den Übungszahn mit integrierter Präparation bewerteten. Hierfür präparierte Gruppe I zusätzlich zu den vier gedruckten Standardübungszähnen zwei Übungszähne mit integrierter Präparation. Somit konnten alle Studienteilnehmer den zweischichtigen Druckzahn bewerten. Die integrierte Präparation, die beim Abtragen der schwarzen Kunststoffkrone zum Vorschein kam, war von den Studenten gut zu erkennen ($\bar{x} 1,7 \pm 0,85$; Frage 4.1). Die Funktion der integrierten Präparation sollte in Frage 4.2 bewertet werden. Die Teilnehmer gaben an, dass sie durch die visuelle Präparationsvorgabe ein Gefühl für die richtige, beziehungsweise ideale Vollgusskronenpräparation bekamen. Sie bewerteten diese Fragestellung mit der Note gut ($\bar{x} 2,3 \pm 1,02$). Somit erhielt der hergestellte Übungszahn mit integrierter Präparation die Gesamtnote gut ($\bar{x} 2,0 \pm 0,27$).

3.1.3 Bewertung der Eigenschaften des 3D-Anschauungsmodells

Das 3D-Anschauungsmodell (Abbildung 4e), das die Studenten durch das Übungsseminar begleitete, sollte im folgenden Frageblock bewertet werden. Die farbliche Gestaltung dieses Modells wurde in Frage 5.1 bewertet. Die Studenten

bewerteten den farblichen Kontrast des herausnehmbaren präparierten Zahnstumpfes zu dem Zahnmodell mit gut (\bar{x} 1,8 \pm 0,62). Die Studenten bestätigten, dass die dargestellte Präparation für eine Vollgusskrone eine ideale Präparation verkörperte (Frage 5.2). Diese zweite Frage des Fragekatalogs erhielt die Note gut (\bar{x} 1,7 \pm 0,86). Die weitere wichtige Kontrollfunktion des Anschauungsmodells, das es den Studenten ermöglichte, ihre eigene Präparation während des Übungsseminars zu überprüfen, wurde ebenso mit gut (\bar{x} 2,1 \pm 0,94) bewertet (Frage 5.3). Zusammenfassend wurde das Anschauungsmodell für gut (\bar{x} 1,8 \pm 0,18) befunden.

3.1.4 Bewertung des Lernprozesses

Die Studenten sollten abschließend einschätzen, wie sehr der Übungszahn mit integrierter Präparation ihren Lernprozess für die Präparation einer Vollkrone beeinflusste. Die Frage 6.1, ob der Druckzahn in ihnen Enthusiasmus geweckt hätte, ihre Präparationsfähigkeiten zu verbessern, bewerteten sie mit der Note gut (\bar{x} 2,0 \pm 0,77). Die Teilnehmer gaben an, dass die integrierte Präparation in den Übungszähnen ihren Lernprozess positiv beeinflusste (\bar{x} 2,3 \pm 0,94; Frage 6.2). Dass die gedruckten Zähne vermehrt in das zahnmedizinische Studium eingesetzt werden sollten (Frage 6.3), wurde befürwortet. Diese Frage erhielt im Schnitt die Note gut (\bar{x} 2,2 \pm 1,19). Der Lernprozess wurde insgesamt als gut bewertet (\bar{x} 2,2 \pm 0,13).

3.1.5 Verbesserungsvorschläge und Kritikpunkte

Die Antworten auf Frage 7.1 wurden thematisch sortiert. Die Studenten hatten verschiedene Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge. Der Hauptkritikpunkt war die Härte der Druckzähne. Die Studenten wünschten sich einen härteren Kunststoff für die Herstellung der Zähne. Die Studenten fanden den verwendeten Kunststoff weicher als das Material der gewohnten KaVo-Modellzähne (n = 15). Das Präparieren würde dadurch erschwert. Es würden vermehrt Dellen auftreten, die man nicht wieder ausbessern könnte (n = 2). Das Material der Druckzähne würde nicht dem natürlichen Zahnschmelz ähneln (n = 1). Es wurde zudem vorgeschlagen, die schwarze Krone farblich anders, beispielsweise aus einem helleren Material, herzustellen (n = 10). Durch den höheren Farbkontrast könnte man während der Präparation feinere Konturen auf der Zahnoberfläche erkennen

(n = 4). Die okklusale Fläche war für einen Studenten aufgrund des teils reflektierenden Lichts nicht erkennbar. Das Separieren empfand ein Student durch die dunklere Farbgebung schwieriger. Einige Studenten kritisierten, dass beim Abtragen der letzten schwarzen Kunststoffschicht, kurz vor dem Erreichen der idealen Präparation, diese Schicht abblätterte (n = 7). Desweiteren schlug ein Student vor, in den Druckzahn eine weitere Schicht zu integrieren. Diese würde dem Studenten erscheinen, sobald er zu viel Substanz abgetragen hätte.

3.1.6 Vorteile des Druckzahns im Studium

In der letzten Frage sollten die Studenten beschreiben, welche Vorteile sie in den Druckzähnen sahen. Dafür stand ihnen ein freies Textfeld zur Verfügung. Als größten Vorteil sahen die Studenten die geringen Kosten des Druckzahnes (n = 12). Ein Student erwähnte dabei die dagegen sehr hohen Kosten für das Material und Instrumentarium, welches für das Studium der Zahnmedizin benötigt wird. Durch die geringeren Kosten im Vergleich zu KaVo-Modellzähnen könne man laut einiger Studenten mehr Zähne präparieren (n = 5). Die integrierte Präparation wurde von den Studenten für gut empfunden. Die Studenten gaben an, dass ihnen das Präparieren leichter fiel (n = 14), da ihnen die ideale Präparation vorgegeben (n = 7), der nötige Substanzabtrag verdeutlicht (n = 6) und der Präparationswinkel mit einer Konizität von drei Grad veranschaulicht wurde (n = 1). Es wurde angegeben, dass die enthaltene Präparation während des Übens eine gute Kontrollmöglichkeit darstellte und der Lernerfolg überprüft werden konnte (n = 5). Die Anwendungsmöglichkeiten der Druckzähne seien vielfältig (n = 1) und sie würden realitätsnahe Übungen ermöglichen (n = 2).

3.2 Ergebnisse der präparierten Zähne

Die Präparation von Zahn 1 zeigte das Können der Studenten zu Beginn der Präparationsübung. Bei der Auswertung der folgenden Präparationen wurden diese mit Zahn 1 verglichen. Bei dem Vergleich der Differenzen von Zahn 1 und Zahn 3 mit den Differenzen von Zahn 1 und Zahn 4 ergaben sich signifikante Unterschiede.

Für die Auswertung wurden die flächenbezogenen negativen und positiven Abweichungswerte, AMW+/AMW-, für Zahn 1 bis Zahn 4 je Gruppe betrachtet. Es

wurde für jede Fläche der Mittelwert sowie die Standardabweichung von AMW₊ und AMW₋ gebildet. Mit den AMW-Werten wurden die mittleren absoluten Abweichungen, GMW_(+/-)-Werte, für die Flächen errechnet (Formel 2). Sowohl die AMW-Werte als auch die GMW_(+/-)-Werte wurden grafisch veranschaulicht.

Im Folgenden werden die Ergebnisse detailliert dargestellt, dabei wird der Übersichtlichkeit wegen nur auf die gesamte Zahnoberfläche eingegangen. Die Ergebnisse der einzelnen Teilflächen sind im Anhang zu finden (Kapitel 7.5 - 7.7).

3.2.1 Abweichungswerte der Gesamtfläche

Die Ergebnisse der AMW- und GMW_(+/-)-Werte für die gesamte Zahnoberfläche werden im Folgenden beschrieben, in Abbildung 9 veranschaulicht und in Tabelle 1 aufgeführt.

Gruppe I

Die Studenten der Gruppe I trugen bei dem ersten Präparationsversuch im Durchschnitt $0,18 \text{ mm} \pm 0,11$ (AMW₋) zu viel Zahnhartsubstanz ab. Sie trugen an Zahn 1 im Mittel $0,1 \text{ mm} \pm 0,1$ (AMW₊) zu wenig ab. Es ergab sich ein GMW_(+/-)-Wert von $0,19 \text{ mm} \pm 0,11$. An Zahn 2 wurde im Durchschnitt $0,02 \text{ mm} \pm 0,05$ zu wenig und $0,15 \text{ mm} \pm 0,11$ zu viel abgetragen. Es ergab sich ein GMW_(+/-)-Wert von $0,17 \text{ mm} \pm 0,11$. Der dritte Zahn wurde im Mittel um $0,07 \text{ mm} \pm 0,06$ (AMW₋) zu viel präpariert. Der vorherige AMW₊-Wert fiel auf $0,16 \text{ mm} \pm 0,11$. Zusammenfassend ergab sich ein GMW_(+/-)-Wert für Zahn 3 von $0,23 \text{ mm} \pm 0,06$. Der vierte Zahn wurde im Mittel um $0,08 \text{ mm} \pm 0,07$ (AMW₋) zu viel präpariert. Der AMW₊-Wert fiel weiter auf $0,18 \text{ mm} \pm 0,12$. Es ergab sich ein GMW_(+/-)-Wert von $0,26 \text{ mm} \pm 0,05$.

Gruppe II

Gruppe II präparierte beim ersten Zahn im Mittel $0,12 \text{ mm} \pm 0,09$ (AMW₋) zu viel und $0,14 \text{ mm} \pm 0,07$ (AMW₊) zu wenig ab. Somit ergab sich ein GMW_(+/-)-Wert von $0,26 \text{ mm} \pm 0,06$. An Zahn 2 wurde im Durchschnitt $0,13 \text{ mm} \pm 0,09$ zu wenig und $0,12 \text{ mm} \pm 0,10$ zu viel abgetragen. Es ergab sich ein GMW_(+/-)-Wert von $0,25 \text{ mm} \pm 0,07$. Beim dritten Zahn sank der AMW₋ auf $0,08 \text{ mm} \pm 0,07$, der AMW₊

blieb nahezu unverändert ($AMW_+ = 0,15 \text{ mm} \pm 0,06$). Es ergab sich ein $GMW_{(+/-)}$ -Wert von $0,23 \text{ mm} \pm 0,06$. Beim vierten Zahn sank der AMW_- auf $0,07 \text{ mm} \pm 0,06$, der AMW_+ veränderte sich nicht ($AMW_+ = 0,15 \text{ mm} \pm 0,08$). Es ergab sich ein $GMW_{(+/-)}$ -Wert von $0,23 \text{ mm} \pm 0,05$.

Tabelle 1 Abweichungen der Gesamtfläche von der idealen Präparation von Zahn 1 bis 4 der Gruppen I und II

Die Mittelwerte und die Standardabweichungen der AMW -Werte der beiden Gruppen (I/II) wurden dargestellt. Zusammenfassend wurden die $GMW_{(+/-)}$ -Werte aufgeführt. Die Einheiten sind in Millimeter.

			AMW₊	AMW₋	GMW_(+/-)
Gruppe I	Zahn	1	0,1 ± 0,1	-0,18 ± 0,11	0,19 ± 0,11
		2	0,02 ± 0,05	-0,15 ± 0,11	0,17 ± 0,11
		3	0,16 ± 0,11	-0,07 ± 0,06	0,23 ± 0,06
		4	0,18 ± 0,12	-0,08 ± 0,07	0,26 ± 0,05
Gruppe II	Zahn	1	0,14 ± 0,07	-0,12 ± 0,09	0,26 ± 0,06
		2	0,13 ± 0,09	-0,12 ± 0,10	0,25 ± 0,07
		3	0,15 ± 0,06	-0,08 ± 0,07	0,23 ± 0,06
		4	0,15 ± 0,08	-0,07 ± 0,06	0,23 ± 0,05

3.2.2 Ermittlung eines Lernerfolges

Um einen möglichen Lernerfolg zu ermitteln, wurden die mittleren absoluten Abweichungswerte, $GMW_{(+/-)}$ -Werte, zur idealen Präparation von Zahn 1 und Zahn 4 genauer betrachtet. Der erste Präparationsversuch sollte mit dem letzten, welcher nach den unterschiedlichen Präparationsübungen stattfand, verglichen werden. Dafür wurde die Differenz der beiden $GMW_{(+/-)}$ -Werte der jeweiligen Gruppen gebildet (Formel 3) und anschließend untereinander verglichen. War die Differenz positiv, bedeutete dies, dass sich die Gruppe verschlechterte. War die Differenz negativ, bedeutete dies eine Verbesserung der Gruppe.

Formel 3: Differenz der $GMW_{(+/-)}$ -Werte von Zahn 1 und Zahn 4

$$GMW_{(+/-)4} - GMW_{(+/-)1}$$

3.2.2.1 Ergebnisse des Vergleichs von Zahn 1 und Zahn 4

Abbildung 9 zeigt die zu vergleichenden Ergebnisse der Gesamtfläche, mit denen die Differenzen berechnet wurden. Abbildung 9a zeigt die AMW -Werte der ausgewählten Zähne. Abbildung 9b zeigt die ermittelten $GMW_{(+/-)}$ -Werte aus

3 Ergebnisse

denen die Differenzen (Formel 3) berechnet wurden. Die grafisch dargestellten Ergebnisse sind in Tabelle 1 zu finden. Die Graphen der Teilflächen wurden im Anhang aufgeführt (Kapitel 7.6).

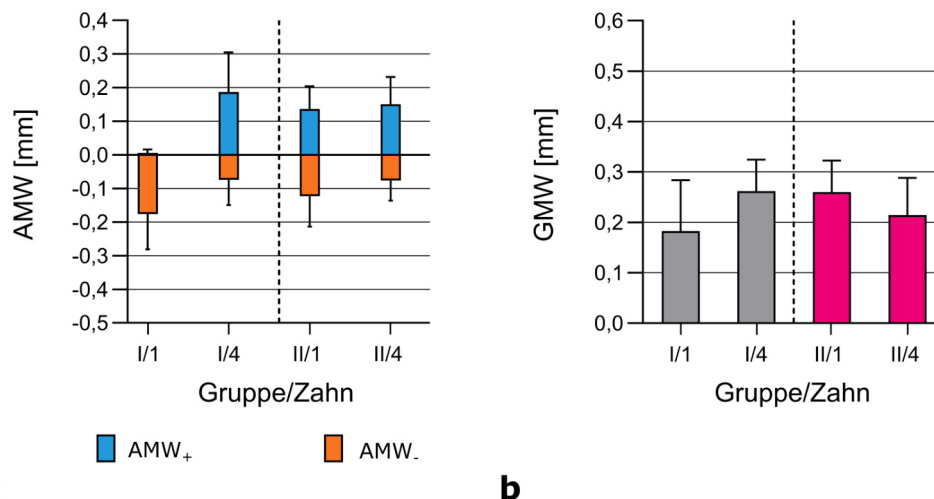


Abbildung 9 Ergebnisse des Vergleichs der Gesamtfläche von Zahn 1 und Zahn 4

- AMW-Werte: Auf der y-Achse wurden die positiven (blau; zu wenig präpariert) und die negativen (orange; zu viel präpariert) mittleren Abweichungswerte (mm), AMW₊/AMW₋, sowie die Standardabweichung angegeben. Die x-Achse ordnet die AMW-Werte der Gruppe (I/II) und dem jeweiligen Zahn (1/4) zu.
- GMW_(+/-)-Werte: Auf der y-Achse wurden die absoluten mittleren Abweichungswerte sowie die Standardabweichung dargestellt und jeweils den beiden Gruppen sowie Zähnen zugeordnet (x-Achse). Je kleiner der Wert, desto besser wurde präpariert.

Gruppe I

Bei den folgenden Werten handelt es sich um die Medianwerte der Differenzen von Zahn 1 und 4. Gruppe I verschlechterte sich bei der gesamten Zahnoberfläche (Gesamt) von Zahn 1 auf Zahn 4 um 0,05 mm. Insgesamt verschlechterten sich ungefähr 73% Studenten im Bereich von 0,00 mm bis 0,28 mm. 27% der Studenten aus Gruppe I verbesserten sich in einem Wertebereich von 0,00 mm bis 0,12 mm. Gruppe I präparierte bei Zahn 4 die marginale Präparationsgrenze (P) um 0,02 mm, die vestibuläre Fläche (V) um 0,11 mm, die linguale Fläche (L) um 0,1 mm und die okklusale Fläche (O) um 0,13 mm schlechter als bei Zahn 1. Die mesiale Fläche (M) und die distale Fläche (D) von Zahn 4 wurden um 0,01 mm besser präpariert als diejenigen von Zahn 1.

Gruppe II

Bei den folgenden Werten handelt es sich um die Medianwerte der Differenzen von Zahn 1 und 4. Gruppe II verbesserte sich bei der gesamten Zahnoberfläche (Gesamt) von Zahn 1 auf Zahn 4 um 0,03 mm. Ungefähr 70% der Studenten aus Gruppe II verbesserten sich in dem Bereich von 0,00 mm bis 0,16 mm. 15% der Studenten verschlechterten sich. Bei weiteren 15% war keine Veränderung erkennbar. Ein Student verschlechterte sich um den Betrag von 0,12 mm, dieser Wert wurde als Ausreißer gekennzeichnet. Gruppe II präparierte bei Zahn 4 die marginale Präparationsgrenze (P) um 0,02 mm, die mesiale Fläche (M) um 0,03 mm, die vestibuläre Fläche (V) um 0,04 mm, die distale Fläche (D) um 0,01 mm und die okklusale Fläche (O) um 0,05 mm besser als bei Zahn 1. Die linguale Fläche (L) von Zahn 4 wurde um 0,01 mm schlechter präpariert als die von Zahn 1.

Die prozentuale Anzahl der Studenten, die positive ($GMW_{(4-1)} > 0$), negative ($GMW_{(4-1)} < 0$) oder neutrale ($GMW_{(4-1)} = 0$) Ergebnisse für die gesamte Fläche erzielt haben, wurde tabellarisch dargestellt (Tabelle 2).

Tabelle 2 **Prozentuale Verteilung des Lernerfolges**
 Prozentuale Anzahl (%) der Studenten, inwieweit sich diese von Zahn 1 auf Zahn 4 entwickelten. (Verbesserung ($GMW_{(4-1)} < 0$); Verschlechterung ($GMW_{(4-1)} > 0$); Gleichbleibend ($GMW_{(4-1)} = 0$))

	Verbesserung	Verschlechterung	Gleichbleibend
Gruppe I	27	73	0
Gruppe II	70	15	15

3.2.2.2 Vergleich der Differenzen zwischen den Gruppen

Der Vergleich der Differenzen der $GMW_{(+/-)}$ -Werte zwischen den Gruppen ergab einen signifikanten Unterschied für die gesamte ($p = 0,005$), die okklusale ($p = 0,009$) und die vestibuläre ($p = 0,018$) Zahnoberfläche. Die Differenzen der $GMW_{(+/-)}$ -Werte wurden zusammenfassend in einem Box-Whisker-Plot Diagramm dargestellt (Abbildung 10).

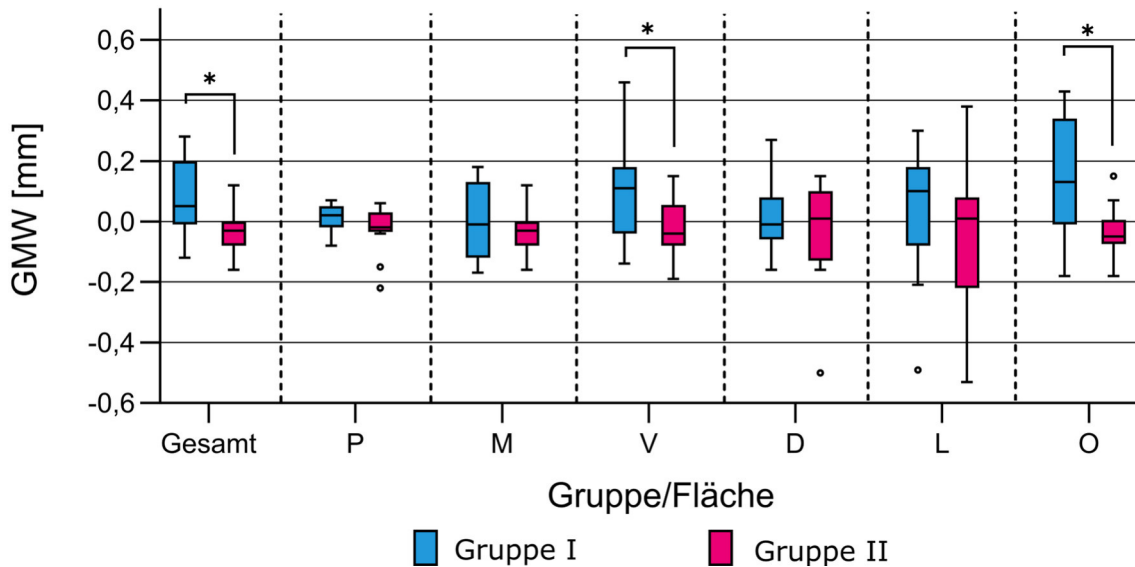


Abbildung 10 Differenzen der mittleren absoluten Abweichungen von Zahn 1 und Zahn 4

- Y-Achse: Differenz der flächenbezogenen mittleren absoluten Abweichung (mm) vom vierten und ersten Zahn
- X-Achse: Oberflächen (Gesamt; P = Marginale Präparationsgrenze; M = Mesial; V = Vestibulär; D = Distal; L = Lingual; O = Okklusal). Signifikante Unterschiede zwischen Gruppe I und II wurden mit einem Stern (*) und Ausreißer mit einem Kreis (°) gekennzeichnet. (U-Test; $\alpha = 0,05$)

3.2.3 Bewertung der integrierten Präparation

Um den Nutzen der integrierten Präparationsschicht zu ermitteln, wurden analog zur Ermittlung eines Lernerfolges die Differenzen der $GMW_{(+/-)}$ -Werte der zu vergleichenden Zähne berechnet. Für die Bewertung der integrierten Präparation wurden die Abweichungswerte zur idealen Präparation von den Übungszähnen mit integrierter Präparation mit denen der Standardübungszähnen verglichen (Formel 4). So wurde die Veränderung der $GMW_{(+/-)}$ -Werte von Zahn 1 auf Zahn 3 ermittelt. Die Veränderungen der $GMW_{(+/-)}$ -Werte der beiden Gruppen wurden miteinander verglichen. Die Wirkung der „Malen nach Zahlen“ Methode sollte so beurteilt werden.

Formel 4: Differenz der $GMW_{(+/-)}$ -Werte von Zahn 1 und Zahn 3

$$GMW_{(+/-)3} - GMW_{(+/-)1}$$

3.2.3.1 Ergebnisse des Vergleichs von Zahn 1 und Zahn 3

Abbildung 11 zeigt die zu vergleichenden Ergebnisse der Gesamtfläche, mit denen die Differenzen berechnet wurden. Abbildung 11a zeigt die AMW-Werte der ausgewählten Zähne. Abbildung 11b zeigt die ermittelten $GMW_{(+/-)}$ -Werte aus

3 Ergebnisse

denen die Differenz (Formel 4) berechnet wurden. Die Graphen der Teilflächen werden im Anhang aufgeführt (Kapitel 7.7).

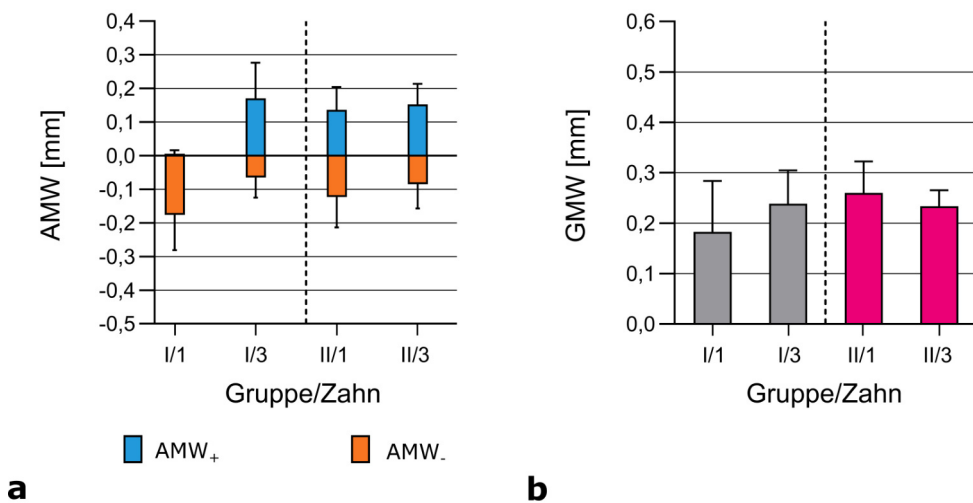


Abbildung 11 Ergebnisse des Vergleichs der Gesamtfläche von Zahn 1 und Zahn 3

- AMW-Werte: Auf der y-Achse wurden die positiven (blau; zu wenig präpariert) und die negativen (orange; zu viel präpariert) mittleren Abweichungswerte (mm), AMW₊/AMW₋, sowie die Standardabweichung angegeben. Die x-Achse ordnet die AMW-Werte der Gruppe (I/II) und dem jeweiligen Zahn (1/3) zu.
- GMW_(+/-)-Werte: Auf der y-Achse wurden die absoluten mittleren Abweichungswerte sowie die Standardabweichung dargestellt und jeweils den beiden Gruppen sowie Zähnen zugeordnet (x-Achse). Je kleiner der Wert, desto besser wurde präpariert.

Gruppe I

Bei den folgenden Werten handelt es sich um die Medianwerte der Differenzen von Zahn 1 und 3. Die Studenten der Gruppe I verschlechterten sich bei der gesamten Zahnoberfläche (Gesamt) von Zahn 1 auf Zahn 3 um 0,04 mm. Sie präparierten bei Zahn 3 die marginale Präparationsgrenze (P) um 0,02 mm, die linguale Fläche (L) um 0,07 mm und die okklusale Fläche (O) um 0,11 mm schlechter als bei Zahn 1. Die mesiale Fläche (M) und die vestibuläre Fläche (V) blieben unverändert. Die distale Fläche (D) wurde mit der integrierten Präparationshilfe um 0,05 mm besser präpariert.

Gruppe II

Bei den folgenden Werten handelt es sich um die Medianwerte der Differenzen von Zahn 1 und 3. Gruppe II verbesserte sich bei der gesamten Zahnoberfläche (Gesamt) von Zahn 1 auf Zahn 3 um 0,02 mm. Die Studenten der Gruppe II präparierten bei Zahn 3 die marginale Präparationsgrenze (P) um 0,01 mm, die mesiale Fläche (M) um 0,01 mm, die vestibuläre Fläche (V) um 0,06 mm, die distale Fläche (D) um 0,03 mm und die okklusale Fläche (O) um 0,02 mm besser als bei Zahn 1. Die linguale Fläche (L) blieb unverändert.

3.2.3.2 Vergleich der Differenzen zwischen den Gruppen

Die Veränderungen der $GMW_{(+/-)}$ -Werte der beiden Gruppen wurden miteinander verglichen. Der Vergleich ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen für die gesamte ($p = 0,045$), die okklusale ($p = 0,036$), die marginale Präparationsgrenze ($p = 0,04$) und die vestibuläre ($p = 0,029$) Zahnoberfläche. Die Differenzen der $GMW_{(+/-)}$ -Werte wurden zusammenfassend in einem Box-Whisker-Plot Diagramm dargestellt (Abbildung 12).

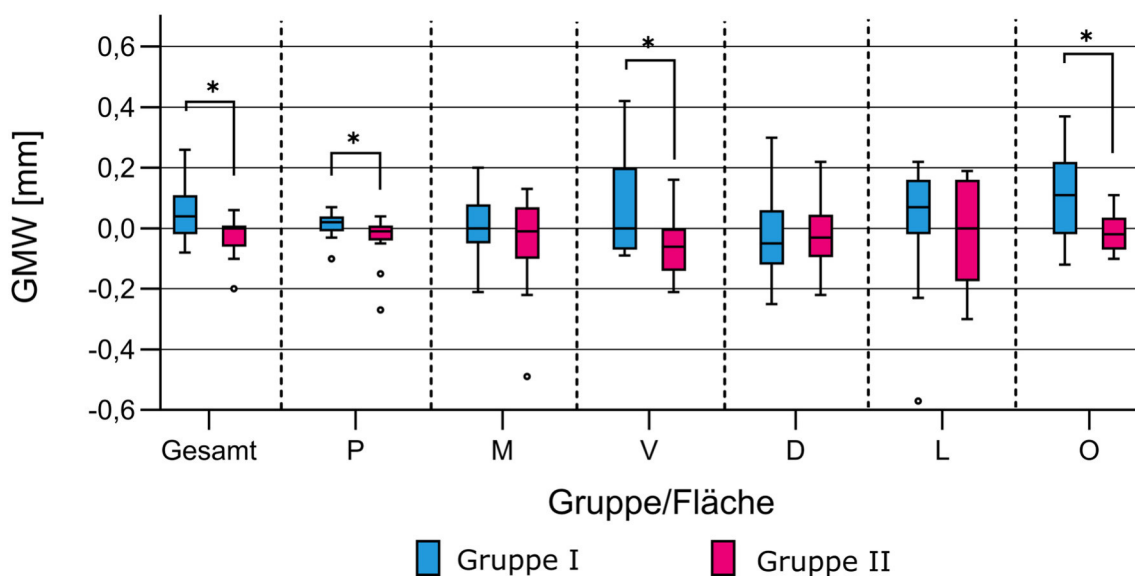


Abbildung 12 Differenzen der mittleren absoluten Abweichungen von Zahn 1 und Zahn 3

- Y-Achse: Differenz der flächenbezogenen mittleren absoluten Abweichung (mm) vom dritten und ersten Zahn
- X-Achse: Oberflächen (Gesamt; P = Marginale Präparationsgrenze; M = Mesial; V = Vestibulär; D = Distal; L = Lingual; O = Okklusal). Signifikante Unterschiede zwischen Gruppe I und II wurden mit einem Stern (*) und Ausreißer mit einem Kreis (°) gekennzeichnet. (U-Test; $\alpha = 0,05$)

4 Diskussion

Mittels AM Technologie wurde ein zweifarbiger, doppelschichtiger 3D-Übungszahn mit integrierter Präparation entwickelt. Die „Malen nach Zahlen“ Methode wurde entwickelt, bei der die Studenten die obere schwarze Schicht der Übungszähne wegpräparieren sollten. Bei korrekter Präparation sollte als Ergebnis der braune ideal präparierte Zahnstumpf erscheinen (Abbildung 4d). Durch die eingebaute Präparationshilfe sollte der Student ein sofortiges Feedback zu seiner eigenen Präparation bekommen und seine Fehler erkennen. Das Ziel dieser Studie war, kostengünstige Übungszähne zu entwerfen und mit diesen die Lehre der Kronenpräparation zu verbessern. In einem vorklinischen Übungsseminar wurde der Übungszahn mit integrierter Präparation von Studenten getestet und anschließend durch einen Fragebogen mit KaVo-Modellzähnen verglichen. Zudem sollte mittels einer 3D-Analysesoftware objektiv ermittelt werden, ob sich die Studenten verbesserten.

4.1 Diskussion der Methodik

Im folgenden Abschnitt sollen der Versuchsaufbau und die dafür verwendeten Materialien diskutiert werden.

4.1.1 Übungsseminar

An dem Übungsseminar nahmen alle Studenten des dritten Fachsemesters Zahnmedizin der Universität Würzburg teil. Die Studenten wurden zufällig in zwei Gruppen aufgeteilt. Jeder Student sollte innerhalb von drei Stunden vier Präparationen einer Vollgusskrone anfertigen. Gruppe I übte mehrmals mit dem gedruckten Standardübungszahn und Gruppe II bekam als Hilfestellung den Übungszahn mit integrierter Präparation. Ziel war es, mit dem Übungsseminar die Kronenpräparation der Studenten zu verbessern.

Einen ähnlichen Übungsaufbau findet man bei der Studie von Yee et al., welche mit zwei Gruppen von Studenten die inzisale Reduktion von Frontzähnen trainierten (Yee et al., 2019). Nagy et al. teilten ebenso Studenten eines Semesters zufällig in zwei Gruppen auf und testeten in einem Übungsdurchlauf eine Präparationsbewertungssoftware (Nagy, Simon, Tóth, & Vág, 2018).

Ein Kritikpunkt an dem Versuchsaufbau der Studie war die zeitliche Begrenzung des Übungsseminars auf drei Stunden und die geringe Anzahl von vier Präparationen. Es könnte untersucht werden, ob ein größerer Lernerfolg nachweisbar wäre, wenn die Studenten mehrere Tage mit den Übungszähnen mit integrierter Präparation geübt hätten und somit mehr Zähne präpariert hätten. Vier Präparationen in drei Stunden hintereinander durchzuführen, stellt auch für Studenten aus dem zweiten Studienjahr eine zeitliche Herausforderung dar. Auch kann sich dies negativ auf die Konzentration auswirken. Eine Verlängerung der Übungszeit war aufgrund der zeitlichen Auslastung der Studenten mit anderen Aufgaben im vorklinischen Kurs nicht möglich. Für kommende dritte Semester könnten alle Präparationsübungen des Kurses mit 3D-gedruckten Zähnen durchgeführt werden. So könnten die Studenten verschiedene Übungen über einen längeren Zeitraum an Druckzähnen absolvieren.

Vincent et al. boten beispielsweise über drei Wochen drei zusammenhängende Übungsseminare an. Eine von zwei Gruppen von Erstsemesterstudenten übte die Präparation einer Kavität durch virtuelle Simulation, die andere Gruppe ausschließlich mit KaVo-Modellzähnen. Am Ende des Seminars präparierten beide Gruppen für die Auswertung einen weiteren KaVo-Modellzahn. Kein signifikanter Unterschied konnte zwischen den beiden Lehrmethoden festgestellt werden. Die virtuelle Lehrmethode benötigte lediglich weniger Betreuungspersonal und Material (Vincent et al., 2020).

4.1.2 Fallzahl

An der vorliegenden Studie nahmen insgesamt 35 Studenten des dritten Semesters Zahnmedizin der Universität Würzburg teil.

Da alle Studenten den gleichen Ausbildungsstand haben sollten, konnte nur ein Semester an dem Seminar teilnehmen. Das damalige dritte Semester bestand aus 35 Studenten. Obwohl die Teilnahme freiwillig war und das Übungsseminar drei Stunden dauerte, nahmen alle Studenten des Semesters an dem Seminar teil. Aufgrund falscher Beschriftungen und fehlenden Übungszähnen konnten nur 80% der Übungszähne der Studenten in die Bewertung mit aufgenommen werden. Der Fragebogen wurde von allen Studenten ausgefüllt.

Es gab viele weitere praktische Studien in der Zahnmedizin, die ähnliche Fallzahlen vorwiesen. Im praktischen Übungsseminar von Kröger et al. für konservierende, aber auch prothetische Behandlungsmethoden nahmen 22 Studenten teil (Kröger et al., 2017). Das Übungsseminar für Traumata von Reymus et al. hatte 32 Teilnehmer (Reymus et al., 2018). An den Studien der Übungszähne von Höhne et al. nahmen ähnlich viele Studenten teil wie an der vorliegenden Studie (Höhne, Dickhaut, et al., 2020; Höhne & Schmitter, 2019; Höhne et al., 2019).

Um für die Übungszähne mit integrierter Präparation eine deutlichere Korrelation zu einem Lerneffekt nachweisen zu können, wäre eine höhere Fallzahl wünschenswert gewesen. Da die Anzahl an Studenten eines Semesters durch die Kapazität an Laborplätzen und Betreuungspersonal limitiert ist, ist dies jedoch für praktische Studien in der Zahnmedizin schwierig umzusetzen. Möglich wäre, das Übungsseminar in Kooperation mit anderen Universitäten anzubieten. Dadurch könnten mehr Studenten desselben Lehrjahres an der Studie teilnehmen. Unterschiedliche Ausbildungsmethoden und Lehrinhalte der Universitäten müssten dafür berücksichtigt werden.

4.1.3 Herstellung der Übungszähne

Für die Herstellung der Übungszähne wurden ein Scanner, ein 3D-Drucker und spezielles Harz verwendet. Die Verwendung dieser Materialien wird im Folgenden diskutiert.

4.1.3.1 Scanner

Für die Auswertung, aber auch für die Herstellung der Druckzähne der vorliegenden Studie, wurde der extraorale Streifenlichtscanner InEos X5 verwendet. Mit diesem hochwertigen Scanverfahren können aufgrund der Genauigkeit kleinste Details sehr präzise abgebildet werden (Kotz, 2018).

In einer Studie von Höhne et. al wurde der InEos X5 Scanner bereits verwendet. Vorrichtungen wurden entwickelt, um Prüfkörper für die In-vitro-Materialprüfung zu produzieren. Zahnplättchen unterschiedlicher Dicke und Durchmesser

konnten präzise hergestellt werden. Die Genauigkeit dieser Prüfkörper wurde mit dem InEos X5 Scanner erfolgreich überprüft (Höhne & Schmitter, 2020).

Alexandru et al. verglichen die Auflösung und die Genauigkeit des InEos X5 Scanners mit einem Intraoralscanner. Für den Vergleich wurden Kunststoffmodelle eingescannt. Als Referenz diente der Scan eines industriellen CT Scanners. Dabei ergab sich für den InEos X5 Scanner eine Auflösung von $6,4 \mu\text{m} \pm 0,55$ sowie eine Genauigkeit von $4,32 \mu\text{m} \pm 0,34$ (Alexandru, Manole, Campian, & Sinescu, 2019). Dentsply Sirona gab eine noch höhere Genauigkeit von $1,3 \mu\text{m} \pm 0,4$ an, welche sich jedoch nicht auf die Anfertigung von größeren Modellen, sondern nur auf die Anfertigung von Inlays bezog. Die sehr guten Scanwerte für die Modelle aus der Studie von Alexandru et al. bestätigten die Präzision des InEos X5 Scanners. Dieser eignete sich daher ideal für eine detaillierte Auswertung und Herstellung der Druckzähne.

4.1.3.2 3D Drucker

Für die Herstellung der Druckzähne sowie Anschauungsmodelle wurde der SLA 3D-Drucker Form2 verwendet. Dieser wurde sowohl in den Studien von Höhne et al. (Höhne, Dickhaut, et al., 2020; Höhne & Schmitter, 2019; Höhne et al., 2019) als auch in anderen Studien für die Herstellung von zahnmedizinischen Übungsmaterialien verwendet. Reymus et al. verwendeten beispielsweise den Form2 3D-Drucker für Übungsmodelle für ein Seminar der Endodontie (Reymus et al., 2019) und für ein Seminar über die Behandlung von Traumata (Reymus et al., 2018). Hanafi et al. verwendeten den Form2 3D-Drucker zur Herstellung von Ober- und Unterkiefermodellen, in die Echtzähne eingebettet und die Behandlung von Wurzelkanälen am Phantomkopf geübt werden konnten (Hanafi et al., 2020). Anschauungsmodelle einer idealen Kronenpräparation wurden mit einem Form2 3D-Drucker von Boonsiriphant et al. für Zahnmedizinstudenten hergestellt (Boonsiriphant et al., 2019).

Neben dem Form2 3D-Drucker stand ein Polijet 3D-Drucker Object 30 Prime (Stratasys, Rehovot, Israel) für die Herstellung der Druckzähne zur Verfügung. Die Polijet Technologie ermöglicht den gleichzeitigen Druck mit verschiedenen Materialien und könnte somit den Herstellungsprozess der Druckzähne

vereinfachen (Gebhardt, Kessler, & Thurn, 2016, s. 152). Dieses Verfahren ist jedoch bei ähnlich guter Druckauflösung mit weit höheren Kosten im Vergleich zur SLA verbunden (J. Kim et al., 2019). Formlabs Inc. gibt an, dass eine Strukturauflösung auf der xy-Ebene von 0,15 mm abhängig von dem verwendeten Material und der jeweiligen Schichtdicke möglich sei (Formlabs Inc., 2020e). Zhang et al. untersuchten die Druckgenauigkeit von 3D-Druckern mit steigender Schichtdicke bei Ober- und Unterkiefermodellen. Dabei wurde sowohl der Form2 3D-Drucker als auch das dazugehörige Dental Model Resin getestet. Es ergab sich für die Schichtdicke 25 µm, welche der der Druckzähne der vorliegenden Studie entspricht, die geringste mittlere Abweichung von 0,0344 mm ± 0,0457 (Zhang, Li, Chu, & Shen, 2019). Die Druckauflösung des Objekt 30 Prime 3D-Druckers beträgt 0,042 mm (Stratasys, 2020). Die ermittelte Abweichung von Zhang et al. war sowohl geringer als die von Formlabs Inc. angegebene als auch geringer als die des Polijet Druckers von Stratasys. Kim et al. verglichen den SLA Form2 3D-Drucker mit dem Objet 500 Connex3 Polijet 3D-Drucker (Stratasys, Rehovot, Israel). Beide Drucktechnologien erreichten die für die Zahnmedizin notwendige Auflösung. Der SLA Drucker war dabei weitaus günstiger (T. Kim et al., 2019). Somit stellte der Form2 3D-Drucker eine kostengünstigere und präzise Alternative für den Polijet 3D-Drucker dar.

Das Ziel der vorliegenden Studie war es einen kostengünstigen und leicht produzierbaren Druckzahn zu entwerfen. Der Druckzahn sollte von anderen Universitäten mit wenig Aufwand in ihr Ausbildungsprogramm übernommen werden können. Da Formlabs Inc. bereits als Start-up Unternehmen kostengünstige SLA 3D-Drucker herstellte (Gibson et al., 2014, s. 101, 311), ist der Form2 Drucker ein gute Alternative zu teureren 3D-Druckern, wie beispielsweise dem Polijet 3D-Drucker Object 30 Prime.

4.1.3.3 Kunststoff

Das Harz Dental Model Resin, welches speziell für die Herstellung von Zahnmodellen entwickelt wurde, wurde zur Herstellung der Druckzähne verwendet. Dieser hochpräzise Kunststoff soll Zahntechnikern zur Herstellung von Restaurationen und Zahnärzten zur Therapieplanung dienen (Formlabs Inc.,

2020b). Ein spezielles Material für die Herstellung von Übungszähnen wurde noch nicht entwickelt. Bisher verwendeten nur Höhne et al. dieses Material für Präparationsübungen in Studien. Hanafi et al. nutzten das Dental Model Resin lediglich für die Modelle, in die Echtzähne eingebettet werden konnten (Hanafi et al., 2020).

Im Fragebogen bemängelten die Studenten die unzureichende Härte der Übungszähne im Vergleich zu echten Zähnen (n = 15). Es wurde vorgeschlagen, ein härteres Material für den Druck zu verwenden. Natürlichen Zahnschmelz als härtestes Gewebe im menschlichen Körper nachzuahmen (Beniash et al., 2019; Körber, 1995, s. 4), stellt für den 3D-Druck eine große Herausforderung dar.

In einigen Studien wurde bereits nach Lösungen gesucht, das Druckharz für das jeweilige Anwendungsgebiet zu modifizieren. In einer Studie von Hao et al. wurde versucht, für die Ausbildung von Neurochirurgen 3D-Wirbelkörper zu drucken. Dabei wurde unter anderem ein photopolymer Resin von Formlabs Inc. verwendet, um knochenähnliches Material herzustellen. Die Materialeigenschaften konnten durch Reduktion der UV-Härtungszeit und Beimischen von Gips in das Resin verbessert werden (Hao et al., 2018). Demnach ist es möglich, Harze zu modifizieren und dem Zahnschmelz ähnelndes Material herzustellen.

Kröger et al. druckten mit einem Polijet 3D-Drucker Modelle aus zwei verschiedenen Materialien unterschiedlicher Härte. Damit versuchten sie, die unterschiedlichen Härtegrade von Dentin und kariöser Zahnhartsubstanz zu simulieren. Trotzdem kritisierten die Studenten die geringere Härte im Vergleich zu Echtzähnen (Kröger et al., 2017).

Die Studenten der vorliegenden Studie gaben an, dass die Druckzähne weicher seien als die KaVo-Modellzähne (n = 15). Im Gegensatz zu den Druckzähnen werden diese durch ein Spritzgussverfahren aus Melamin 152.7, einem hochwertigen Duroplasten (Schröder, 2014, s. 16), hergestellt (KaVo Dental GmbH, 2020). Dieses Verfahren ist weit aufwendiger und kostspieliger als die AM Technologie (Hopkinson, Hague, & Dickens, 2006, s. 152 - 157). Dadurch ist es nicht möglich, diese Zähne an den Universitäten selbst zu produzieren. Vergleicht man zudem die Druckfestigkeiten von Melamin (200 - 250 MPA)

(Raschig GmbH, 2010), Zahnschmelz echter Zähne (300 - 450 MPA) (Körber, 1995, s. 5) und Dental Model Resin wird ersichtlich, dass die natürliche Zahnhartsubstanz fester ist als die KaVo-Modellzähne und als die Druckzähne der vorliegenden Studie.

Es wird deutlich, dass noch kein entsprechendes Material vorhanden ist, das der Realität der Härte von Echtzähnen gerecht wird. Sobald härtere Materialien verfügbar sind, könnte das Herstellungsverfahren der vorliegenden Studie mit diesem erneut für Übungszähne erprobt werden.

4.2 Diskussion der Auswertung

Nach dem Übungsseminar wurden die präparierten Zähne detailliert ausgewertet. Die Genauigkeit der Auswertung und die verwendete Software sollen im Folgenden diskutiert werden.

4.2.1 Dimension

Abweichungen von der idealen Präparation konnten mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01$ mm ermittelt werden. Für zahnmedizinische Behandlungen wird eine Genauigkeit im Millimeterbereich benötigt. Bei der Präparation einer Krone muss zuerst Zahnschmelz abgetragen werden, welcher maximal eine Dicke von 2 mm hat (Lehmann, Hellwig, & Wenz, 2012, s. 39). Um Pulpaschädigungen zu verhindern, soll die darauffolgende Dentinschicht zur Pulpa nicht dünner als 0,7 mm, bei Jugendlichen sollte diese sogar nicht dünner als 1,4 mm sein (Jüde, Kühl, & Roßbach, 1997, s. 44). Marxkors et al. empfehlen eine maximale Präparationstiefe von 1,3 mm bei Molaren. Um Pulpareizungen und -schädigungen zu vermeiden, ist es notwendig, Studenten exaktes Präparieren zu lehren (Marxkors, 2010, s. 20).

4.2.2 Auswertungssoftware

Für die Auswertung der präparierten Druckzähne wurde die 3D-Analysesoftware GOM Inspect benutzt. Diese in Deutschland entwickelte Software wird weltweit für Forschungszwecke genutzt. Mit 14.000 Systeminstallationen dient GOM Inspect hauptsächlich der Überprüfung der Produktqualität und wird zur Beschleunigung von Herstellungsprozessen in führenden Konzernen aus der

Luft- und Raumfahrtindustrie und Automobilindustrie genutzt. Die Software überzeugt durch die Kompatibilität mit STL-Dateien und der Genauigkeit bei der Auswertung von 3D-Körpern. In der vorliegenden Studie ermöglichte dies eine direkte Übertragung der präparierten Zähne sowie der durch Autodesk Inventor 2019 (Autodesk, San Rafael, USA) überarbeiteten Soll-Elemente in GOM Inspect. Die präzise Messgenauigkeit der GOM Softwarepakete wurde durch die Institute PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin) und NIST (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, United States) zertifiziert. Die Software wurde der Kategorie mit den geringsten Messabweichungen (Klasse 1) zugeteilt (GOM GmbH, 2020a). Die verschiedenen Standardausrichtungsfunktionen von GOM Inspect ermöglichten eine nahezu perfekte Überlagerung der präparierten Übungszähne mit dem 3D-Datensatz des ideal präparierten Übungszahnes. Zudem ermöglichte die Messgenauigkeit einen präzisen Flächenvergleich zwischen Soll- und Ist-Element (GOM GmbH, 2020b).

GOM Inspect wurde bereits in anderen zahnmedizinischen Studien verwendet. Schlenz et al. testeten beispielsweise, ob die digitale Chairside-Messung des Intraoralscanner TRIOS 3 (3shape, Kopenhagen, Dänemark) für die Kontrolle von Rand- und Innenpassung von Kronen verwendet werden kann. Dies wurde unter anderem erfolgreich mit der GOM Inspect Software überprüft (Schlenz, Vogler, Schmidt, Rehmann, & Wöstmann, 2020). Auch Lee et al. verwendeten GOM Inspect für die Optimierung einer Behandlung einer vertikal erhöhten Okklusion. Mit den gewonnenen Analysedaten wurde erfolgreich eine 3D-gedruckte Präparationsvorlage hergestellt, mit der der behandelnde Zahnarzt die Okklusion minimalinvasiv einschleifen konnte (Lee et al., 2020). Auch Kröger et al. verwendeten GOM Inspect zur Herstellung von Übungsmodellen für die zahnmedizinische Ausbildung. Dabei wurde es für die Nachbearbeitung, Ausrichtung und Kombination von Datensätzen eingescannter Zahnmodelle genutzt (Kröger et al., 2017). Kim et al. verfolgten ein ähnliches Schema zur Auswertung von Präparationen wie in der vorliegenden Studie, verwendeten allerdings die Analysesoftware Geomagic control X (Rock Hill, South Carolina, USA) (J. Kim et al., 2019). Al Moaleem wertete Präparationen nur auf Grundlage

von Fotografien aus, welche in ein AutoCAD-Softwareprogramm übertragen wurden. Da es sich dabei um 2D-Datensätze handelte, konnte nur die präparierte Konizität bewertet werden (Al Moaleem, 2014).

4.3 Diskussion der Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse des Fragebogens und der Auswertung der präparierten Zähne diskutiert. Zusätzlich soll die angewandte Lehrmethode, deren Lernerfolg und Umsetzbarkeit analysiert werden.

4.3.1 Fragebogen

Die Bewertung des Druckzahns erfolgte durch einen Fragebogen, welcher von dem IMLA erstellt wurde. Der Fragebogen wurde bereits in anderen Studien über Übungszähne angewandt und speziell an die vorliegende Studie angepasst (Höhne, Dickhaut, et al., 2020; Höhne & Schmitter, 2019; Höhne et al., 2019; Höhne, Schwarzbauer, et al., 2020). Das Cronbachsche Alpha für die 11 Items war 0,87, die Reliabilität des Fragekatalogs war demnach sehr gut. In der Studie von Höhne et. al. über Übungszähne für prothetische Stiftaufbauten ergab sich für den ähnlichen Fragebogen ebenso ein hohes Cronbachsches Alpha von 0,85 (Höhne, Dickhaut, et al., 2020).

4.3.1.1 Vergleich mit KaVo-Modellzahn

Die geringere Härte der Kunststoffzähne im Vergleich zu Echtzähnen aber auch zu den KaVo-Modellzähnen wurde bereits diskutiert (Kapitel 4.1.3.3). Der hergestellte Druckzahn war für die Studenten, trotz geringerer Härte, eine gute Alternative zum KaVo-Modellzahn. Im Vergleich erhielt der Druckzahn die Durchschnittsnote gut ($\bar{X} 2,2 \pm 0,11$).

Einige Studien versuchten bereits, günstigere und spezifischere Übungszähne als die KaVo-Modelzähne zu entwickeln. Neben den bereits erwähnten Übungszähnen von Höhne et al. (Höhne, Dickhaut, et al., 2020; Höhne & Schmitter, 2019; Höhne et al., 2019), gab es innovative Übungsmodelle, die jedoch nicht kompatibel mit dem KaVo-Modellsystem waren. Bei diesen musste neben den Übungszähnen zusätzlich ein Zahnhalteapparat gedruckt werden, wodurch ein höherer Material- und Zeitaufwand nötig war. Bei Reymus et al., die Übungsmodelle für die Traumatologie entwickelten (Reymus et al., 2018), und

bei Marty et al., die Übungszähne für die pädiatrische Zahnmedizin entwarfen, war dies der Fall. Ihr Vorteil war dennoch, dass die Studenten Übungsmodelle erhielten, welche individuelle Zahnbögen und -fehlstellungen darstellten (Marty et al., 2019).

4.3.1.2 Druckzahn

Der zweilagige Druckzahn erhielt die Gesamtnote gut (\bar{x} 2,0 \pm 0,27). Mit der integrierten Präparationshilfe in den Übungszähnen konnte den Studenten die ideale Präparationsform nähergebracht werden.

Höhne et al. entwickelten bereits andere 3D-gedruckte Übungszähne für Präparationsübungen. Ein Übungszahn bestand aus mehreren Schichten unterschiedlicher Härte, einer Schmelzschicht (weiß; hart), einer Dentinschicht (gelblich; weicher) und aus einer Pulpa (rot; sehr weich) (Abbildung 13a) (Höhne et al., 2019). Der mehrschichtige Aufbau, welcher den Zahnhartsubstanzen nachempfunden ist, bot den Studenten realitätsnahe Übungsbedingungen. Neben der Kronenpräparation konnte an diesem Übungszahn auch die Trepanation und Überkappung geübt werden. Ein weiterer Übungszahn wurde aus mehreren Schichten unterschiedlicher Farbe hergestellt (Abbildung 13b). Eine zusätzliche 0,5 mm dicke schwarze Schicht befand sich unter der zu präparierenden Schicht, die die ideale Präparation umgab. Innerhalb dieser 0,5 mm sollte die Präparation der Studenten liegen. Präparierten sie zu invasiv, kam das weiße Dentin zum Vorschein. Im Vergleich zu den für diese Dissertation verwendeten Druckzähnen hatten die Studenten einen größeren Spielraum die ideale Präparation zu treffen. Für einen besseren Kontrast wurde für den Schmelz eine weiße Farbe und für das Dentin unter der schwarzen Präparation eine hellere Farbe verwendet. Die Pulpa ausgenommen, gab es keinen Unterschied in der Härte der Schichten (Höhne, Schwarzbauer, et al., 2020). Diese beiden komplexeren Übungszähne wurden für Studenten entwickelt, die sich bereits im klinischen Studienabschnitt befanden. Die Herstellung dieser Übungszähne war bedeutend aufwändiger als die Herstellung der Übungszähne dieser Dissertation. Beide Druckzähne wurden in einem vergleichbaren Fragebogen ebenso positiv bewertet und es wurde vermehrt gefordert, weitere

3D-Übungszähne für die zahnmedizinische Lehre einzusetzen (Höhne et al., 2019; Höhne, Schwarzbauer, et al., 2020).

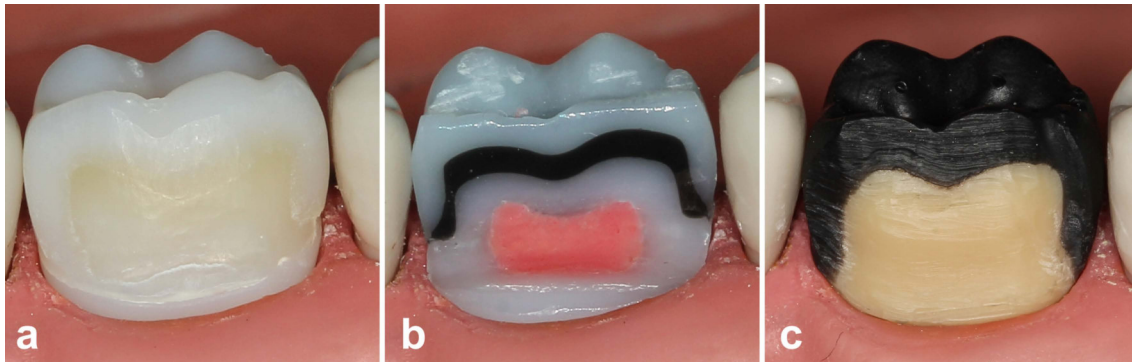


Abbildung 13 Vergleich der Druckzähne

- a) Mehrschichtiger Übungszahn unterschiedlicher Härten
- b) Mehrschichtiger Übungszahn mit integrierter Präparationsschicht
- c) Übungszahn mit integrierter Präparation nach der „Malen nach Zahlen“ Methode

Im Vergleich zu diesen Übungszähnen stellte der hier vorgestellte Übungszahn eine einfachere Variante der Präparationsübung dar und wurde speziell für die vorklinische Ausbildung konzipiert (Abbildung 13c). Es wurde nach der „Malen nach Zahlen“ Methode präpariert. Den Studenten wurde zeitgleich zu ihrer Präparation immer vorgegeben, an welcher Stelle wieviel Zahnhartsubstanz abgetragen werden musste. Der hier vorgestellte Zahn bestand nur aus zwei Schichten derselben Härte. Dadurch wurde der Herstellungsprozess vereinfacht und sich gezielt auf die Kronenpräparation fokussiert. Eine Pulpa wurde nicht integriert und somit wurde das Üben von endodontischen Behandlungen nicht ermöglicht. Es sollte lediglich ein Übungszahn für den vorklinischen Studienabschnitt entwickelt werden. Die Lehre der Endodontie rückt erst im klinischen Studienabschnitt in den Vordergrund. Für Universitäten wäre es möglich, diesen Übungszahn mit wenig Aufwand und geringen Kosten herzustellen (Sari, 2020).

Alle Übungszähne von Höhne et al. wurden für Präparationsübungen an dem Zahn 36 entwickelt. Die Methode des Druckzahnes kann auf alle weiteren Zähne angewandt werden. Man könnte beispielsweise für alle ersten Molaren Übungszähne entwickeln, um herauszufinden, ob die Qualität der Präparation

von den Quadranten abhängig ist. So könnte jeder Student in dem Quadranten vermehrt üben, in dem die Präparation verbessert werden soll.

4.3.1.3 Anschauungsmodell

Das Anschauungsmodell wurde in Frage 3.1.3 mit gut bis sehr gut bewertet ($\bar{x} = 1,8 \pm 0,18$). Dieses stellt eine gute Möglichkeit dar, das Erlernen der idealen Präparation visuell zu unterstützen. Das Modell konnte in kürzester Zeit hergestellt werden und war nicht kostspielig. Aufgrund der individuellen Designmöglichkeiten durch AM ist das Modell nicht nur für die Präparation der Vollgusskrone, sondern auch für jede beliebig andere Präparationsform anwendbar.

In der Studie von Soares wurden für Studenten aus dem ersten Semester virtuelle und plastische 3D-Anschauungsmodelle für Teilkronenpräparationen hergestellt. Nachteilig daran war, dass ein vergrößertes, nicht dimensionsgetreues Modell hergestellt wurde. Der präparierte Zahn konnte nicht in die Zahnreihe eines Übungsmodells eingegliedert werden. Von Vorteil war, dass das Modell aus verschiedenen Zahnhartsubstanzschichten bestand und diese Schichten für ein besseres Verständnis der Präparation abgenommen werden konnten. Es wurden verschiedene Formen der Teilkronenpräparation dargestellt. Neben dem plastischen Anschauungsmodell konnte ein virtueller 3D-Zahn in einer Rundumansicht von 360° betrachtet werden (Soares et al., 2013). Die Präparationsvorlage der vorliegenden Studie konnte aus dem Modell herausgenommen und in das eigene Übungsmodell im Phantomkopf eingegliedert werden. Dies ermöglichte den Studenten eine dimensionsgetreue Übersicht und Kontrolle der eigenen Präparation.

Boonsiriphant et al. druckten einen ideal präparierten Zahn als Anschauungsmodell für die Präparationsform einer Vollgusskrone. Dieser konnte zur besseren Betrachtung in das Übungsmodell im Phantomkopf eingegliedert werden. Ein separates Modell zur Betrachtung während der Präparationsübung wurde nicht entwickelt (Boonsiriphant et al., 2019).

4.3.1.4 Verbesserungsvorschläge

Neben der bereits erwähnten Schwäche der Materialhärte kritisierten sieben Studenten die dunkle Farbe der Krone des Übungszahns mit integrierter Präparation (Abbildung 4a). Die schwarze Farbe wurde wegen des Kontrastes zur hellen, idealen Präparation ausgewählt. Es wäre möglich, mit einer helleren Farbe zu drucken, welche immer noch einen guten Kontrast zur darunter liegenden Präparation hätte. Es wäre interessant, ein helleres Material in einer anderen Studie zu testen und den Trainingseffekt zu vergleichen.

Zudem bemängelten Studenten bei einer geringen Anzahl der Übungszähne mit integrierter Präparation die Verklebung von ideal präpariertem Zahnstumpf und Zahnkrone. Kurz bevor die Studenten den Übungszahn vollständig präpariert hatten, kam es teilweise zu einer Delamination von Abschnitten der letzten schwarzen Kunststoffschicht. Eine Analyse dieses Problems ergab, dass eine Charge der gedruckten Zähne nicht korrekt gehärtet wurde. Diese Delamination war nur geringfügig und beeinflusste nicht das Präparationsergebnis.

4.3.2 Kosten

Formicola et al. zeigten, dass die zahnmedizinische Ausbildung sehr teuer ist. Einen großen Teil müssten die Studenten selbst tragen. So sollte nach Lösungen gesucht werden, die Kosten der Studenten zu minimieren (Formicola, Bailit, Weintraub, Fried, & Poverini, 2018). Für die Studenten waren die geringeren Anschaffungskosten der eigens produzierten 3D-Druckzähne der größte Vorteil. Einige Studenten erwähnten die hohen Kosten, die bereits bei Studienbeginn auf sie zukamen. Das Instrumentarium und Verbrauchsmaterial für ein Zahnmedizinstudium kostet zwischen 6.000 € und 8.400 €, inklusive der Mehrwertsteuer von 19%. Allein für den vorklinischen Studienabschnitt werden ca. 3.000 € benötigt. Im Anhang sind die geschätzten Kosten für ein Zahnmedizinstudium an der Universität Würzburg tabellarisch aufgeführt (Tabelle 6). Das Präparieren vieler Übungszähne an den Phantomköpfen ist grundlegend für die vorklinische Ausbildung. Deshalb sollten Studenten Übungszähne ohne Berücksichtigung finanzieller Aspekte präparieren können. Sowohl KaVo-Modellzähne, welche im Juli 2020 pro Stück 2,20 € kosteten, als auch Frasco-Modellzähne für 1,85 € werden an der Universität Würzburg

verwendet. Die Materialkosten eines Druckzahns lagen lediglich bei 0,30 €. Der 3D-Druck macht es laut Seifert et al. möglich, Übungsmodelle für viele medizinische Fachrichtungen kostengünstig herzustellen (Seifert et al., 2020). Die Anschaffungskosten eines Form2 3D-Druckers (2.400 €), eines Form Wash Reinigungsgerätes (499 €) und eines Form Cure Aushärtegerätes (699 €) beliefen sich im Juli 2020 auf insgesamt 3.598 € (Formlabs Inc., 2020c, 2020d). Mit der neuen Approbationsordnung, die zum Wintersemester 2021 in Kraft treten soll, wird die zahntechnische Ausbildung der Studenten deutlich reduziert (Bundesministerium für Gesundheit, 2018). Werden die Laborarbeitsplätze dann hauptsächlich für Präparationen genutzt, könnte ein höherer Bedarf an Übungszähnen aufkommen.

4.3.3 Lernerfolg

Wie in Abbildung 3 dargestellt ist, präparierte jede Gruppe vier Übungszähne. Gruppe I präparierte ausschließlich gedruckte Standardübungszähne. Gruppe II präparierte einen gedruckten Standardübungszahn, daraufhin zwei Übungszähne mit integrierter Präparation und zum Schluss einen gedruckten Standardübungszahn. Die Druckzähne wurden mit einem 3D-Analyseprogramm ausgewertet.

Die 3D-Auswertung der Präparationen ergab einen signifikanten Unterschied zwischen Gruppe I und II. Nach zwei Versuchen mit den Übungszähnen mit integrierter Präparation konnten die Studenten der Gruppe II im Vergleich ihrer ersten und letzten Präparation ein signifikant besseres Ergebnis erzielen als Gruppe I. 70% der Studenten aus Gruppe II präparierten Zahn 4 besser als Zahn 1. 73% der Gruppe I präparierte Zahn 4 schlechter als Zahn 1. Die Übungszähne mit integrierter Präparation unterstützten die Studenten der Gruppe II ihre Präparationen zu verbessern. Ihr Präparationsergebnis kam näher an die vorgegebene ideale Präparation heran. Somit konnte für Gruppe II ein Lernerfolg nachgewiesen werden.

Der Lernerfolg für die gesamte Fläche ergab sich aus den Verbesserungen der okklusalen und vestibulären Zahnflächen (Abbildung 16c - f). Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass diese Flächen für die Studenten gut einsehbar waren. Ein Präparieren über einen Spiegel, was für die Studenten oft eine

Herausforderung darstellt, war bei diesen Flächen nicht zwingend notwendig. Zu untersuchen gilt also, ob den Studenten beim Präparieren im vierten Quadranten andere Teilflächen des Zahnes leichter fallen würden als im dritten. Dementsprechend müsste im vierten Quadranten die linguale Fläche besser abschneiden als die vestibuläre. Wenn dies der Fall wäre, sollten die Studenten vermehrt Übungen durchführen, die das Präparieren über den Spiegel schulen. Die Studenten der Gruppe II erzielten, mit Ausnahme der distalen Fläche (Abbildung 16g, h), bessere Ergebnisse mit dem Übungszahn mit integrierter Präparation. Die oberen Quartile waren im Box-Whisker-Plot Diagramm alle niedriger (Abbildung 10). Die Abweichungen der marginalen Präparationsgrenze von der idealen Präparationsform waren für beide Gruppen ähnlich groß (Abbildung 16m, n). Dies kann durch die Erfahrung der Studenten im zweiten Studienjahr bedingt sein. Sie präparierten während ihres Studiums bereits viele KaVo-Modellzähne. Wenn die Positionierung des Winkelstücks korrekt ist, wird die Form des Präparationsrandes hauptsächlich durch den Präparationsdiamanten bestimmt. Der größte Trainingseffekt wurde an der okklusalen Zahnfläche erzielt. Gruppe I hatte mit den gedruckten Standardübungszähnen nach dem Training noch eine breite Streuung der Abweichungswerte. Gruppe II erzielte nach der Präparation des Übungszahns mit integrierter Präparation signifikant bessere Ergebnisse (Abbildung 16e, f). Dieses Ergebnis ist für die Präparation in einer klinischen Situation sehr wichtig. Ein zu geringer Substanzverlust kann zu Problemen bei der Anfertigung einer Krone führen. Insbesondere bei vollkeramischen Kronen ist die richtige Schichtdicke des Materials sehr wichtig. Andererseits kann eine invasive Präparation zu Pulpaschäden führen, denen eine Wurzelkanalbehandlung folgen kann. Wisithphrom et al. beschrieben diese Effekte für verschiedene Kavitätenpräparationen und Restaurationen (Wisithphrom, Murray, About, & Windsor, 2006). Die distale Zahnfläche stellte sich als Herausforderung für die Studenten dar, da sie den Approximalkontakt zum Nachbarzahn lösen mussten, ohne diesen dabei mit dem Separierdiamanten zu berühren. Diese Fläche wurde trotz integrierter Präparationshilfe nicht besser präpariert. Dies zeigt, dass den

Studenten das Separieren in beiden Gruppen nicht leicht fiel und vermehrt geübt werden sollte.

Offen bleibt die Frage, wieso Gruppe I sich im Laufe der Präparationsreihe bei gleichbleibenden Übungszähnen verschlechterte. Möglich wäre, dass die Studenten aus Gruppe I die Motivation verloren hatten, weil sie nach den einzelnen Präparationen kein Feedback bekamen. Sie konnten ihre Präparation lediglich mit dem Anschauungsmodell vergleichen. Laut Taylor et al. haben Studenten oftmals Probleme damit, am Anfang ihrer Ausbildung ihre Präparation selbst einschätzen zu können (Taylor et al., 2013). Dies beeinflusst die Motivation der Studenten, ihre Fähigkeiten zu verbessern (Sharma et al., 2016). Gruppe II hingegen bekam durch die Übungszähne mit integrierter Präparation immer ein direktes und objektives Feedback. Somit konnten die Studenten ihre Präparation selbst einschätzen. Darüber hinaus gaben die Studenten im Fragebogen an, dass die integrierte Präparation ihren Lernprozess sowie ihre Motivation positiv beeinflusst hätte. Auf ein persönliches Feedback wurde verzichtet, da die Bewertungen durch Betreuer oft nicht einheitlich sind und das Ergebnis verfälscht hätten (Felber, 2014). Laut Schepke et al. war die Kombination aus der Bewertung eines Betreuers und PrepCheck eine optimale Lösung zur objektiven und konstanten Bewertung von Präparationen (Schepke et al., 2020). So könnte man auch die „Malen nach Zahlen“ Methode mit dem Feedback eines Betreuers kombinieren.

4.3.4 „Malen nach Zahlen“ Methode

Nach dem Prinzip „Malen nach Zahlen“ wurde ein Übungszahn mit integrierter idealer Präparationsschicht entwickelt. Es wurde untersucht, ob diese Präparationsschicht die Studenten bei ihrer Präparation einer Vollgusskrone unterstützte. Dafür wurden die Präparationen von Zahn 2 und Zahn 3, mit denen von Zahn 1 verglichen.

Die Auswertung ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen für den Präparationsunterschied zwischen Zahn 1 und Zahn 3. Gruppe II präparierte Zahn 3 mit integrierter Präparation besser als den ersten gedruckten Standardübungszahn. Gruppe I präparierte den dritten Standardübungszahn schlechter als den ersten. Bei dem Vergleich der ersten

beiden präparierten Zähne der Gruppen I und II ergab sich kein signifikanter Unterschied.

Die Verbesserung der Präparation von Gruppe II könnte auf die integrierte Präparationsschicht zurückzuführen sein. Die schwarze Krone, die auf den ideal präparierten Übungszahn geklebt wurde, konnte den Studenten erfolgreich den Präparationsumriss vorgeben. Bei den Präparationen des ersten Übungszahnes mit integrierter Präparation zeigte sich noch kein signifikant besseres Ergebnis. Es wäre möglich, dass die Studenten sich an den neuen zweifarbigen Übungszahn und die „Malen nach Zahlen“ Methode gewöhnen mussten. Für den darauffolgenden Übungszahn mit integrierter Präparation ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Dieser wurde von Gruppe II besser präpariert als der erste Standardübungszahn. Der Lernerfolg ist sicherlich auf eine Kombination aus der Präparationshilfe und dem wiederholten Üben der Kronenpräparation zurückzuführen. Das Lernen mit verschiedenen Übungszähnen und Lernmethoden scheint sich auf die Motivation der Studenten positiv auszuwirken. Die integrierte Präparationshilfe wirkte sich positiv auf das Präparationsergebnis aus und motivierte die Studenten die neue Präparationsform zu erlernen.

Die Ergebnisse des Fragebogens unterstützten die Einschätzung des Lernerfolges und der Handhabung der gedruckten Übungszähne. Die Studenten gaben im Fragebogenabschnitt 7.2 an, dass die integrierte Präparation sie unterstützte. Sie konnten ihre Präparation in Bezug auf die richtige Präparationsform besser einschätzen und eigenständig bewerten.

Im Vergleich zu anderen Bewertungsmethoden, wie zum Beispiel Prepcheck, ist die „Malen nach Zahlen“ Methode mit der integrierten Präparation sehr kostengünstig, mit wenig Aufwand umsetzbar und ohne Wartezeiten verbunden. Für die eigenständige Bewertung der Präparation werden keine weiteren Geräte benötigt. Die integrierte Präparation kann, wie auch Prepcheck, ein Bewertungshilfsmittel darstellen und somit eine objektivere Bewertung durch einen Betreuer ermöglichen (Schepke et al., 2020). Diese Art der Lehre kann die Selbsteinschätzung der Studenten verbessern und somit ihre Motivation und ihr

Interesse auf diesem Gebiet steigern (Sharma et al., 2016). Zudem steigt die Zahl der Zahnmedizinstudenten von Jahr zu Jahr an. Dies habe zur Folge, dass sich die Betreuungssituation der Studenten verschlechtere (Felber, 2014). In den Übungsseminaren entstehen oft lange Warteschlangen von Studenten, die den Betreuern ihre präparierten Übungszähne vorzeigen wollen. Es wird bereits versucht, die Betreuung der zahlreichen Studenten stetig zu verbessern. Dies zeigt auch die neu verabschiedete Approbationsordnung für das Studium der Zahnmedizin. Das Betreuungsverhältnis von 1 zu 20 soll auf 1 zu 15 in den technischen Kursen der Zahnmedizin verbessert werden (Bundesministerium für Gesundheit, 2018). Durch die „Malen nach Zahlen“ Methode und die Möglichkeit zur eigenständigen Kontrolle der Präparation können die Betreuer entlastet und lange Wartezeiten verhindert werden.

4.4 Schlussfolgerung

Die „Malen nach Zahlen“ Methode konnte erfolgreich in der zahnmedizinischen Lehre erprobt werden und unterstützte die Studenten beim Erlernen der Präparation. Die integrierte Präparation gab den Studenten die ideale Präparationsform vor und ermöglichte eine kritische Selbsteinschätzung der Präparationsleistung.

Um die Aussagekraft der Ergebnisse zu bestärken und erneut zu prüfen, sollten Folgestudien mit Präparationsübungen durchgeführt werden, bei denen Übungszeit und Teilnehmerzahl erhöht werden können.

Es wurde gezeigt, dass die verwendeten Materialien und die Software sowohl für die Herstellung als auch die Auswertung der Druckzähne geeignet waren. Alleinig das verwendete Harz der Druckzähne sollte ausgetauscht werden, sobald neue härtere Kunststoffe zur Verfügung stehen. Vor allem wurde dargelegt, dass es sich um eine kostengünstige und universell anwendbare Methodik handelt, Übungszähne im universitären Umfeld selbst herzustellen. Die Druckzähne stellen eine gute Alternative zu herkömmlichen Übungszähnen dar. Die Studenten bewerteten die von ihnen getesteten Druckzähne nicht nur gut, sondern wünschten sich auch weitere Übungen mit diesen in ihrer zahnmedizinischen Ausbildung. Das Anschauungsmodell diene den Studenten als ideale Vorlage für eine Kronenpräparation. Dieses kann für weitere Übungen genutzt und für andere Präparationsformen angepasst werden. Im Vergleich zu den bisher entwickelten Übungszähnen von Höhne et al., stellt der für diese Studie verwendete Übungszahn aufgrund seiner Einfachheit eine gute Möglichkeit für erste Lernübungen der Vollgusskronenpräparation in der Vorklinik dar. Auch konnte mit der vorliegenden Studie erstmals ein Lernerfolg nicht nur an Hand von Fragebögen eruiert, sondern mit der detaillierten Auswertung belegt werden. Die Hilfestellung durch die integrierte Präparation wurde erfolgreich überprüft.

5 Zusammenfassung

In der vorklinischen Lehre werden Übungszähne benötigt, um den Studenten das Präparieren am Phantomkopf zu ermöglichen. Diese müssen bisher von Studenten selbst gekauft werden. Um vor einem Patientenkontakt ausreichend oft am Phantomkopf zu üben, müssen diese Kosten in Kauf genommen werden. Zur weiteren Verbesserung der zahnmedizinischen Lehre wird ein Bewertungssystem benötigt, das den Studenten dabei hilft, ihre Präparationen eigenständig und objektiv zu bewerten.

Ziel dieser Studie war es, mittels AM Technologie ein Herstellungsverfahren für kostengünstige Übungszähne zu entwickeln, welches für andere zahnmedizinische Lehrinrichtungen leicht zu übernehmen ist. Zusätzlich sollte ein Übungszahn hergestellt werden, der die Selbsteinschätzung der Studenten verbessern und eigenständiges Üben ermöglichen sollte. Dadurch sollte zudem die Motivation der Studenten erhöht werden, ihre Fähigkeiten zu verbessern.

Für die Herstellung der Zähne wurden ein vollständiger und ein ideal präparierter KaVo-Modellzahn mit einem Laborscanner eingescannt. Mit einem 3D-Drucker wurden Standardmodellzähne und ideal präparierte Druckzähne hergestellt. Die präparierten Zahnstümpfe wurden mit einer andersfarbigen Zahnkrone verklebt. Somit wurde ein Übungszahn mit integrierter Präparation hergestellt. Nach dem Prinzip „Malen nach Zahlen“ wurde durch die farbige Krone den Studenten ein Umriss vorgegeben, in dem sie präparieren sollten. In einem Übungsseminar wurden diese beiden Druckzähne von Studenten erprobt. Die Studenten wurden in zwei Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe präparierte lediglich gedruckte Standardübungszähne. Die zweite Gruppe erhielt zwei Übungszähne mit integrierter Präparation in ihrer Übungsreihe. Nach dem Übungsseminar bewerteten die Studenten die Druckzähne. Zusätzlich wurden die Präparationen der Studenten eingescannt, in sechs Oberflächen unterteilt und mit einer 3D-Analysesoftware ausgewertet. Der Übungszahn mit integrierter Präparation wurde von den Studenten im Fragebogen insgesamt mit gut bewertet ($\bar{x} = 2,0 \pm 0,27$). Zudem empfanden sie ihren Lernprozess mit den Übungszähnen

mit integrierter Präparation als gut ($\bar{x} = 2,2 \pm 0,13$) und wurden durch die integrierte Präparationshilfe motiviert, ihre Fähigkeiten zu verbessern. 70% der Gruppe II verbesserten sich signifikant von Zahn 1 auf Zahn 4 die gesamte Zahnoberfläche betrachtend (Medianwert = $-0,03$ mm; $p = 0,005$). 73% der Gruppe I verschlechterten sich signifikant auf der gesamten Zahnoberfläche (Medianwert = $0,05$ mm; $p = 0,005$). Zusätzlich zum Lernerfolg stellten die Druckzähne für die Studenten einen finanziellen Vorteil dar. Die Materialkosten für einen Druckzahn betragen lediglich $0,30$ €.

Zusammenfassend konnte ein Druckzahn entwickelt werden, der für die Studenten eine gute Alternative zu den derzeitigen Übungszähnen darstellt. Der Übungszahn mit integrierter Präparation verbesserte die Kronenpräparation der Studenten signifikant und konnte diese motivieren. Dabei wurde die Selbsteinschätzung der Studenten durch die integrierte Präparation gefördert und eine eigenständige Bewertung ermöglicht. Zudem zeigte die Verschlechterung der Präparationen von Gruppe I, dass eine Bewertung während einer Präparationsübung für die Motivation und Konzentration der Studenten sehr wichtig ist.

Im Zuge der Umstrukturierung der Approbationsordnung stellen die 3D-gedruckten Übungszähne eine Möglichkeit dar, dem eventuell erhöhten Bedarf an Modellzähnen nachzukommen und die Lehre der Kronenpräparation zu verbessern. Die Studenten würden dabei finanziell entlastet werden. Die „Malen nach Zahlen“ Methode kann für jede andere Präparationsform angewandt werden.

6 Literaturverzeichnis

- Al Moaleem, M. (2014). Evaluation of Tooth Preparation by Dental Students in Jazan University during Pre-Clinical Training. *Oral health and dental managment*, 13(4): 1166-1170.
- Alexandru, B., Manole, M., Campian, R.-S., & Sinescu, C. (2019). In vitro Comparison of Accuracy of Two Scanners Used in Dental Medicine. *Revista de Chimie*, 70(7): 2344-2346.
- Beniash, E., Stifler, C. A., Sun, C. Y., Jung, G. S., Qin, Z., Buehler, M. J., & Gilbert, P. (2019). The hidden structure of human enamel. *Nat Commun*, 10(1): 4383.
- Boonsiriphant, P., Al-Salihi, Z., Holloway, J. A., & Schneider, G. B. (2019). The Use of 3D Printed Tooth Preparation to Assist in Teaching and Learning in Preclinical Fixed Prosthodontics Courses. *Journal of Prosthodontics*, 28(2): e545-e547.
- Buchanan, J. A. (2001). Use of simulation technology in dental education. *Journal of dental education*, 65(11): 1225-1231.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2017). *Industrie 4.0. Referat Produktion und Dienstleistung; Zukunft der Arbeit*. B. f. B. u. Forschung. Abgerufen von https://www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/files/Industrie_4.0_2019_barrierefrei.pdf.
- Bundesministerium für Gesundheit. (2018). Verordnung des Bundesministeriums für Gesundheit. *Verordnung zur Neuregelung der zahnärztlichen Ausbildung*. Abgerufen am 03.06.2020 von https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/Gesetze_und_Verordnungen/GuV/Z/VO_Neuregelung_zahnaerztliche_Ausbildung.pdf.
- Cantín, M., Muñoz, M., & Olate, S. (2015). Generation of 3D Tooth Models Based on Three-dimensional Scanning to Study the Morphology of Permanent Teeth. *International Journal of Morphology*, 33(2): 782-787.
- Curtis, D., Lind, S., Dellinges, M., Setia, G., & Finzen, F. (2008). Dental students' self-assessment of preclinical examinations. *Journal of dental education*, 72(3): 265-277.
- Dawood, A., Marti Marti, B., Sauret-Jackson, V., & Darwood, A. (2015). 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*, 219(11): 521-529.
- Dentsply Sirona. (2020). InEos X5, Scan with inLab. Abgerufen am 25.06.2020 von <https://www.dentsplysirona.com/en-us/categories/lab/cad-cam-equipment-dental-lab/scan.html>.
- Diaz-Bone, R. (2018). *Statistik für Soziologen* (3.Auflage). München: UVK/Lucius.
- Duffy, F., & Holmboe, E. (2006). Self-assessment in Lifelong Learning and Improving Performance in Practice: Physician Know Thyself. *Journal of the American Medical Association*, 296(9): 9-1137.

- Felber, R. (2014). Mit der CAD/CAM-Technologie erschließen sich neue Möglichkeiten zur objektiven Bewertung von Präparationen in der studentischen Ausbildung. *Digital Dental Magazin*, 1(7): 60-67.
- Feldmann, C., Schulz, C., & Fernströning, S. (2019). *3D-Druck: Anwendungsbereiche, Druckprozess, Nutzen und Grenzen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Feldmann C., Schulz C., & Fernströning S. (2019). *Digitale Geschäftsmodell-Innovationen mit 3D-Druck*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Formicola, A. J., Bailit, H. L., Weintraub, J. A., Fried, J. L., & Polverini, P. J. (2018). Advancing Dental Education in the 21st Century: Phase 2 Report on Strategic Analysis and Recommendations. *Journal of dental education*, 82(10): eS1-eS32.
- Formlabs Inc. (2019). *Installations- und Anwendungshinweise (Form Cure)*. Formlabs GmbH. Abgerufen von <https://media.formlabs.com/m/7605da5609410f00/original/-DE-Form-Cure-Manual.pdf>.
- Formlabs Inc. (2020a). 3D-Drucktechnologie im Vergleich: FDM vs. SLA vs. SLS. Abgerufen am 25.06.2020 von [https://formlabs.com/ch/blog/3d-drucktechnologie-vergleich-fdm-sla-sls/#Stereolithografie%20\(SLA\)](https://formlabs.com/ch/blog/3d-drucktechnologie-vergleich-fdm-sla-sls/#Stereolithografie%20(SLA)).
- Formlabs Inc. (2020b). Model Resin. Abgerufen am 01.07.2020 von <https://dental.formlabs.com/de/materials/#dental-model>.
- Formlabs Inc. (2020c). Store: 3D-Printers. Abgerufen am 02.07.2020 von <https://formlabs.com/store/3d-printers/>.
- Formlabs Inc. (2020d). Store: Post-Processing. Abgerufen am 02.07.2020 von <https://formlabs.com/store/post-processing/>.
- Formlabs Inc. (2020e). Was versteht man im 3D-Druck unter Auflösung? Abgerufen am 26.06.2020 von <https://formlabs.com/de/blog/3d-druck-aufloesung/>.
- Gebhardt, A., Kessler, J., & Thurn, L. (2016). *3D-Drucken: Grundlagen und Anwendungen des additive manufacturing (AM)* Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.
- Gernet W., Biffar R., Schwenzer N., & Ehrenfeld M. (2007). *Zahnärztliche Prothetik* (3.Auflage). Stuttgart: Thieme Verlag.
- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2014). *Additive manufacturing technologies* (17.Auflage) Springer.
- GOM GmbH. (2020a). ATOS Professional – 3D-Digitalisierung und vollflächiges Scannen. Abgerufen am 25.06.2020 von <https://www.gom.com/de/3d-software/gom-systemsoftware/atos-professional.html>.
- GOM GmbH. (2020b). GOM a Zeiss Company. Abgerufen am 24.06.2020 von <https://www.gom-inspect.com/de/company.php>.

- Grabowski, H. M. L. (2019). *Untersuchungen zur möglichen Steigerung der Beurteilungsqualität von Präparationsergebnissen mittels einer Analysesoftware im Vergleich zur klassischen Beurteilung durch wissenschaftliche Mitarbeiter in der studentischen Ausbildung*. (Dissertation). Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin.
- Gratton, D., Kwon, S. R., Blanchette, D., & Aquilino, S. (2016). Impact of Digital Tooth Preparation Evaluation Technology on Preclinical Dental Students' Technical and Self-Evaluation Skills. *Journal of dental education*, 80(1): 91-99.
- Hanafi, A., Donnermeyer, D., Schäfer, E., & Bürklein, S. (2020). Perception of a modular 3D print model in undergraduate endodontic education. *International Endodontic Journal*, 53(7): 1007-1016.
- Hao, J., Nangunoori, R., Wu, Y. Y., Rajaraman, M., Cook, D., Yu, A., . . . Shimada, K. (2018). Material characterization and selection for 3D-printed spine models. *3D printing in medicine*, 4(1): 8.
- Hellwig, E., & Lehmann, K. M. (1997). *Einführung in die restaurative Zahnheilkunde*. Deutschland, München: Urban & Fischer.
- Höhne, C., Dickhaut, N., & Schmitter, M. (2020). Introduction of a new teaching concept for dentin post preparation with 3D printed teeth. *European Journal of Dental Education*, 24(3): 499–506.
- Höhne, C., & Schmitter, M. (2019). 3D Printed Teeth for the Preclinical Education of Dental Students. *Journal of dental education*, 83(9): 1100-1106.
- Höhne, C., & Schmitter, M. (2020). CAD/CAM supported production process of standardized enamel and dentin tooth discs with different thicknesses for in vitro material testing. *Journal of Dental Materials*, 36(5): e143-e148.
- Höhne, C., Schwarzbauer, R., & Schmitter, M. (2019). 3D Printed Teeth with Enamel and Dentin Layer for Educating Dental Students in Crown Preparation. *Journal of dental education*, 83(12): 1457-1463.
- Höhne, C., Schwarzbauer, R., & Schmitter, M. (2020). Introduction of a new teaching concept for crown preparation with 3D printed teeth. *European Journal of Dental Education*, 24(3): 526-534.
- Hopkinson, N., Hague, R. J. M., & Dickens, P. M. (2006). *Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age*. West Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Huang, T.-K., Yang, C.-H., Hsieh, Y.-H., Wang, J.-C., & Hung, C.-C. (2018). Augmented reality (AR) and virtual reality (VR) applied in dentistry. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 34(4): 243-248.
- Hugger, A., Hugger, S., & Kordaß, B. (2011). Die zahnärztliche Ausbildung. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 54(9): 1046-1051.

- Jacob, R., Heinz, A., Décieux, J. P., & Eirnbter, W. H. (2011). *Umfrage* (2.Auflage). München: Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH.
- Jüde, H. D., Kühl, W., & Roßbach, A. (1997). *Einführung in die Zahnärztliche Prothetik* (5.Auflage). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Kamio, T., Hayashi, K., Onda, T., Takaki, T., Shibahara, T., Yakushiji, T., . . . Kato, H. (2018). Utilizing a low-cost desktop 3D printer to develop a "one-stop 3D printing lab" for oral and maxillofacial surgery and dentistry fields. *3D printing in medicine*, 4(1): 6.
- KaVo Dental GmbH (2020, 06.06.2020). E-mail, [Anfrage zu Material der Modellzähne].
- Kim, J., Son, K., & Lee, k.-b. (2019). A comparative study of the improvement after different self-assessment methods of tooth preparation. *Journal of Dental Rehabilitation and Applied Science*, 35(4): 220-227.
- Kim, T., Lee, S., Kim, G. B., Hong, D., Kwon, J., Park, J.-W., & Kim, N. (2019). Accuracy of a simplified 3D-printed implant surgical guide. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 124(2): 195-201.
- Körber, K. (1995). *Zahnärztliche Prothetik* (4.Auflage). Stuttgart: Thieme.
- Kotz, F. (2018). *Entwicklung neuer Materialien für die additive Fertigung und das Rapid Prototyping von Glas und Polymethylmethacrylat*. (Ph.D. thesis). Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Krebs, D., & Menold, N. (2019). Gütekriterien quantitativer Sozialforschung. In N. Baur & J. Blasius (Eds.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (pp. 489-504). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Kröger, E., Dekiff, M., & Dirksen, D. (2017). 3D printed simulation models based on real patient situations for hands-on practice. *European Journal of Dental Education*, 21(4): e119-e125.
- Lee, H., Fehmer, V., Kwon, K. R., Burkhardt, F., Pae, A., & Sailer, I. (2020). Virtual diagnostics and guided tooth preparation for the minimally invasive rehabilitation of a patient with extensive tooth wear: A validation of a digital workflow. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 123(1): 20-26.
- Lehmann, K. M., Hellwig, E., & Wenz, H.-J. (2012). *Zahnärztliche Propädeutik : Einführung in die Zahnheilkunde* (12.Auflage). Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag.
- 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. *European Journal of Dental Education*, 23(1): 68-72.
- Marxkors, R. (2010). *Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik* (5.Auflage). Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag.
- Nagy, Z. A., Simon, B., Tóth, Z., & Vág, J. (2018). Evaluating the efficiency of the Dental Teacher system as a digital preclinical teaching tool. *European Journal of Dental Education*, 22(3): e619-e623.

- Oberoi, G., Nitsch, S., Edelmayer, M., Janjić, K., Müller, A. S., & Agis, H. (2018). 3D Printing—Encompassing the Facets of Dentistry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6(172).
- Paint by number museum. (2019). Paint By Number Museum. Abgerufen am 09.07.2020 von https://www.paintbynumbermuseum.com/dan_robbins_intro.
- Park, C. F., Sheinbaum, J. M., Tamada, Y., Chandiramani, R., Lian, L., Lee, C., . . . Ishikawa-Nagai, S. (2017). Dental Students' Perceptions of Digital Assessment Software for Preclinical Tooth Preparation Exercises. *Journal of dental education*, 81(5): 597-603.
- Raschig GmbH. (2010). Engineering Plastics. In M. M. 152.7 (Ed.). <https://www.raschig.de/>.
- Reymus, M., Fotiadou, C., Hickel, R., & Diegritz, C. (2018). 3D-printed model for hands-on training in dental traumatology. *International Endodontic Journal*, 51(11): 1313-1319.
- Reymus, M., Fotiadou, C., Kessler, A., Heck, K., Hickel, R., & Diegritz, C. (2019). 3D printed replicas for endodontic education. *International Endodontic Journal*, 52(1): 123-130.
- Roy, E., Bakr, M. M., & George, R. (2017). The need for virtual reality simulators in dental education: A review. *The Saudi dental journal*, 29(2): 41-47.
- Sari, Ö. (2020). *Academic Studies in Health Sciences* (2.Auflage). Ankara: Gece Kitaplığı.
- Schepke, U., van Wulfften Palthe, M. E., Meisberger, E. W., Kerdijk, W., Cune, M. S., & Blok, B. (2020). Digital assessment of a retentive full crown preparation—An evaluation of prepCheck in an undergraduate pre-clinical teaching environment. *European Journal of Dental Education*, 24(3): 407-424.
- Schlenz, M. A., Michel, K., Wegner, K., Schmidt, A., Rehmann, P., & Wöstmann, B. (2020). Undergraduate dental students' perspective on the implementation of digital dentistry in the preclinical curriculum: a questionnaire survey. *BMC Oral Health*, 20(1): 78.
- Schlenz, M. A., Vogler, J. A. H., Schmidt, A., Rehmann, P., & Wöstmann, B. (2020). Chairside measurement of the marginal and internal fit of crowns: a new intraoral scan-based approach. *Journal Clinical Oral Investigations*, 24(7): 2459-2468.
- Schröder, B. (2014). *Kunststoff für Ingenieure*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Seifert, L. B., Schnurr, B., Herrera-Vizcaino, C., Begic, A., Thieringer, F., Schwarz, F., & Sader, R. (2020). 3D-printed patient individualised models vs cadaveric models in an undergraduate oral and maxillofacial surgery curriculum: Comparison of student's perceptions. *European Journal of Dental Education*, 00: 1-8.

- 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): 226-229.
- Smith, W., Rafeek, R., Marchan, S., & Paryag, A. (2012). The use of video-clips as a teaching aide. *European Journal of Dental Education*, 16(2): 91-96.
- Soares, P., Milito, G., Pereira, F., Reis, B. R., Soares, C., Menezes, M., & Santos-Filho, P. (2013). Rapid Prototyping and 3D-Virtual Models for Operative Dentistry Education in Brazil. *Journal of dental education*, 77(3): 358-363.
- Steinhoff, C. (2016). Industrie 4.0 [Press release]. Abgerufen von <https://www.bundestag.de/resource/blob/474528/cae2bfac57f1bf797c8a6e13394b5e70/Industrie-4-0-data.pdf>.
- Stratasys. (2020). *Technische Daten OBJET30 PRIME*. Stratasys Ltd. Abgerufen von <https://www.stratasys.com/de/3d-printers/objet30-prime>.
- Taylor, C. L., Grey, N., & Satterthwaite, J. D. (2013). Assessing the Clinical Skills of Dental Students: A Review of the Literature. *Journal of Education and Learning*, 2(1): 20-31.
- Turnbull, J., Gray, J., & MacFadyen, J. (1998). Improving in-training evaluation programs. *Journal of General Internal Medicine*, 13(5): 317-323.
- Vincent, M., Joseph, D., Amory, C., Paoli, N., Ambrosini, P., Mortier, É., & Tran, N. (2020). Contribution of Haptic Simulation to Analogic Training Environment in Restorative Dentistry. *European Journal of Dental Education*, 84(3): 367-376.
- Weiß, C. (2019). *Basiswissen Medizinische Statistik (7.Auflage)*. Berlin: Springer-Verlag GmbH.
- Wisithphrom, K., Murray, P. E., About, I., & Windsor, L. J. (2006). Interactions between cavity preparation and restoration events and their effects on pulp vitality. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 26(6): 596-605.
- 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. *European Journal of Dental Education*, 22(3): e522-e529.
- Yee, S., Richert, R., Viguie, G., Couraud, S., Dehurtevent, M., Fages, M., . . . Ducret, M. (2019). Evaluation of the use of a guided bur during preclinical teaching of tooth preparation: A pilot study. *Clinical and Experimental Research*, 5(6): 588-593.
- Zhang, Z.-c., Li, P.-l., Chu, F.-t., & Shen, G. (2019). Influence of the three-dimensional printing technique and printing layer thickness on model accuracy. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 80(4): 194-204.

7 Anhang

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	Form2 Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Aushärtegerät	Form Cure Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
CSV-Software	CSV Editor (Version 2.5.2a 2017) Sam Francke
Drucksoftware	PreForm (Version 2.19.3) Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Füllmaterial	Blue Dentsply Sirona York, PA 17404, USA

Harz	Dental Model (RS-F2-DMBE-02); Schwarz (RS-F2-GPBK-04); Weiß (RS-F2-GPWH-04); Grau (RS-F2- GPGR-04) Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Lichtschutzabdeckung	Vivapad ivoclar vivadent GmbH 73479 Ellwangen, Deutschland
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

Scanspray	Cercon eye DeguDent GmbH 63457 Hanau, Deutschland
Statistikprogramm	IBM SPSS Statistics (Version 25) IBM Corp Armonk, NY 10504-1722, USA
Tabellenkalkulationsprogramm	Microsoft Excel (Office 365 64-Bit) Microsoft Corporation Redmond, WA 98052-6399, USA
Texteditor	Notepad++ (Version 7.8.1) Don Ho Paris, Frankreich
Übungsmodelle	Studienmodell KaVo Dental 88400 Biberach an der Riß, Deutschland
Umfragesoftware	EvaSys Electric Paper Evaluationssysteme GmbH 21337, Lüneburg, Deutschland

7.2 Fragebogen

MUSTER

EvaSys	Druckzahn 36 - Vorklinik	
Universitätsklinikum Würzburg	Dr. Christian Höhne	
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik	Druckzahn 36 - Vorklinik	

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?

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 geeignete Übungsmöglichkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.2 faire Prüfungsbedingungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.3 einfache Handhabung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Eigenschaften der Druckzähne mit Präparation

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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2 Durch die eingebaute Präparation fällt es mir leicht ein Gefühl für die richtige Präparation zu erlangen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

MUSTER

EvaSys

Druckzahn 36 - Vorklinik



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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.2 Der Modellzahn veranschaulicht mir optisch eine ideale Präparation.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.3 Durch den Modellzahn fällt es mir leichter meine eigene Präparation zu kontrollieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. Einschätzung zum Lernprozess

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

	1	2	3	4	5	6
6.1 Die Druckzähne haben in mir Enthusiasmus geweckt, meine Fähigkeiten in der Präparation von Zähnen zu verbessern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.2 Durch den Druckzahn mit eingebauter Präparation konnte ich mich beim Präparieren verbessern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.3 Für mein Studium wünsche ich mir mehr Übungen mit gedruckten Zähnen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Offene Fragen

7.1 Was könnte man an den Druckzähnen noch verbessern?

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

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

7.3 Fallbeispiel

Anhand eines Fallbeispiels werden die erhobenen Daten anschaulicher erklärt.

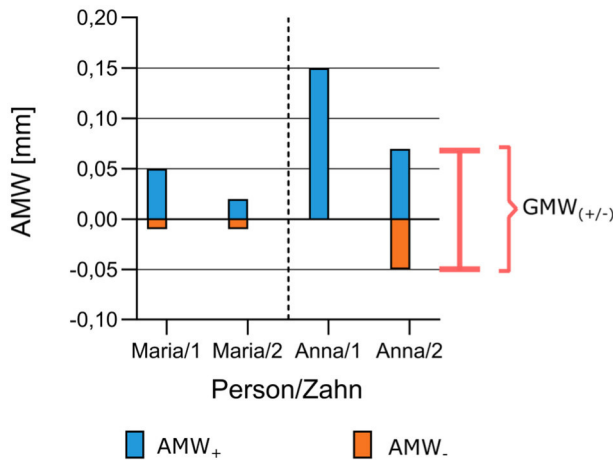


Abbildung 14 Fallbeispiel

Die x-Achse gibt die präparierende Person, sowie den jeweilig präparierten Zahn an. Auf der y-Achse werden die dazugehörigen flächenbezogenen, mittleren Abweichungswerte wiedergegeben. Die Strecke $GMW_{(+/-)}$ gibt den absoluten mittleren Abweichungswert der ausgewählten Fläche an. Die Werte sind in Tabelle 3 dargestellt.

In dem dargestellten Beispiel präparierten zwei Studentinnen (Maria; Anna) je zwei Übungszähne (1;2). Die gesamte Kronenoberfläche wurde betrachtet. Die fiktiven Werte sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3 Abweichungswerte des Fallbeispiels

Die mittleren, flächenbezogenen Abweichungswerte (AMW) sind fiktiv gewählt. Die $GMW_{(+/-)}$ -Werte wurden aus diesen Werten berechnet. Die Einheiten sind in Millimeter.

Fallbeispiel			AMW ₊	AMW ₋	GMW _(+/-)	Mittelwert
Maria	Zahn	1	0,05	-0,01	0,06	0,04
		2	0,02	-0,01	0,03	0,01
Anna	Zahn	1	0,15	0	0,15	0,15
		2	0,07	-0,05	0,12	0,02

Die fleißige Studentin Maria hat ihren ersten Zahn (Maria/1), die positiven Punkte P_1 betrachtend, im Schnitt 0,05 mm zu wenig (AMW₊) präpariert. Die negativen Punkte P_2 betrachtend hat Maria den Zahn um 0,01 mm zu viel (AMW₋) beschliffen. Im Vergleich dazu hat Studentin Anna ihren ersten Zahn (Anna/1) weit vorsichtiger beschliffen und hat im Schnitt 0,15 mm zu wenig beschliffen.

Maria hat ihren zweiten Zahn (Maria/2) besser präpariert, da sie im Schnitt nur noch 0,02 mm zu wenig und gleichbleibend 0,01 mm zu viel abgetragen hat. Anna hat jedoch ihren zweiten Zahn (Anna/2) nicht mehr so vorsichtig beschliffen und trug nur noch im Mittel 0,07 mm zu wenig, dafür aber 0,05 mm zu viel ab. Um diese Ergebnisse besser vergleichen zu können, wurde der mittlere absolute Abweichungswert ($GMW_{(+/-)}$) bezogen auf die Fläche gebildet (Formel 2, Abbildung 14). Dieser Wert wurde letztlich benutzt, um die Präparation von Maria und Anna zu bewerten. Er gibt insgesamt an, inwieweit die Studentinnen von der idealen Präparation ($GMW_{(+/-)} = 0$) entfernt lagen. Die Studentin Maria hatte sich mit ihrem zweiten Zahn von einer mittleren absoluten Abweichung von 0,06 mm (Zahn 1) auf 0,03 mm (Zahn 2) verbessert. Studentin Anna konnte sich auch von 0,15 mm (Zahn 1) auf 0,12 mm (Zahn 2) verbessern. Folglich hatten beide einen Lernerfolg von 0,03 mm.

Anhand des zweiten Übungszahns von Studentin Anna (Anna 2) wird die Aussagekraft des mittleren absoluten Abweichungswertes ($GMW_{(+/-)}$) deutlich. Anna hat im Schnitt 0,07 mm zu wenig (AMW_+) und 0,05 mm zu viel (AMW_-) Zahnhartsubstanz abgetragen. Daraus ergibt sich ein Mittelwert von 0,02 mm. Tatsächlich ergibt sich jedoch eine mittlere absolute Abweichung von 0,12 mm. Ihre Präparation ist somit entfernter von der idealen Präparationsform als der Mittelwert vorgibt.

Die Abweichung des mittleren absoluten Abweichungswertes von dem Mittelwert in 3 Tabelle zeigt, dass die aufwändigere Analyse zwingend notwendig war, um die Übungszähne qualitativ bewerten und einen Lernerfolg ermitteln zu können.

7.4 Box-Whisker-Plot Diagramm

Das Box-Whisker-Plot Diagramm wurde für die grafische Analyse von metrischen Variablen von John W. TUKEY (1915 - 2000) eingeführt. Diese Form von Diagramm macht es möglich, die statistischen Aspekte einer Verteilung von metrischen Variablen grafisch schnell zu erkennen und zu interpretieren. Diese Art der grafischen Darstellung ist für Gruppenvergleiche hervorragend geeignet, da man für jede Gruppe einen Box-Whisker-Plot erstellen und nebeneinander plotten kann.

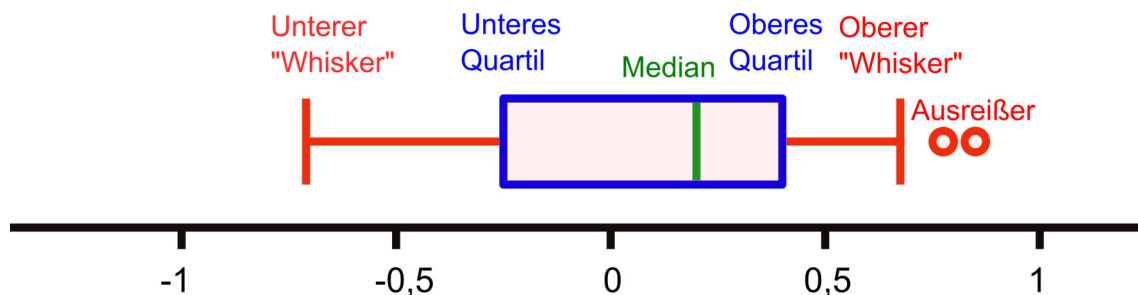


Abbildung 15 Box-Whisker-Plot Diagramm

An Hand der Abbildung 15 soll der Aufbau eines Box-Whisker-Plot erklärt werden. Dieser besteht aus einem Kasten (blau), der durch eine Linie (grün) unterteilt wird. Diese Linie gibt den Median an. 50% der Werte liegen über beziehungsweise unterhalb dieser Linie. Der Kasten selbst wird von sogenannten Quartilen begrenzt. Innerhalb der Box werden 50% der Fälle angezeigt. Dort liegen sowohl unter als auch über der grünen Linie 25% der Fälle. Die Höhe der Box gibt die Streuung der Verteilung an. Bis zum unteren Rand der Box reicht das untere Quartil (25%) und das obere beginnt am oberen Rand der Box (75%). Am oberen und unteren Ende des Kastens erstrecken sich T-förmige Linien (rot), die Whisker genannt werden. Der Maximalwert der erhobenen Daten entspricht dem Endpunkt des oberen Whiskers, das Minimum entspricht dem Endpunkt des unteren Whiskers. Über die Höhe der Box wird der Interquartilsabstand (IQR) angezeigt. Dieser definierte Abstand wird zur Klassifizierung von sogenannten Ausreißerwerten benutzt. Dabei werden extreme Ausreißer von normalen Ausreißern unterschieden. Normale Ausreißer sind Werte die zwischen dem 1,5-fachen bis 3-fachen IQR liegen und werden mit einem Kreis (°) dargestellt. Dagegen liegen extreme Ausreißer über dem 3-fachen des IQR und werden zusätzlich mit einem Stern markiert (Diaz-Bone, 2018, s. 62 - 64).

7.5 Ergebnisse der Präparationsübung

Gruppe I

Tabelle 4 Ergebnisse Gruppe I

Die Mittelwerte und die Standardabweichungen der AMW-Werte der Gruppe I wurden dargestellt. Zusammenfassend wurden die GMW_(+/-)-Werte aufgeführt. (Gesamt; P = Marginale Präparationsgrenze; M = Mesial; V = Vestibulär; D = Distal; L = Lingual; O = Okklusal)

Fläche			AMW ₊	AMW ₋	GMW _(+/-)
gesamt	Zahn	1	0,10 ± 0,10	-0,18 ± 0,11	0,19 ± 0,11
		2	0,02 ± 0,05	-0,15 ± 0,11	0,17 ± 0,11
		3	0,16 ± 0,11	-0,07 ± 0,06	0,23 ± 0,06
		4	0,18 ± 0,12	-0,08 ± 0,07	0,26 ± 0,05
P		1	0,01 ± 0,01	-0,07 ± 0,04	0,08 ± 0,04
		2	0,01 ± 0,01	-0,07 ± 0,05	0,08 ± 0,05
		3	0,04 ± 0,03	-0,05 ± 0,04	0,09 ± 0,03
		4	0,04 ± 0,03	-0,06 ± 0,04	0,10 ± 0,02
M		1	0,01 ± 0,02	-0,19 ± 0,15	0,20 ± 0,15
		2	0,00 ± 0,00	-0,19 ± 0,12	0,19 ± 0,12
		3	0,10 ± 0,10	-0,08 ± 0,10	0,18 ± 0,09
		4	0,07 ± 0,12	-0,13 ± 0,11	0,20 ± 0,10
V		1	0,00 ± 0,01	-0,19 ± 0,12	0,19 ± 0,12
		2	0,03 ± 0,08	-0,12 ± 0,11	0,15 ± 0,11
		3	0,18 ± 0,17	-0,05 ± 0,10	0,23 ± 0,14
		4	0,20 ± 0,18	-0,08 ± 0,13	0,28 ± 0,13
D		1	0,00 ± 0,01	-0,21 ± 0,15	0,22 ± 0,14
		2	0,01 ± 0,03	-0,18 ± 0,14	0,19 ± 0,13
		3	0,08 ± 0,09	-0,11 ± 0,08	0,18 ± 0,08
		4	0,12 ± 0,14	-0,12 ± 0,13	0,23 ± 0,11

L	1	0,00 ± 0,00	-0,18 ± 0,18	0,18 ± 0,17
	2	0,01 ± 0,04	-0,12 ± 0,14	0,14 ± 0,14
	3	0,09 ± 0,09	-0,11 ± 0,12	0,20 ± 0,08
	4	0,11 ± 0,11	-0,11 ± 0,13	0,22 ± 0,08
O	1	0,01 ± 0,01	-0,24 ± 0,15	0,25 ± 0,15
	2	0,04 ± 0,09	-0,19 ± 0,16	0,23 ± 0,15
	3	0,28 ± 0,16	-0,70 ± 0,07	0,34 ± 0,11
	4	0,30 ± 0,18	-0,08 ± 0,09	0,38 ± 0,11

Gruppe II

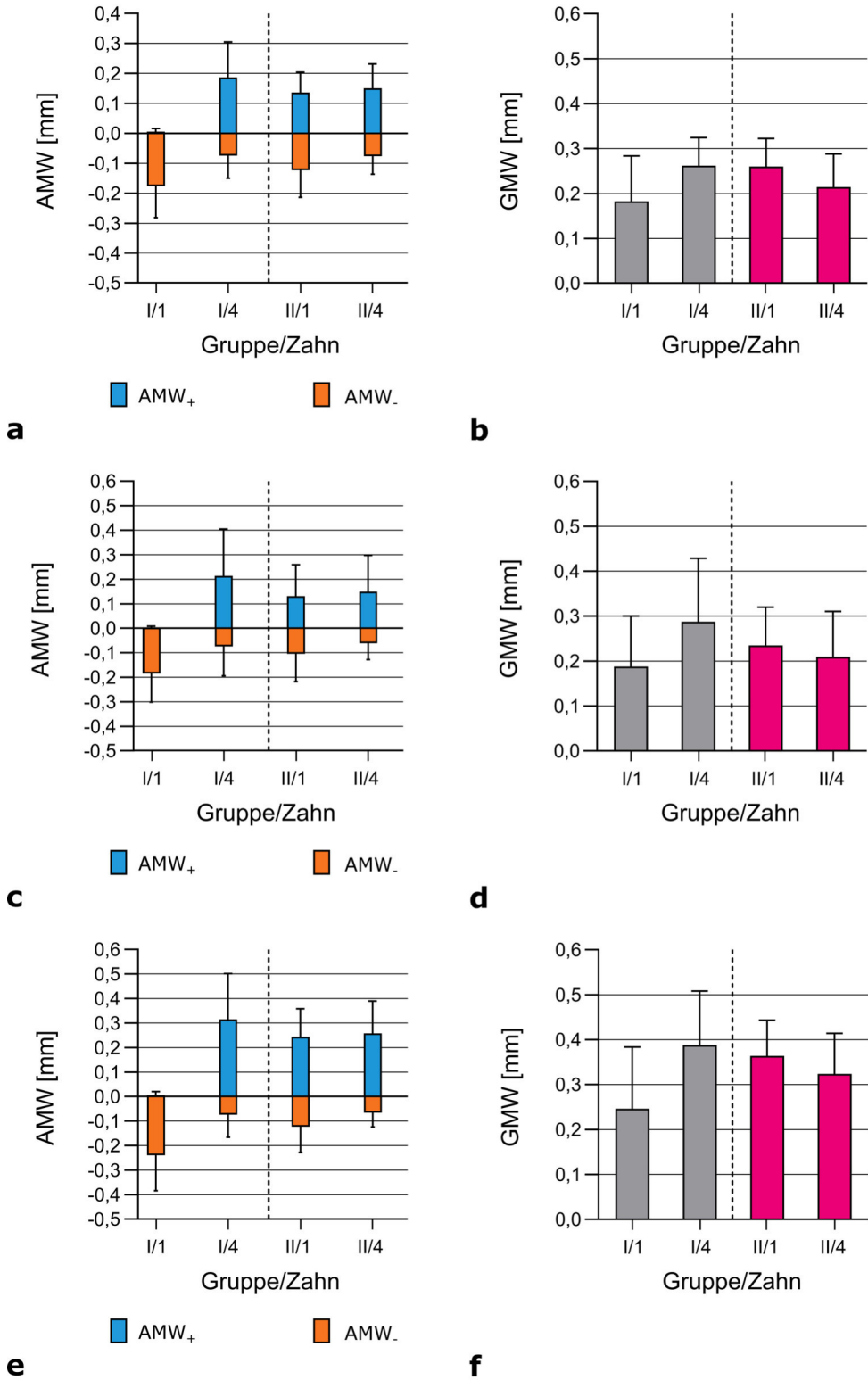
Tabelle 5 Ergebnisse Gruppe II

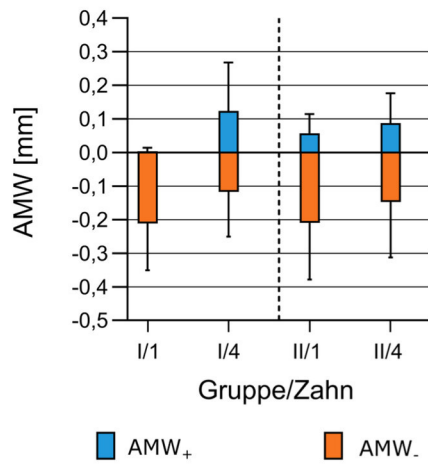
Die Mittelwerte und die Standardabweichungen der AMW-Werte der Gruppe I wurden dargestellt. Zusammenfassend wurden die GMW_(+/-)-Werte aufgeführt. (Gesamt; P = Marginale Präparationsgrenze; M = Mesial; V = Vestibulär; D = Distal; L = Lingual; O = Okklusal)

Fläche			AMW ₊	AMW ₋	GMW _(+/-)
gesamt	Zahn	1	0,14 ± 0,07	-0,12 ± 0,09	0,26 ± 0,06
		2	0,13 ± 0,09	-0,12 ± 0,10	0,25 ± 0,07
		3	0,15 ± 0,06	-0,08 ± 0,07	0,23 ± 0,06
		4	0,15 ± 0,08	-0,07 ± 0,06	0,23 ± 0,05
P	1	0,03 ± 0,02	-0,09 ± 0,09	0,12 ± 0,08	
	2	0,03 ± 0,02	-0,07 ± 0,08	0,10 ± 0,06	
	3	0,03 ± 0,02	-0,05 ± 0,04	0,08 ± 0,03	
	4	0,04 ± 0,02	-0,06 ± 0,06	0,09 ± 0,05	
M	1	0,05 ± 0,04	-0,18 ± 0,16	0,22 ± 0,14	
	2	0,06 ± 0,08	-0,17 ± 0,18	0,23 ± 0,15	
	3	0,07 ± 0,06	-0,11 ± 0,11	0,18 ± 0,08	
	4	0,09 ± 0,12	-0,09 ± 0,07	0,18 ± 0,09	

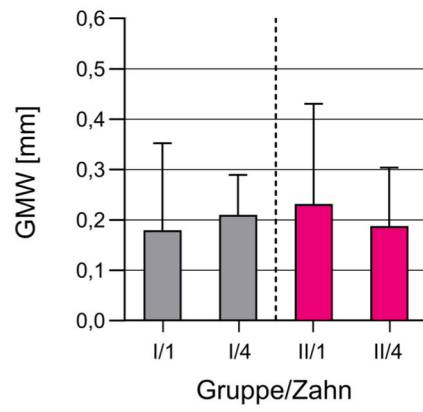
V	1	0,13 ± 0,13	-0,10 ± 0,11	0,23 ± 0,08
	2	0,1 ± 0,1	-0,11 ± 0,12	0,20 ± 0,09
	3	0,11 ± 0,10	-0,07 ± 0,07	0,18 ± 0,06
	4	0,15 ± 0,15	-0,06 ± 0,07	0,21 ± 0,10
D	1	0,06 ± 0,06	-0,21 ± 0,16	0,27 ± 0,13
	2	0,10 ± 0,10	-0,15 ± 0,16	0,24 ± 0,13
	3	0,10 ± 0,11	-0,14 ± 0,16	0,24 ± 0,12
	4	0,09 ± 0,09	-0,15 ± 0,17	0,23 ± 0,13
L	1	0,04 ± 0,05	-0,20 ± 0,22	0,23 ± 0,20
	2	0,05 ± 0,08	-0,20 ± 0,21	0,26 ± 0,17
	3	0,06 ± 0,08	-0,16 ± 0,14	0,22 ± 0,10
	4	0,04 ± 0,05	-0,15 ± 0,14	0,19 ± 0,12
O	1	0,24 ± 0,11	-0,12 ± 0,11	0,37 ± 0,08
	2	0,22 ± 0,15	-0,13 ± 0,12	0,36 ± 0,10
	3	0,27 ± 0,11	-0,08 ± 0,09	0,35 ± 0,06
	4	0,26 ± 0,13	-0,07 ± 0,06	0,32 ± 0,09

7.6 Vergleich zwischen Zahn 1 und Zahn 4

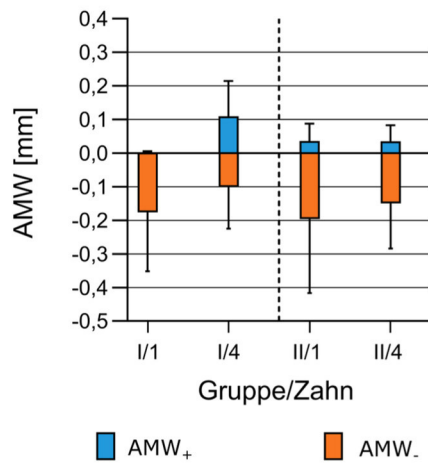




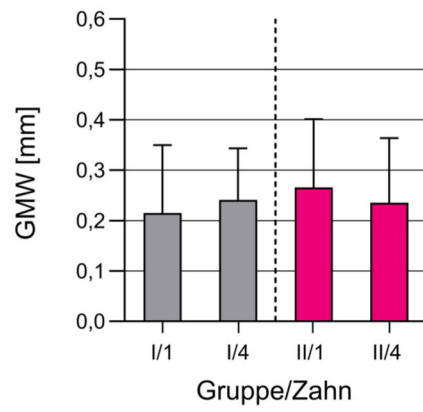
g



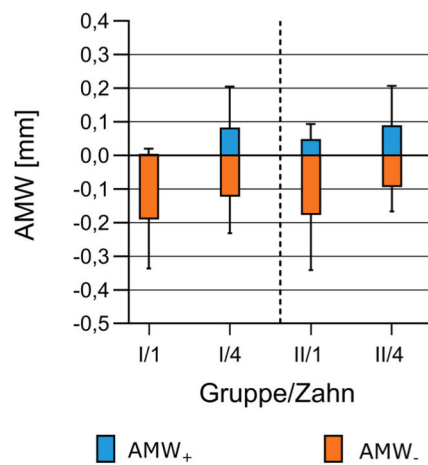
h



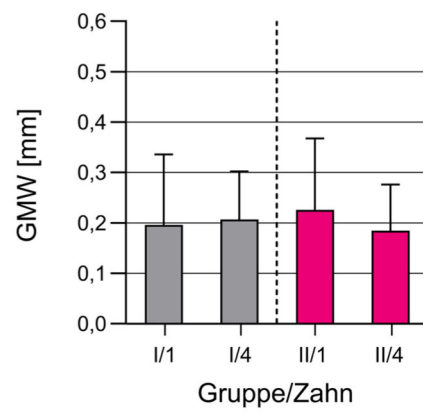
i



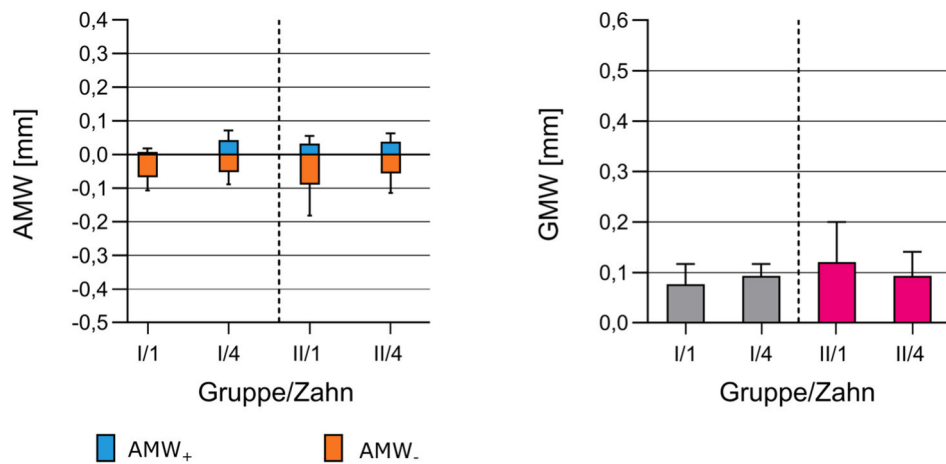
j



k



l



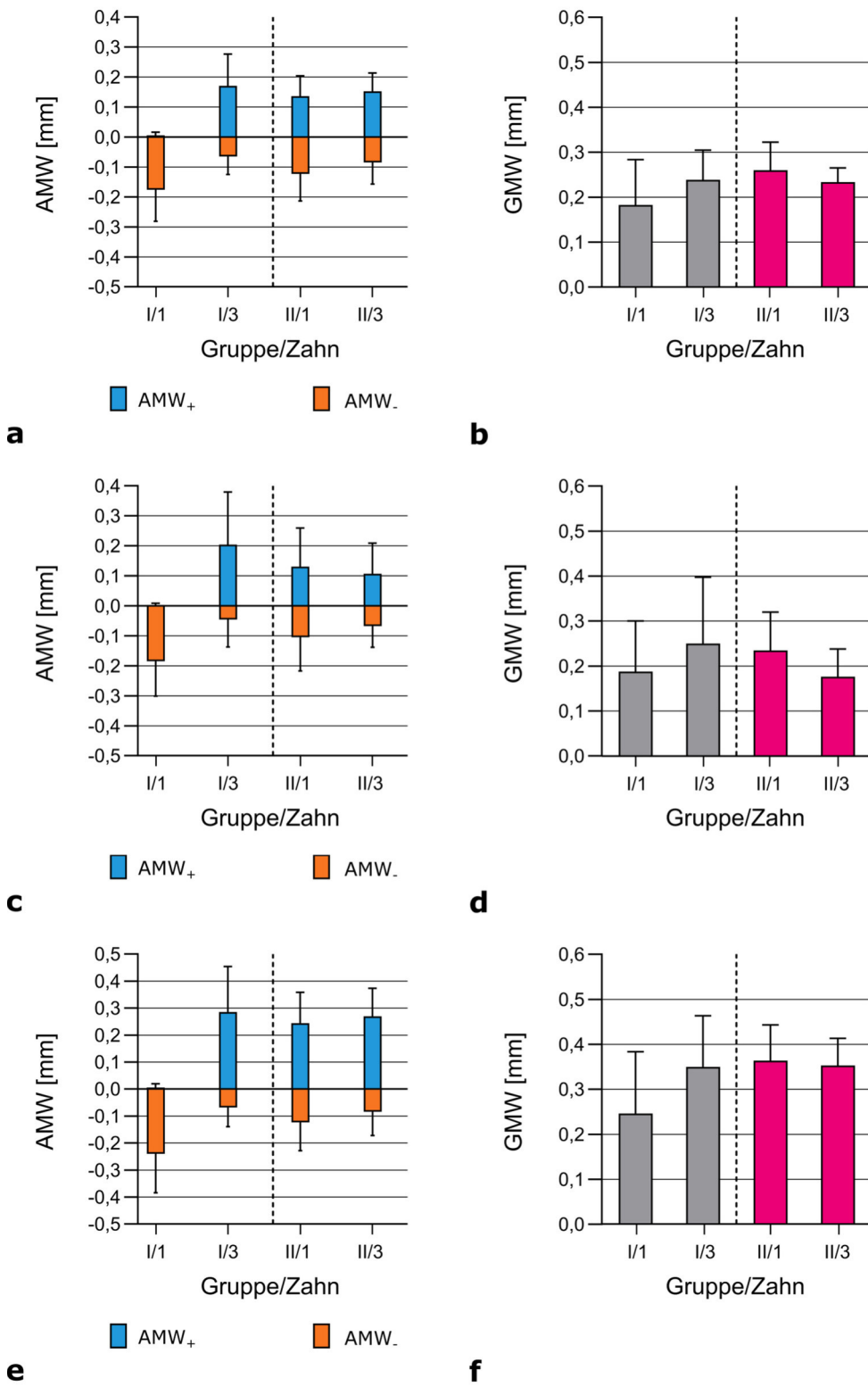
m

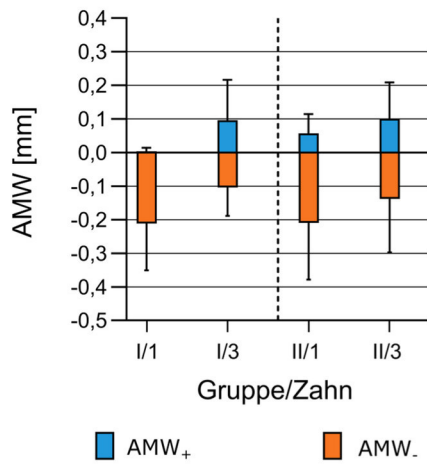
n

Abbildung 16 Flächenvergleich zwischen Zahn 1 und Zahn 4

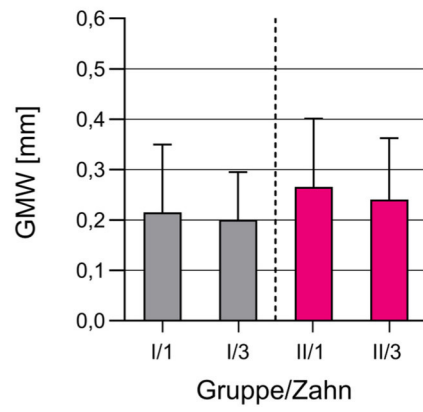
- AMW-Werte: Auf der y-Achse werden die positiven (blau) und die negativen (orange) mittleren Abweichungswerte (mm), AMW₊/AMW₋, sowie die Standardabweichung angegeben. Die x-Achse ordnet die AMW-Werte der Gruppe (I/II) und dem jeweiligen Zahn (1/4) zu. (Links)
 - GMW_(+/-)-Werte: Auf der y-Achse werden die absoluten mittleren Abweichungswerte sowie die Standardabweichung dargestellt und jeweils den beiden Gruppen sowie Zähnen zugeordnet (x-Achse). Je kleiner der Wert, desto besser wurde präpariert. (Rechts)
- (a, b = Gesamt; c, d = Vestibulär; e, f = Okklusal; g, h = Distal; i, j = Lingual; k, l = Mesial; m, n = Marginale Präparationsgrenze)

7.7 Vergleich zwischen Zahn 1 und Zahn 3

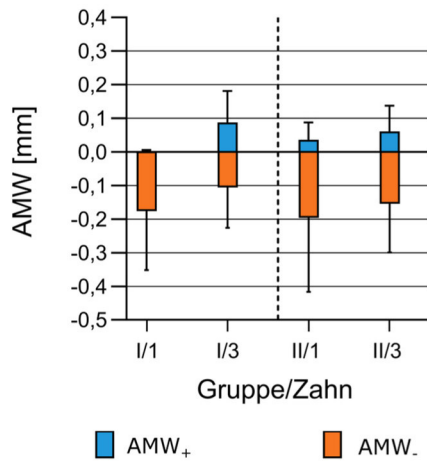




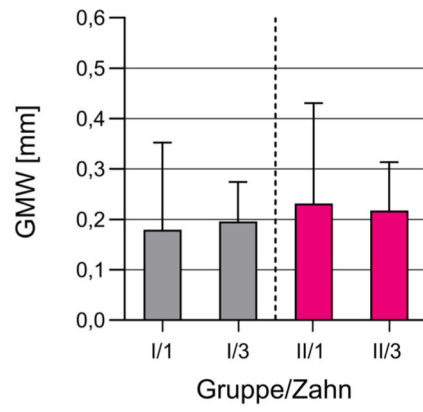
g



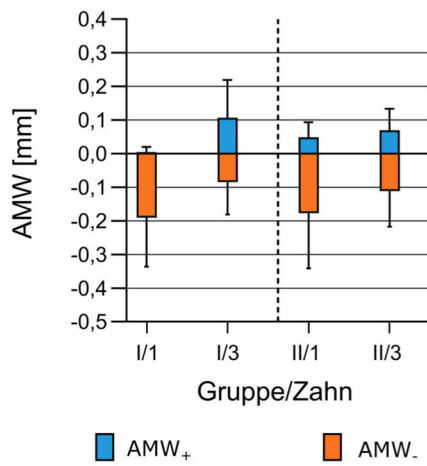
h



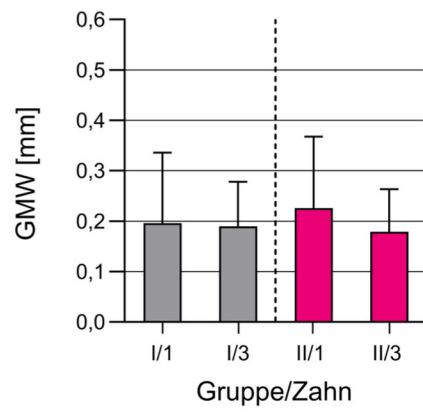
i



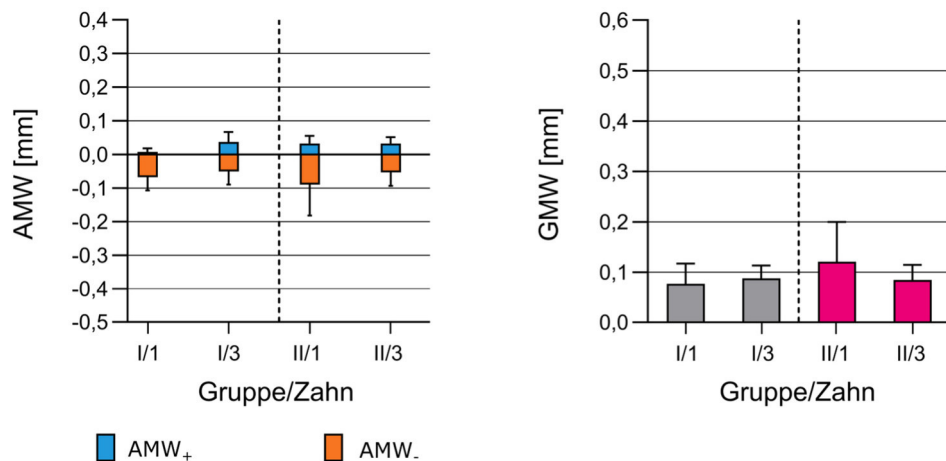
j



k



l



m

n

Abbildung 17 Flächenvergleich zwischen Zahn 1 und Zahn 3

- AMW-Werte: Auf der y-Achse werden die positiven (blau) und die negativen (orange) mittleren Abweichungswerte (mm), AMW₊/AMW₋, sowie die Standardabweichung angegeben. Die x-Achse ordnet die AMW-Werte der Gruppe (I/II) und dem jeweiligen Zahn (1/3) zu. (Links)
 - GMW_(+/-)-Werte: Auf der y-Achse werden die absoluten mittleren Abweichungswerte sowie die Standardabweichung dargestellt und jeweils den beiden Gruppen sowie Zähnen zugeordnet (x-Achse). Je kleiner der Wert, desto besser wurde präpariert. (Rechts)
- (a, b = Gesamt; c, d = Vestibulär; e, f = Okklusal; g, h = Distal; i, j = Lingual; k, l = Mesial; m, n = Marginale Präparationsgrenze)

7.8 Kosten für einen Zahnmedizinstudenten

Tabelle 6 Kosten für einen Zahnmedizinstudenten

Vorklinik	Instrumente	Material	Diamanten/Technikset	Gesamt
TPK	1.930	450	216	
Phantom I	-	400	-	
Phantom II	-	350	-	
Physikum	-	230	-	+
	1.930	1.430	216	3.576
Klinik				
Phantom III	2.150	300	228	
Kons I	1.325	-	-	
Prothetik I	630	50	-	
Prothetik II	-	50	-	
Kons II	-	50	-	+
	4.105	450	228	4.783
Gesamt				=8.359

Angaben in Euro (€). Die Materialkosten sind geschätzte Durchschnittswerte.
Quelle: Dental Depot Gerl, Würzburg; Kommet Dental, Lemgo (Stand 2.7.2020)